



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

FÉLIX ALVES DA SILVA JÚNIOR

**O USO DE SISTEMAS GENERATIVOS COMO INSTRUMENTO DE DESENHO
URBANO SUSTENTÁVEL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Arquitetura e Urbanismo.

Área de concentração:

Técnicas e processos de produção do ambiente construído

Orientador: PhD. Neander Furtado Silva

BRASILIA - DF

2016



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

FÉLIX ALVES DA SILVA JÚNIOR

**O USO DE SISTEMAS GENERATIVOS COMO INSTRUMENTO DE DESENHO
URBANO SUSTENTÁVEL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Arquitetura e Urbanismo.

Área de concentração:

Técnicas e processos de produção do ambiente construído

Orientador: PhD. Neander Furtado Silva

BRASILIA - DF

2016



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

FÉLIX ALVES DA SILVA JÚNIOR

O USO DE SISTEMAS GENERATIVOS COMO INSTRUMENTO DE DESENHO URBANO SUSTENTÁVEL

Tese aprovada junto ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Arquitetura e Urbanismo.

Banca examinadora:

DR. NEANDER FURTADO SILVA Orientador –PPG/ FAU/ UnB

DR. DAVID RODNEY LIONEL PENNINGTON Membro Titular – FAC/ UnB

DR. FRANCISCO LEITE AVIANI Membro Titular – Design/ IDA/ UnB

DR. JÚLIO TOLLENDAL GOMES RIBEIRO Membro Titular – INFRAERO

DR. FÁBIO FERREIRA DE LIMA Membro Titular – Arquitetura/UFG

Dedico este trabalho a minha esposa Lila Donato, ao meu filho Nicolas Donato, a minha mãe Sônia e a minha mãe Rita, aos meus irmãos Samuel e Ismael , pelo tempo que deixamos de estar juntos e pelo apoio incondicional e irrestrito.

AGRADECIMENTOS

Agradeço antes de tudo a minha família pela compreensão e apoio dado a mim durante esta jornada.

Ao Prof. Dr. Neander Furtado Silva e família, pela oportunidade dada a mim para que eu pudesse desenvolver este trabalho e pela dedicação nas correções e orientações neste período de aprendizado.

Aos meus amigos que sempre estiveram comigo nos bons e más momentos.

“Coloque a mágica da cidade dentro do alcance de todos...”

Christopher Alexander.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	IV
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	VII
LISTA DE TABELAS	X
LISTA DE QUADROS.....	XI
RESUMO.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
I. INTRODUÇÃO	2
II. PROBLEMÁTICA.....	3
III. HIPÓTESE	21
IV. OBJETIVOS.....	21
A. OBJETIVO GERAL.....	21
B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
V. ESTRUTURA DA TESE.....	22
CAPÍTULO 1	25
1 SISTEMAS CAD UMA ANÁLISE HISTÓRICA DE SUA EVOLUÇÃO E APLICAÇÃO NA ARQUITETURA E URBANISMO.....	25
1.1 A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS CAD UM BREVE HISTÓRICO	26
1.2 AS FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS E CONCEPÇÃO PROJETUAL.....	49
1.2.1 O papel dos sistemas CAD nos processos arquitetônicos	52
1.2.2 O uso dos sistemas CAD no projeto urbano	60
1.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	69
CAPÍTULO 2	70
2 ABORDAGENS COMPUTACIONAIS DE PROJETO.....	70
2.1 SISTEMAS GENERATIVOS	71
2.2 PROJETO ALGORÍTMICO	80
2.2.1 Algoritmo	80
2.2.2 Gramatica da forma.....	82
2.2.3 Arquitetura algorítmica	86
2.3 PROJETO PARAMÉTRICO	88
2.3.1 Building Information Modeling e a difusão do Projeto Paramétrico	91
2.3.2 Arquitetura performativa ou projeto baseado em Desempenho (<i>Desempenho-Based Design</i>)	98

2.4	URBANISMO E A APLICAÇÃO DE METODOLOGIAS COMPUTACIONAIS DE PROJETO	105
2.4.1	Urbanismo paramétrico	105
2.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPITULO	111
	CAPÍTULO 3	112
	3 A EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO DESENHO DAS CIDADES	112
3.1	O DESENHO DA CIDADE AO LONGO DA HISTÓRIA.....	113
3.1.1	A origem distante: as primeiras aldeias.....	113
3.1.2	As cidades no mundo antigo: Religião, Comércio e Civilização	117
3.1.3	A cidade Medieval e a cidade Renascentista.....	127
3.1.4	A cidade industrial e os modelos utópicos.....	138
3.2	O DESENHO URBANO MODERNO E A CIDADE MODERNA	151
3.2.1	A negação a cidade moderna.....	157
3.3	O DESENHO URBANO COMO INSTRUMENTO DE PRODUÇÃO DE ESPAÇOS URBANOS	161
3.4	A SUSTENTABILIDADE E A PRODUÇÃO DA CIDADE CONTEMPORÂNEA	163
3.4.1	O novo Urbanismo: a retomada da Cidade Tradicional.....	166
3.4.2	A Cidade Compacta: a otimização dos recursos	167
3.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	170
	CAPÍTULO 4	171
	4 O DESENHO URBANO E OS PARÂMETROS DE DESEMPENHO URBANO	171
4.1	A CIDADE SUAS ESCALAS E OS SEUS ELEMENTOS MORFOLÓGICOS	172
4.2	O BAIRRO: A MICROCIDADE	177
4.3	O QUARTEIRÃO COMO UNIDADE URBANA.....	188
4.4	OS PARÂMETROS DE DESEMPENHO URBANO.....	194
4.4.1	A densidade como parâmetro urbano	195
4.4.2	A diversidade de funções e usos no espaço urbano	201
4.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	204
	CAPÍTULO 5	205
	5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	205
5.1	ESTRUTURA METODOLÓGICA	206
5.1.1	Apresentação dos parâmetros de desempenho adotados	211
5.1.2	A produção do ArchiTec e a implementação do algoritmo de produção de quarteirões	215

5.1.2.1	<i>Java</i>	215
5.2	ALGORITMOS GENERATIVOS E A PRODUÇÃO DE SOLUÇÕES URBANAS	227
5.2.1	Estruturação do algoritmo para a produção de quarteirões.....	227
5.2.1.1	Estruturação do algoritmo	227
5.2.1.2	Implementação na linguagem <i>Java</i> TM e produção dos resultados.....	239
5.2.2	Estruturação dos parâmetros de produção de bairros	246
5.2.2.1	Estruturação do algoritmo	246
5.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	251
	CAPÍTULO 6	252
	6 RESULTADOS E DISCUSSÕES TEÓRICO PRÁTICAS	252
6.1	APRESENTAÇÃO DAS SOLUÇÕES PRODUZIDAS PELO SISTEMA	253
6.1.1	A produção algorítmica de quarteirões urbanos no <i>ArquiTec</i>	257
6.2	CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A APLICAÇÃO DE LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO E DE ALGORITMOS COMO FERRAMENTA DE PROJETO URBANO	271
6.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPITULO	275
	CAPÍTULO 7	276
	7 CONCLUSÕES	276
7.1	RESULTADOS ALCANÇADOS E CONTRIBUIÇÕES	277
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	280

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1.1 - ESTIMATIVA DE HABITANTES AO LONGO DAS PRÓXIMAS DÉCADAS.....	4
FIGURA 1.2 – ESTIMATIVA DO CRESCIMENTO POPULACIONAL EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO ATÉ 2050.....	5
FIGURA 1.3 – GLASGOW RIVERSIDE MUSEUM OF TRANSPORT, 2004-2011. ZAHA HADID ARCHITECTS.....	11
FIGURA 1.4 –SKETCHPAD EM OPERAÇÃO EM 1963.....	12
FIGURA 1.5 – EXPERIENCE MUSIC PROJECT, SEATTLE, US, 2004. FRANK O GEHRY.....	14
FIGURA 1.1 – CONCEPÇÃO ARTÍSTICA DE UMA ESTAÇÃO DE TRABALHO CAD, PUBLICADA NA REVISTA <i>FORTUNE</i> , EM 1956	29
FIGURA 1.2 - SKETCHPAD SENDO OPERADO EM 1962.....	30
FIGURA 1.3 – DEC PDP-11/40, MINICOMPUTADOR DE 16-BITS.....	32
FIGURA 1.4 - SUPER MINICOMPUTADOR DE 32-BITS VAX-785.....	35
FIGURA 1.5 - MUSEU GUGGENHEIM BILBAO, GEHRY AND PARTNERS, 1998.....	39
FIGURA 1.6-MAQUETE E MODELO VIRTUAL DA ESCULTURA O PEIXE DE FRANK GEHRY.....	41
FIGURA 1.7-TERMINAL INTERNACIONAL DE WATERLOO, NICHOLAS GRIMSHAW AND PARTNERS	42
FIGURA 1.8 - <i>LONDON CITY HALL</i> , FOSTER AND PARTNERS (1998-2002).....	43
FIGURA 1.9 - ESTUDO PARAMÉTRICO DO SISTEMA DE ABERTURA.....	44
FIGURA 1.10 - AVIVA STADIUM, DUBLIN IRLANDA, POPULOUS (2005 - 010).....	58
FIGURA 1.11 - ONE-NORTH MASTERPLAN, ZAHA HADID ARCHITECTS (2001-2021)	64
FIGURA 1.12 - VISUALIZAÇÃO DO MVRDV <i>FUNCTIONMIXER</i>	65
FIGURA 2.1 - FACHADA DE TEMPLO DA ORDEM TOSCANA	74
FIGURA 2.2 - EXEMPLO DE UMA GRAMÁTICA DA FORMA E DA LINGUAGEM RESULTANTE DAS OPERAÇÕES.....	83
FIGURA 2.3 - A REGRA DO JARDIM ISLÂMICO E SUA APLICAÇÃO NOS JARDINS DO <i>TAJ MAHAL</i>	84
FIGURA 2.4 - VARIAÇÕES DE UM MESMO OBJETO, DIFERENCIADO PELA ALTERAÇÃO DOS PARÂMETROS.....	89
FIGURA 2.5 - ESTRUTURA CONCEITUAL FAMÍLIA PARAMÉTRICA DE PAREDES.....	92
FIGURA 2.6 - INTERFACE GRÁFICA DO <i>RHINOCEROS®</i> (ESQ.) E <i>GRASSHOPPER</i> (DIR.).....	96
FIGURA 2.7: EXEMPLOS DE HABITAÇÕES INDÍGENAS E SUAS VARIAÇÕES DE ACORDO COM AS CONDICIONANTES CLIMÁTICAS.....	100
FIGURA 2.8 - GRO ARCHITECTS, DIAGRAMA ILUSTRATIVO DA INSERÇÃO DA MODELAGEM DA INFOMAÇÃO NA PRÁTICA ARQUITETÔNICA.....	102
FIGURA 2.9 - ANÁLISE DE DESEMPENHO DE MATERIAL NO <i>EXPERIENCE MUSIC PROJECT</i> , SEATTLE (1999 – 2000).....	104
FIGURA 2.10 - ANT URBANISM, TAIPEI, ANNIE CHAN, YIKAI LIN, ANT URBANISM, UNIVERSITY OF SOUTHERN CALIFORNIA, 2009.....	106
FIGURA 3.1 - RECONSTRUÇÃO ARTÍSTICA DA ALDEIA NEOLÍTICA DO SÍTIO ARQUEOLÓGICO DE GÖBEKLI TEPE, TÚRQUIA, 10000 A 9000 A.C., TURQUIA.....	114
FIGURA 3.2 - REPRESENTAÇÃO ARTÍSTICA DA CIDADE DE URUK	118

FIGURA 3.3 - PLANTA DA CIDADE ESTADO DE ATENAS.	119
FIGURA 3.4 - ATENAS, ÁGORA, SÉCULO V A.C.	120
FIGURA 3.5 - MILETO (TURQUIA), RECONSTRUÍDA APÓS O SAQUE PERSA EM 470 A.C.	122
FIGURA 3.6 - TIMBAG, COLÔNIA ROMANA NA ÁFRICA DO NORTE.	124
FIGURA 3.7 - NÖRDLINGEN, BAVÁRIA, GERMANY.....	128
FIGURA 3.8 – REPRESENTAÇÃO DA CIDADE MEDIEVAL. AMBROGIO LORENZETTI 1340: UMA CIDADE TOSCANA.....	130
FIGURA 3.9 - REGRAS DE DIMENSIONAMENTO DE UMA COLUNA JÔNICA, DEFINIDA A PARTIR DO DIÂMETRO.	132
FIGURA 3.10 - PIAZZA DEL CAMPIDOGGIO APÓS PROJETO DE MICHELANGELO.	134
FIGURA 3.11 - SFORZINDA, MODELO DE CIDADE IDEAL CRIADO POR FILARETE.....	135
FIGURA 3.12 - CIDADE DE PALMANOVA, ITÁLIA, INICIADA EM 1593.....	136
FIGURA 3.13 - UMA RUA DE UM BAIRRO POBRE DE LONDRES (DUDLEY STREET); GUSTAVE DORÉ DE 1872.....	140
FIGURA 3.14 - THE MILBANK ESTATE, LONDRES (1897-1902); PROJETO THE LONDON COUNTY COUNCIL.	143
FIGURA 3.15 - UMA “ALDEIA DE HARMONIA E DE COOPERAÇÃO”; ROBERT OWEN, DE 1817.....	144
FIGURA 3.16 - FAMILISTÉRIO DE GUISE.	145
FIGURA 3.17 - COMUNIDADE DE SALTAIRE, BRADFORD – INGLATERRA.....	146
FIGURA 3.18 - DIAGRAMA DE UMA CIDADE JARDIM, POR EBENEZER HOWARD, 1903.....	148
FIGURA 3.19 - PROJETO DA CIDADE DE LETCHWORTH E VISTA AÉREA DA CIDADE IMPLANTADA, AUTORIA DE RAYMOND UNWIN E BARRY PARKER, 1904.	149
FIGURA 3.20 - MAQUETE DA <i>VILLE RADIEUSE</i> , LE CORBUSIER, 1924.	153
FIGURA 3.21 - VISTA AÉREA DO CONJUNTO HABITACIONAL THE PRUITT-IGOE ST LOUIS, MINORU YAMASAKI (1954-1956).	155
FIGURA 4.1 - COMPOSIÇÃO DO ESPAÇO URBANO A PARTIR DE SEUS ELEMENTOS MORFOLÓGICOS.	173
FIGURA 4.2- EXEMPLO DE CIDADES E AS SUAS RESPECTIVAS ÁREAS CENTRAIS.	183
FIGURA 4.3 - MALHA URBANA ORTOGONAL (PHILADELPHIA, USA) E MALHA IRREGULAR (LONDON, UK).	189
FIGURA 4.4 - LOTES MENORES POSSIBILITAM UMA MAIOR DIVERSIDADE DE USOS E FORMAS DO QUE LOTES AMPLOS.	191
FIGURA 4.5 - DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE OCUPAÇÃO PARA A MESMA DENSIDADE (75 UNID. / HA).	199
FIGURA 5.1 - FLUXOGRAMA DE DESENVOLVIMENTO DA APLICAÇÃO.	217
FIGURA 5.2 - INTERFACE DO ECLIPSE MARS.	219
FIGURA 5.3 - PASTA DA APLICAÇÃO ARQUITEC DENTRO DO ECLIPSE.	221
FIGURA 5.4 - PROCESSO DE EXECUÇÃO DO ARQUITEC.....	222
FIGURA 5.5 - ÍCONE PARA EXECUÇÃO DE APLICAÇÕES NO <i>ECLIPSE</i>	223
FIGURA 5.6 - SOLUÇÃO GERADA A PARTIR DA EXECUÇÃO DA APLICAÇÃO.	223
FIGURA 5.7 – LEGENDA DE CORES DAS FRAÇÕES URBANAS (TR’S DE 1 A 4 E TC’S 1 E 2) UTILIZADAS PARA A SOLUÇÃO ILUSTRADA NA FIGURA 5.6.	224

FIGURA 5.8 - ORGANIZAÇÃO DAS CLASSES DENTRO DO <i>ECLIPSE MARS</i>	226
FIGURA 5.9 - DIAGRAMA SIMPLIFICADO CONTENDO A SEQUÊNCIA DE TAREFAS A SEREM EXECUTADAS PELA APLICAÇÃO PARA O ALGORITMO GENERATIVO PARA A PRODUÇÃO DE QUARTEIRÕES.	228
FIGURA 5.10 - LEGENDAS DE CORES UTILIZADA PELO ARQUITEC.	231
FIGURA 5.11 - LEGENDA DE CORES DAS FRAÇÕES URBANAS UTILIZADAS.	232
FIGURA 5.12 - EXEMPLO DE RESULTADO OBTIDO A PARTIR DO ARQUITECS.	232
FIGURA 5.13 – ARQUITEC SENDO EXECUTADO NO AMBIENTE DE EDIÇÃO JAVA™ NO <i>ECLIPSE MARS</i>	240
FIGURA 5.14 - SUBPASTAS COM AS ESPECIFICAÇÕES DOS PARÂMETROS E RESTRIÇÕES NO <i>ECLIPSE MARS</i>	241
FIGURA 5.15 - PASTA <i>TIPOLOGIA</i> COM AS LINHAS DE COMANDO QUE CONTROLAM AS DIMENSÕES DAS TIPOLOGIAS.	242
FIGURA 5.16 - PASTA <i>TERRENO</i> COM AS ESPECIFICAÇÕES DE QUANTIDADES DE TIPOLOGIAS.	243
FIGURA 5.17 - PASTA <i>MAIN</i> COM AS LINHAS DE COMANDO QUE CONTROLAM AS DIMENSÕES DO TERRENO.	244
FIGURA 5.18 - DIAGRAMA SIMPLIFICADO CONTENDO A SEQUÊNCIA DE TAREFAS A SEREM EXECUTADAS PELA APLICAÇÃO PARA O ALGORITMO GENERATIVO PARA A PRODUÇÃO DE QUARTEIRÕES.	250
FIGURA 6.1 - PASTA <i>MAIN</i> COM AS LINHAS DE COMANDO QUE CONTROLAM AS DIMENSÕES DO TERRENO.	254
FIGURA 6.2 - PASTA <i>TIPOLOGIA</i> COM AS LINHAS DE COMANDO QUE CONTROLAM AS DIMENSÕES DAS TIPOLOGIAS.	255
FIGURA 6.3 - PASTA <i>TERRENO</i> COM AS ESPECIFICAÇÕES DE QUANTIDADES DE TIPOLOGIAS.	257
FIGURA 6.4 - LEGENDA DE CORES DAS FRAÇÕES URBANAS UTILIZADAS.	258

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.1- RESUMO DA EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS CAD.....	28
TABELA 4.1 - EQUIPAMENTOS PÚBLICOS E A POPULAÇÃO QUE SUPORTAM.	181
TABELA 4.2 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DE UM BAIRRO.	186
TABELA 4.3 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DO QUARTEIRÃO E DA MALHA URBANA.	192
TABELA 4.4 – ÍNDICES DE DENSIDADE URBANA.....	200
TABELA 5.1 - DIMENSÕES DAS FRAÇÕES URBANAS APLICADAS NO ARQUITEC PARA A PRODUÇÃO DAS SOLUÇÕES DE QUARTEIRÕES.	233
TABELA 5.2 – ESPECIFICAÇÃO COM AS QUANTIDADES DE UNIDADES POR TIPOLOGIA DO CENÁRIO DE ANÁLISE 1.	245
TABELA 5.3 - ESPECIFICAÇÃO COM AS QUANTIDADES DE UNIDADES POR TIPOLOGIA DO CENÁRIO DE ANÁLISE 2.	245
TABELA 5.4 - TABELA RESUMO DE PARÂMETROS FÍSICOS ADOTADOS PARA A PRODUÇÃO DE BAIRROS E QUARTEIRÕES E CARACTERÍSTICAS A SEREM CONTEMPLADAS PELO DESENHO URBANO.	248
TABELA 6.1 - DIMENSÕES DAS FRAÇÕES URBANAS APLICADAS NO ARQUITEC PARA A PRODUÇÃO DAS SOLUÇÕES DE QUARTEIRÕES.	254
TABELA 6.2 – ESPECIFICAÇÃO COM AS QUANTIDADES DE UNIDADES POR TIPOLOGIA DO CENÁRIO DE ANÁLISE 1.	256
TABELA 6.3 - ESPECIFICAÇÃO COM AS QUANTIDADES DE UNIDADES POR TIPOLOGIA DO CENÁRIO DE ANÁLISE 2.	256

LISTA DE QUADROS

QUADRO 6.1 – SOLUÇÕES DE 1 A 4 PRODUZIDAS PELO ARQUITEC PARA O CENÁRIO 1.....	259
QUADRO 6.2 – SOLUÇÕES DE 5 A 8 PRODUZIDAS PELO ARQUITEC PARA O CENÁRIO 1.....	260
QUADRO 6.3 – SOLUÇÕES DE 9 E 10 PRODUZIDAS PELO ARQUITEC PARA O CENÁRIO 1....	261
QUADRO 6.4 – SOLUÇÕES DE 1 A 4 PRODUZIDAS PELO ARQUITEC PARA O CENÁRIO 2.....	263
QUADRO 6.5 – SOLUÇÕES DE 5 A 8 PRODUZIDAS PELO ARQUITEC PARA O CENÁRIO 2.....	264
QUADRO 6.6 – SOLUÇÕES DE 9 E 10 PRODUZIDAS PELO ARQUITEC PARA O CENÁRIO 2....	265
QUADRO 6.7 – SOLUÇÕES DE 1 A 4 PELO ARQUITEC PARA O CENÁRIO 1 CONSIDERANDO UM QUARTEIRÃO 0,49 HECTARE.	267
QUADRO 6.8 – SOLUÇÕES DE 5 A 8 PRODUZIDAS PELO ARQUITEC PARA O CENÁRIO 1 CONSIDERANDO UM QUARTEIRÃO 0,49 HECTARE.	268
QUADRO 6.9 – SOLUÇÕES DE 1 A 4 PRODUZIDAS PELO ARQUITEC PARA O CENÁRIO 2 CONSIDERANDO UM QUARTEIRÃO 0,49 HECTARE.	269
QUADRO 6.10 – SOLUÇÕES DE 5 A 8 PRODUZIDAS PELO ARQUITEC PARA O CENÁRIO 2 CONSIDERANDO UM QUARTEIRÃO 0,49 HECTARE.	270

RESUMO

O presente trabalho propõe dois algoritmos Generativos de projeto urbano que foram definidos a partir da identificação de características urbanas capazes de garantir o Desempenho das soluções produzidas. O primeiro algoritmo foi pensado para a produção de quarteirões urbanos e o segundo para a produção de bairros. Para definir estes algoritmos foram identificados parâmetros urbanos que foram estruturados nos algoritmos propostos. As variáveis aqui definidas foram extraídas da Cidade Compacta e do Novo Urbanismo. Estes modelos urbanos têm como princípios a retomada das qualidades da Cidade Tradicional e a negação do Urbanismo Modernista. A utilização de algoritmos Generativos como ferramenta de suporte de Desenho Urbano foi proposta como forma de integrar métodos computacionais de projeto nas práticas de projeção da cidade. Haja vista que os processos projetuais urbanos não tem feito uso do projeto digital como a arquitetura tem feito. Mesmo o urbanismo paramétrico e o *City Information Modeling* ainda estão em processo de consolidação sendo poucos exemplos de projetos que efetivamente façam uso destes processos. Os algoritmos aqui definidos foram estabelecidos para que servissem de base para a produção de modelos paramétricos ou para o desenvolvimento de *softwares* específicos aos processos urbanos. Esta proposição surge do fato de que dentro do projeto generativo paramétrico a maior dificuldade do profissional é estabelecer quais os critérios devem ser contemplados pelo sistema generativo para a produção de soluções.

Palavras-Chaves: Algoritmo; Desenho Urbano; desempenho; Sistema Generativo.

ABSTRACT

This paper proposes two Generative Algorithms for aid the Urban Design activity. In order to produce these algorithms we were identified urban characteristics able to ensure the performance of the produced solutions. The first developed algorithm has the capacity to produce urban blocks and the second one was produced to generate neighborhoods. To set these algorithms were identified urban parameters that were structured in the proposed algorithms. The urban parameters defined in this thesis are extracted from the Compact City and New Urbanism. These urban models have as principles the resumption of the qualities of the traditional city and the denial of Modernist Urbanism. The use of Generative Algorithms such as a tool to support the Urban Design process was proposed as a way of integrating computational design methods in the city design. The Urban Design processes have not made use of digital design as the architecture has made. Even the parametric urbanism and the City Information Modeling (CIM) are still in the process of consolidation. There are a few examples of urban projects that effectively make use of computational tools. The algorithms presented in this paper serve as the basis for the production of parametric digital models or to the development of a specific software to Urban Design process. This proposal results from the fact that within the generative parametric most difficult professional project is to establish the parameters to be used by the generative system for the production of solutions.

Key-words: Algorithm; Urban Design; Performance; Generative Design.

INTRODUÇÃO

I. INTRODUÇÃO

Esta tese apresenta como algoritmos generativos podem ser utilizados para otimizar os processos de Desenho Urbano. Ao mesmo tempo, descrevemos como Sistemas Generativos de projeto como o Projeto Paramétrico e o Projeto algorítmico podem contribuir para a produção de espaços urbanos sustentáveis.

Para isto definimos dois algoritmos generativos (um para a produção de bairros e outro para a produção de quarteirões). Estes algoritmos foram definidos a partir de parâmetros identificados na Cidade Compacta e Novo Urbanismo

O algoritmo definido para a produção de soluções de quarteirões foi utilizado como base para a produção de um protótipo de *software* de Desenho Urbano, o ArchiTec. Esta ferramenta permite o desenvolvimento de configurações de quarteirões que podem ser utilizadas nos estágios iniciais de projeto.

A atividade de Desenho Urbano é uma atividade complexa que deve considerar uma grande quantidade de variáveis. Construir melhores cidades passa pela necessidade de garantir que as soluções propostas de fato atendam às expectativas por qualidade.

O século XX foi palco do desenvolvimento de inúmeras teorias com o objetivo de conciliar as necessidades urbanas com a preservação do meio ambiente. Esta necessidade se consolidou a partir das décadas e 1960 com o surgimento do pensamento ambiental e a negação da Cidade Modernista (produzida durante as primeiras décadas do século XX).

Neste processo os Sistemas Generativos implementados através de computadores permitem a produção de soluções urbanas a partir da definição de parâmetros e relações de combinação. Nesta abordagem as soluções geradas dependem das relações de Desempenho definidas pelo arquiteto. Isto restringe as soluções geradas àquelas que atendam aos parâmetros estabelecidos. Acreditamos que os métodos computacionais de projeto são capazes de auxiliar o processo de Desenho Urbano na obtenção de soluções sustentáveis.

II. PROBLEMÁTICA

Nas últimas seis décadas arquitetos e urbanistas têm utilizado os sistemas computacionais para conceber e representar suas soluções espaciais. A utilização dos computadores resultou no surgimento de um conjunto de práticas, métodos e teorias projetuais fundamentadas no uso de ferramentas computacionais. A aplicação destes processos tem alterado o modo de trabalho de arquitetos e urbanistas.

A importância que os sistemas computacionais adquiriram dentro dos processos de produção das edificações fez com que os computadores sejam utilizados desde a concepção até a construção dos edifícios (IWAMOTO, 2009, p. 139).

O uso dos computadores por arquitetos e urbanistas provocou uma ruptura nos modos vigentes de concepção e produção arquitetônica. Métodos computacionais como: modelagem tridimensional e visualização; processos Generativos de produção de formas; análises térmicas e estruturais; gerenciamento e coordenação de projeto; e *file-to-factory* (do arquivo para fábrica), são alguns processos digitais possibilitados pelo uso dos dispositivos computacionais (IWAMOTO, 2009, p. 139).

Os métodos digitais de projeto e as ferramentas computacionais adquiriram um importante papel no processo projetual arquitetônico. No entanto, esta relevância não é observada nos processos de Desenho Urbano. A maioria dos *softwares* gráficos disponíveis foram desenvolvidos especificamente para auxiliar o projeto arquitetônico. São poucas as aplicações de uso específico para a produção de projetos urbanos.

A maior parte dos aplicativos computacionais utilizados no Desenho Urbano tem enfoque na visualização, produção de mapas e no gerenciamento da informação (fluxo de energia, dados, fluxos de trânsito, etc) e não no processo de concepção dos espaços urbanos.

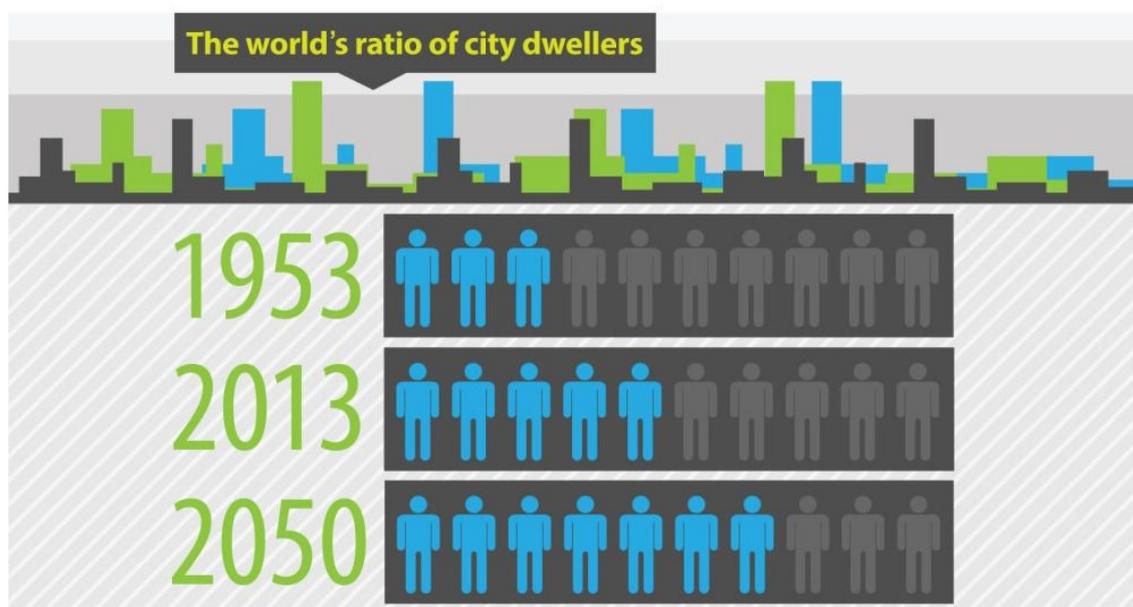
Através do uso de softwares de representação e do uso de ferramentas generativas de projeto, as tecnologias digitais têm desempenhado um importante papel na produção arquitetônica (LEACH, 2009, p. 8). Os métodos de projeto digital, tais como o Projeto Paramétrico, são capazes de proporcionar novas abordagens de Desenho Urbano.

O Projeto Generativo permite a produção de soluções a partir da definição de parâmetros, regras e restrições. Esta capacidade faz com que as soluções geradas sejam dependentes das variáveis e das restrições definidas pelo projetista. Os métodos paramétricos de projeto possibilitam a produção de soluções arquitetônicas a partir de parâmetros (ou diretrizes) de desempenho.

A definição e a inserção de parâmetros de desempenho no processo de Desenho Urbano são necessárias para proporcionar qualidade a Cidade Contemporânea. A melhoria destes espaços, atualmente, está relacionada a redução e otimização do consumo dos recursos naturais disponíveis.

Há apenas sessenta anos atrás três em cada dez indivíduos viviam em áreas urbanas. Atualmente, mais da metade da população mundial vive em cidades. As Nações Unidas estimam que em 2050 a maior parte da população estará vivendo em áreas urbanas, conforme ilustra a imagem na Figura 1.1(p.4) (TED BOOKS WITH THE ATLANTIC CITIES, 2012, p. 14).

Figura 1.1 - Estimativa de habitantes ao longo das próximas décadas.



Fonte: TED BOOKS WITH THE ATLANTIC CITIES (2012, p. 14).

Estima-se que em três décadas setenta e cinco por cento da população mundial viverá em cidades. A concentração populacional nas áreas urbanas provocou o aumento do consumo dos recursos naturais disponíveis e do impacto ambiental produzido pelas cidades (ROGERS, 2001, p. 4).

De acordo com as Nações Unidas o aumento da população urbana irá se concentrar nos países em desenvolvimento. Estas regiões são áreas em que o processo de industrialização ocorreu de forma tardia, tais como países da América Latina; alguns países do continente africano e alguns países asiáticos.

A previsão é de que 95% (ver Figura 1.2, p. 5) do crescimento populacional nas áreas urbanas nos próximos anos irão ocorrer nos países em desenvolvimento (NAÇÕES UNIDAS, 2015). Este crescimento está associado ao surgimento das megacidades, cidades com população superior a 500.000 habitantes.

Figura 1.2 – Estimativa do crescimento populacional em países em desenvolvimento até 2050.



Disponível em: <<https://ugc.futurelearn.com/uploads/images/5e/e0/5ee0177a-69d4-4079-ba3e-407b6aad2ce6.jpg>>. Acesso em 10 de junho de 2015.

As cidades contribuem significativamente para as mudanças climáticas que presenciamos atualmente. Ao mesmo tempo, estas áreas são bastante vulneráveis a estas alterações. Os centros urbanos são afetados pelo aumento dos níveis do mar e pelas alterações na temperatura (THE OPEN UNIVERSITY, 2015).

Os impactos ambientais provocados pela ocupação populacional das cidades comprometem a vida urbana. A concentração de pessoas nas áreas urbanas teve como consequência o aumento da demanda por recursos naturais não renováveis. Neste contexto, é necessário que a sociedade encontre novas formas de ocupação urbana que viabilizem a vida nas cidades (LEITE e AWAD, 2012, p. 31).

Os problemas ambientais são acentuados pela falta de políticas de planejamento urbano, que visem otimizar e regular o modo como a cidade é ocupada. A ausência (ou ineficiência) de planos de ocupação urbana resultam na produção espontânea das áreas urbanas.

A produção (e a ocupação) espontânea destas áreas urbanas resulta em problemas de caráter social tais como: déficit habitacional; aumento da pobreza e da criminalidade; aumento na pressão sobre os sistemas públicos de saúde; etc (THE OPEN UNIVERSITY, 2015).

A sobrevivência da vida urbana depende do desenvolvimento de políticas públicas integradas a práticas de Desenho Urbano capazes de produzir Cidades Sustentáveis. A sustentabilidade se apresenta como um novo paradigma que propõe alterações no modo de vida da sociedade contemporânea. Estas mudanças objetivam viabilizar os modos de vida humano, rurais e urbanos.

O desenvolvimento sustentável pode ser definido como aquele que atende às necessidades da geração atual sem comprometer a capacidade de as gerações futuras de terem suas necessidades atendidas (MOUGHTIN e SHIRLEY, 2005, p. 9).

Para promover a sustentabilidade e a qualidade dos ambientes urbanos, pesquisadores de diversas áreas, incluindo os urbanistas, passaram o século XX em busca de novas formas de ocupar e conceber a cidade.

Dentre outros, surgem três movimentos: a Cidade Inteligente (*Smart Cities*), o Novo Urbanismo e as Construções Sustentáveis. Estes movimentos têm como premissa a definição de “uma filosofia de Desenho Urbano sustentável”, que seja capaz de produzir espaços que viabilizem a existência das cidades (FARR, 2013, p. 14).

A melhoria e os avanços nas teorias ambientais e ecológicas permitiram uma maior compreensão acerca de como promover a sustentabilidade urbana. Neste processo a definição de políticas públicas orientadas para: a redução da emissão de carbono, da perda de água, etc (EVANS, 2007, p. 34).

É possível identificar dois tipos de estratégias urbanas aplicadas para promover a sustentabilidade. Estes métodos permitem que as cidades possam ser agrupadas de acordo com o tipo de práticas sustentáveis aplicadas.

O primeiro grupo, de cidades, faz uso de sistemas tecnológicos que visam reduzir a emissão de poluentes e o consumo de recursos através do uso das tecnologias disponíveis; o segundo, adota políticas educacionais que promovem a sustentabilidade através da mudança de hábitos da população e de seus urbanistas (LEITE e AWAD, 2012, p. 134).

Em uma cidade a maior parte dos recursos consumidos e dos poluentes gerados são produzidos pelos deslocamentos horizontais de automóveis. A Cidade Dispersa ocupa grandes extensões territoriais urbanas, o que aumenta a necessidade do deslocamento horizontal veicular no seu espaço físico, e conseqüentemente os impactos ambientais provocados (FREY, 1999, p. 34).

A Cidade Compacta se opõe à Cidade Dispersa, uma vez que, os deslocamentos (de veículos e ou de pessoas) horizontais são reduzidos e a superfície do solo é melhor aproveitada. Deste modo a Cidade Compacta se mostra adequada no processo de produção de cidades sustentáveis (RUEDA, 2003, p. 16).

Para a implantação do Desenho Urbano sustentável é importante a definição de parâmetros (ou condicionantes) de desempenho. Estes critérios devem ser utilizados, não apenas na definição das soluções urbanas, mas como ferramenta de avaliação e análise (FREY, 1999, p. 50).

Para a produção de cidades sustentáveis é importante a adoção de processos de projeção que permitam a inserção de parâmetros de sustentabilidade na concepção do projeto urbano. O uso de métodos e ferramentas que permitam a visualização e a avaliação de um conjunto amplo e variado de soluções.

Os métodos Generativos de Projeto e o Projeto Paramétrico podem atender estas demandas. Um Sistema Generativo corresponde a configuração baseada em definições abstratas de possíveis variações de projeto capazes de produzir soluções de projeto de objetos (FISCHER e HEER, 2001, p. 3).

Em um processo generativo o objeto é definido e produzido a partir de princípios geradores. Estes princípios geradores podem ser implementados em um *software* ou transcrito no computador através de uma linguagem de programação (AISH, 2014, p. 743).

Os avanços tecnológicos presenciados durante a Revolução Digital também impactaram nos modos de ocupação da cidade. As tecnologias da informação substituíram a troca de produtos pela troca de informação. Manipular, controlar e gerenciar a informação passou a ser a base das relações sociais e econômicas na Cidade Contemporânea. A presença dos sistemas computacionais nos diferentes setores da sociedade põe estas ferramentas em destaque no desenvolvimento da cidade do futuro (ROGERS, 2001, p. 162).

As ferramentas computacionais têm desempenhado um importante papel nos modos de ocupação e produção de espaços urbanos. Estas tecnologias têm sido utilizadas para auxiliar no gerenciamento das cidades, através da identificação de: padrões de deslocamento, padrões de consumo de energia e água; etc. Estes sistemas ainda permitem que se determine falhas nas infraestruturas urbanas existentes.

Banavar (2012) afirma que:

“ O propósito dos *Smart Systems* é incorporar a tecnologia no modo como o mundo já funciona. Em grandes cidades, nós podemos, através do uso de diferentes sensores extrair informações de fluxo de tráfego e ou de sistemas de infraestrutura urbana, tais como água e energia, por exemplo. Analisando padrões e tendências, então é possível que possamos fazer previsões. No caso do tráfego, nós podemos, não apenas verificar onde está o congestionamento, como podemos preveni-lo (BANAVAR, 2012, p. 3808).”

Embora a informação já estivesse disponível através do levantamento de dados, apenas recentemente ela tem sido produzida com maior precisão. Neste processo os sistemas computacionais desempenham um importante papel já que permitem o gerenciamento do grande volume de informação disponível (BERG, 2012, p. 426).

Na escala do edifício, ferramentas de Modelagem da Informação da Construção (ou *Building Information Modeling - BIM*), tem auxiliado os profissionais a determinar o impacto provocado pelas edificações que projetam. Estes *softwares* possibilitam também uma visão global da cadeia produtiva do edifício. Os processos *BIM* possibilitam ainda a integração de toda a informação produzida pelos diferentes profissionais envolvidos na concepção e construção do edifício (KRYGIEL e BRADLEY, 2008, p. 211).

Apesar da construção de edifícios sustentáveis (produzidos a partir de parâmetros de sustentabilidade) auxiliar a redução dos impactos ambientais resultantes de seus processos construtivos, estas práticas por si só não são suficientes para promoção da sustentabilidade urbana. Uma vez que estratégias que enfocam apenas a produção sustentável de edifícios tratam do problema apenas na escala da edificação e não na escala da cidade.

O grande número de variáveis e parâmetros que devem ser considerados quando da elaboração dos projetos urbanos evidenciam a dificuldade da tarefa. O urbanista precisa atender a todas, ou à maior parte das exigências programáticas apresentadas. De modo que é necessário o uso de ferramentas que permitam a rápida produção, modificação e validação das soluções urbanas (BEIRÃO, DUARTE, *et al.*, 2009, p. 1224).

O uso de Sistemas Generativos para a produção de modelos urbanos por meio de suas variáveis e de restrições pré-estabelecidas permite que as propostas projetuais produzidas atendam a critérios de Desempenho. As variáveis e as relações são definidas pelo arquiteto a partir do programa funcional a ser adotado.

A Revolução Digital correspondeu ao conjunto de modificações provocadas pelo processo de Globalização em conjunto com a rápida difusão da informação. A veloz transmissão de informação foi proporcionada pela popularização da internet e dos computadores (MITCHELL, 2001, p. 18).

A Revolução Digital foi responsável por alterar as relações sociais e a forma como armazenamos e difundimos a informação. A incorporação das ferramentas computacionais nas nossas atividades cotidianas acelerou a propagação da informação. Ao mesmo tempo, estas ferramentas, modificaram as relações de trabalho e o modo como ocupamos e produzimos a cidade (MITCHELL, 2001, p. 17).

Os sistemas computacionais, nos últimos cinquenta anos, têm ocupado um importante papel na execução das diferentes atividades profissionais. Atualmente, a maior parte das nossas tarefas cotidianas não poderiam ser realizadas, ou sofreriam um grande prejuízo, se realizadas sem o auxílio do computador (NARDELLI, 2007, p. 30).

Na arquitetura, os *softwares* têm sido utilizados no processo de produção dos espaços construídos. Nas décadas de 1990 e de 2010 estas ferramentas tem ocupado mais importância no processo de concepção arquitetônica e não apenas na representação de projetos.

O domínio destas ferramentas computadorizadas tem estimulado, nos últimos anos, o surgimento de edificações de geometria complexa. De modo que, parte da produção arquitetônica contemporânea se estabelece através da produção de edificações compostas pelas formas complexas, possibilitadas pelo uso dos computadores (ver Figura 1.3).

Figura 1.3 – Glasgow Riverside Museum of Transport, 2004-2011. Zaha Hadid Architects.



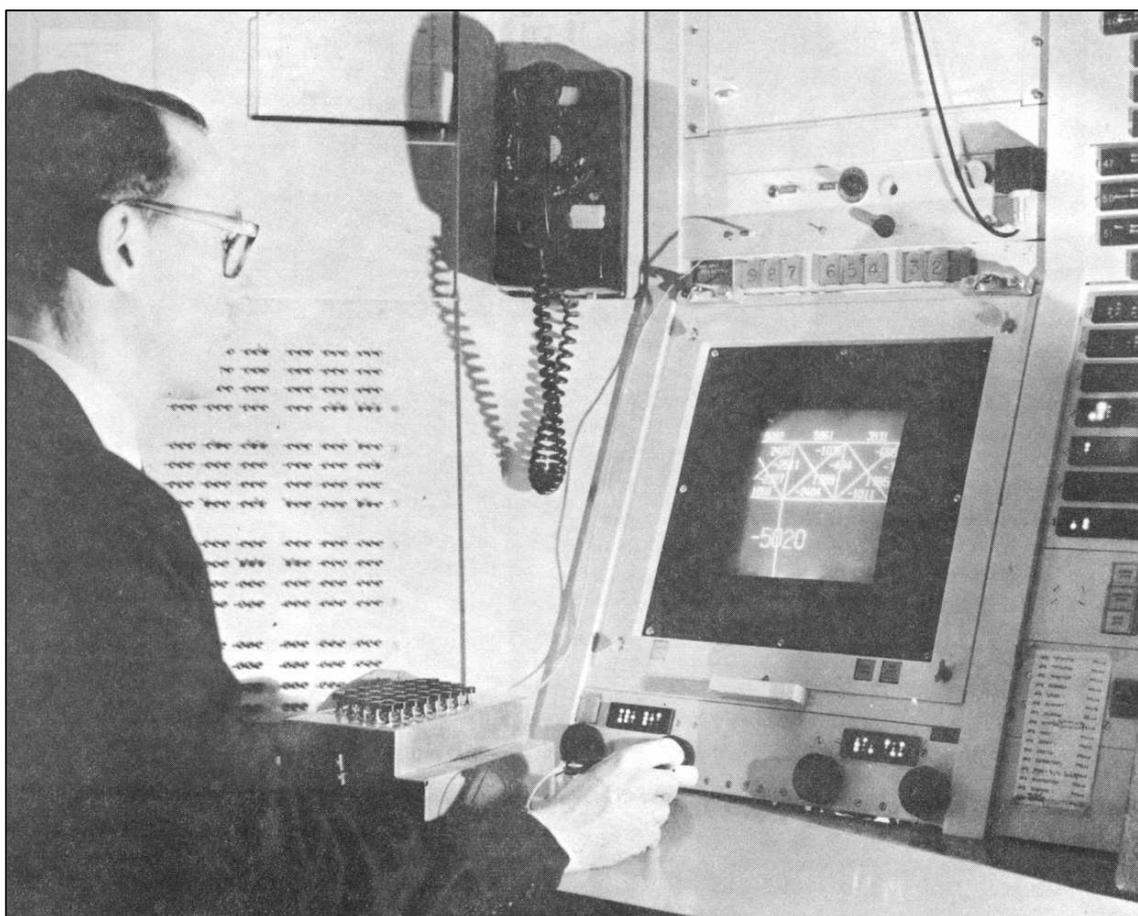
Disponível em <http://www.zaha-hadid.com/wp-content/files_mf/cache/th_65d1300db123ce22f6e2569fb36764f8_riversidemuseum00590.jpg>.

Acesso em 01/07/16.

O SKETCHPAD foi o primeiro sistema CAD (*Computer-Aided Design*) a ser desenvolvido. Este sistema foi criado por Ivan Sutherland em 1963 e já estabelecia a relação entre indivíduo e máquina. Neste processo, o arquiteto interage com um modelo inteligente vinculado a vistas e controladores (AISH, 2014, p. 643).

O primeiro sistema gráfico criado, o SKETCHPAD, foi desenvolvido para ser um aplicativo que pudesse resolver problemas geométricos. Esta ferramenta tinha a capacidade de produzir formas geométricas através da inserção de dados, por meio de uma tela e de uma caneta, ver Figura 1.4 (p. 12). O sistema ainda era capaz de resolver operações geométricas com restrições e criar padrões de ordenamento (SUTHERLAND, 2003, p. 31).

Figura 1.4 –SKETCHPAD em operação em 1963.



Fonte: Sutherland (2003, p. 20).

Os sistemas CAD, são constituídos pelo conjunto de *softwares* desenvolvidos com o objetivo de auxiliar o processo de projeção. Inicialmente, os computadores foram utilizados para na engenharia para analisar soluções estruturais (KALAY, 1999, p. 2).

A princípio estes sistemas foram desenvolvidos para auxiliar o arquiteto no processo de projeto. No entanto, os *softwares* CAD foram usados para substituir as ferramentas tradicionais de desenho (prancheta, esquadros, escalímetros, etc). Estas ferramentas alteraram o meio arquitetônico, que deixou de ser físico e passou a ser virtual (GARBER, 2014, p. 2449).

É importante para compreensão da definição de CAD (*Computer Aided Design – Projeto Assistido por Computador*), definir o acrônimo CAAD (*Computer Aided Architectural Design – Projeto Arquitetônico Assistido por Computador*). CAD está diretamente relacionado ao conjunto de *softwares* gráficos utilizados para a produção de desenho. Enquanto que CAAD foi cunhado para descrever uma área de conhecimento, que se refere tanto a como a computação interfere no pensamento arquitetônico, como em suas aplicações mais concretas como a fabricação digital (CELANI e VELOSO, 2015, p. 48).

Os programas de modelagem tridimensional e de renderização auxiliaram na representação e visualização dos projetos desenvolvidos. A evolução tecnológica de *hardware* e *software* possibilitou que os sistemas computacionais pudessem ser utilizados na resolução de problemas de projeto.

A presença destes *softwares* nos escritórios de arquitetura tem fomentado a discussão sobre o efeito que o uso destes sistemas exerceu (e exerce) sobre os processos de produção arquitetônica.

As ferramentas CAD (*Computer Aided Design – Projeto Assistido por Computador*) disponíveis atualmente são o resultado de cinco décadas de pesquisa e desenvolvimento. Os *softwares* para o projeto de arquitetura, evoluíram do gerenciamento de linhas bidimensionais para a representação de modelos virtuais tridimensionais complexos.

A produção arquitetônica das últimas décadas, é influenciada pela utilização das ferramentas computacionais pelos arquitetos. A arquitetura produzida neste período (principalmente a partir da segunda metade da década de noventa) passa a adotar uma linguagem formal mais complexa (Figura 1.5, p. 14). Estas edificações romperam com a rigidez geométrica da arquitetura produzida até então (OXMAN, 2006, p. 232).

Figura 1.5 – Experience Music Project, Seattle, US, 2004. Frank O Gehry.



Disponível em: < <http://images.boomsbeat.com/data/images/full/31836/4-jpg.jpg> > Acesso em 01/07/2016.

A presença destes *softwares* nos escritórios de arquitetura tem fomentado a discussão sobre o efeito que o uso destes sistemas exerceu (e exerce) sobre os processos de produção arquitetônica.

As ferramentas CAD (*Computer Aided Design – Projeto Assistido por Computador*) disponíveis atualmente são o resultado de cinco décadas de pesquisa e desenvolvimento. Os *softwares* para o projeto de arquitetura, evoluíram do gerenciamento de linhas bidimensionais para a representação de modelos virtuais tridimensionais complexos.

Os sistemas computacionais de projeto, permitem extrair dos modelos digitais, além das visualizações da edificação (perspectivas, plantas, cortes, etc), informações construtivas precisas. As plataformas gráficas, disponíveis, específicas para arquitetura tem possibilitado a utilização de modelos virtuais construtivos definidos e manipulados a partir de seus parâmetros (MARK, GROSS e GOLDSCHMIDT, 2008, p. 170).

A percepção de que os aplicativos CAD servem apenas para produzir a documentação arquitetônica é limitada e ultrapassada. O uso de algoritmos genéticos, da realidade aumentada, da realidade virtual entre outras técnicas tem modificado os processos de produção da arquitetura e do urbanismo (SZALAPAJ, 2005, p. 314).

Os Sistemas Generativos, em especial o Projeto Paramétrico, têm exercido papel central dentre as práticas arquitetônicas contemporâneas. Estes processos são baseados no uso das ferramentas computacionais.

Inicialmente o parametrismo, modificou os modos de produção das edificações. Atualmente o Projeto Paramétrico tem sido integrado ao projeto urbano, o que provoca modificações no processo de produção dos espaços públicos (SCHUMACHER, 2009, p. 18).

O Projeto Paramétrico pode ser definido como uma metodologia projetual em que os parâmetros de um objeto são declarados, e não sua forma. Através deste método é possível criar um número infinito de objetos similares a partir da alteração das variáveis do sistema. O Projeto Paramétrico é, uma estratégia generativa de projeto, pois produz soluções a partir de princípios geradores de soluções (KOLAREVIC, 2003, p. 17).

Os Sistemas Generativos de projeto são uma metodologia que permite ao arquiteto gerenciar grandes quantidades de informação e gerar soluções para problemas não plenamente definidos, visto que um mesmo projeto pode possuir inúmeras soluções (MARTINO e CELANI, 2013, p. 483). Neste processo, a geração de formas envolve a definição de um algoritmo capaz de descrever e produzir a geometria dos objetos.

As características inerentes aos Sistemas Generativos podem ser integradas ao processo de concepção projetual para produzir um conjunto amplo e diversificado de soluções para um problema proposto. Nesta abordagem o computador auxilia, não apenas na definição do problema, como subsidia o surgimento de novas soluções (NEGROPONTE, 1975, p. 109).

Neste contexto, a solução projetual é definida de forma indireta, ou seja, a solução encontrada é definida através dos parâmetros e das relações que definem o problema de projeto. Deste modo, o arquiteto (ou urbanista) não define a sua solução de projeto a partir das características do objeto projetado (FISCHER e HEER, 2001, p. 3).

O urbanista necessita de uma estratégia projetual que o auxilie na manipulação de uma grande quantidade de informações. A rapidez e flexibilidade dos processos Generativos permitem que, através de um conjunto inicial de informações sejam geradas um número diversificado de soluções.

As soluções geradas pelo Sistema Generativo podem ser manipuladas a partir do controle dos parâmetros e das restrições contidas no sistema e que atuam sobre o objeto gerado.

A implementação das tecnologias digitais é um novo paradigma teórico e prático para a arquitetura. O conjunto de técnicas e processos projetuais implementados por computador é denominado de Morfogêneses Digitais (*Digital Morphogenesis*). Estes métodos alteraram os meios de produção dos espaços, e, possibilitou que o arquiteto pudesse representar com mais clareza as suas soluções de projeto (KOLAREVIC, 2001, p. 117).

A Fabricação Digital constitui-se em um conjunto de processos de produção em que os objetos são produzidos a partir de informações computacionais ou de um modelo digital. Estes procedimentos garantem a precisão das peças produzidas e a produção de peças individualizadas. O uso da fabricação digital também tem alterado o modo como os espaços arquitetônicos têm sido produzidos.

O uso das ferramentas computacionais nos processos de Desenho Urbano deve ser estendido com o objetivo de auxiliar e promover novo conjunto de práticas de Desenho Urbano. Metodologias e processos, em que seja possível incorporar parâmetros de sustentabilidade no processo projetual dos espaços urbanos.

A princípio os computadores substituíram as ferramentas tradicionais de desenho (o papel e o esquadro) e reduziram o tempo de produção das representações gráficas arquitetônicas. No final da década de 1980 começaram a ser disponibilizados nos sistemas CAD, recursos de modelagem sólida tridimensional. Estes aplicativos faziam uso de operações booleanas de adição, subtração e interseção.

No início da década de 1990 os *softwares* CAD passaram a permitir a produção de superfícies irregulares. Isto foi possível graças ao desenvolvimento da geometria topológica nas ferramentas computacionais (ROCHA, 2009, p. 24).

O estágio tecnológico que estas ferramentas alcançaram atualmente permitiu que elas pudessem ser adotadas com mais frequência no processo de concepção arquitetônica e não apenas para sua representação e documentação (SZALAPAJ, 2005).

Além de servir para a representação gráfica bidimensional e tridimensional os sistemas CAD também permitiram que o arquiteto pudesse simular situações de projeto.

Os *softwares* de simulação possibilitam que o arquiteto possa simular suas soluções projetuais antes da construção. Isto permitiu que ao profissional avalie e analise sua arquitetura ainda na fase de projeto. Deste modo é possível antecipar e propor novas soluções para atender a necessidades técnicas e construtivos. Estas ferramentas permitem ainda que o projeto seja gerado a partir de condicionantes de desempenho (KOLAREVIC, 2003, p. 24).

Em um processo generativo de desenho o arquiteto identifica, a partir das propriedades formais do objeto, as funções de cada elemento compositivo da edificação. Esta análise é realizada a partir da interpretação funcional do objeto e dos parâmetros que o compõem. O modelo produzido é comparado com as

condicionantes funcionais estabelecidas pelo programa funcional (MITCHELL, 2008, p. 221).

Nos Sistemas Generativos, a arquitetura é definida de maneira indireta, pois, que as condicionantes de projeto podem ser representadas através de um conjunto de procedimentos (algoritmos) capazes de revelar as relações espaciais e formais que resultarão na solução projetual da arquitetura (BURRY e BURRY, 2012, p. 55).

Na Ciência da Computação os algoritmos são utilizados como uma estratégia para a resolução de problemas e para execução de tarefas repetitivas. O uso dos algoritmos na Arquitetura e no Urbanismo permite ainda que o arquiteto simule fenômenos complexos e produza rapidamente conjuntos de soluções formais (TERZIDIS, 2003, p. 68).

A atividade de projeto envolve a resolução de problemas que requerem o processamento de um amplo volume de informações e dados. Estas informações são extraídas a partir de: modelagem, simulação, condicionantes de desempenho e análise dos objetos. Este processo exige a articulação das relações entre os componentes, e destas partes individuais com o todo. Esta articulação cria uma estrutura que permite a flexibilidade no processo projetual (VELASCO e DÍAZ, 2013, p. 118).

O Projeto Algorítmico proporciona flexibilidade ao processo projetual porque permite a produção de novas soluções em qualquer momento do processo. Ou seja, o arquiteto pode produzir um novo conjunto de resultados a partir da inserção, remoção ou alteração dos parâmetros adotados.

Estas características podem representar uma grande contribuição para o Desenho Urbano. Uma vez que permite a produção de soluções a partir de parâmetros, restrições e especificações de projeto.

A partir da análise das teorias contemporâneas de Desenho Urbano é possível identificar um conjunto de características que devem estar presentes nos projetos e nos espaços construídos.

É importante perceber que existe um consenso entre as teorias urbanas contemporâneas acerca de que características e iniciativas devem ser adotadas com o intuito de se proporcionar a qualidade nos espaços construídos.

De acordo com Pessoa (2016) o Desenho Urbano deve promover espaços que contemplem os seguintes parâmetros: a densidade (urbana e territorial); diversidade de usos e funções; a diversidade social; deve priorizar o deslocamento do pedestre sobre o deslocamento do automóvel.

Estes parâmetros estão presentes nas definições estabelecidas pela Cidade Compacta (FREY, 1999; SAATY, 2013; GEHL, 2010) e pelo Novo Urbanismo (CARMONA, TIESDELL, *et al.*, 2010; FARR, 2013). De modo que a grande dificuldade para o Desenho Urbano é como inserir estes parâmetros na concepção e produção dos espaços urbanos.

Neste contexto é que entendemos que o Projeto Paramétrico baseado em desempenho pode contribuir para a produção de soluções urbanas que atendam as demandas por qualidade e sustentabilidade. Através da capacidade que estes métodos possuem em gerar soluções a partir de parâmetros de desempenho.

Diante da problemática apresentada estabelecemos os seguintes questionamentos:

- a. *Como o Projeto Paramétrico pode ser utilizado para o processo de Desenho Urbano de cidades sustentáveis?*
- b. *Como o uso de uma abordagem generativa de projeto pode contribuir para inserção de sistemas computacionais no processo de projeção de espaços urbanos?*

Buscamos, portanto, elaborar uma estratégia de Desenho Urbano capaz de integrar ferramentas computacionais no processo de concepção dos espaços Urbanos. Deste modo, pretendemos apresentar um processo de trabalho que permita que urbanistas possam fazer uso de métodos computacionais de projeto. Ao mesmo tempo em que se possa-garantir a produção de soluções urbanas que atendam a parâmetros de sustentabilidade.

Neste trabalho, os parâmetros de desempenho adotados para a produção de soluções de cidades sustentáveis foram extraídos das premissas da Cidade Compacta e do Novo Urbanismo. Esta escolha se deu por entendermos que dentre as recentes teorias urbanas contemporâneas estas duas reúnem características capazes de promover a boa qualidade dos espaços.

Para a produção de soluções de Cidades Sustentáveis desenvolvemos um Algoritmo Generativo a partir de parâmetros de Desempenho extraídos. Estes parâmetros foram estabelecidos a partir dos conceitos de Cidade Compacta e de Novo Urbanismo.

O Algoritmo Generativo proposto serviu como base para a produção de um aplicativo em *Java* que permite a produção de soluções de Desenho Urbano a partir das condicionantes de Desempenho estabelecidas no algoritmo (ou no Sistema Generativo).

Os parâmetros definidos também foram estabelecidos com o objetivo de servir de referência para a produção de novos aplicativos e ou novos Algoritmos Generativos. Deste modo, diferentes usuários podem adaptar a estrutura algorítmica, aqui proposta para suas necessidades de projeto. O objetivo é que múltiplos usuários possam contribuir para melhorar e ampliar o algoritmo aqui definido. De modo que o Sistema Generativo e as possíveis soluções produzidas possam ser ampliados e melhorados de forma colaborativa.

III.HIPÓTESE

A necessidade de garantir a qualidade dos espaços urbanos contemporâneos é a principal dificuldade do Desenho Urbano. A utilização do Projeto Paramétrico permite a inserção de parâmetros de desempenho nas etapas de concepção do Desenho Urbano. A capacidade dos processos paramétricos de projeto de produzir soluções projetuais a partir da definição de parâmetros e condicionantes de Desempenho, é que proporciona a produção de soluções urbanas sustentáveis.

IV.OBJETIVOS

A. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta tese é a proposição de um algoritmo generativo para a produção de soluções urbanas. O algoritmo estabelecido foi baseado em parâmetros e condicionantes de Desempenho, com o objetivo de garantir a qualidade das propostas geradas. O algoritmo foi formulado com intuito de servir como base para a produção de um protótipo de *software* de Desenho Urbano, que permite a produção de soluções urbanas de quarteirões urbanos sustentáveis;

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A partir desse objetivo geral, temos os seguintes objetivos específicos:

- a. Identificar parâmetros de desempenho urbano;
- b. Propor um algoritmo generativo que contemple os parâmetros urbanos identificados;
- c. Propor um procedimento de aplicação de um Sistema Generativo baseado em parâmetros de Desempenho como estratégia de suporte ao processo de Desenho Urbano;
- d. Garantir a inserção de parâmetros de Desempenho urbano dentro do processo de Desenho Urbano;
- e. Discutir a eficiência das ferramentas computacionais como método de suporte ao processo de Desenho Urbano.

V. ESTRUTURA DA TESE

A tese está dividida em sete capítulos, cada uma destas sessões aborda os temas discutidos nesta tese do seguinte modo:

- No **capítulo 1**, são apresentadas as origens dos *softwares* CAD e do CAD (*Computer Aided Design* – Projeto Assistido por Computador) como campo de conhecimento na Arquitetura e no Urbanismo. Esta seção ainda apresenta as implicações provocadas pelo uso destas ferramentas nos processos de produção da Arquitetura e do Urbanismo.
- O **capítulo 2** expõe as principais abordagens projetuais computacionais e seus rebatimentos na arquitetura e no urbanismo. Neste capítulo apresentamos a definição de Sistemas Generativos de projeto com enfoque no Projeto Paramétrico e na Arquitetura Algorítmica. Além de apresentarmos suas definições ainda discorreremos sobre como estes métodos podem ser inseridos dentro do projeto arquitetônico e do urbanismo.
- O **capítulo 3** é apresentado o processo de produção das cidades sob a sua perspectiva histórica. São identificados os aspectos que fomentaram a emergência do Urbanismo e do Desenho Urbano como atividades de planejamento e concepção de novos sítios urbanos. Essa discussão se dá ante a necessidade de compreensão dos processos que determinam a produção espacial das cidades.
- No **Capítulo 4** são identificados os parâmetros urbanos de desempenho, a partir da análise dos elementos morfológicos que compõe a cidade. Estes parâmetros são definidos também através da verificação dos princípios urbanos contidos na Cidade Compacta e no Novo Urbanismo.
- No **Capítulo 5** apresentamos os procedimentos metodológicos aplicados neste trabalho. Aqui são descritas as etapas seguidas para a formulação dos algoritmos propostos. Explicitamos ainda o processo

INTRODUÇÃO

utilizado para a produção do *software* desenvolvido para a aplicação do algoritmo de produção de quarteirão.

- No **capítulo 6** são apresentados os resultados produzidos pelo *software* desenvolvido e fazemos uma análise dos resultados alcançados. Para isto definimos dois cenários de estudo em que são produzidas vinte soluções de quarteirão (dez para cada cenário).
- No **capítulo 7** são identificadas as conclusões alcançadas a partir da aplicação dos procedimentos estabelecidos neste trabalho, além de apontarmos encaminhamentos e contribuições futuras relativas ao uso dos algoritmos como procedimento de Desenho Urbano.

PARTE I: REFERENCIAL TEÓRICO

Capítulo 1

1 SISTEMAS CAD UMA ANÁLISE HISTÓRICA DE SUA EVOLUÇÃO E APLICAÇÃO NA ARQUITETURA E URBANISMO

Neste capítulo apresentamos um panorama histórico da evolução tecnológica do CAD (*Computer-Aided Design* – Projeto Assistido por Computador). Esta análise nos permitiu identificar os avanços tecnológicos de *hardware* e *software* que resultaram na difusão do uso destes sistemas pelos profissionais de arquitetura (CELANI, 2002; MITCHEL, 1991; EASTMAN, 1989). O CAD se estabeleceu como uma nova área de conhecimento baseada no desenvolvimento destas ferramentas e de sua aplicação em arquitetura e urbanismo (ASANOWICZ, 1999; CELANI e VELOSO, 2015; LEE, 1999). Nesta seção, identificamos que durante as décadas de 1960, 1970 e 1980 os *softwares* CAD foram utilizados, essencialmente, nos processos de representação e a documentação arquitetônica (CELANI, 2002; MITCHELL, 2006; KALAY, 1999). As primeiras ferramentas CAD que se popularizaram entre os arquitetos eram utilizadas para emular os processos tradicionais de produção do projeto arquitetônico (CECCATO, 1999; FRAZER, 1995; HORVÁTH, 1998; MARK, GROSS e GOLDSCHMIDT, 2008). Os avanços tecnológicos, de *hardware* e *software*, ocorridos nas décadas de 1990 e de 2010, proporcionou a difusão de métodos Generativos de projeto e de técnicas de modelagem paramétrica (GROSS, 1990; MITCHELL, 1989; MACFARLANE, 2003; ISHLL e PACHECO, 2014). Estes processos ao se difundirem entre arquitetos e urbanistas tem influenciado como a arquitetura e do urbanismo são produzidos (BURRY, 2011; AISH, 2014; CELANI e VELOSO, 2015).

1.1 A evolução dos sistemas CAD um breve histórico

O CAD (*Computer Aided Design*) pode ser definido como uma tecnologia baseada no uso de ferramentas de *hardware* e *software* computacional utilizada para auxiliar na solução de problemas de projeto, modelagem, análise, representação e comunicação através do uso do computador (HORVÁTH, 1998, p. 1).

Os primeiros sistemas CAD foram desenvolvidos na década de 1960 para serem implementados em grandes *mainframes*¹. Estes equipamentos eram utilizados processamento de dados. A princípio, os computadores possuíam um custo elevado, o que manteve seu uso restrito a grandes companhias, a órgãos governamentais e a algumas universidades e centros de pesquisa.

Os primeiros *softwares* CAD (*Computer Aided Design* – Projeto assistido por computador) foram desenvolvidos com a crença nas possibilidades de automatizar o processo de projeto através do uso da tecnologia computacional. No entanto, esta abordagem ficou relegada a um plano secundário durante as décadas de 1970, 1980 e 1990.

Com o desenvolvimento dos sistemas CAD (*Computer Aided Design*), inúmeros pesquisadores desenvolvem trabalhos acadêmicos que discutem a aplicação destas ferramentas no âmbito teórico prático da arquitetura (KOUTAMANI, 2005, p. 631).

Os sistemas desenvolvidos comercialmente tinham um enfoque na transferência dos modos tradicionais de produção arquitetônica para o computador. Em paralelo, grupos acadêmicos em universidades buscavam desenvolver *softwares* capazes de desempenhar atividades projetuais (LEE, 1999, p. 11).

¹Um *Mainframe* corresponde a um computador de grande porte, constituídos por sistemas computacionais integrados (MITCHELL e MCCULLOUGH, 1994, p. 157).

Este cenário resultará no surgimento de um grande número de aplicativos CAD com enfoque na representação gráfica arquitetônica (produção de desenhos técnicos como plantas baixas e cortes).

Além de se estabelecer a partir de um conjunto de tecnologias computacionais o CAD se define ainda como uma nova área do conhecimento na arquitetura e urbanismo. Este novo campo teórico tem como objetivo de compreender como as ferramentas CAD, implementadas através do computador, influenciam a atividade de projeto.

As ferramentas computacionais só vão se estabelecer nos escritórios de arquitetura durante a década de 1980 e 1990. A redução nos custos de aquisição dos sistemas computacionais permitiu a difusão destas ferramentas dentro dos escritórios de arquitetura.

Na década de 1990, William Mitchell, propõe cinco estágios evolutivos das ferramentas CAD (*Computer Aided Design*). Em 2000, Celani acresce mais três gerações. De modo que ambos definem um total de oito gerações de sistemas computacionais. Estas etapas evolutivas descrevem os avanços tecnológicos e as aplicações pelas quais passaram estas ferramentas nas últimas seis décadas.

Nesta tese propomos mais uma nona geração de sistemas computacionais e seus usos. Esta geração corresponde a difusão dos sistemas de modelagem paramétrica e no uso de linguagens de programação para a proposição de soluções arquitetônicas.

A categorização que proposta neste trabalho objetiva pontuar as abordagens teórico-práticas recentes na utilização dos sistemas CAD. Estas ferramentas, na primeira década do século XXI, tem tido o seu enfoque na utilização dos métodos Generativos de projeto baseados em parâmetros de Desempenho.

As etapas evolutivas descritas por Mitchell e Celani, assim como a geração definida nesta tese, são demonstradas na Tabela 1.1(p. 28).

Tabela 1.1- Resumo da evolução dos sistemas CAD.

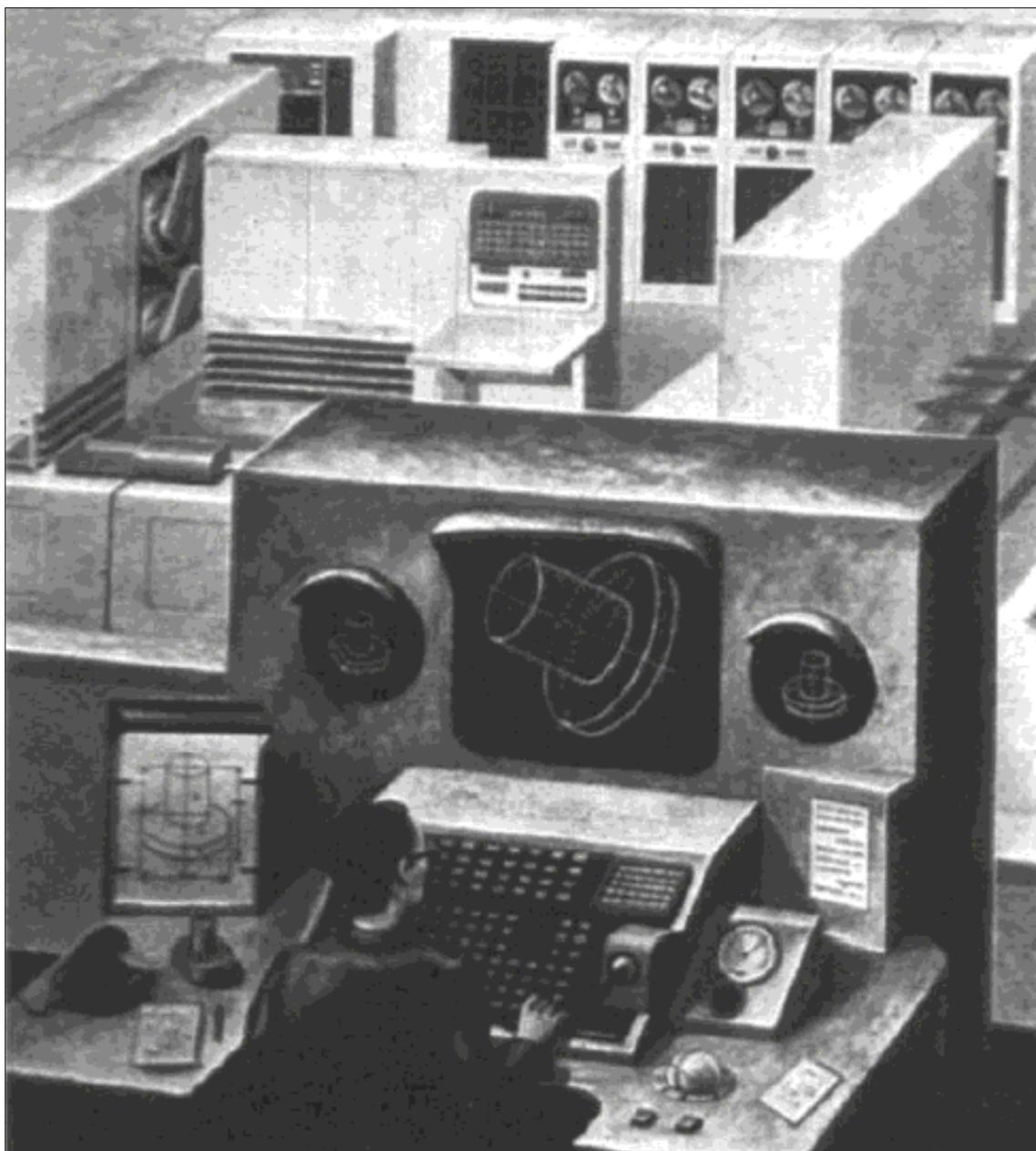
		Linha do tempo					
		1960	1970	1980	1990	2000	2010
		Geração 1	Geração 2	Geração 3	Geração 6	Geração 8	Geração 9
CAD SOFTWARE	63: Sketchpad CAD para a indústria automotiva e aeroespacial	Sistemas CAD direcionados para o planejamento e a otimização espacial.	Os "mini" computadores de 32-bits	Desenvolvimento de técnicas de modelagem, renderização, animação, aplicações específicas	Sistemas CAD baseados(ou abrigados) na internet, novas interfaces	Sistemas paramétricos. Sistemas BIM e os métodos de projeto baseados em scripts	
				Geração 4	Geração 7		
			Desenvolvimento de sistemas CAD mais simples para os Computadores pessoais de 16-Bits	"do-it-your-self" CAD			
			Geração 5	Surgimento das estações de trabalho.			

Fonte: Adaptado pelo autor, a partir de Celani (2002, p. 33).

Na metade da década de 1940 cientistas e engenheiros começaram a especular que, as tecnologias eletrônicas desenvolvidas durante a segunda guerra mundial iriam alterar o caráter do trabalho intelectual desenvolvido até então. Na década de 1950, os computadores começaram a se tornar uma realidade comercial, embora ainda fossem restritos a grandes companhias e a centros de pesquisa.

Em 1956 a revista *Fortune* publicou uma ilustração especulativa ilustrava uma estação completa de trabalho CAD (*Computer Aided Design*). Embora em um estágio inicial a imagem antecipa a lógica de interação entre o ser humano e a máquina. Em que, por meio de um teclado o usuário seria capaz de inserir dados no computador. Estes dados seriam exibidos graficamente em um monitor, que representaria o objeto através de diferentes janelas de visualização (MITCHEL, 1991, p. 479).

Figura 1.1 – Concepção artística de uma estação de trabalho CAD, publicada na revista *Fortune*, em 1956



Fonte: MITCHEL (1991, p. 480).

As décadas de 1940 e 1950 foram importantes, por haverem presenciado a origem do CAD (*Computer Aided Design*) e pelas experiências teóricas e práticas que irão propiciar os avanços nas décadas seguintes. No entanto, apenas na década de 1960 que a primeira geração de ferramentas irá se consolidar (CELANI, 2002, p. 33-34).

Os primeiros métodos e técnicas postos em prática durante o início da década de 1960 incluíam a manipulação de figuras geométricas primitivas bidimensionais e a produção de novas entidades gráficas. Os trabalhos desenvolvidos por Bezier e De Casteljaou são deste período. Estes experimentos foram estendidos para representações tridimensionais em *wireframe* (visualização de um objeto tridimensional através de sua estrutura de arames) (MONEDERO, 2000, p. 369).

Em 1963, Ivan Sutherland desenvolve o primeiro sistema CAD, o SKETCHPAD (ver Figura 1.4, p.12). Este sistema permitia a interação entre o monitor e as capacidades computacionais da máquina. Ao mesmo tempo que possibilitava ao usuário interagir com o sistema através de uma caneta (*light pen*). Este dispositivo permitia a inserção de dados diretamente na tela do monitor. Esse aplicativo foi desenvolvido para o projeto de peças mecânicas (CARLSON, 2003).

Na Figura 1.2 podemos ver o SKETCHPAD em operação. Com a *light pen* e uma caixa de comandos (sobre a mão esquerda) o usuário inseria os dados no sistema. Os quatro botões escuros abaixo do monitor servem para posicionar e redimensionar os objetos na tela.

Figura 1.2 - Sketchpad sendo operado em 1962.



Fonte: MÜLLER-PROVE (2002, p. 55).

O sistema proposto por Sutherland, em 1963, já permitia o uso do computador como ferramenta de auxílio ao projeto. O SKETCHPAD era capaz de produzir soluções para problemas gráficos. No entanto este tipo de uso do CAD não se difundiu nas gerações seguintes. Os sistemas desenvolvidos, a partir da década seguinte passaram a ter enfoque na documentação arquitetônica (COONS, 1975, p. 53).

Os primeiros sistemas CAD desenvolvidos para a aplicação comercial foram produzidos para a indústria automotiva e aeroespacial. O surgimento dos *mainframes* comerciais, algumas aplicações CAD foram adaptadas para a aplicação na arquitetura. Apesar destas adaptações, poucos escritórios de arquitetura tinham a possibilidade financeira e técnica de adquirir esses equipamentos.

Neste período, as ferramentas CAD, tiveram pouca influência nas práticas profissionais dos escritórios de arquitetura. Durante a década de 1960 os *softwares* disponíveis eram operados por profissionais da área de computação. De modo que, os arquitetos do período, não fizeram uso destes sistemas uma vez que, não possuíam o conhecimento para operar estes programas diretamente (CELANI, 2002, p. 34).

A segunda geração de sistemas CAD se estabelece no início da década de 1970. Os aplicativos desenvolvidos no período foram criados para os minicomputadores de 16-bits, como o DEC PDP-11.

O DEC PDP-11, ilustrado na Figura 1.3 (p.32), corresponde a uma série de minicomputadores desenvolvidos pela *Digital Equipment Corporation* durante as décadas de 1970 e 1990. Estes equipamentos foram pioneiros na interconexão de todos os elementos de um sistema computacional (processador, memória RAM e periféricos) Unix (PDP-11, 2015).

Figura 1.3 – DEC PDP-11/40, minicomputador de 16-bits.



Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/PDP-11#/media/File:Pdp-11-40.jpg>> Acesso em jun. 2015.

Estes computadores eram mais compactos, robustos e possuíam uma melhor relação custo benefício que os equipamentos existentes até então. Estas máquinas vão viabilizar a consolidação de uma indústria CAD, já que elas são mais acessíveis do que os primeiros computadores da primeira geração (MITCHEL, 1991, p. 481).

Ao se tornarem menores, mais eficientes e mais baratos os microcomputadores da década de 1970 vão fomentar o surgimento de um grande número de aplicativos computacionais. Estas ferramentas CAD vão alcançar uma abrangência maior de usuários do que os *softwares* desenvolvidos na década de 1960.

Alguns aplicativos desenvolvidos nesta época se destacam por terem sido pioneiros, como o *SynthaVision* e GLIDE. O *SynthaVision*, lançado em 1972 pela empresa MAGI, é considerado o primeiro modelador de sólidos.

No mesmo ano, Charles Eastman, Max Henrion e o *General Space Planer* (GSP) desenvolvem o GLIDE, um sistema capaz de solucionar problemas de planejamento espacial (CARLSON, 2003). Esta ferramenta é pioneira por permitir a produção de formas em um computador a partir de expressões matemáticas.

Outra ferramenta CAD que foi importante foi o ADAM (*Automated Drafting and Machine* – Máquina automática de desenho). Este sistema foi desenvolvido para eliminar o trabalho de desenho manual ao automatizar a produção da documentação (plantas baixas, vistas e elevações, etc.) (CELANI, 2002, p. 34).

Apesar de alguns *softwares* CAD desenvolvidos neste período apresentarem um relativo sucesso comercial, estas ferramentas tiveram um baixo impacto nos processos de produção da arquitetura.

Isto ocorreu por duas razões: a primeira foi o fato de que estes aplicativos não terem sido desenvolvidos para a arquitetura. A segunda razão era que a operação destes sistemas ainda demandava um conhecimento específico em Ciência da Computação (MITCHEL, 1991, p. 481).

Outra dificuldade na implementação dos primeiros sistemas CAD nos escritórios de arquitetura era a ausência de uma interface gráfica amigável. A impossibilidade de se expressar visualmente dificultou a implementação destas ferramentas nos escritórios de arquitetura (ASANOWICZ, 1999, p. 97).

Celani (2002, p. 34) afirma que, além das limitações impostas pelo elevado custo destes sistemas, havia uma resistência por parte dos arquitetos ante ao uso do CAD no processo projetual, já que para alguns, estas ferramentas desumanizariam a arquitetura.

Durante os anos de 1980 houve o desenvolvimento de três gerações de sistemas CAD. Os avanços tecnológicos alcançados tanto em *hardware* quanto em *software* irão permitir que estas ferramentas pudessem se difundir entre os profissionais de arquitetura.

A geração de *softwares* que surgem durante a década de 1980 vão consolidar a presença dos sistemas CAD nos escritórios de arquitetura. A plataforma UNIX vai proporcionar uma evolução nos aplicativos computacionais que irão auxiliar na popularização dos computadores.

O UNIX trata-se de um sistema operacional desenvolvido por Ken Thompson, Dennis Ritchie e outros desenvolvedores. Esse sistema é considerado o “pai” dos sistemas operacionais (S.O.). O UNIX foi o primeiro sistema a introduzir conceitos como suporte a multiusuários, multitarefas e portabilidade (CIRIACO, 2011).

Outra importante contribuição do UNIX foi o fato deste sistema permitir a operações tanto por linhas de comando como através de uma interface gráfica. Inicialmente foi distribuído sob licença livre em universidades e órgãos governamentais nos Estados Unidos o que impulsionou o seu desenvolvimento e a sua popularização entre desenvolvedores (UNIX, 2015).

O uso do UNIX possibilitou a produção de *softwares* que fossem mais adequados as necessidades dos arquitetos, que puderam enfim contar com um CAD de fácil operação. A interface gráfica tornou esses programas mais acessíveis ao projetista que podia agora interagir com o sistema graficamente.

Os sistemas CAD desenvolvidos nos anos de 1980 se tornaram viáveis economicamente para o consumidor de médio e pequeno porte. Os computadores, neste período, se tornaram mais baratos e os *softwares* mais amigáveis para o usuário. Estes aspectos permitiram que os sistemas CAD fossem utilizados de uma forma mais ampla do que vinham sendo até então (ISHLL e PACHECO, 2014).

Os anos de 1980 também foram importantes pela consolidação do CAAD (*Computer-Aided Architectural Design*- Projeto Arquitetônico Assistido por Computador) como um campo de conhecimento.

A consolidação dessa área de estudo se deu, através da convergência de diferentes abordagens técnicas. Os programas CAD, na década de 1980, constituíram uma estrutura teórica capaz de cobrir os diferentes aspectos e etapas do processo de produção arquitetônico (KOUTAMANI, 2005, p. 632).

A terceira geração de sistemas CAD surge com o desenvolvimento dos super minicomputadores de 32-bits, mais precisamente a série o VAX-11 (Figura 1.4, p.25) da DEC (*Digital Equipment Corp*). Esses computadores além de serem mais robustos do que os sistemas de 16-bits apresentavam mudanças significativas na resolução das imagens produzidas. Essa evolução permitiu um incremento no uso interativo dos sistemas CAD pelos profissionais de arquitetura (MITCHELL, 1984, p. 11).

Figura 1.4 - Super minicomputador de 32-bits VAX-785.



Disponível em: <<http://www.compaq.com/alphaserver/vax/timeline/1984.html>> Acesso em jul. 2015.

A quarta geração CAD se caracterizou pela simplificação destes *softwares* para possibilitar que pudessem ser utilizados em PC's (*Personal Computers* – computadores pessoais).

A popularização dos computadores e dos sistemas CAD nos escritórios de arquitetura, fez surgir a expectativa em relação às contribuições que estas ferramentas teriam nos processos de produção arquitetônica (CELANI, 2002, p. 35).

No entanto, a expectativa gerada em torno do CAD, pelos avanços técnicos alcançados pela quarta geração, não se concretizaram, conforme observa Mitchell:

“O efeito negativo da quarta geração CAD foi estabelecer uma concepção simplista e banal das funções e do modo de interação do CAD na mentalidade de muitos arquitetos. Os sistemas CAD, agora, são vistos pela maioria dos profissionais e professores de arquitetura, como um equivalente gráfico dos processadores de texto - dispositivos muito simples para a inserção de dados, edição e produção de documentos gráficos (ao invés de textos). As bases teóricas destes sistemas (que haviam sido estabelecidas um quarto de século antes e que contém muito desta problemática) permanece inexplorada e a grande variedade de possibilidades de uso amplamente ignorada.”

Os sistemas CAD, que se difundiram nos escritórios de arquitetura durante a década de 1980 se estabeleceram como ferramentas de produção de desenhos para a representação e documentação (produção de desenhos técnicos como plantas baixas e elevações) arquitetônica (KALISPERIS e GRONINGER, 1992, p. 27).

Durante a década de 1980 houveram tentativas de se produzir pacotes de aplicações que pudessem auxiliar o processo projetual a partir da automação de etapas do projeto sem que houvesse a necessidade de especialistas em computação. No entanto, estas iniciativas não obtiveram sucesso comercial, já que, estas ferramentas ainda eram de difícil utilização para aqueles que não possuíam conhecimento computacional (KALAY, 1999, p. 15).

As aplicações que integravam ferramentas CAD no processo de projeto ficaram restritas ao meio acadêmico. Os pesquisadores procuravam desenvolver métodos e processos em que o computador pudesse auxiliar a concepção projetual (LEE, 1999, p. 13).

A quinta é a última geração de sistemas CAD a surgir na década de 1980. Esta geração se caracteriza pelo surgimento de um novo tipo de computadores, *The Graphic Workstation* (a estação gráfica de trabalho). Estas máquinas eram desenvolvidas simultaneamente tanto pelo fabricante de *hardware*, como pelo desenvolvedor do *software*. Estes equipamentos prometiam um maior desempenho com um menor custo, além de viabilizar o trabalho em redes locais de computadores (MITCHEL, 1991, p. 483).

A sexta geração, que surge na década de 1990, vai se caracterizar pela consolidação dos sistemas CAD dentro dos escritórios de arquitetura. Esta geração foi responsável por se inserir nos processos de trabalho e estabelece o CAD como formato padrão de representação arquitetônica (CELANI, 2002, p. 35).

A indústria de programas CAD se consolida ainda mais, com a melhoria das ferramentas gráficas com ênfase na otimização dos processos de documentação e representação arquitetônica, tais como o *AutoCAD*. Outra evolução apresentada por estas aplicações foi o incremento das ferramentas de modelagem tridimensional (a citar o *Rhinoceros*, *3DS Max*, etc), que passaram a ser amplamente adotadas dentro repertório prático dos arquitetos (LEE, 1999, p. 13).

A interface gráfica dos sistemas CAD facilitou a operação destas ferramentas pelos arquitetos. O usuário não necessitava possuir um conhecimento amplo de computação (MCCULLOUGH, 2006, p. 17).

Os modeladores tridimensionais surgem com os sistemas CAD já na primeira geração. No entanto apenas na década de 1990 é que estas ferramentas vão se popularizar entre os arquitetos. A incorporação dos modeladores de sólidos nos processos de produção arquitetônica foi difícil pelo fato destes aplicativos serem de difícil utilização e demandarem computadores com elevada capacidade de processamento (EASTMAN, 1989, p. 10).

A melhoria na capacidade de processamento dos computadores em conjunto com a redução dos custos permitiu que, os *softwares* e as técnicas de modelagem tridimensional se tornassem presentes nos escritórios de arquitetura.

Os anos de 1990 presenciaram ainda o surgimento de pacotes gráficos CAD voltados para usuários que não eram arquitetos, estes aplicativos correspondem a sétima geração. Estas soluções gráficas foram desenvolvidas principalmente no mercado norte americano. Estas ferramentas permitiam que o usuário pudesse projetar sua habitação a partir de componentes pré-fabricados. Estes *softwares* eram capazes de produzir a documentação arquitetônica (plantas baixas, cortes, fachadas, etc.) necessária para a execução da obra (CELANI, 2002, p. 36).

Os sistemas CAD da sétima geração não tiveram um reflexo amplo nas práticas projetuais arquitetônicas, uma vez que estes aplicativos foram desenvolvidos para o contexto dos Estados Unidos.

Na década de 1990, além do uso das ferramentas CAD nos processos de representação, é possível identificar aplicações desenvolvidas para análise, validação e comunicação. Estes processos eram possíveis graças as técnicas de simulação computacional que permitia a reprodução de fenômenos reais em ambientes virtuais gerados no computador (KALAY, 1999, p. 14).

Nos anos de 1990, iremos presenciar a retomada de conceitos que foram estabelecidos no início do desenvolvimento dos sistemas CAD, e que foram abandonadas ao longo dos anos. Neste período, é possível identificar o desenvolvimento de ferramentas que permitem automatizar a produção de soluções arquitetônicas.

Estes sistemas em conjunto com outras técnicas irão embasar as práticas de projeto digital que se estabelecerão a partir do final da década de 1990 e irão se consolidar ao longo da primeira década do século XXI.

Os projetos desenvolvidos, a produção literária do período, as conferências, as competições, as exposições, e a produção arquitetônica da época servirão de catalisador para o surgimento de um discurso teórico acerca do projeto digital. A consolidação destas práticas e métodos digitais refletem a importância que estas ferramentas obtiveram na década de 1990 (OXMAN, 2006, p. 236).

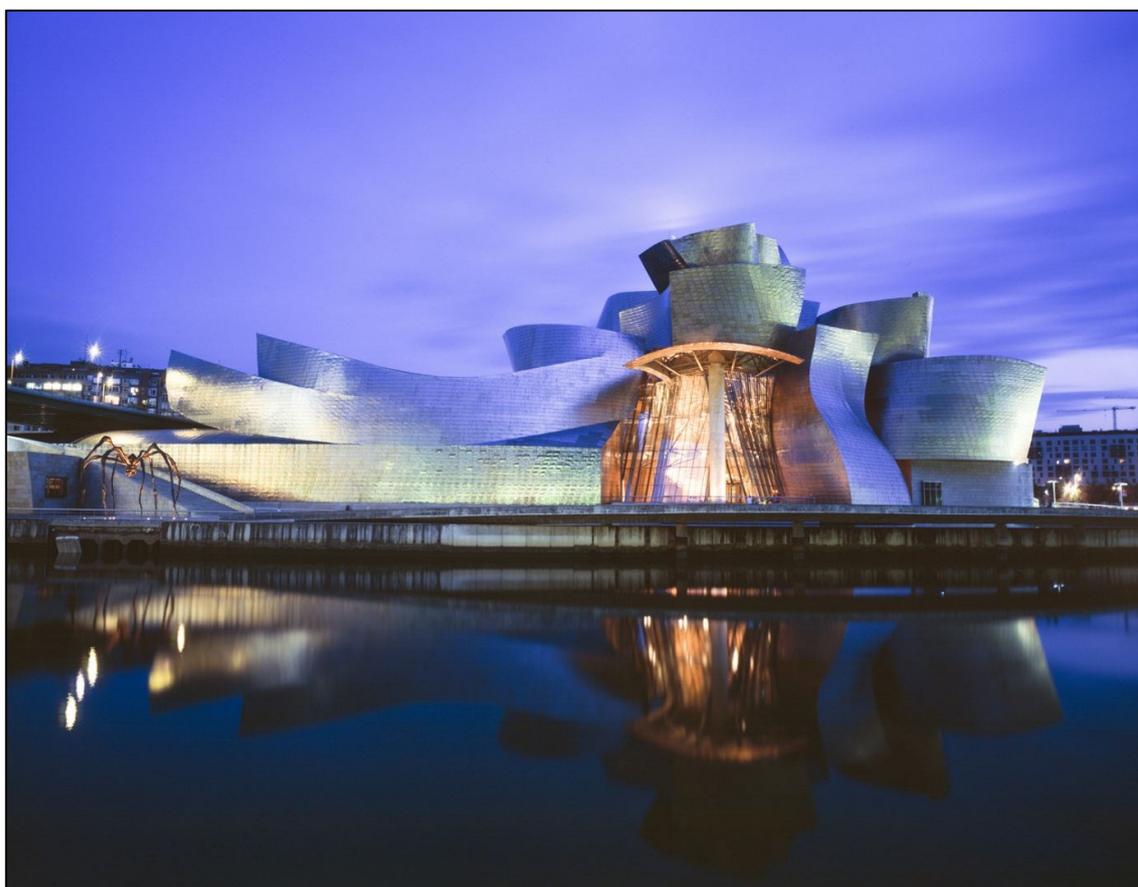
As representações geradas por estes *softwares* evoluíram do gerenciamento de pontos, linhas e planos para representações paramétricas. Os modelos virtuais passam a ser definidos pelos seus parâmetros e pelas restrições que afetam estas variáveis (MARK, GROSS e GOLDSCHMIDT, 2008, p. 170).

Duas edificações deste período se tornaram representativas do modo como as ferramentas CAD passariam a ser aplicadas na arquitetura. Estas edificações se tornaram símbolos das implicações que o uso dos sistemas computacionais tem sobre a arquitetura. Os processos utilizados na construção destes edifícios irão resultar ainda na definição de práticas e processos de inserção do CAD no processo de projeção.

A primeira, e mais significativa, é o museu Guggenheim de Bilbao. Esta edificação vai ser o resultado de uma série de experimentos realizados por Frank Gehry e sua equipe com o objetivo de garantir a construção da edificação.

O escritório tinha a necessidade de explorar o uso de tecnologias que pudessem viabilizar projetos com formas complexas. Edificações que não se enquadravam no paradigma da geometria Euclidiana ou do paradigma industrial da produção em série. O objetivo era encontrar ferramentas que pudessem auxiliar o projeto e a construção de edificações que possuíssem superfícies curvas e complexas (ver Figura 1.5, p. 39) (MITCHELL, 2006, p. 3).

Figura 1.5 - Museu Guggenheim Bilbao, Gehry and Partners, 1998.



Disponível em: <http://images.guggenheim-bilbao.es/src/uploads/2012/05/012.jpg>

A Geometria Euclidiana corresponde às formas bidimensionais e tridimensionais geométricas produzidas a partir dos axiomas de Euclides de Alexandria. Na Geometria Euclidiana todos os elementos são posicionados em uma superfície plana. A Geometria não-Euclidiana se propõe ao estudo de linhas e pontos sobre uma superfície curva (côncava ou convexa) (OOSTERHUIS, XIA e JAP SAM, 2007, p. 13).

As ferramentas CAD disponíveis no mercado não eram capazes de atender às necessidades projetuais e construtivas de Gehry (e sua equipe). Isto os levou a buscar alternativas em outras áreas. Nesta busca, depararam-se com o CATIA (*Computer Aided Three-dimensional Interactive Application*), um *software* utilizado pela indústria naval que permite a integração entre o projeto e a fabricação de seus componentes (KOLAREVIC, 2003, p. 6).

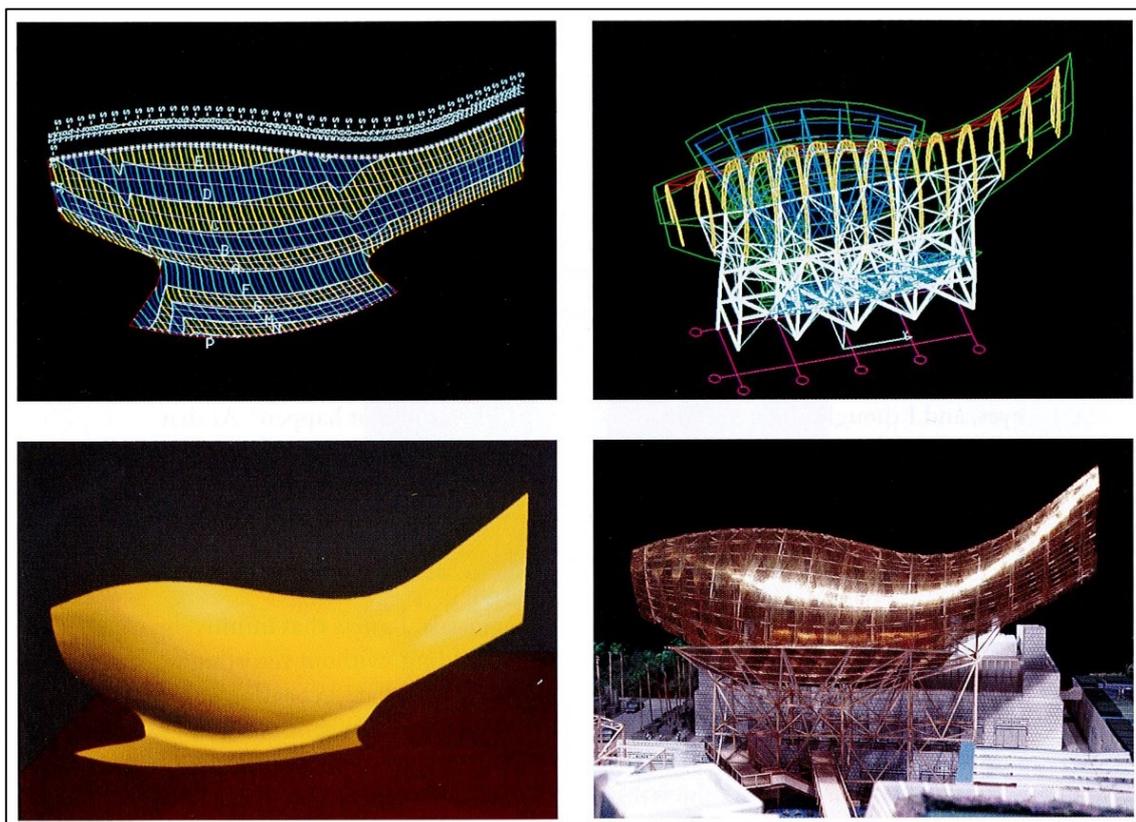
A construção do museu Guggenheim de Bilbao se estabelece como um marco no uso de ferramentas CAD e também da arquitetura. Essa edificação inicia uma nova abordagem formal e estabelece modos de integração dos sistemas computacionais dentro do processo de projeto/materialização/produção e construção (OXMAN, 2006, p. 234).

Apesar da experiência de Bilbao não ter sido a primeira realizada pelo escritório de Gehry, ela é a mais relevante. Uma vez que não só demonstra aplicações do CAD na produção e no estudo de formas complexas como também demonstra como essa informação pode ser utilizada para a construção da edificação.

O primeiro contato do escritório de Gehry com o CATIA ocorrera no desenvolvimento da escultura O Peixe em Barcelona construído em 1992. Esta escultura corresponde a primeira experiência de Frank Gehry no uso de uma ferramenta CAD tridimensional na definição de uma geometria. O modelo virtual foi utilizado para coordenar a fabricação e a construção da obra a partir da informação computacional (KOLAREVIC, 2013).

Para a construção e definição da escultura foram produzidos modelos tridimensionais que permitiram a análise e a construção dos componentes construtivos da escultura, conforme ilustrado na Figura 1.6 (p. 41).

Figura 1.6-Maquete e modelo virtual da escultura o Peixe de Frank Gehry.



Disponível em: <https://mafana.wordpress.com/2011/10/03/how-does-technology-impact-Architecture/>,
acesso em 14 de jul. De 2014

Além da adoção de estratégias paramétricas de projeto os dois trabalhos de Gehry, o Peixe e o Guggenheim vão fazer uso de técnicas CAM (*Computer Aided Manufacturing* – fabricação assistida por computador. Estas experiências servirão de precedentes para a aplicação de ferramentas CAD nos processos de produção arquitetônica.

O segundo marco no uso de ferramentas CAD oriundo da década de 1990 foi o projeto e a construção do Terminal Internacional da estação de *Waterloo* em Londres de Nicholas Grimshaw, ver Figura 1.7 (p. 33).

Figura 1.7-Terminal Internacional de Waterloo, Nicholas Grimshaw and Partners



Disponível em: < <http://grimshaw-architects.com/project/international-terminal-waterloo/> > Acesso em jul. 2015.

Assim como o Peixe e o Guggenheim de Frank Gehry o terminal de *Waterloo* utilizou de processos paramétricos de projeto para a definição da forma arquitetônica e otimizar os seus processos construtivos (OXMAN, 2006, p. 234-235).

O terminal é constituído por trinta e seis arcos, que são distribuídos ao longo da linha férrea. Os arcos, embora sejam semelhantes entre si apresentam características diferentes. O primeiro arco se inicia com um vão de cinquenta metros, enquanto o último termina em um vão de trinta e cinco metros (KOLAREVIC, 2013).

Para otimizar o processo de concepção e construção o *Grimshaw and Partners* optou por desenvolver um modelo paramétrico genérico capaz de produzir os arcos partir das regras do projeto. Estas regras foram definidas a partir de uma relação que definia o tamanho do vão dos arcos a partir da curvatura da estação (KOLAREVIC, 2003, p. 18).

Ainda na década de 1990, Norman Foster vai contar com uma equipe de especialistas em modelagem paramétrica. Estes profissionais vão auxiliar na definição de estratégias de projeto baseados na produção de modelos paramétricos. A presença desses profissionais terá reflexo nos trabalhos desenvolvidos pelo seu escritório (KOLAREVIC, 2013).

O *London City Hal* é um exemplo de como a lógica paramétrica passou a ser utilizada por Norman Foster, (ver Figura 1.8, p. 43). Neste projeto a disposição das aberturas e a curvatura da fachada foram definidas a partir de parâmetros de desempenho. Os parâmetros definidos para o *London City Hall* tinham como objetivo otimizar a quantidade de insolação e ventilação natural recebida pela edificação.

Figura 1.8 - *London City Hall*, Foster and Partners (1998-2002)

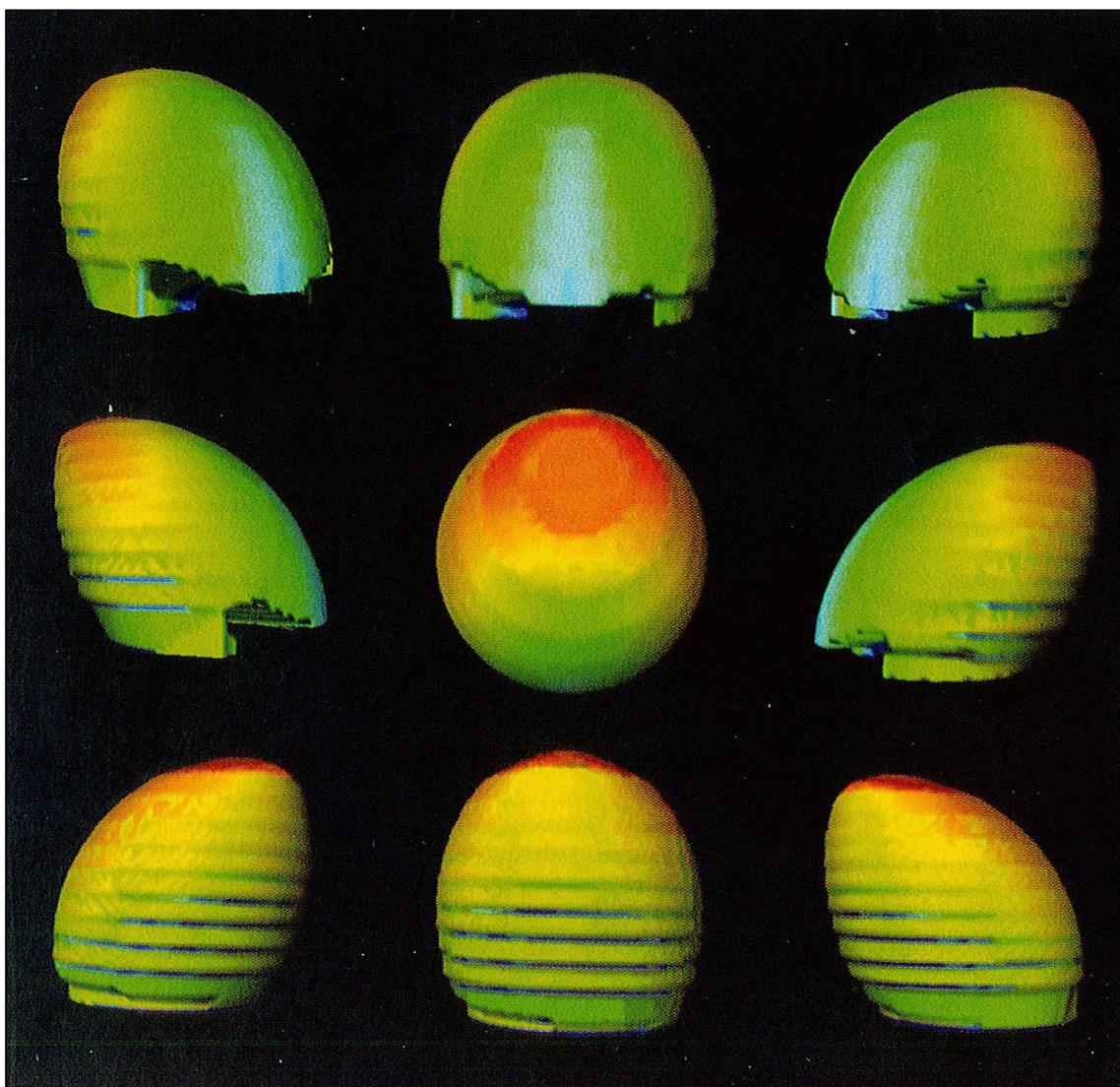


Disponível em: <<http://www.fosterandpartners.com/media/1701648/img0.jpg>>. Acesso em Jul de 2014.

Os sistemas computacionais foram utilizados para produzir as soluções a partir das relações e restrições definidas pelo arquiteto (MARK, GROSS e GOLDSCHMIDT, 2008, p. 173). No caso do *London City Hall*, as definições foram estabelecidas a partir das quantidades de iluminação solar a ser recebida pelo edifício.

A contribuição dada pelo *Foster and Partners* se deu pela adoção de uma estratégia generativa paramétrica, em que a forma da edificação foi definida a partir de um sistema de validação e (ou) de *feedback*. A partir deste processo a forma do *London City Hall* foi estabelecida (ver Figura 1.9, p. 44).

Figura 1.9 - Estudo paramétrico do sistema de abertura



Fonte: Kolarevic (2013)

Estas obras foram determinantes para a consolidação do Projeto Paramétrico e dos Sistemas Generativos de projeto como as principais teorias e aplicações no uso das ferramentas computacionais nos processos de concepção arquitetônica.

O conceito de parametria não é novo dentro das teorias CAAD (*Computer Aided Architectural Design*). Este conceito fora estabelecido na década de 1970 e 1980. No entanto, os aplicativos disponíveis naquele período, por serem eram de difícil uso pelos arquitetos, o que restringiu o uso de ferramentas computacionais paramétricas (MARK, GROSS e GOLDSCHMIDT, 2008, p. 170).

Em 1978 R. Hyllard propôs um sistema que permitia a especificação de restrições geométricas entre a parte e as coordenadas de um objeto. Esse sistema permitia a manipulação das variáveis do sistema dentro de um intervalo dado. Este conceito serviu de base para a definição do que atualmente entendemos como parametria (MONEDERO, 2000, p. 372).

Os trabalhos de arquitetos como Frank Gehry e Nicholas Grimshaw demonstram a necessidade de ferramentas computacionais específicas para problemas projetuais específicos. Celani (2002, p. 36) menciona a dificuldade de se produzir um programa que atenda ao método de projeto de um arquiteto específico, uma vez que cada profissional tem um modo particular de projetar.

Neste contexto, não é o arquiteto que deve se adaptar a ferramenta e sim a ferramenta que deve ser adaptável ao processo do profissional. Esta percepção vai estimular o surgimento de ferramentas computacionais flexíveis, sistemas capazes de atender a processos específicos projetuais específicos.

A nona geração de ferramentas CAD, pontuada nesta tese, surge a partir das possibilidades de uso promovidas pelo trabalho de arquitetos como Frank Gehry, Norman Foster, Zaha Hadid, Coop Himmelblau entre outros. Estes profissionais têm feito uso de um repertório diversificado de técnicas e métodos digitais que vão além da representação arquitetônica.

Os sistemas CAD desenvolvidos na década de 2010 tem apresentado enfoque em explorar a capacidade que os sistemas computacionais possuem de solucionar problemas. Esta característica aproxima estes sistemas das pretensões dos pioneiros do *Computer Aided Design*, que pretendiam utilizar estes sistemas para solucionar problemas de projeto (CELANI, 2002, p. 36).

A nona geração, aqui definida, vai se caracterizar por dois tipos principais de *softwares* CAD. O primeiro vai ser o desenvolvimento de sistemas paramétricos de projeto, representados pelas ferramentas BIM (*Building Information Modeling*-Modelagem da Informação da Construção). A segunda corresponde aos aplicativos de modelagem paramétrica.

Os sistemas paramétricos, embora existam desde os anos 1980, só encontrarão um contexto favorável para a sua disseminação na década de 2010. Essa popularização se deu devido a melhorias de *hardware* e *software* que tornaram esses aplicativos acessíveis aos arquitetos (GARBER, 2009, p. 8).

A relevância que os sistemas BIM (*Building Information Modeling* – Modelagem da Informação da Construção) obtiveram na última década tem alterado o padrão de trabalho dos arquitetos. Os profissionais têm abandonado o *AutoCad* e migrado para aplicativos de Modelagem da Informação da Construção. O uso destes aplicativos resulta em alterações nos modos de produção arquitetônica.

O segundo conjunto de aplicativos correspondem aos *softwares* de modelagem paramétrica. Estes aplicativos se caracterizam por permitir a produção de soluções formais a partir da definição de parâmetros e relações formais. Estes aplicativos são representados por ferramentas como o *Grasshopper* e o *Generative Components* (QUIRK, 2012).

Os tipos de aplicativos que apontamos como característicos da nona geração vem atender a uma abordagem projetual em que o projeto arquitetônico é visto como um problema a ser solucionado. Esses sistemas foram desenvolvidos a partir de dois conceitos o do Projeto Paramétrico e do Projeto Algorítmico.

O Projeto Paramétrico é um termo bastante restrito que implica o uso de parâmetros para a definição de formas. No entanto, mais que o uso e a manipulação de variáveis, o que está em jogo é a aplicação de relações entre parâmetros definidos pelo arquiteto (MONEDERO, 2000, p. 371).

O Projeto Algorítmico é um processo em que as soluções formais são produzidas a partir de um processo de produção de formas. Este processo é estabelecido pelo arquiteto a partir da compreensão das regras capazes de produzir e definir a morfologia de um objeto (CECCATO, 1999, p. 295).

Os sistemas produzidos na década de 2010 permitem a análise e a produção de soluções a partir de parâmetros. Esta lógica possibilita que além de parâmetros e restrições formais sejam consideradas variáveis de Desempenho. Estas ferramentas computacionais ainda permitem a: simulação climática, estrutural, estimativas de custos, fabricação digital entre outras funções (GARBER, 2009, p. 8).

A evolução das ferramentas de modelagem tridimensional (e dos *softwares* paramétricos) facilitou a produção de formas complexas pelos arquitetos. Estas tecnologias somadas à fabricação digital tem permitido a concepção de geometrias não euclidianas facilmente (KOLAREVIC, 2003, p. 6).

Além do desenvolvimento de ferramentas específicas iremos presenciar a utilização da linguagem de programação como estratégia de projeto. Esta abordagem permite que o arquiteto possa modificar um determinado *software* para adaptá-lo ao seu modo de projetar (CELANI, 2002, p. 37).

Os sistemas CAD desenvolvidos na primeira década do século XXI terão como objetivo garantir ao profissional a possibilidade de produzir soluções projetuais a partir do controle dos parâmetros que definem a forma. Essas abordagens vão possuir uma grande quantidade de categorias de usos e aplicações. Estes aspectos serão discutidos com maior profundidade nas seções posteriores deste trabalho.

Terminada a primeira década podemos apontar alguns direcionamentos relativos ao futuro do CAD e do seu uso. Podemos perceber o crescente aumento na importância das ferramentas BIM dentro dos processos de construção, o que nos leva a crer que até o final desta década, 2020, essas ferramentas irão substituir as ferramentas CAD tradicionais.

O uso de *softwares* flexíveis que se adaptem ao modo de trabalho do arquiteto deve se tornar mais comum. Mesmo sistemas BIM têm buscado soluções de *plug-ins* (como o Dynamo para o Revit) que permitem que o usuário defina as formas através da geração automatizada de formas.

Além destas possibilidades entendemos também que os *scripts* também passarão a ter uma relevância maior na produção arquitetônica, principalmente para aqueles que optarem por trabalhar com o Projeto Algorítmico. O surgimento de linguagens de programação mais simples e a necessidade de atender a critérios de Desempenho também irão estimular o uso desta abordagem de projeto nos próximos anos.

Em todas as etapas da evolução dos sistemas CAD, esses sistemas têm sido desenvolvidos com o objetivo de atender ao de projeto de edificações. Atualmente, é cada vez mais comum a busca por ferramentas que possam auxiliar o projeto urbano.

Nesse sentido o Projeto Paramétrico tem mostrado algumas possibilidades de suporte ao Desenho Urbano. Pesquisadores e arquitetos tem realizado experimentos com o objetivo de transferir a lógica do BIM para o projeto de cidades, daí o surgimento do CIM (*City Information Modeling* – Modelagem da Informação da Cidade).

Acreditamos que as ferramentas computacionais vão ocupar um papel cada vez maior nos processos de projeto e no planejamento urbano. A internet, as redes sociais, os sistemas de controle e gerenciamento de fluxo vão se tornar fonte essencial de informação. É esse contexto de aplicação do CAD que queremos inserir a tese aqui apresentada. Em que, o uso de ferramentas computacionais, do Projeto Algorítmico e Projeto Paramétrico são utilizados para auxiliar o processo de Desenho Urbano.

1.2 As ferramentas computacionais e concepção projetual

O ato computacional está relacionado a aplicação de procedimentos lógicos para a solução de um problema. Os *softwares* funcionam como um mediador entre as intenções do projetista e a produção das representações formais. As formas são produzidas no ambiente computacional e exibidas na tela do computador.

As ferramentas computacionais auxiliam a resolução de problemas a partir da aplicação de um conjunto lógico de procedimentos. Para integrar o ato computacional ao processo projetual é necessária uma estratégia projetual baseada na solução de problemas de projeto.

Segundo Terzidis (2015, p. 59), o processo projetual pode ser definido como uma sequência de ações, que inicia com uma inspiração, seguida por um rascunho, uma prancha de desenho técnico, uma maquete. Esse conjunto de etapas e o material produzido tem como finalidade transmitir a ideia (ou a intenção) do arquiteto.

Softwares de simulação e de modelagem paramétrica, tem permitido o surgimento de métodos projetuais baseados na resolução de problemas arquitetônicos. Estes processos computacionais auxiliam a produção de soluções arquitetônicas a partir da resolução de problemas de ordem estrutural ou econômica (SZALAPAJ, 2005).

O uso do Projeto Algorítmico altera o foco da produção de projeto. O problema arquitetônico deixa de ser tratado a partir do objeto e passa a ser definido a partir de um sistema gerador de soluções. Neste processo o objeto é constituído pelo conjunto de variáveis e as interações entre esses parâmetros que o constituem (BORDEN, 2014, p. 442).

Este modo de produzir soluções arquitetônicas começou a ser formulado através das gramáticas da forma de George Stiny e James Gips. Os dois desenvolveram um método, com base na gramática generativa de Noam Chomsky, capaz de gerar formas a partir de um conjunto de regras (CELANI, CYPRIANO, *et al.*, 2006, p. 2).

A Gramática da Forma e os Sistemas Generativos serão discutidos de forma específica no Capítulo dois desta tese. Nesta seção serão apresentadas as suas definições e aplicações na arquitetura e no urbanismo.

Neste processo, o programa funcional de projeto é descrito como um problema a ser solucionado pelo arquiteto. Este programa é descrito através de uma linguagem de programação ou por meio de um *software* CAD em um sistema computacional. A partir desse processo o profissional lança mão da capacidade de processamento de informação e análise dos computadores para a produção arquitetônica.

Neste processo o arquiteto passa a gerenciar os parâmetros e as relações que irão controlar e definir o objeto projetado. Para que seja possível produzir soluções adequadas é necessário a boa interpretação dos dados coletados. O modo como estes dados serão ordenados são responsáveis pela produção dos Sistema Generativo.

O projeto como processo de solução de problemas (*problem solving*) pressupõe a busca por propostas projetuais adequadas a problemática trabalhada. Para se encontrar soluções adequadas é importante produzir um universo de soluções. A variação, dentro do processo de projeção, permite a busca por soluções que atendam as premissas estabelecidas pelo problema.

A variabilidade de soluções produzidas, testadas e simuladas poderá proporcionar um alcance de soluções arquitetônicas mais adequadas às necessidades levantadas pelo problema projetual.

O uso de modelos computacionais que permitam a flexibilidade, a variabilidade e adaptabilidade das soluções de projeto produzidas, consiste em uma significativa contribuição para o processo de projeção. A abordagem generativa de projeto possibilita que as soluções projetuais sejam adaptáveis a diferentes condicionantes de projeto (HERNANDEZ, 2006, p. 34).

O desenvolvimento dos *softwares* CAD tem ocorrido no sentido de ampliar as capacidades computacionais destas ferramentas. Atualmente esses aplicativos buscam integrar modelagem e análise de desempenho (estrutural, ambiental, etc.) para assim se auxiliarem de forma mais eficiente o arquiteto (MITCHELL, 2008, p. 92).

É indiscutível a importância que as ferramentas computacionais têm tido na produção das edificações. Essas tecnologias possibilitaram que o arquiteto otimizasse o processo de produção de desenhos técnicos. Ao mesmo tempo permitiram que esse profissional expressasse de forma mais clara as suas propostas projetuais através dos *softwares* de modelagem. Esses avanços tecnológicos consolidaram os sistemas CAD dentro das práticas arquitetônicas vigentes.

Terzidis (2015) afirma que:

“Atualmente, programas de computador como *V Ray*, *Renderzone*, ou *Maxwell* proporcionam representações da realidade virtual que, com frequência, excedem o real não apenas em precisão da representação, mas também na sua habilidade de estender a realidade em um universo artificial, ilusório e fantástico (TERZIDIS, 2015, p. 61). ”

Atualmente os *softwares* de modelagem paramétrica e de Projeto Algorítmico tem modificado o modo como essas ferramentas têm sido implementadas. Essas tecnologias têm promovido mudanças sistemáticas na maneira como produzimos o espaço arquitetônico. Uma vez que essas ferramentas apresentam novos processos de trabalho e projeção.

Em relação ao Desenho Urbano, podemos perceber que o uso dessas ferramentas ainda é limitado. Apenas na década de 2010 é que passaram a surgir aplicativos computacionais para o desenvolvimento de soluções urbanas.

Este trabalho tenta demonstrar as implicações metodológicas provocadas pelo uso de ferramentas computacionais, e como essas técnicas podem se configurar em práticas projetuais urbanas de cidades sustentáveis.

Há ainda a intenção de verificar como processos computacionais de projeto, tais como o Projeto Paramétrico e Algorítmico, podem contribuir para o processo de produção de soluções urbanas a partir da parametrização de características de Desempenho urbano.

1.2.1 O papel dos sistemas CAD nos processos arquitetônicos

O CAD como área de estudo surge da relação entre os sistemas computacionais e a atividade de projeto. A própria denominação *Computer Aided Design* (Projeto Assistido por Computador) tenta expressar o caráter de ferramenta de automatização e (ou) auxílio ao processo de projeção (HORVÁTH, 1998, p. 1).

Os computadores, a princípio, foram desenvolvidos para atender as indústrias aeroespacial e automobilística, além de órgãos e instituições governamentais que necessitavam do gerenciamento e do processamento de grandes volumes de informação.

Os primeiros programas CAD direcionados para arquitetura foram desenvolvidos para realizar cálculos estruturais, análises térmicas, etc. As ferramentas disponíveis eram de difícil utilização e os problemas de projeto eram adaptados às operações disponíveis no *software* (BRIDGES, 1993).

Negroponte, na década de 1960, descrevia uma máquina capaz de aprender sobre arquitetura e de aprender sobre aprender arquitetura. A esse equipamento ele chamou de Máquina de Arquitetura (*Architecture Machine*). A interação entre o arquiteto e esse dispositivo corresponde a um diálogo entre dois sistemas inteligentes (o homem e a máquina) (NEGROPONTE, 1969, p. 9).

Inicialmente os sistemas CAD foram desenvolvidos como ferramentas de solução de problemas de projeto. A medida que estas ferramentas foram evoluindo elas perderam o seu caráter de ferramentas de auxílio ao projeto e passaram a ser ferramentas de desenho (CELANI, 2002, p. 36).

Os aplicativos CAD que tinham como funcionalidade a solução de problemas projetuais não obtiveram sucesso entre os arquitetos. Estes sistemas eram de difícil utilização para aqueles que não possuíam conhecimento em computação e não possuíam uma interface gráfica amigável para o arquiteto (ASANOWICZ, 1999, p. 97).

Essas dificuldades fizeram com que o CAD orientado para a solução de problemas fosse inicialmente aplicado apenas nos meios acadêmicos. Paralelamente a indústria de *softwares* direcionou seus esforços no desenvolvimento de aplicativos CAD de desenho (LEE, 1999, p. 14).

O enfoque comercial dado os sistemas CAD de desenho vai consolidar o uso destas ferramentas, durante os anos 1970, 1980 e 1990, como versões digitais da mesa de desenho.

Neste caso, o processo de projeção continua o mesmo, em que, o arquiteto define o projeto e o transfere para o monitor através do *mouse*. A ferramenta CAD, nesse processo, é apenas um receptáculo de ideias pré-concebidas e não um mecanismo gerador de soluções (CECCATO, 1999, p. 295).

As ferramentas CAD tradicionais como o AutoCad otimizaram os modos tradicionais de trabalho manual e possuíam enfoque na representação técnica arquitetônica. Nestes sistemas os elementos produzidos não permitiam que estes fossem representados por meio de regras e relações.

As melhorias em *hardware* vão possibilitar o uso de *softwares* mais sofisticados. Aplicativos computacionais capazes de gerar modelos virtuais inteligentes. Estes modelos são capazes de responder (ou reagir) a situações e a variáveis externas. A popularização destes sistemas irá resultar em novos modos de se pensar o processo projetual (GROSS, 1990, p. 123).

Estes processos têm provocado mudanças na maneira como concebemos e construímos as edificações. Além de alterar os modos de produção essas técnicas têm tido reflexo na linguagem formal das edificações construídas, principalmente durante os anos de 1990.

A presença dos sistemas computacionais nos escritórios tem promovido inúmeras mudanças nos modos de produção arquitetônica. O uso dessas ferramentas tem tornado o processo de projeção mais interdisciplinar; mais preciso, completo, fácil de manipular, visualizar e compreender (ISHLL e PACHECO, 2014).

Técnicas de modelagem e visualização tridimensional; processos Generativos de produção de formas; análises estruturais e térmicas; coordenação e gerenciamento de projeto; processos de produção *file-to-factory*² (do arquivo para a fábrica); são apenas alguns dos processos digitais, atualmente, adotados por arquitetos e construtores (IWAMOTO, 2009, p. 128).

As ferramentas que utilizamos atualmente são digitais e o seu impacto nas diversas áreas da vida cotidiana é inegável. Sempre que concebemos um objeto, através dos computadores, essas ferramentas fazem parte do produto. A ferramenta utilizada exerce um impacto sobre o resultado alcançado pelo arquiteto. Ela pode limitar ou ampliar as possibilidades projetuais do profissional. Essas tecnologias nos permitem alcançar novas formas de percepção e nos levam a pensar digitalmente (MACFARLANE, 2003, p. 181).

As duas últimas décadas (1990 e 2010) têm se caracterizado pela popularização dos *softwares* de desenho e modelagem tridimensional. Além da representação bidimensional e 3D das edificações o período vai ser marcado pelo uso do Projeto Paramétrico e pela transferência das técnicas de fabricação digital da indústria aeroespacial e automobilística para a indústria da construção civil.

As ferramentas computacionais e as técnicas de fabricação digital, permitiram que a arquitetura redescobrisse e desafiasse seus valores tradicionais. As tecnologias CAM (*Computer Aided Manufacturing* – Fabricação Assistida por Computador) vão viabilizar a construção de formas complexas a custos praticáveis (MITCHELL, 2006, p. 3).

² *File-to-factory*: Trata-se de um processo de fabricação digital em que peças ou componentes da edificação são fabricadas a partir do arquivo e (ou) da informação digital.

Os sistemas Generativos permitem que o arquiteto manipule um conjunto de elementos e relações que atuam sobre elementos, que quando executados resultam em um conjunto de soluções. Nestes processos, o edifício deixa de ser a resultado do posicionamento de componentes individuais, mas sim do ordenamento de um sistema gerador de formas. (TERZIDIS, 2003, p. 21). Este sistema é capaz de gerar novas soluções a partir das modificações dos parâmetros e relações que o compõe.

O Projeto Paramétrico, atualmente (2015), trata-se de um conceito conhecido por parte dos arquitetos. Esse processo de projeto tem sido utilizado amplamente para variar e explorar dinamicamente a geometria e a articulação espacial das edificações (KOLAREVIC, 2013).

Na abordagem paramétrica ao invés de definir o elemento o arquiteto define uma categoria ou família de objetos. Os elementos são gerados por seus parâmetros e por um conjunto de relações e regras que controlarão estes parâmetros. A forma de cada elemento da família (ou categoria) vai variar de acordo com o controle destes parâmetros (EASTMAN, PAUL, *et al.*, 2011, p. 41).

No Projeto Paramétrico o enfoque se desloca da definição de objetos para a definição de regras. Estabelecer de forma correta as regras que ao serem executadas produzirão soluções formais é essencial para o sucesso desta estratégia. O uso de *scripts* e algoritmos em arquitetura reforçam essa tendência do uso de um projeto baseado em regras (*ruled based design*) (PICON, 2011, p. 35).

A popularização das ferramentas paramétricas e do conceito de Projeto Paramétrico nos escritórios só possível na primeira década do século XXI. A década de 2010, conseguiu oferecer condições que possibilitaram a disseminação do uso dessas ferramentas pelos arquitetos.

Dentre os principais fatores podemos citar a evolução na tecnologia de *hardware* que permitiu a utilização dos *softwares* disponíveis. O outro fator foi necessidade crescente por práticas de projeto que reduzissem as perdas ocasionadas por problemas de projeto. Outro aspecto que contribuiu para a adoção destas ferramentas foi a demanda crescente por processos que garantissem a qualidade das edificações construídas (EASTMAN, 2006, p. 15).

As edificações contemporâneas (2015) têm utilizado de técnicas de projeção e construção baseadas no uso dos sistemas computacionais. O Projeto Paramétrico e métodos projetuais baseados no uso de linguagens de programação têm sido responsáveis pela produção de arquiteturas de geometria complexa (SCHUMACHER, 2009, p. 15).

A utilização de estratégias paramétricas de projeto tem consolidado uma expressão da arquitetura contemporânea, cuja a produção está relacionada ao uso desta abordagem paramétrica. Patrick Schumacher defende a existência de um estilo paramétrico e afirma que:

“Parametricismo é um estilo amadurecido. Uma vez que, o paradigma paramétrico está se tornando onipresente na arquitetura e no projeto contemporâneo (...). Tem havido discussões acerca da produção e controle de versões de projeto, interação e customização em massa, já a algum tempo dentro do discurso arquitetônico de vanguarda (SCHUMACHER, 2008).”

A Customização em Massa é produção de elementos industrializados não padronizados ou personalizados. Esse conceito surge como oposição ao paradigma industrial da produção de elementos padronizados com o objetivo de redução de custos. As tecnologias CAM (*Computer Aided Manufacturing* – Fabricação Assistida por Computador) tem permitido que a customização em massa possa ser adotada na arquitetura (NABINI e PAOLETTI, 2015, p. 7).

Esse estilo seria o resultado da arquitetura praticada a partir da utilização das ferramentas computacionais. É possível identificar semelhanças estéticas e formais entre as edificações produzidas com o uso do Projeto Paramétrico. No entanto, mais importante que definir um estilo é a percepção de que o uso destas ferramentas provocou uma mudança no modo de pensar a arquitetura (BURRY, 2011).

O Projeto Algorítmico e o Projeto Paramétrico são abordagens que recuperam o papel das ferramentas computacionais como mecanismos de auxílio ao processo de projeção. Estas sistemáticas posicionam os sistemas CAD dentro da concepção arquitetônica.

O Projeto Algorítmico e o uso de *scripts* também fazem uso do projeto baseado em regras (*ruled based design*), assim como o Projeto Paramétrico.

A abordagem paramétrica tem feito uso das vantagens proporcionadas pelo uso dos *scripts* e dos algoritmos para a definição de formas. A aplicação destas ferramentas se dá também em decorrência da necessidade de o arquiteto possuir ferramentas computacionais que se adaptem ao seu processo projetual.

A geração atual de arquitetos está mais familiarizada com a lógica computacional. É cada vez mais comum, arquitetos que dominam linguagens de programação e as utilizam no desenvolvimento de seus projetos. Personalizar sistemas CAD existentes para atender as particularidades do processo individual de cada projetista tem tornado estas abordagens bem atraentes (MCCULLOUGH, 2006, p. 16).

O *Populous* é um exemplo de escritório que tem feito uso de linguagens de programação e de projeto paramétrico para o desenvolvimento de suas propostas. O escritório se especializou no desenvolvimento de arenas de eventos e espaços para competições esportivas (estádios de futebol, autódromos, etc). O escritório tem desenvolvido e utilizado ferramentas que permitem definir a forma e a configuração de suas arenas.

O *Aviva Stadium*, localizado em Dublin na Irlanda (ver Figura 1.10, p. 58) teve sua geometria definida por meio de um *script* matemático. Este sistema definia a posição de cadeiras a partir da definição de vistas livres de barreiras visuais. Outra premissa adotada na definição da forma do estádio foi a necessidade de não produzir sombras nas edificações do entorno próximo (GARBER, 2014, p. 1842).

Figura 1.10 - Aviva Stadium, Dublin Irlanda, Populous (2005 - 010).



Fonte: Garber (2014, p. 1829).

A necessidade por ferramentas que atendessem as particularidades do processo projetual de Frank Gehry é que fomentou o desenvolvimento de aplicativos específicos que estivessem em acordo com as especificidades do arquiteto

Atualmente, Frank Gehry, possui um setor dentro do escritório responsável por desenvolver tecnologias que viabilizem as obras do arquiteto. Esses aplicativos servem não apenas as demandas internas do escritório como também tem sido disponibilizada comercialmente.

No Projeto Paramétrico e Algorítmico os objetos são editáveis e negam a rigidez e a singularidade dos elementos estabelecidos pelos meios tradicionais de projeto. O Projeto Algorítmico afirma a liberdade de se trabalhar com um sistema aberto em que a mudança é celebrada e necessária para a definição de novos objetos (TERZIDIS, 2003, p. 21).

Reduzir custos de produção e manutenção tem sido um dos principais norteadores do desenvolvimento de projetos arquitetônicos. Soma-se a isto o aumento da complexidade dos programas de necessidade das edificações. Isso tem exigido dos arquitetos a adoção de ferramentas que lhes permitam atender a essas demandas.

Nesse contexto as ferramentas computacionais têm se adaptado no sentido de atender a essas demandas. Esse cenário provocou uma mudança no modo de utilização dessas tecnologias.

Acreditamos que, estamos num momento de quebra contínua de paradigmas, em que o uso dos sistemas CAD como ferramentas de suporte de projeto, e não apenas representação, continuarão a redefinir os modos de produzir e interagir com arquitetura.

1.2.2 O uso dos sistemas CAD no projeto urbano

Os *softwares* CAD estão presentes na maioria das etapas que constituem as práticas arquitetônicas. O fazer projetual na arquitetura necessita do emprego O uso dessas tecnologias em alguma etapa do seu processo de produção.

No planejamento urbano o uso do computador é anterior a suas aplicações na arquitetura. Desde a década de 1950, instituições governamentais têm utilizado esses equipamentos para gerenciar dados municipais. Esses sistemas armazenavam e manipulavam informações de: uso do solo, sistemas de infraestrutura urbana e dados de transporte.

As ferramentas computacionais disponíveis atualmente possibilitam que possamos trabalhar com o grande número de variáveis que envolve o Desenho Urbano. A capacidade de processamento de dados presente nos computadores pessoais fez com que estes equipamentos pudessem ser amplamente utilizados na gestão de áreas urbanas.

Apesar de presentes dentro das prefeituras poucas foram as ferramentas desenvolvidas para a atividade de projeto urbano. Mesmo atualmente, são poucos os aplicativos que atendem as necessidades projetuais do urbanista.

As mudanças provocadas pelo uso dos sistemas computacionais na arquitetura não têm sido percebidas no processo de projeto urbano. As ferramentas utilizadas pelos urbanistas, ainda tem enfoque na visualização tridimensional e no gerenciamento de informação e não na produção de soluções urbanas.

Os *softwares* empregados pelos gestores públicos tinham como objetivo coletar e processar informações geográficas. Essas informações eram utilizadas para criar grandes bancos de dados, que auxiliavam na gestão da superfície urbana. Esses programas ficaram conhecidos como *Geographic Information Systems* (Sistemas geográfico de informação) (GIL, ALMEIDA e DUARTE, 2011, p. 144).

Os sistemas GIS assim como as ferramentas CAD direcionadas para arquitetura evoluíram nas últimas décadas. Além de produzir mapas urbanos, os programas GIS, passaram a permitir a produção de visualizações tridimensionais. Estas ferramentas tiveram importante papel nos processos de planejamento e gestão urbana.

Amorim (2015) afirma que:

“Tradicionalmente, as abordagens sobre a cidade têm sido tratadas em plataformas GIS numa visão temática cobrindo todo o espaço urbano, em aplicações como planejamento urbano, sistemas de abastecimento de água, distribuição de energia elétrica, entre outros, e num recorte também temático, mas com intervenções mais pontuais, por meio de plataformas CAD em aplicações como o projeto de um trecho do sistema viário ou a expansão de uma rede coletora de esgotos ou de toda a infraestrutura de um novo “bairro” (AMORIM, 2015, p. 97).”

No entanto, os sistemas GIS provocaram pouco impacto no processo de projeto urbano. Esses aplicativos possuem um maior enfoque no processo de visualização e modelagem da informação urbana. Outra característica desses *softwares* é o fato de que essas ferramentas não foram desenvolvidas para auxiliar o processo de Desenho Urbano (BATTY, DODGE, *et al.*, 1998, p. 1-2).

Durante a década de 1990 foram realizadas tentativas de integração entre os sistemas GIS com as ferramentas CAD disponíveis na época. Esses esforços tinham como objetivo integrar melhor as ferramentas computacionais no processo de Desenho Urbano.

Apesar destas tentativas os sistemas CAD e GIS mostraram-se limitadas, uma vez que não possibilitam a interoperabilidade. Estes problemas são observados no seu próprio escopo (GIS – GIS ou CAD – CAD) e entre produtos dos diversos desenvolvedores (AMORIM, 2015, p. 97).

De acordo com Charles Eastman (2011):

“Interoperabilidade é a habilidade de trocar dados entre aplicações (*softwares*), que facilita o fluxo de trabalho e em alguns casos facilita sua automação (EASTMAN, PAUL, *et al.*, 2011, p. 99).”

As limitações, identificadas nos *softwares* CAD e GIS, denotam a necessidade do desenvolvimento de um conjunto de aplicações computacionais capazes de otimizar as atividades de Desenho Urbano e Planejamento Urbano.

A década de 2010, foi o cenário para uma mudança nos modos de aplicação das ferramentas CAD na arquitetura. A evolução dos sistemas computacionais e dos computadores permitiu o uso mais inteligente desses sistemas pelos arquitetos.

Softwares BIM e de modelagem paramétrica permitiram que os sistemas CAD não se restringissem apenas a representação arquitetônica. Atualmente (2016) desenvolvedores e pesquisadores têm sido convocados para propor a transposição dessas tecnologias e processos da escala do projeto arquitetônico para o Desenho Urbano.

O projeto urbano pressupõe a manipulação de um elevado volume de informações. Esse aspecto do urbanismo exige o uso de computadores com elevada capacidade de processamento. Inicialmente, esta característica restringiu, durante muitos anos, o uso de ferramentas computacionais a grandes empresas de planejamento e (ou) a órgãos governamentais.

O uso de sistemas CAD e métodos como o Projeto Paramétrico e o Projeto Algorítmico podem contribuir para a produção de soluções urbanas que atendam a necessidade por qualidade espacial. Além de permitir a redução dos impactos ambientais provocados pelo desenvolvimento das cidades.

Isso é possível porque, em uma abordagem generativa de projeto, a produção de soluções urbanas se dá a partir da definição de parâmetros, restrições e relações. Este processo permite que parâmetros urbanos de sustentabilidade possam ser transcritos em um sistema computacional. Uma vez transcritas estes parâmetros irão determinar a produção das soluções geradas pelo sistema.

A adoção de uma estratégia paramétrica de projeto, apresenta-se como um modo de obtenção da Sustentabilidade desejável aos centros urbanos. A premissa do Parametricismo é a maleabilidade dos elementos arquitetônicos e urbanos, ao invés da alocação de figuras geométricas herméticas e rígidas como ocorria em estilos anteriores (SCHUMACHER, 2010).

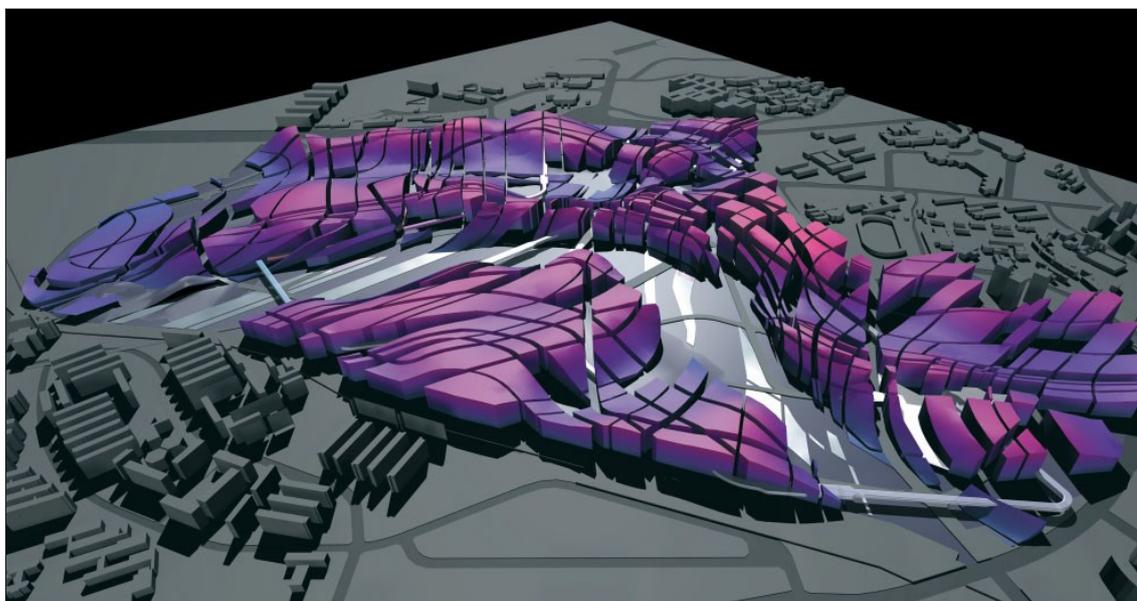
Os pontos principais da abordagem paramétrica de projeto são a variação e a correlação. Todos os elementos do sistema são adaptáveis e se relacionam com o conjunto e com os demais componentes do sistema. Estas características inerentes ao Projeto Paramétrico podem atender a necessidade de se desenvolver soluções urbanas que possam ser flexíveis.

Atualmente o Desenho Urbano tenta recuperar as qualidades existentes nas cidades tradicionais através da negação do planejamento urbano modernista. O Desenho Urbano moderno pressupõe uma solução universal de projeto e uma rígida setorização de funções. Essa presunção resultou na depreciação das áreas urbanas que foram objeto destas soluções projetuais. As razões que resultaram na degradação dos espaços urbanos de caráter modernista serão discutidas no capítulo três desta tese.

O Projeto Paramétrico trata-se de uma abordagem bem estabelecida na engenharia e tem sido amplamente aplicado no projeto de arquitetura. No entanto, no projeto urbano, a aplicação desta abordagem ainda se encontra em estágio inicial (STEINØ, 2010, p. 261).

Patrik Schumacher e Zaha Hadid desenvolveram no início da década de 2000 uma série de projetos urbanos, entre eles o One-North Masterplan (ver Figura 1.11). Essas propostas têm adotado o Projeto Paramétrico através do uso de scripts implementados no *Autodesk Maya*.

Figura 1.11 - One-North Masterplan, Zaha Hadid Architects (2001-2021)

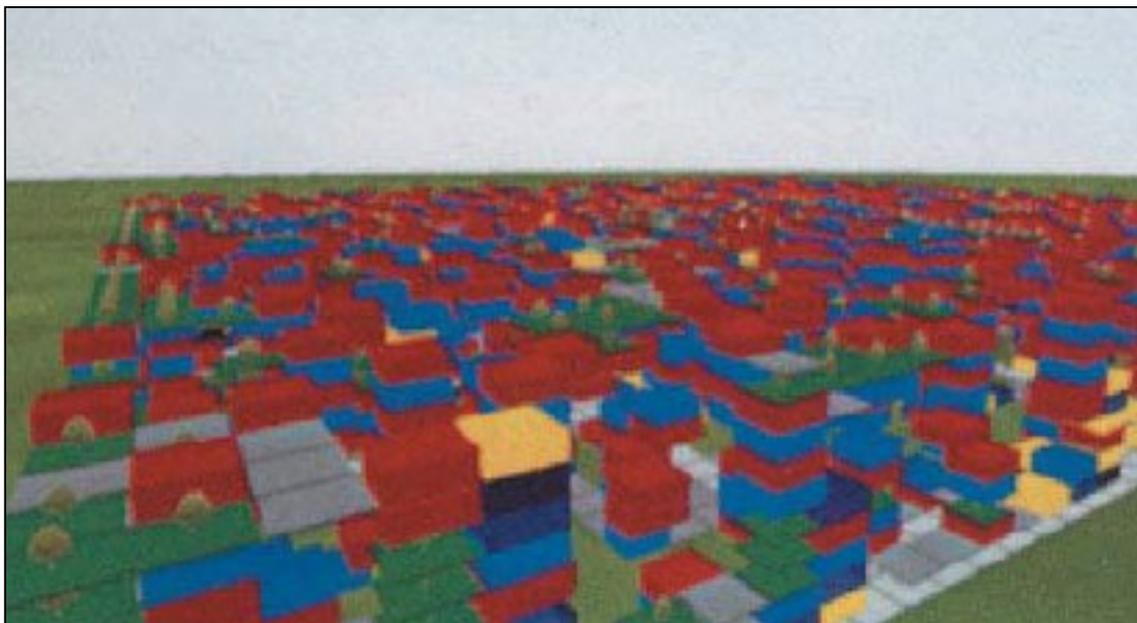


Fonte: SCHUMACHER (2009, p. 16-17).

Apesar de muitas destas propostas não terem sido implementadas, elas são importantes por servirem de precedentes para como essas ferramentas podem ser inseridas no processo de projeto urbano (SILVA, 2010, p. 61-62).

Além destes trabalhos outro escritório que tem adotado de estratégias paramétricas de projeto é o escritório holandês MVRDV. A equipe utiliza um programa capaz de combinar diferentes atividades urbanas em um espaço tridimensional. Essas combinações ocorrem através da produção de plantas urbanas e de desenhos urbanos esquemáticos. As soluções geradas são obtidas por meio da configuração dos parâmetros definidos pelo programa funcional urbano (STEINØ e VEIRUM, 2005, p. 682).

Figura 1.12 - Visualização do MVRDV *FunctionMixer*



Fonte: STEINØ e VEIRUM (2005, p. 682)

Apesar da evolução dos sistemas CAD nas últimas duas décadas ainda não existem um grande número de *softwares* específicos para o projeto urbano. A primeira ferramenta comercial desenvolvida com este fim foi o CityEngine.

Esse aplicativo foi desenvolvido pela empresa Procedural e depois foi adquirido pela Esri, desde então o *software* recebeu o nome de Esri CityEngine. Esse programa foi desenvolvido com base em uma Gramática da Forma. As soluções urbanas podem ser definidas tanto parametricamente como através da inserção de *inputs* (algoritmicamente) que irão produzir *outputs* (STEINØ, 2010, p. 2-3).

A ausência de outras ferramentas que permitam a aplicação de estratégias paramétricas de projeto estimulou o uso de algoritmos, implementados através de linguagem de programação, no desenvolvimento de projetos urbanos.

Embora essa abordagem permita que o arquiteto adapte o sistema CAD às suas necessidades projetuais ela apresenta dificuldades na sua implementação. O uso de *scripts* e algoritmos exige conhecimento de lógica computacional e técnicas de programação. Temas estes, que não são objeto de trabalho do arquiteto (LEE, 1999, p. 14).

Nesse sentido os aplicativos (como o *Grasshopper* e o *Generative Components*) tem tido um papel fundamental. Estes *softwares* permitem que o arquiteto trabalhe algoritmicamente sem a necessidade de conhecer uma linguagem de programação específica.

Além destas ferramentas (e abordagens) os computadores também têm desempenhado um importante papel no planejamento das cidades. Mais importante que a visualização que esses sistemas produzem é: a informação gerada; a qualidade dos dados; e como estes são utilizados para a produção de um projeto adequado (BATTY, DODGE, *et al.*, 1998, p. 3).

Atualmente, as cidades têm a sua forma definida pela incorporação de sistemas informacionais de controle. Estas tecnologias, invisíveis, controlam os sistemas de abastecimento, os fluxos de trânsito e energia. Neste contexto a cidade deixa de ser um sistema estático, constituída apenas pelas suas componentes físicas, e passa a ser um “organismo vivo” (VEREBES, 2009, p. 24).

Os dados coletados a partir da interação entre os indivíduos e o espaço urbano são utilizados para gerenciar a cidade. Isso é possível graças ao uso de computadores que são capazes de manipular e processar esse grande volume de informações produzido. Essa informação é utilizada para definir políticas públicas de gestão e planejamento.

A grande dificuldade do projeto e do planejamento urbano encontra-se no fato de que as cidades se desenvolvem de modo imprevisível. Mesmo quando são objeto de planejamento, elas tendem a seguir padrões de organização que não foram definidos e (ou) previstos pelo projeto (BEIRÃO, 2012, p. 35).

Recentemente tem sido comum a percepção de se explicar o processo de desenvolvimento das cidades através da Teoria da Complexidade. Essa teoria estuda sistemas complexos, ou qualquer fenômeno que seja considerado complexo.

A ideia central nesta teoria é que um sistema complexo resulta de pequenos componentes, ou respondem a regras locais de combinação. Neste sentido, o sistema complexo é constituído pelo somatório das pequenas interações das partes que integram o conjunto. Deste modo, o todo é dependente do modo como os componentes menores do sistema interagem conjuntamente (BURRY e BURRY, 2012, p. 254).

Os sistemas computacionais têm possibilitado que se possam simular padrões de crescimento urbano. A evolução das áreas urbanas ocorre de forma descoordenada. O padrão de organização que determina o modo como os espaços são ocupados derivam de ações de pequena escala que quando somadas a outras ações são responsáveis pela definição da forma urbana (BATTY, 2009, p. 47). Essa característica permite que possamos classificar a cidade como sendo um fenômeno complexo.

Nas abordagens de projeto baseadas em sistemas computacionais, a informação adquire um papel central. Uma vez que dela é que surgirão as diretrizes que determinarão os parâmetros de projeto. Para que isso de fato ocorra é necessário que esse conjunto de informações possa ser manipulável.

As ferramentas computacionais passam a ser relevantes no processo, uma vez que essas tecnologias permitem que se possa manipular, de forma precisa, uma grande quantidade de informações.

Os sistemas computacionais permitem identificar e simular padrões de organização e ocupação urbana. Esses padrões, em um processo projetual computacional, podem ser adotados como parâmetros para a produção de soluções de Desenho Urbano.

Métodos paramétricos e algorítmicos de projeto permitem a produção de soluções a partir das informações geradas pela cidade. De modo que as soluções produzidas são dependentes dos dados coletados e manipulados através dos sistemas computacionais.

O desenvolvimento de sistemas CAD para o Desenho Urbano ainda se encontra em um estado seminal. Apesar das iniciativas de se introduzir o Projeto Paramétrico e Algorítmico dentro do projeto urbano, ainda persistem dificuldades. A principal se encontra no desenvolvimento de ferramentas que atendam a complexidade do processo de concepção espacial urbana.

O Projeto Algorítmico e os *scripts* tem sido uma alternativa a ausência de ferramentas específicas de Desenho Urbano. No entanto, entendemos que apenas essas metodologias não serão capazes de promover o amplo uso dos sistemas computacionais no processo de projeção urbana.

Isso se explica por duas razões. A primeira corresponde a necessidade de mudança de pensamento ante a utilização do computador. Passadas cinco décadas é evidente a necessidade de processos e métodos adequados às ferramentas disponíveis. Essa postura resultaria no abandono dos modos tradicionais de projeção, em que o arquiteto define suas soluções manualmente e apenas as representa com as ferramentas digitais.

A segunda razão é decorrente da dificuldade de se promover o ensino de conceitos computacionais. William Mitchell em a *Lógica da Arquitetura* discorre sobre a necessidade de compreensão dos aspectos lógicos que levam a produção da forma arquitetônica. Mitchell propõe o entendimento da composição arquitetônica através da lógica computacional.

A discussão e a proposição de métodos de implementação dessas ferramentas no projeto urbano são necessárias. Os benefícios previstos pelo emprego desses sistemas nos levam a crer que apesar das dificuldades esses sistemas irão ter um papel cada vez mais importante na atividade de arquitetos e urbanistas. Principalmente dentro do contexto atual em que há a urgência de mecanismos que garantam (e ou promovam) a qualidade das cidades.

1.3 Considerações finais do capítulo

Neste capítulo foi discutido a importância que as ferramentas computacionais obtiveram nas práticas projetuais. Foram apresentados os marcos que possibilitaram o surgimento do CAD (*Computer Aided Design* – Projeto Assistido por computador) como uma área de conhecimento na arquitetura.

Para isso, foi apresentada a evolução histórica dos sistemas CAD (*Computer Aided Design* – Projeto Assistido por computador) bem como os modos como estes sistemas têm sido empregados pelos arquitetos. Foram discutidas ainda alguns avanços tecnológicos importantes que viabilizaram a popularização do computador nos escritórios de arquitetura.

A análise histórica possibilitou estabelecer que as primeiras ferramentas CAD tinham como premissa otimizar o processo projetual, vide o SKETCHPAD. No entanto, os arquitetos passaram a utilizar esses equipamentos para substituir o trabalho manual de desenho.

As causas que afastaram os sistemas CAD do processo de projeção são apresentadas e discutidas ao longo do texto. Dentre elas é importante citar a ausência de uma interface gráfica que fosse acessível ao arquiteto e a dificuldade de uso, que as primeiras ferramentas apresentavam.

Discutiu-se ainda a retomada do uso do computador como ferramenta de projeto e não apenas de representação. Esta retomada se inicia no final da década de 1990 através do trabalho de arquitetos como Frank Gehry, Norman Foster e Nicholas Grimshaw, cuja, as técnicas desenvolvidas fundamentaram as práticas de projeto computacional durante a década de 2010.

No âmbito do projeto urbano não houve a produção de ferramentas computacionais específicas para esta finalidade. O uso dos sistemas CAD pelos urbanistas ocorreu através de programas informação geográfica (GIS) em conjunto com *softwares* de desenho arquitetônico. Apenas no início da década de 2010 é que vão surgir métodos específicos e um aplicativo comercial direcionado para o projeto urbano.

Capítulo 2

2 ABORDAGENS COMPUTACIONAIS DE PROJETO

Neste capítulo são apresentadas as definições dos **Sistemas Generativos** de projeto (KOLAREVIC, 2003; OXMAN, 2006; FRAZER, 1995) e a importância que estes métodos adquiriram dentro dos processos projetuais arquitetônicos na primeira década do século XXI (AISH, 2014; MARK, GROSS e GOLDSCHMIDT, 2008; SCHUMACHER, 2008). Nesta seção ainda definimos o conceito de **Morfogêneses Digital** estabelecido por Branko Kolarevic (2003). Este conceito agrupa diferentes métodos digitais de projeção em um único movimento. Esta tendência está baseada na aplicação dos sistemas computacionais nos processos arquitetônicos. Discutiu-se ainda a importância das **Gramáticas da Forma** como o método (BEIRÃO, 2012; MITCHELL, 2008; STINY e GIPS, 1972) responsável pela consolidação da lógica generativa e do uso de algoritmos como processo projetual (TERZIDIS, 2003). A partir dos conceitos apresentados estabelecemos as definições de **Projeto Paramétrico** e de **Arquitetura Algorítmica**. Ainda definimos estes dois processos como as principais abordagens computacionais de projeto aplicados a arquitetura. Estes métodos permitem que o arquiteto possa definir a sua arquitetura a partir de parâmetros e relações de combinação e (ou) restrições. Outro aspecto levantado nesta seção é a importância o Projeto Paramétrico (aqui descrito como um processo de produção arquitetônica) tem desempenhado na concepção e construção arquitetônica (SCHUMACHER, 2008; EASTMAN, PAUL, *et al.*, 2011). Outra característica dos processos paramétricos de projeto, que é discutida, é a possibilidade de produção de formas arquitetônicas a partir de parâmetros de desempenho (KOLAREVIC, 2004). Por fim discutiu-se a necessidade da transposição da lógica generativa da escala da arquitetura para a escala do urbanismo, com o objetivo de garantir: flexibilidade (BEIRÃO, 2012) e melhoria nas propostas produzidas (KOLAREVIC, 2004).

2.1 Sistemas Generativos

O método generativo trata-se da definição de mecanismos complexos e de interações que possibilitam a emergência de formas. Estas formas derivam de regras generativas, relações e princípios de inter-relação. As soluções formais geradas são resultado da estrutura generativa pré formulada pelo arquiteto (OXMAN, 2006, p. 254).

Em um sistema generativo as interações entre as regras inseridas (e ou propostas) no sistema são prioritárias, pois os objetos são definidos através dessas inter-relações.

O sistema generativo de projeto pode ser compreendido como um método automático de produção de formas. A geração de soluções formais ocorre através da definição de um conjunto de regras ou fórmulas que estabelecem a estrutura do sistema generativo implementado computacionalmente (MARK, GROSS e GOLDSCHMIDT, 2008, p. 173).

Celani (2011) define os Sistemas Generativos como:

“(...) um método indireto do projeto, no qual o projetista não se preocupa apenas com a solução de um problema em particular em um contexto específico. Ele (ou ela) procura criar um projeto mais ou menos genérico, que possibilite resolver problemas semelhantes em contextos diferentes (CELANI, 2011).”

Neste caso, o arquiteto determina as regras e o modelo (ou a estrutura) generativa gera as soluções projetuais. Em um processo generativo o profissional deixa de determinar soluções individualmente e passa a definir (através do sistema) conjuntos de propostas projetuais (MARK, GROSS e GOLDSCHMIDT, 2008, p. 173).

No processo generativo deixa-se de especificar a edificação diretamente e passa-se a desenvolver um sistema de produção de soluções. Esse método tem como enfoque: a produção de uma grande quantidade de soluções; a variedade e a inovação formal (CELANI, PUPO, *et al.*, 2005, p. 502).

O objetivo do Sistema Generativo é produzir soluções a partir de um conjunto de diretrizes. Estas diretrizes podem ser expressas através de um programa de computador ou de um conjunto de operações lógicas, orientadas para gerar soluções para um problema arquitetônico.

Neste processo o profissional insere no sistema uma série de relações. Estas relações são aplicadas a um componente, ou a uma série de componentes para, assim, produzir formas ou simplificar o processo de modelagem pela automação de uma série de comandos (GARBER, 2014).

A abordagem generativa altera o modo como o projeto é definido e modifica o modo como os objetos arquitetônicos são representados. O arquiteto não mais modela a edificação, ao invés disso ele define uma estrutura de regras que quando executadas em um sistema computacional produzirão o modelo (s) (AISH, 2014).

O uso de processos Generativos computacionais tem como foco nas propriedades de geração e de adaptação das formas. Essa característica altera a ênfase do projeto arquitetônico de “fazer formas (*making of forms*)” para “busca da forma (*finding of form*)” (KOLAREVIC, 2003, p. 13).

Neste processo o modelo da edificação é representado pelo conjunto de regras empregadas para definir simultaneamente o conjunto de possíveis soluções projetuais e não apenas soluções formais individualizadas.

A melhoria nas tecnologias computacionais possibilitou que as abordagens generativas se estabelecessem como uma prática de projeto, baseada no uso de ferramentas computacionais. Os Sistemas Generativos iniciaram o processo de transição do enfoque no objeto arquitetônico para o enfoque no sistema (BORDEN, 2014).

O projeto generativo envolve a produção de regras manipuláveis que quando aplicadas produzirão soluções formais. Deste modo, em um sistema generativo, a concepção arquitetônica deixa de se concentrar no objeto e passa a focar na definição do processo (ou estrutura) generativo.

Os Sistemas Generativos permitem que o profissional gere uma grande quantidade de soluções projetuais, a partir de um mecanismo de produção formal. A evolução das ferramentas computacionais aperfeiçoou a aplicação dessa abordagem. Isso ocorre devido ao fato de que os computadores aumentaram a velocidade com que as soluções são geradas (FRAZER, 1995, p. 19).

Modelos Generativos são caracterizados pela disposição de procedimentos computacionais que formalizam o sistema generativo. Aqui, as composições formais do objeto arquitetônico resultam do processo generativo preestabelecido pelo usuário. A estratégia generativa de projeto adotada é definida através de um conjunto de regras ou por meio de algoritmos (OXMAN, 2009, p. 1031).

A partir do momento que as soluções começam a emergir do sistema cabe ao arquiteto selecionar qual a solução melhor atende às suas expectativas de projeto. Essa seleção se dá de acordo com a sensibilidade estética e plástica do responsável pelo sistema (KOLAREVIC, 2001, p. 26).

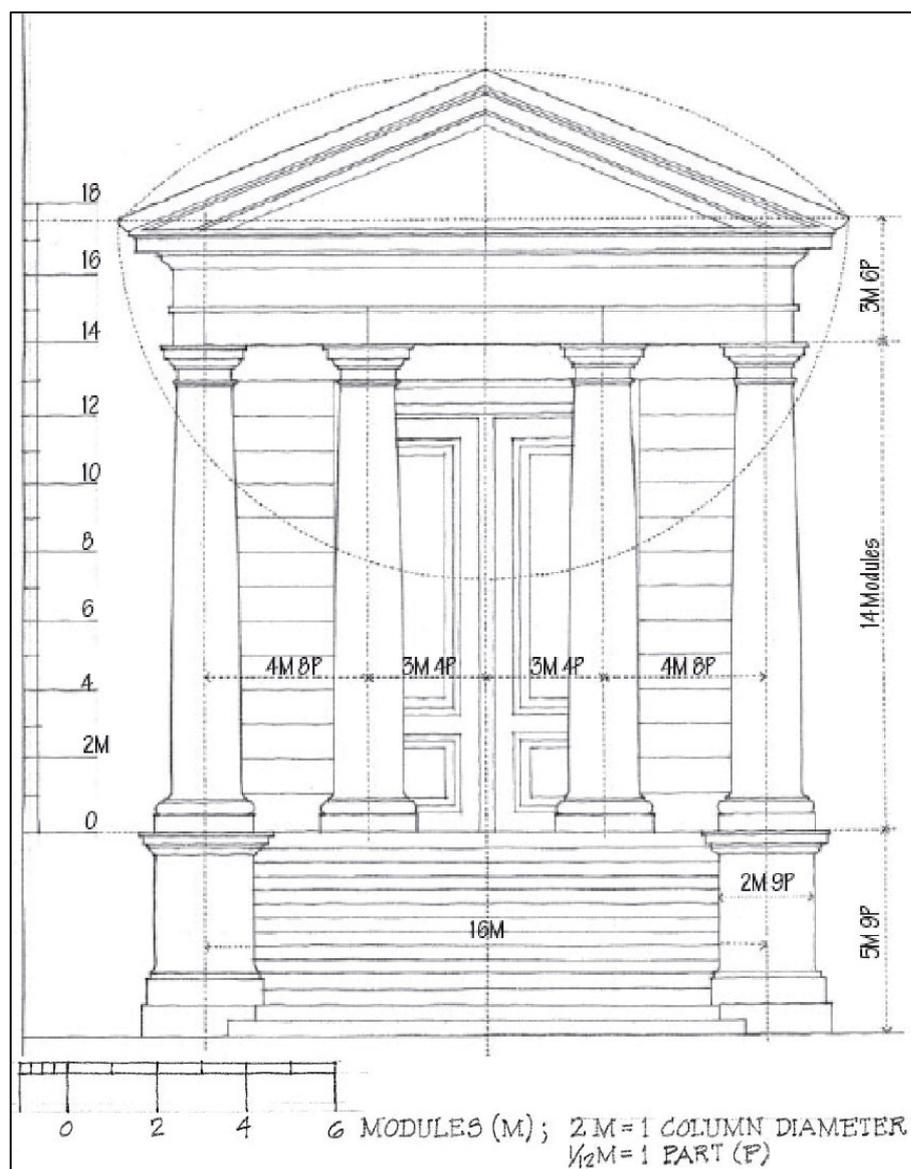
O projeto generativo auxilia o arquiteto no processo investigativo de soluções geométricas. A inserção de novas regras e novos elementos, ou ainda a remoção destes no sistema generativo produzirá um novo conjunto de soluções. Desse modo o profissional é capaz de gerar novos resultados através da manipulação das informações.

Apesar de definir as soluções de forma indireta, o arquiteto ainda é o principal agente no processo generativo. Isto se estabelece pelo fato de que, cabe ao arquiteto definir as regras e os parâmetros que resultarão nas soluções formais. O usuário é o responsável por avaliar e selecionar dentre os resultados gerados pelo sistema generativo quais os que melhor atendem às suas expectativas projetuais.

O uso de estratégias generativas de desenho não é uma prática contemporânea ou que dependa da utilização de computadores. Estes métodos têm sido utilizados com o objetivo de garantir soluções atendessem a um conjunto de critérios e (ou) que pertencessem a uma determinada linguagem arquitetônica.

Os gregos, na antiguidade clássica foram eficientes em descrever a forma de suas edificações através de fórmulas matemáticas. As edificações gregas e as regras de composição dos elementos que as compunham eram estabelecidas matematicamente (ver Figura 2.1, p. 74).

Figura 2.1 - Fachada de templo da ordem toscana



Fonte: CHING (1998, p. 297), adaptado pelo autor.

Essas práticas partiam do princípio de que algumas relações matemáticas manifestavam a estrutura harmônica do universo. Para garantir essa harmonia as dimensões do edifício eram definidas através da seção áurea (CHING, 1998, p. 286).

A Seção Áurea pode ser definida como a razão entre duas seções de uma reta, ou as duas dimensões de uma figura plana, em que a menor das duas está para a maior assim como a maior está para a soma de ambas. Esta proporção está presente na arquitetura e na estrutura de muitos seres vivos. Ela pode ser expressa algebricamente pela equação: $\left(\frac{a}{b} = \frac{b}{a+b}\right)$ (CHING, 1998, p. 286).

No Renascimento, os arquitetos faziam uso da parametrização dos elementos compositivos da arquitetura clássica, para, assim garantir que os projetos produzidos estivessem de acordo com os princípios da arquitetura Greco-Romana.

As dimensões dos elementos arquitetônicos clássicos eram definidos a partir de expressões matemáticas, em que para cada valor inserido na expressão havia uma solução correspondente. Desta forma era garantido ao arquiteto o surgimento de novas soluções formais que atendessem ao estilo arquitetônico definido pela relação matemática (BRIDGES, 1993, p. 10).

Os arquitetos durante a Renascença retomaram o sistema matemático grego de proporções. Através das fórmulas produzidas pelos gregos os arquitetos renascentistas passaram a considerar a arquitetura como a matemática traduzida em unidades espaciais. Em que as proporções eram responsáveis pela definição das dimensões dos recintos e da distribuição dos espaços em uma planta (CHING, 1998, p. 286).

O estilo arquitetônico de um período histórico é resultante da interação de um conjunto diverso de fatores. As características das tipologias edilícias dependem do estágio tecnológico, dos recursos naturais disponíveis, das características físico geográficas do local e dos valores culturais da sociedade que as produziram.

A forma das catedrais ou dos templos gregos é consequência do somatório dos fatores citados. Estes elementos quando reunidos, produzem um conjunto de formas e relações que definem as características estilísticas de cada estilo arquitetônico. Através dessas relações é possível identificar regras que quando aplicadas constituem uma linguagem construtiva (MITCHELL, 2008, p. 97).

Cada estilo arquitetônico possui um conjunto de elementos e características formais que quando agrupados o definem como tal. A repetição desses aspectos não implica em uma repetição de soluções arquitetônicas.

O agrupamento de elementos formais a partir de normas específicas é capaz de produzir um conjunto diversificado de variações do mesmo objeto. Isto é possível, porque na arquitetura não existe uma única solução de projeto e sim um conjunto de soluções que podem atender de modo satisfatório às necessidades projetuais do arquiteto (FISCHER e HEER, 2001).

Os Sistemas Generativos permitem a produção de elementos que possuam semelhanças morfológicas, mas que são diferentes entre si. De modo que um sistema generativo é capaz de produzir arranjos espaciais semelhantes, mas que ainda sim sejam diferentes.

A aplicação de Sistemas Generativos não implica no uso de ferramentas computacionais. Embora estas tecnologias tenham permitido um uso mais amplo desses métodos por arquitetos.

Os métodos Generativos de projeto proporcionam a possibilidade de o arquiteto poder modificar os princípios geradores de soluções para adaptar os resultados obtidos possam ser adequados ao programa funcional. Ao utilizarmos um sistema computacional é possível modificarmos o sistema Generativos independentemente da quantidade de parâmetros utilizados no sistema, ou da etapa do projetual desenvolvida.

Os processos Generativos se caracterizam pelo seu potencial de proporcionar múltiplas respostas para uma determinada questão projetual. Desse modo. O arquiteto pode produzir e visualizar diversas variações formais de um mesmo objeto.

Os Sistemas Generativos podem ser adotados para atender a algumas necessidades projetuais, entre elas:

–Otimização de problemas: uso de Sistemas Generativos em problemas de projeto com critérios bem definidos. Como não existe um método direto para se encontrar uma solução é necessário gerar e testar todas as possibilidades a fim de se encontrar a [...] que melhor corresponda aos critérios exigidos.

–Família de objetos: situações onde há necessidade de variedade, ou seja, problemas de projeto que exigem um determinado número de soluções similares, mas ligeiramente diferentes. [...]

–Design Exploratório: situação onde os critérios para solução de problemas de projeto estão mal definidos, de forma que é importante avaliar as diferentes possibilidades para verificar os seus prós e contras [...] (GODOI, 2008, p. 27).”

Estas necessidades são mais difíceis de serem atendidas no projeto urbano, uma vez que o desenho de cidades envolve um grande volume de variáveis.

Os Sistemas Generativos podem se tornar uma importante ferramenta de auxílio ao processo de Desenho Urbano, em que é necessário produzir rapidamente um grande conjunto de soluções formais. Esse conjunto de soluções é obtido através das especificações generativas preestabelecidas (DUARTE, 2005, p. 378).

O Sistema Generativo pode ser utilizado com o objetivo de obtenção das melhores soluções (convergência), ou com o intuito de produzir variabilidade (divergência), através da geração de múltiplas alternativas (CELANI, 2011).

A partir das múltiplas soluções produzidas, o arquiteto pode averiguar quais dentre as opções geradas pelo sistema são satisfatórias. Caso não o sejam, o arquiteto poderá alterar o modelo generativo, afim de adaptar e gerar novos produtos (CALDAS e NORFORD, 2001, p. 1397).

Essas metodologias desempenham um importante papel no desenvolvimento de novas formas arquitetônicas, pois, permitem que o arquiteto produza rapidamente diversas soluções.

Podemos destacar as duas situações que são objeto de estudo desta pesquisa. A primeira diz respeito a necessidade de produzir um grande número de soluções de projeto. O segundo aspecto corresponde ao gerenciamento de uma grande quantidade de informações.

A possibilidade de produzir um número variado de soluções é importante para o processo de Desenho Urbano. Porque o urbanista pode produzir e averiguar múltiplas opções projetuais. Desse modo, ele passa a verificar quais as soluções urbanas são mais adequadas ao seu programa funcional.

Nesse sentido as ferramentas computacionais se mostram essenciais para o processo de implementação de Sistemas Generativos nos meios de projeto. As tecnologias CAD, tem permitido que o arquiteto pudesse gerar e visualizar as soluções produzidas pelo sistema generativo (FISCHER e HEER, 2001).

Naturalmente o urbanista poderia tentar (e eventualmente conseguir) gerar essas soluções sem auxílio de ferramentas computacionais. No entanto, o projetista, não seria capaz de alcançar a mesma quantidade de resultados no mesmo intervalo de tempo.

A segunda vantagem proporcionada pelo o uso dos Sistemas Generativos no projeto urbano é o controle da informação. Nessa abordagem as informações podem ser manipuladas livremente, para a produzir novas soluções ou adequar os resultados produzidos. Esta flexibilidade é mantida durante todas as etapas do desenvolvimento do projeto.

Ao serem implementados através de ferramentas computacionais os Sistemas Generativos otimizam a manipulação do modelo de produção de soluções. Isso garante flexibilidade ao processo de Desenho Urbano. A produção do espaço construído urbano necessita de uma estratégia de projetual que permita que as soluções produzidas possam ser flexíveis e (ou) adaptáveis (BEIRÃO, 2012, p. 251).

Os Sistemas Generativos, fazem parte de um conjunto amplo e diversificado de métodos projetuais implementados através do uso de computadores, a Morfogêneses Digital. Kolarevic (2003) define esse conjunto de abordagens do seguinte modo:

“No projeto arquitetônico contemporâneo, a mídia digital tem [...] sido utilizada não como ferramenta de representação para visualização, mas como uma ferramenta generativa para a derivação da forma e sua transformação – a morfogêneses digital (*the digital morphogenesis*). [...] formas geradas digitalmente não são projetadas ou desenhadas de acordo com o entendimento convencional que estes termos teriam, mas eles são calculados pelo método generativo computacional escolhido (KOLAREVIC, 2003, p. 13).”

O que diferencia os diferentes métodos de produção de formas é a lógica computacional que define o sistema. Esses sistemas possuem em comum a geração indireta de formas, através do controle de parâmetros e regras de combinação.

Dentre os vários Sistemas Generativos optamos por trabalhar com o Projeto Paramétrico e o Projeto Algorítmico. A escolha por essas abordagens se deu, pois, atualmente estes processos têm sido mais utilizados pelos arquitetos. Outra razão é o fato de que esses métodos permitem a adoção simultânea de mais de uma abordagem generativa de projeto.

Acreditamos ainda que esses processos Generativos são compatíveis com a problemática levantada neste trabalho. O desenvolvimento de um método de projeto urbano computacional definido a partir de parâmetros de sustentabilidade.

2.2 Projeto Algorítmico

Para que possamos compreender melhor o conceito de Projeto Algorítmico é necessário estabelecer as definições de algoritmo e de gramáticas da forma.

A definição de algoritmo é importante para familiarizar o leitor da perspectiva computacional do termo, e assim auxilia-lo na compreensão dos métodos digitais de projeto.

A compreensão conceitual da Gramática da Forma é importante devido ao papel que este formalismo tem tido como instrumento lógico computacional de análise e síntese de formas. Muitos dos métodos Generativos que utilizamos atualmente foram estabelecidos a partir da estrutura lógica deste formalismo.

2.2.1 Algoritmo

Burry e Burry (2012, p. 252), definem um algoritmo como um conjunto específico de instruções utilizadas para executar um procedimento, que inclui uma instrução de início e uma de interrupção. Essa sistemática envolve ainda a relação entre instrução e resultado, ou seja, cada instrução inserida (*input*) no sistema produzirá para esta instrução um resultado específico (*output*).

Uma outra abordagem conceitual considera o algoritmo como um procedimento computacional utilizado para resolver problemas através de um conjunto finito de etapas. O algoritmo pode ainda ser definido como um plano estratégico para solucionar um problema específico (TERZIDIS, 2006, p. 15).

A palavra Algoritmo é uma variação latina do Al-Khwārizm, o nome do matemático persa que escreveu um tratado sobre cálculo no ano de 825 D.C. A definição de algoritmo corresponde a um procedimento para a solução de problemas matemáticos em um número finito de etapas e que frequentemente envolve uma operação a ser repetida³.

A abordagem algorítmica de projeto não implica no uso obrigatório de computadores, embora a utilização de um sistema computacional sempre corresponda a execução de um algoritmo. Isso ocorre porque ao utilizar um comando através de um *software* a operação será executada a partir da transformação de um *input* em *output* (BURRY e BURRY, 2012, p. 252).

O algoritmo como método, pode ser utilizado como um dispositivo de busca por possíveis soluções para um determinado problema. Pode também ser utilizado para descrever um problema através de um conjunto de etapas consistentes, racionais e finitas. Essas etapas, quando operacionalizadas de forma lógica, produzirão um conjunto de soluções, em que para cada *input* será produzido um *output*.

Essa capacidade é inerente a todos os Sistemas Generativos de projeto. Uma vez que esses métodos pressupõe a produção de formas a partir da execução de um procedimento generativo.

No Sistema Generativo o *input* corresponde a: as variáveis, as regras, as relações e ao procedimento enquanto que as soluções geradas correspondem ao *output* (STINY e GIPS, 1978, p. 205).

³ Definição retirada de: Merriam Webster Collegiate Dictionary, 10.Ed. 1995, Springfield, Mass. PP 28.

2.2.2 Gramática da forma

A Gramática da Forma é uma teoria para a codificação de regras subjacentes a uma linguagem projetual. Esse formalismo serve para propósitos analíticos e sintéticos. Analítico por permitir a produção de regras a partir de um conjunto formal existente. Sintético, pelo fato de que é possível sintetizar novas soluções a partir de regras definidas de um conjunto inicial de elementos (BEIRÃO, 2012, p. 44).

Esse formalismo, trata-se de um sistema de produção de formas baseado em regras. Essa metodologia se fundamenta na ideia de linguagem formal, e no uso de uma gramática para descrever a estrutura lógica inerente a uma linguagem específica (MARK, GROSS e GOLDSCHMIDT, 2008, p. 172).

A Gramática da Forma é um mecanismo generativo que permite codificar regras projetuais. Através deste formalismo é possível identificar as regras que compõem uma linguagem formal. Estas regras podem ser expressas em termos de formas e não apenas através de cálculos ou funções matemáticas simbólicas (MITCHELL, 1989, p. 34).

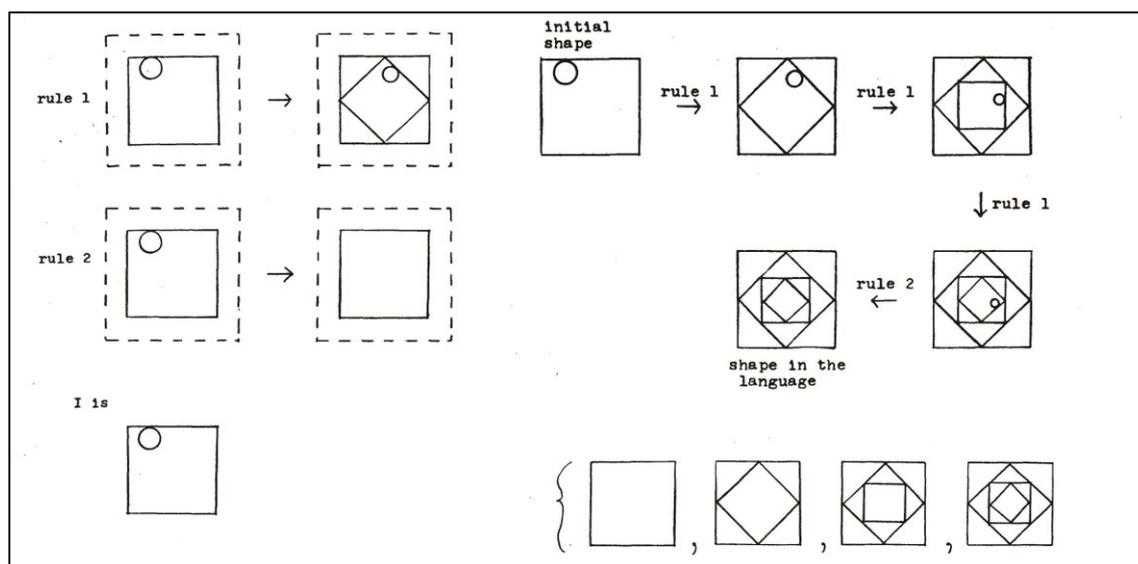
Este método de produção de formas é similar a estrutura gramatical de um idioma. Neste, a estrutura das frases é definida em relação a alfabetos simbólicos. A seguir são geradas linguagens sequenciais de símbolos. Deste modo, uma Gramática da Forma é definida a partir de alfabetos formais que resultarão linguagens formais (STINY e GIPS, 1972, p. 128).

A gramática é definida pelo conjunto de regras que atuam no sistema. As soluções geradas por uma Gramática da Forma são produzidas a partir de regras de transformação aplicadas recursivamente a uma forma inicial, para então gerar novas formas projetuais (BEIRÃO, 2012, p. 44).

A Gramática da Forma pode ser definida como um processo, que através da associação de um conjunto finito de formas a um grupo finito de regras é capaz de produzir novas combinações. Esse método contém especificações que determinam como os elementos do vocabulário serão agrupados para gerar elementos pertencentes a uma determinada linguagem (MAYER, 2003, p. 60).

Na Figura 2.2 (p. 83), demonstra o exemplo de uma Gramática da Forma simples. Nesta gramática temos uma figura inicial e sobre esta figura será aplicada uma regra que determina o modo como um quadrado menor será inserido no quadrado inicial.

Figura 2.2 - Exemplo de uma Gramática da Forma e da linguagem resultante das operações



Fonte: Gips (1975), adaptada pelo autor.

A estrutura de uma Gramática da Forma é caracterizada por quatro componentes: um conjunto finito de formas; um conjunto finito de símbolos; um conjunto finito de regras formais do tipo $\alpha \rightarrow \beta$ (se α então β); e por fim uma forma inicial com um marcador (STINY, 1980, p. 347).

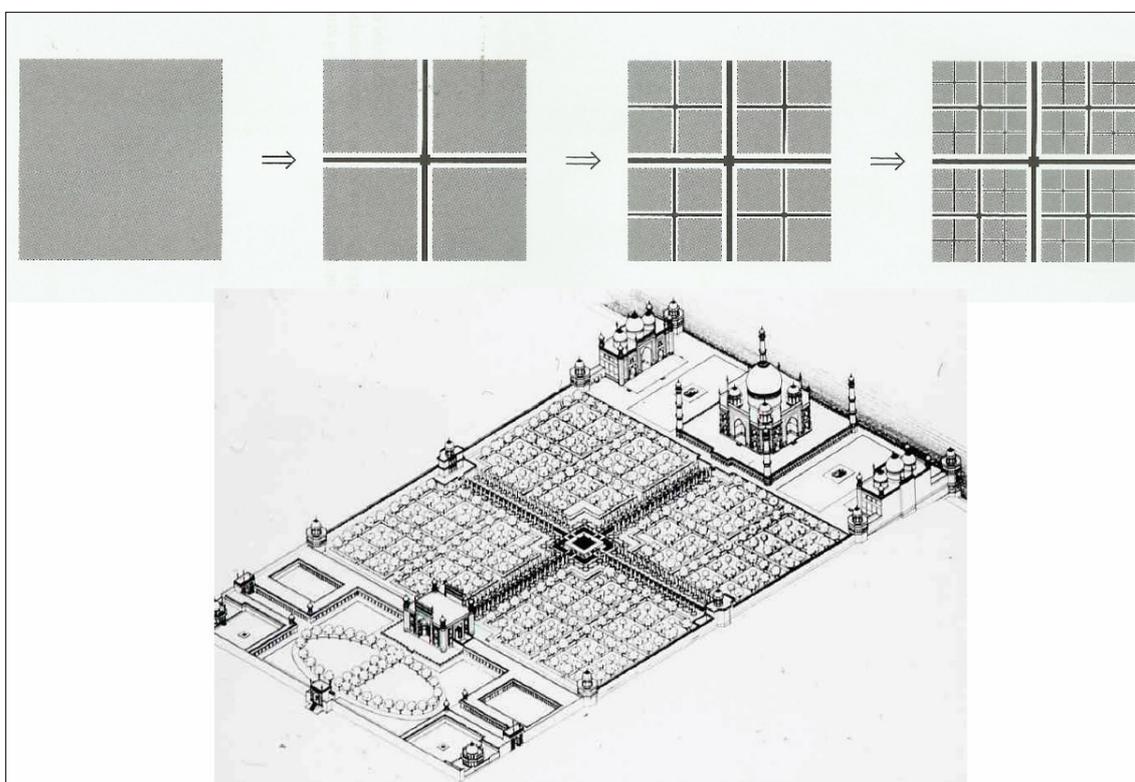
Em uma Gramática da Forma para cada α existe um valor β correspondente, esta estrutura é semelhante a estrutura de um algoritmo, em que α corresponde ao *input* e β ao *output*.

De acordo com Terzidis (2004, p. 202) um algoritmo consiste na extração sistemática de princípios lógicos e do desenvolvimento de um plano para a solução de problemas.

A recursão é a repetição de uma instrução dentro do algoritmo, em que o *output* resultante de um *input* inserido no sistema se tornará o *input* na próxima interação do sistema (BURRY e BURRY, 2012, p. 264). Esse estado irá se repetir até que o sistema aplique todas as etapas da recursão ou quando forem encontradas soluções satisfatórias.

Um exemplo de aplicação recursiva é a regra de distribuição organizacional dos jardins do *Taj Mahal* (Figura 2.3, p. 84). Para a definição dos canteiros a mesma regra foi aplicada sucessivamente para assim conformar a solução desejada.

Figura 2.3 - A regra do jardim islâmico e sua aplicação nos jardins do *Taj Mahal*.



FONTE: Adaptada pelo autor a partir de Mitchell (2008, p. 147).

A aplicação desse formalismo em arquitetura está relacionada ao trabalho de George Stiny e James Gips. Inicialmente eles aplicaram as gramáticas da forma como metodologia de desenho baseada em especificações generativas para a produção de pinturas e esculturas. Nesse processo o artista definia as relações estruturais e materiais que produziram uma obra de arte (STINY e GIPS, 1972, p. 1).

A Gramática da Forma foi um dos primeiros sistemas computacionais que permitia o desenvolvimento de projetos através da computação de dados sobre formas. Esse formalismo possibilitou o uso da lógica computacional, através de uma linguagem visual que não necessitava do uso de computadores (KNIGHT e STINY, 2001, p. 362).

O termo computação quando aplicado a arquitetura deve ser utilizado em um sentido mais próximo do termo em **computation**, que se refere a qualquer tipo de processamento de informações, incluindo-se desde operações elementares até o estudo dos processos cognitivos (CELANI, CYPRIANO, *et al.*, 2006, p. 3).

A importância que as gramáticas da forma possuem para as práticas arquitetônicas reside no estabelecimento de um instrumento de análise e produção de formas a partir da extração dos princípios lógicos que resultaram na forma de um elemento existente.

Esta abordagem permitiu uma modificação no enfoque da atividade de projeto, que deixa de ser a produção do objeto e passa a ser a definição de princípios lógicos capazes de gerar o objeto projetado. Esse princípio fundamentou o arcabouço teórico dos Sistemas Generativos implementados por computadores.

A Gramática da Forma define um processo de projeto em que o arquiteto pode desenvolver sua arquitetura a partir de uma lógica computacional. Não é necessário que o arquiteto possua conhecimentos aprofundados de computação para produzir e aplicar uma Gramática da Forma, uma vez que este pode implementá-las graficamente.

2.2.3 Arquitetura algorítmica

A arquitetura algorítmica consiste em um Sistema Generativo em que o projeto arquitetônico é tratado como um problema a ser solucionado. Desse modo, a solução arquitetônica surge a partir de um conjunto de operações lógicas executadas ordenadamente. Neste processo, para cada problema de projetual existe um universo de soluções possíveis (TERZIDIS, 2006, p. 37).

Celani (2011) define a arquitetura algorítmica como um sistema generativo em que são adotados procedimentos sistemáticos, através da utilização de parâmetros e da avaliação de condicionantes. Esse conjunto de instruções precisas são chamados de algoritmos – daí o nome “Projeto Algorítmico” (ou *algorithmic design*).

Burry e Burry (2012, p. 252) definem a arquitetura algorítmica como sendo o resultado da formalização do processo projetual como um conjunto de procedimentos e instruções específicas.

O Projeto Algorítmico é um processo generativo de projeto em que as soluções arquitetônicas são produzidas a partir de um banco de dados. Esse banco de dados pode ser composto por números, cálculos, relações matemáticas ou mesmo de objetos paramétricos. Nesse processo, cada solução gerada a partir dos dados do sistema é denominado *output* (KHABAZI, 2009, p. 3-4).

O uso de algoritmos em arquitetura consiste na aplicação do potencial generativo para produzir soluções para um problema de projeto específico. Um algoritmo possui a habilidade de inferir conhecimento novo a partir da busca e da extração de padrões de repetição e de princípios universais de organização (TERZIDIS, 2004, p. 202).

O projeto algorítmico associa as suas características generativas e analíticas aos sistemas computacionais. De modo que, quando implementados em um computador, o sistema é capaz de gerar e avaliar as soluções produzidas pelo algoritmo. Nesse processo o arquiteto passa a ser responsável por desenvolver as relações generativas do modelo (BURRY e BURRY, 2012, p. 54-55).

Os algoritmos, quando utilizados como ferramenta de projeto, possibilitam a produção de um universo de soluções. Estas soluções são determinadas a partir das

variáveis definidas para a formulação do sistema generativo. Desse modo as soluções resultantes são dependentes das regras e interações contidas no sistema.

Esse tipo de abordagem representa uma importante ferramenta no processo de produção de modelos urbanos de cidades sustentáveis. Uma vez que, os algoritmos implementados por sistemas computacionais possibilitam a produção de soluções a partir de regras ou parâmetros de sustentabilidade. Nessa tese essas características serão extraídas a partir de duas tendências contemporâneas de urbanismo: o Novo Urbanismo e a Cidade Compacta.

2.3 Projeto Paramétrico

Branko Kolarevic (2003) conceitua o Projeto Paramétrico da seguinte maneira:

“No Projeto Paramétrico, são os parâmetros de um projeto específico que são declarados, não sua forma. Através da atribuição de diferentes valores aos parâmetros (ou variáveis), diferentes objetos ou configurações podem ser criados. Equações podem ser usadas para descrever relações entre os elementos, definindo assim uma geometria associativa [...] (KOLAREVIC, 2003, p. 17).”

Rocha (2009) afirma que:

“O Projeto Paramétrico estabelece a descrição algorítmica da geometria, utilizando modelos paramétricos durante o processo de projeto. Os arquitetos podem construir modelos matemáticos e gerar procedimentos que são condicionados por numerosas variáveis. Nos programas que possuem essa capacidade, o *input* declarado é o parâmetro de um projeto, e não a sua forma (*shape*) (ROCHA, 2009, p. 237).”

A partir destes conceitos podemos concluir que o Projeto Paramétrico possibilita a definição de novas soluções a partir da manipulação de seus parâmetros. Neste processo o arquiteto muda o enfoque do trabalho da definição de objetos geométricos para o estabelecimento de elementos paramétricos. Estes elementos são gerados e manipulados a partir das variáveis que compõe o modelo ou o objeto.

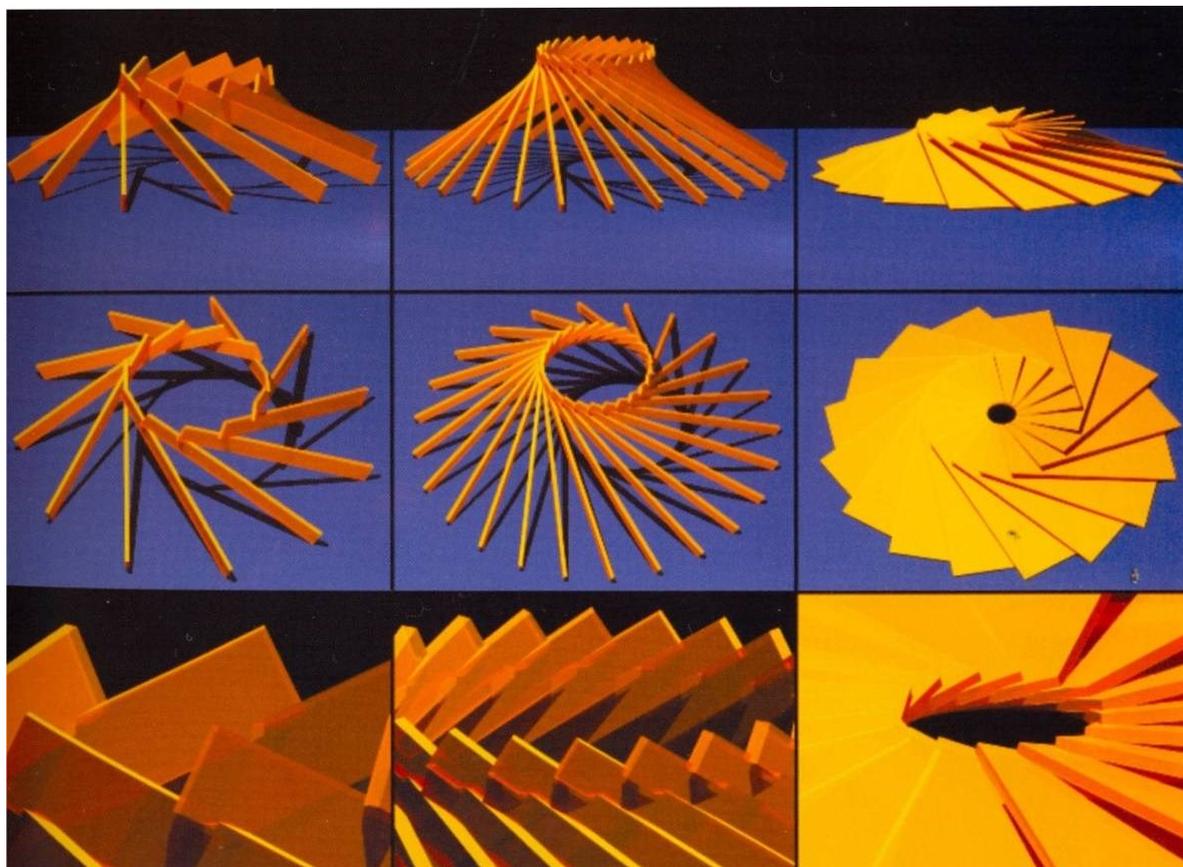
Para Hernandez (2006, p. 38) o Projeto Paramétrico é o processo de se projetar com modelos paramétricos, em um ambiente em que alterações podem ser realizadas facilmente. Esta característica implica na substituição da singularidade pela multiplicidade de soluções no processo projetual.

O modelo paramétrico é a representação tridimensional computadorizada de um elemento. Essa representação é constituída por conjuntos de formas que possuem alguns atributos fixos e outros parâmetros são variáveis.

O Projeto Paramétrico é um processo em que a solução projetual é definida através da especificação de seus parâmetros. Os elementos formais que caracterizam o projeto são expressos através da variação paramétrica. De forma que cada alteração realizada sobre um componente do conjunto resultará numa forma diferente.

A Figura 2.4 (p. 89) traz um exemplo de variação paramétrica em que um conjunto de elementos variam entre si a partir da alteração dos parâmetros geométricos (altura, espessura, diâmetro, etc.) que compõe o objeto.

Figura 2.4 - Variações de um mesmo objeto, diferenciado pela alteração dos parâmetros.



Fonte: Kolarevic (2003).

Em um Projeto Paramétrico computacional é possível alterar as relações e os parâmetros que compõe a edificação durante todas as etapas de produção projetual. Isso é possível, por que a manipulação dos parâmetros permite a produção de um conjunto de soluções e não apenas de um único elemento. Essa característica garante flexibilidade ao processo projetual paramétrico (STEINØ e VEIRUM, 2005, p. 681).

No Projeto Paramétrico, a alteração em uma relação provoca modificações em todos os elementos do conjunto, o que resulta na modificação da geometria gerada.

A flexibilidade proporcionada em um modelo paramétrico não é possível em ferramentas não paramétricas. Nestas ferramentas as alterações no sistema devem

ser feitas em cada um dos elementos que o compõe. Em *softwares* CAD não paramétricos os elementos são definidos de forma isolada, sem uma relação entre as partes e todo (KRYGIEL e BRADLEY, 2008, p. 26).

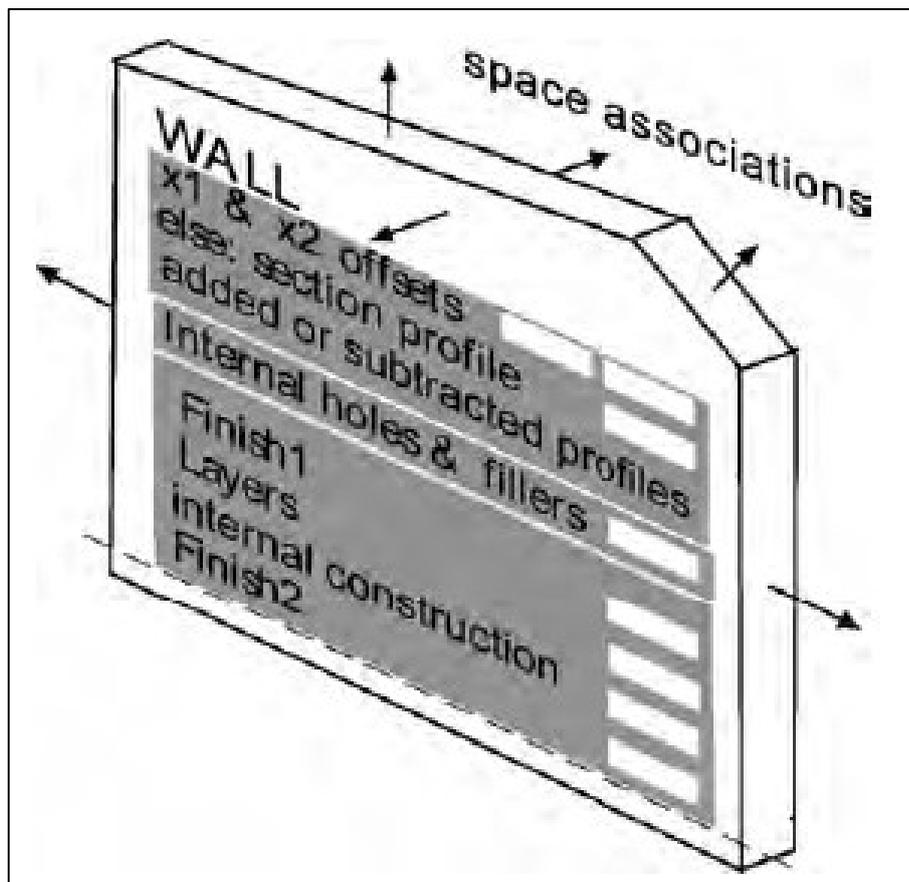
2.3.1 Building Information Modeling e a difusão do Projeto Paramétrico

A modelagem paramétrica altera as representações do projeto arquitetônico de notação de formas geométricas (fixas) para a notação de modelos geométricos paramétricos (variáveis). Os modelos paramétricos possibilitam a construção de relações geométricas instrumentais, estas relações envolvem interações entre as partes do conjunto e o todo (SILVA e AMORIM, 2010).

Dentro dos sistemas computacionais os modelos geométricos podem ser representados de duas maneiras, explícita ou de modo paramétrico. Um modelo explícito é um modelo que possui seus atributos fixos, de tal modo que as variações só podem ocorrer mediante a modificação dos componentes que o constituem. Enquanto que em um modelo paramétrico a sua forma é definida pelos seus parâmetros. Estes parâmetros podem ser alterados produzindo desta maneira novas variações do objeto (HERNANDEZ, 2006, p. 36).

Na Figura 2.5 (p. 92) temos o exemplo de uma parede paramétrica em que as características da parede são definidas através da variação dos parâmetros que a constituem. Neste exemplo além das dimensões da parede é possível ainda definir aspectos construtivos da parede, tais como o tipo de acabamento da parede.

Figura 2.5 - Estrutura conceitual família paramétrica de paredes.



Fonte: Eastman, Paul, *et al* (2011, p. 41).

O uso de modelos paramétricos ou objetos baseados em modelagem paramétrica (*object-based parametric modeling*), deriva do paradigma do projeto orientado para objetos (*object oriented design*). Essa lógica estabelece que um objeto dentro do projeto deve ser adaptar em resposta ao contexto projetual em que está inserido (MARK, GROSS e GOLDSCHMIDT, 2008, p. 173).

Eastman *et al* (2011) define esses objetos da seguinte forma:

“Objetos baseados em modelagem paramétrica (...), não representam objetos com propriedades e geometria fixa. (...) eles representam objetos através de parâmetros e regras que determinam a geometria assim com algumas características e propriedades não geométricas. Os parâmetros e regras podem ser expressões que se relacionam com outros objetos, assim permitindo que se atualizem automaticamente de acordo com o controle do usuário ou pela mudança de contexto (EASTMAN, PAUL, *et al.*, 2011, p. 31).”

A facilidade de modificar e produzir novas soluções dentro de um sistema paramétrico está relacionada ao fato de que esse método usa da lógica da produção de soluções a partir de regras.

As regras, no Projeto Paramétrico, podem ser os requisitos de projeto a serem satisfeitos, como a espessura mínima de uma parede ou a distância máxima entre duas edificações. Isso permite que o arquiteto altere os parâmetros do objeto enquanto o sistema verifica se o objeto ainda satisfaz as regras do sistema (EASTMAN, PAUL, *et al.*, 2011, p. 41).

Garber (2009) afirma ainda que:

“O potencial da modelagem da informação da construção (BIM) é que um modelo inteligente virtual único pode ser utilizado para satisfazer todos os aspectos do processo de projeto incluindo visualização, checagem de conflitos espaciais, produção automática de partes para montagem (CAM-*Computer Aided Manufacturing*), sequenciamento da construção, teste e pesquisa de materiais (GARBER, 2009, p. 8) ”.

No Projeto Paramétrico tão importantes quanto as variáveis geométricas que definem os objetos são as regras e relações que atuam sobre esses parâmetros. Na realidade, o controle e a definição dessas interações é que vão permitir a ampliação da escala de aplicação dessa metodologia da arquitetura para o urbanismo.

Os objetos parametrizados e o controle destes parâmetros são elementos característicos do Projeto Paramétrico. Esses atributos permitem ainda que o arquiteto desenvolva o seu projeto e ao mesmo tempo o teste diante de requisitos e restrições estabelecidos pelo programa funcional do arquiteto.

Os métodos computacionais de projeto, baseado em parâmetros, ampliou o escopo do uso das ferramentas computacionais para além da representação arquitetônica. Esses métodos, agora, permitem a inclusão de análise, simulação e fabricação digital dentro do processo de projeção. Este novo paradigma dá ao arquiteto uma melhor compreensão de suas ideias e de como elas serão materializadas (GARBER, 2009, p. 8).

O Projeto Paramétrico faz com que as soluções produzidas, surjam a partir de parâmetros de Desempenho. Esses parâmetros podem atender a desde aspectos de

caráter, financeiro, espacial, social e cultural até a aspectos técnicos (estrutural, térmico, acústico, legal, etc.). Essas diretrizes de passam a serem consideradas simultaneamente desde os estágios iniciais de concepção projetual (KOLAREVIC, 2004, p. 195).

A difusão do Projeto Paramétrico e a incorporação das ferramentas digitais na construção civil têm influenciado como a arquitetura é produzida. A parametrização oferece aos arquitetos uma maneira nova de se relacionar com a arquitetura, baseada no projeto computacional avançado (SCHUMACHER, 2010).

A implementação do Projeto Paramétrico na década de 2010 se estabeleceu através do uso dos *softwares* BIM (*Building Information Modeling* – modelagem da informação da construção) e de *softwares* de modelagem paramétrica. Esses aplicativos se baseiam na estrutura generativa do desenho paramétrico proporcionada pelo uso dos modelos paramétricos.

As ferramentas BIM têm desempenhado um papel central na difusão da lógica paramétrica na produção das edificações. Krygiel e Bradley (2008) definem BIM:

“(...)pode ser definido como a criação e o uso de informação coordenada, consistente e computável sobre o projeto de uma edificação – informação paramétrica utilizada para a tomada de decisão projeto, produção de documentos de construção de alta qualidade, previsão de Desempenho da construção, estimativa de custo, e planejamento da construção (KRYGIEL e BRADLEY, 2008, p. 27).”

Eastman *et al* define BIM do seguinte modo:

“Nós utilizamos BIM como um verbo ou um adjetivo para descrever ferramenta, processos e tecnologias que são implementadas através de máquinas digitais; documentação acerca de uma construção, sua Desempenho, seu planejamento, sua construção e posteriormente seu gerenciamento. Ademais BIM descreve uma atividade, não um objeto (EASTMAN, PAUL, *et al.*, 2011, p. 586).

Estes dois conceitos enfocam no fato de que o BIM, mais que um conjunto de aplicativos gráficos, é um processo. Um conjunto de práticas que permitem a concepção projetual da edificação a partir de um modelo paramétrico que agrega todas as informações necessárias para a concepção e construção do projeto.

Os processos BIM se baseiam no compartilhamento das informações construtivas entre todos os agentes envolvidos no processo construtivo. Isso permite otimizar os processos e antecipar incompatibilidades, uma vez que todos os profissionais compartilham e trabalham sobre a mesma informação.

Rocha define o processo BIM da seguinte maneira:

“Os sistemas BIM abrangem um conjunto de programas e aplicações computacionais, que incluem sistemas e subsistemas de análise, de estrutura, mecânicos, de automação e controle da construção, de gestão, entre outros [...] O BIM é um sistema preparado para a construção (CAD/CAM) através da fabricação digital [...] (ROCHA, 2009, p. 235).”

A incorporação de ferramentas BIM como um novo método de projeto tem ocorrido de rapidamente durante a década de 2010. Os *softwares* BIM facilitam o uso de componentes e processos específicos para uma dada obra. O controle de modelos tridimensionais possibilita a extração de informações construtivas tais como: peso (ou volume) dos materiais; quantitativos e custos de componentes construtivos; entre outros parâmetros de projeto (VEREBES, 2014, p. 4922).

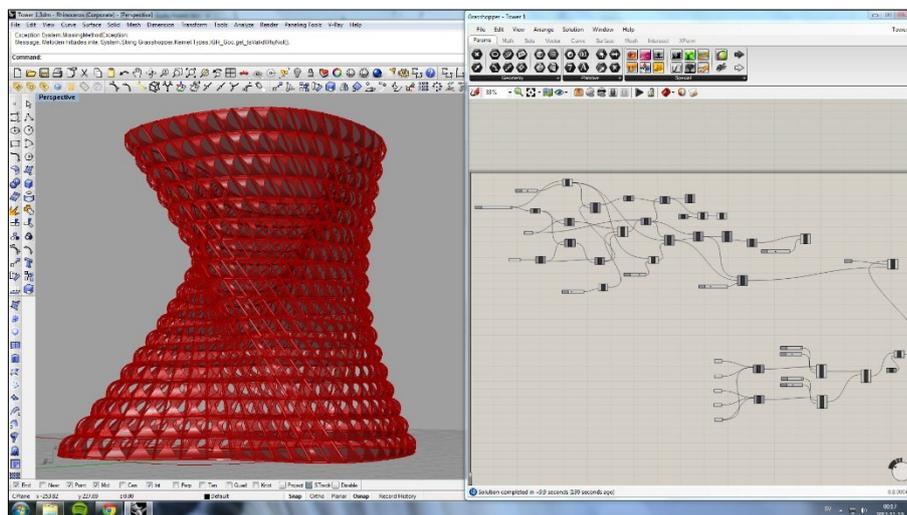
Outro fator que estimulou a utilização dos sistemas BIM em arquitetura está associado a otimização dos processos construtivos. Em um processo de Projeto Paramétrico é possível a produção de componentes customizados através de técnicas de fabricação digital (*CAM – Computer Aided Manufacturing*).

Todo sistema paramétrico pressupõe o uso de um modelo paramétrico, porém nem todo o modelo paramétrico pressupõe o emprego da tecnologia BIM. Um *software* BIM possui um conjunto de categorias de elementos paramétricos construtivos pré-definidos, como por exemplo uma categoria de portas ou janelas. Essas categorias permitem a produção de novos elementos a partir da manipulação dos parâmetros destes objetos.

Nesses *softwares* as relações e regras que definem os elementos já foram pré-definidas pelo desenvolvedor do aplicativo. Alguns profissionais tomam essa característica como limitação, uma vez que ele fica dependente das categorias de objetos contidas no *software* e pela dificuldade que alguns encontram para personalizar essas ferramentas.

Em resposta a essa crítica, algumas ferramentas de modelagem paramétrica têm sido implementadas nos sistemas BIM como o *Grasshopper* (ver Figura 2.6, p.96) para *Rhino*®, o *Dynamo* para o Autodesk Revit e o *Generative Components*.

Figura 2.6 - Interface gráfica do *Rhino*® (esq.) e *Grasshopper* (dir.).



Disponível em: < <http://skatar.com/files/grasshopper-image1---jeffrey-hillgrund.jpg> > Acesso em jul. 2015.

Esses *softwares* se baseiam na mesma lógica generativa de elementos paramétricos, mas tem como foco a definição de algoritmos para a produção de componentes. Os elementos e relações são definidos pelo projetista, não existe uma classe ou categoria pré-definida de elementos paramétricos como ocorre nas plataformas BIM.

Essas ferramentas têm desempenhado um papel cada vez mais importante na aplicação das lógicas paramétricas de projeto. Principalmente por elas permitirem uma maior liberdade na definição dos elementos e das relações paramétricas. Outro aspecto é o fato de que esses aplicativos podem ser inseridos em processos projetuais que vão além da escala da arquitetura.

Os modeladores paramétricos têm se mostrado mais adequados para implementação do Projeto Paramétrico no Desenho Urbano do que as ferramentas BIM. Isso ocorre pelo fato de que os *softwares* BIM foram desenvolvidos para atender a necessidades específicas do fluxo de trabalho do projeto de edificações.

Além do uso de *softwares* o Projeto Paramétrico (tanto em arquitetura, quanto no urbanismo) também tem sido aplicado através do uso de *scripts*. Nesta abordagem, o projetista define e transcreve as suas necessidades de projeto para o sistema computacional através de uma linguagem de programação.

A aplicação cada vez mais frequente do Projeto Paramétrico nos processos de projeto urbano, permitiu o surgimento de um conjunto específico de práticas de Projeto Paramétrico aplicados ao urbanismo.

Este conjunto de métodos, que faz uso de processos Generativos paramétricos tem sido denominado de urbanismo paramétrico. As definições e conceitos desta sistemática serão discutidos na seção Urbanismo e a aplicação de metodologias computacionais de projeto deste capítulo.

2.3.2 Arquitetura performativa ou projeto baseado em Desempenho (*Desempenho-Based Design*)

A otimização, em arquitetura, implica na busca pela melhor solução para um problema arquitetônico. Como determinar, em um universo de possibilidades projetuais, a melhor solução é o objetivo da maioria dos métodos de projeto. As ferramentas computacionais disponíveis atualmente permitem que se possa investigar e avaliar conjuntos amplos de soluções (VEREBES, 2014, p. 4851).

Os sistemas computacionais proporcionaram o surgimento de uma nova abordagem projetual, o projeto baseado em Desempenho. Neste processo, o desempenho da edificação se torna um princípio de projeto que irá nortear o processo de produção da forma arquitetônica (KOLAREVIC, 2004, p. 195).

O projeto performativo (*performative design*) através do uso de ferramentas computacionais tem se estabelecido como método de projeto. A utilização de métodos Generativos de projeção rompe a barreira entre as simulações de avaliação e as simulações de validação. Dentro do projeto performativo essas atividades acontecem simultaneamente durante a concepção arquitetônica (OXMAN, 2009, p. 1036).

Essa abordagem provocou o surgimento de um novo processo de projeto baseado na produção de soluções formais a partir de modelos virtuais gerados a partir de critérios de Desempenho. O objeto modelado virtualmente é o modelo de Desempenho (*Performance Model*). Neste processo os fatores de desempenho do edifício são utilizados como parâmetros para a produção da forma (*form making*) (CELANI, 2011).

A emergência de métodos digitais de projeto viabilizou o uso de processos fundamentados na produção baseada em Desempenho (*Performance-based generation*). Os modelos digitais baseados na a geração de formas produzidos a partir de critérios de desempenho tem tido um importante papel no desenvolvimento do projeto baseado em Desempenho (*performance based-design*) como metodologia de projeto (OXMAN, 2009, p. 1026).

A necessidade por economia de recursos e de racionalização no uso dos materiais naturais se configura, dentro da arquitetura, como um paradigma de projeto. Os espaços passam a ser projetados tendo como objetivo a redução dos impactos ambientais. Esse contexto proporcionou uma maior ênfase na simulação da edificação com o objetivo de otimizar as soluções de projeto.

A produção dos ambientes construídos é definida a partir de parâmetros. Estas variáveis permitem que as edificações construídas sejam adequadas ao uso, as condicionantes climáticas e as necessidades dos usuários. Mesmo as construções que são construídas de forma espontânea⁴ são produzidas a partir de critérios que buscam atender a algum parâmetro de Desempenho.

A arquitetura deve promover a produção de construções capazes de atender as necessidades de uso dos indivíduos que a ocupam. As variáveis ambientais foram (e são) um dos primeiros critérios de Desempenho a serem considerados na produção dos edifícios.

A qualidade de uma construção estava (e ainda está) relacionada com o modo como o edifício se relaciona com o meio. Essa capacidade de adequação se configura em importante princípio de definição da forma arquitetônica (OLGYAY, 1962, p. 4).

As variáveis climáticas são determinantes no processo de definição da arquitetura. Olgyay (1962, p. 4) comprova esta tese ao verificar a variedade de formas encontradas nas habitações de tribos indígenas americanas. Esses povos, embora compartilhassem traços culturais semelhantes, produziram um conjunto diversificado de habitações.

⁴ Aqui nos referimos as edificações que são construídas sem a participação de um arquiteto.

Ao avaliar as tipologias habitacionais de diferentes grupos indígenas americanos Olgay observou que as construções variavam entre si para deste modo atender ao contexto climático em que estão inseridas (ver Figura 2.7, p.100).

Figura 2.7: Exemplos de habitações indígenas e suas variações de acordo com as condicionantes climáticas.



Fonte: Olgay (1962, p. 5) adaptado pelo autor.

O Desempenho no contexto das práticas projetuais arquitetônicas possui diversas implicações, além de desempenhar diversas funções. O desempenho das edificações tradicionalmente está associado com o processo de validação, que associado a simulação auxilia a obtenção de soluções arquitetônicas que possuam a performance desejada (OXMAN, 2009, p. 1026).

A modelagem tridimensional, inicialmente, foi implementada para simular e representar a edificação. Os *softwares* de Projeto Paramétrico atualmente permitem que a geometria da edificação seja produzida a partir de fatores físicos como altura, qualidade do material, entre outros aspectos. Assim, a forma é gerada através da especificação e do controle destes atributos (GARBER, 2014, p. 1620)

O Projeto Paramétrico e a arquitetura algorítmica permitem que o arquiteto produza soluções de projeto a partir de um conjunto de parâmetros e restrições. Em um processo paramétrico de produção de soluções arquitetônicas, as soluções que não atendam as relações preestabelecidas são eliminadas. Isso ocorre porque o sistema só produz forma que atendam aos critérios predefinidos.

De acordo com Celani (2011) o método generativo de projeto permite que:

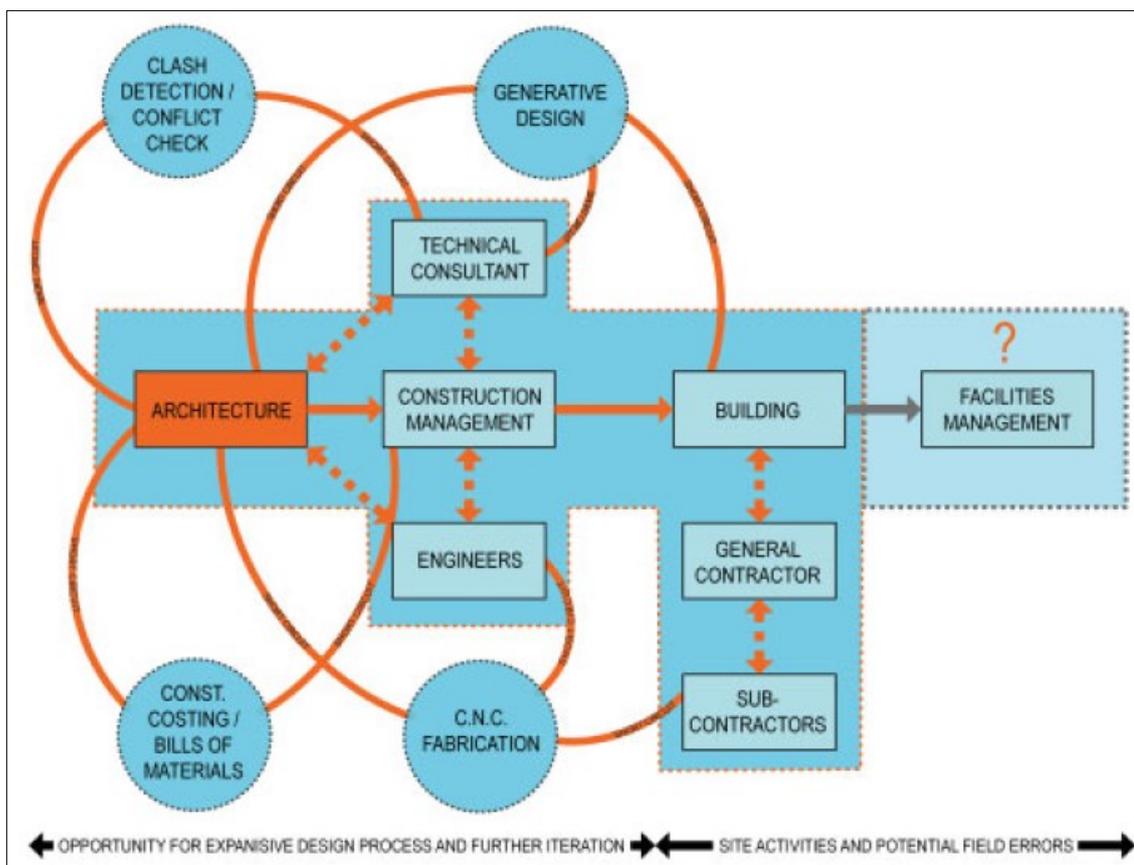
“Para problemas bem definidos, mas para os quais não existe nenhum método direto para encontrar uma solução, pode-se gerar sistematicamente todas as alternativas possíveis e em seguida testá-las, de modo a encontrar a alternativa ótima – aquela que melhor corresponde aos critérios exigidos. Em outras situações o objetivo pode ser a geração de uma grande diversidade de opções dentro de uma linguagem, seja para a exploração criativa de ideias, seja para a criação de famílias de objetos (CELANI, 2011)”.

Os processos Generativos de projeto rompem com os modos tradicionais de produção da forma arquitetônica. Nestes métodos o arquiteto define um modelo de produção de soluções formais geradas digitalmente. A forma é calculada através da técnica generativa escolhida e não por meio da definição de desenhos (KOLAREVIC, 2004, p. 195)

É possível incluir no modelo virtual, objetivos e critérios de projeto, que irão servir para restringir o universo de soluções projetuais àquelas que atendam aos parâmetros definidos. Para isso é necessário a compreensão das restrições e das expectativas de desempenho do objeto projetado (MUELLER e SMITH, 2013, p. 2664).

As ferramentas computacionais permitem que as soluções produzidas, pelo arquiteto, sejam submetidas a análises e testes pelos profissionais envolvidos na produção da edificação durante a concepção projetual. Esta análise ocorre de modo simultâneo, em que, à medida em que o projeto vai se desenvolvendo ele é submetido a análise por parte dos profissionais envolvidos no processo, ver Figura 2.8(p. 102) (GARBER, 2009, p. 8).

Figura 2.8 - GRO Architects, diagrama ilustrativo da inserção da modelagem da informação na prática arquitetônica.



Fonte: Garber (2009, p. 8).

As tecnologias disponíveis possibilitam que o edifício tenha a capacidade de se adaptar (e reagir) a fatores ambientais externos. Sensores instalados na edificação permitem que a mesma “responda” a estímulos, como por exemplo a quantidade de iluminação recebida por uma fachada. Estes sistemas aproximam o comportamento do edifício ao de um organismo vivo, capaz de reagir à condicionantes externas a edificação (BURRY, 2011, p. 3346).

O uso da arquitetura performativa (ou projeto baseado em Desempenho) está associado com o desenvolvimento do Projeto Paramétrico implementado por computadores aprimorado e difundido no fim da década de 1990.

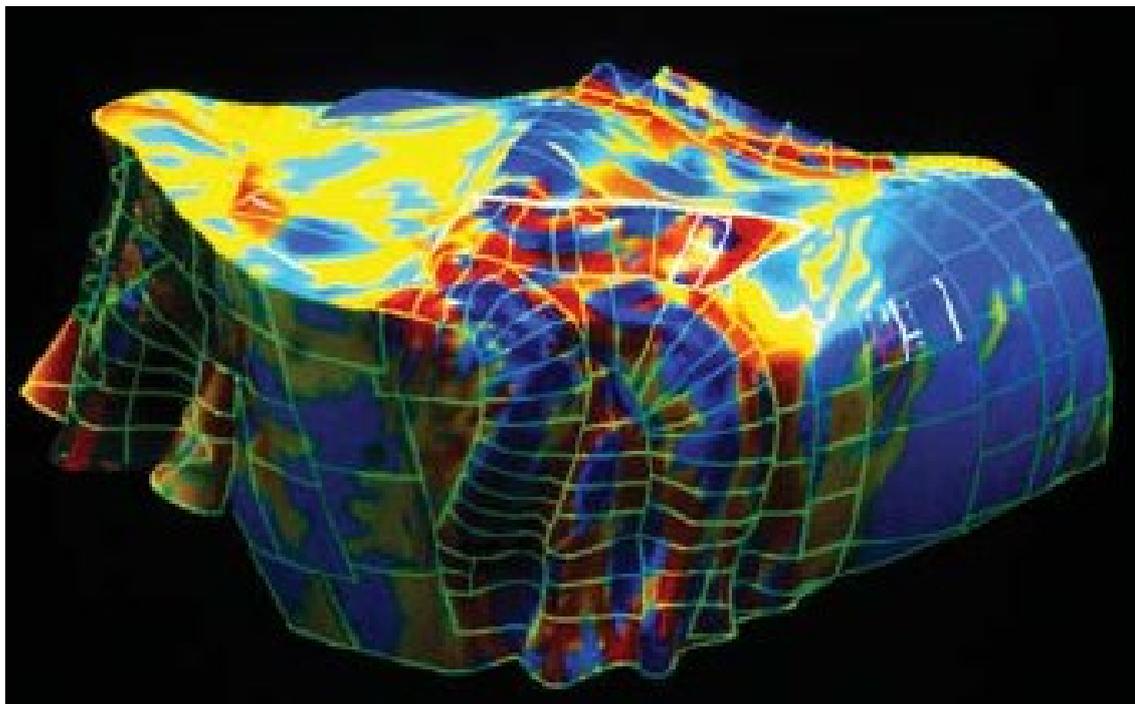
Kolarevic (2004) afirma que:

“O projeto performático, estruturado por uma ampla agenda de Desempenho e auxiliado por um conjunto de ferramentas de análise e simulação de desempenho, (...), foi definido a algumas décadas atrás. (...) o projeto baseado em Desempenho esteve no centro das pesquisas na área do projeto assistido por computador – muitos dos conceitos e técnicas foram desenvolvidas no final da década de 1960 e início da década de 1970 (KOLAREVIC, 2004, p. 196). “

Os processos desenvolvidos por profissionais como Frank Gehry, Grimshaw *and Partners* e Norman Foster neste período foram determinantes no desenvolvimento do projeto performativo. Projetos como o *Experience Music*, Seattle (1999 - 2000) utilizam de ferramentas de análise e simulação para determinar a extensão da curvatura das superfícies da edificação.

A Figura 2.9 (p.104) traz o modelo virtual da geometria do *Experience Music* de Seattle. O modelo virtual permitiu, além da representação, que os elementos que constituem a fachada fossem produzidos considerando suas características geométricas e sua eficiência estrutural.

Figura 2.9 - Análise de desempenho de material no *Experierience Music Project*, Seattle (1999 – 2000).



Fonte: Kolarevic (2004, p. 197).

No âmbito da arquitetura o projeto performativo tem sido aplicado de forma ampla e diversificada. Parte da produção arquitetônica contemporânea faz uso de algum processo de análise de Desempenho do objeto projetado para a definição das soluções obtidas.

O Projeto Paramétrico tem permitido que o arquiteto produza soluções formais a partir de critérios de desempenho. O uso desses processos permite que o arquiteto produza um conjunto de soluções capazes de atender as especificações de eficiência.

Essa característica é uma contribuição no desenho de espaços urbanos. O uso de estratégias paramétricas de projeto no Desenho Urbano serve de fundamentação teórico-prática para o urbanismo paramétrico. Na seção seguinte iremos apresentar como estes processos e ferramentas estão inseridos no processo de Desenho Urbano.

2.4 Urbanismo e a aplicação de metodologias computacionais de projeto

Os sistemas computacionais permitem a simulação de fenômenos complexos. A Cidade Tradicional é um sistema complexo com capacidade de auto-organização (*self-organization*). A distribuição dos elementos que compõe os espaços urbanos ocorre a partir da aplicação de alguns critérios de ocupação.

2.4.1 Urbanismo paramétrico

Os *softwares* paramétricos de projeto na primeira década do século XXI tem proporcionado o surgimento de soluções arquitetônicas produzidas a partir do controle de suas variáveis e de critérios de Desempenho. Essas edificações são geradas a partir de modelos virtuais capazes de se adaptar ao contexto projetual em que estão inseridos. Essa abordagem, tem se mostrado eficiente no aumento da qualidade arquitetônica contemporânea (LEACH, 2009, p. 6).

As vantagens trazidas pela aplicação da lógica paramétrica têm fomentado pesquisas e experimentos no sentido de transferir do projeto arquitetônico para o projeto urbano. Dentre os principais aspectos que tem atraído projetistas urbanos para o uso do parametrismo está a possibilidade de se produzir uma grande quantidade de soluções a partir de um número pequeno de parâmetros e regras.

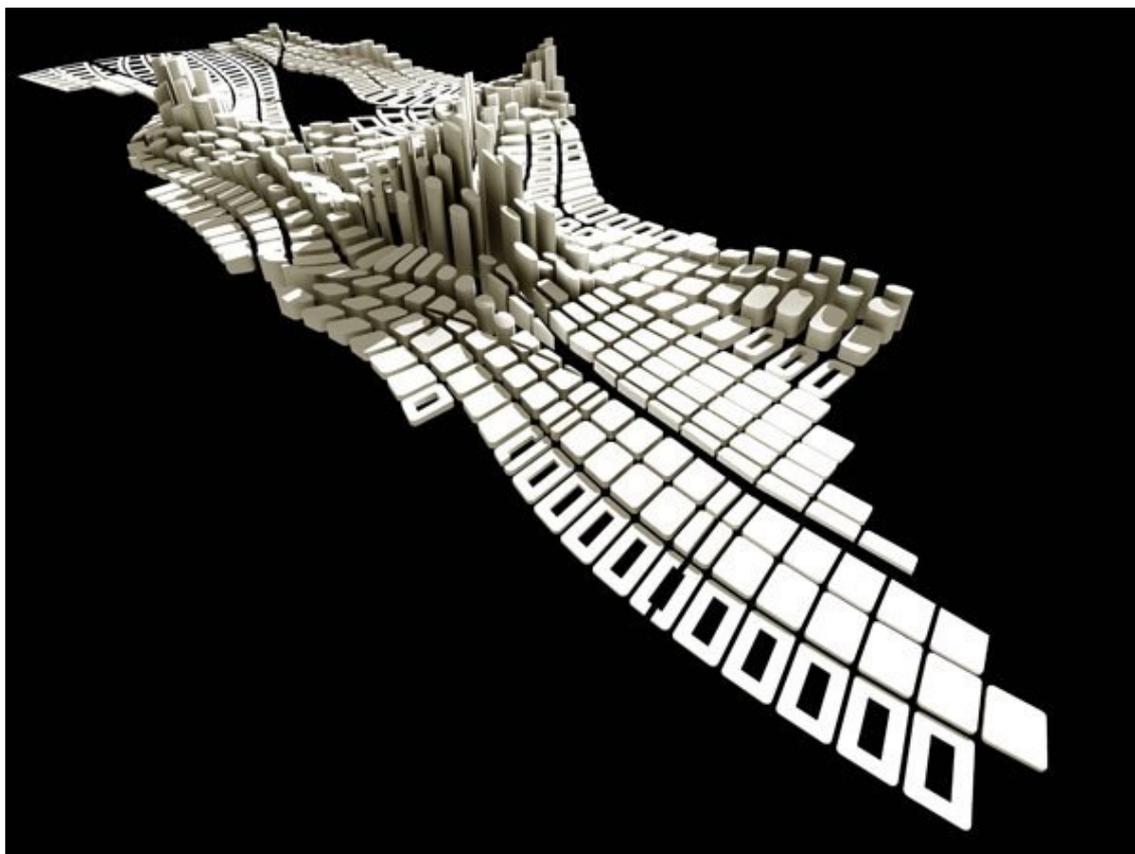
O urbanismo paramétrico é o resultado da aplicação da lógica do Projeto Paramétrico, implementado através de sistemas computacionais no projeto urbano. Nesse método as soluções urbanas são produzidas a partir da definição de parâmetros e regras de variação, controle e Desempenho.

Não se trata apenas de produzir representações, mas, sim da produção de modelos paramétricos capazes de se adaptar para a atender a diretrizes Desempenho. Essa abordagem permite a visualização, a validação (teste das soluções ante a restrições projetuais) e flexibilização (produção de soluções adaptáveis a partir da alteração dos parâmetros) ocorram simultaneamente. Os modelos urbanos produzidos parametricamente servem de base para a tomada de decisões (SILVA, 2010, p. 29).

No urbanismo paramétrico, assim como na arquitetura paramétrica, o projetista define uma lógica generativa. Essa lógica é descrita através de parâmetros (como por exemplo: vias, tipologias edilícias, número de quarteirões, etc.), regras e relações (taxa de ocupação, zoneamento, etc.). O controle dessas variáveis e diretrizes urbanas é que irá produzir as soluções projetuais urbanas.

Na Figura 2.10, (p. 106) temos uma proposta de intervenção urbana modelada em *Rhinoceros* e *Grasshopper* baseado em um *script* de proliferação de formas. As diretrizes generativas foram desenvolvidas a partir do da “trilha de feromônios” de formigas.

Figura 2.10 - Ant Urbanism, Taipei, Annie Chan, Yikai Lin, Ant Urbanism, University of Southern California, 2009.



Disponível em: < <https://neilleach.wordpress.com/teaching/studio-work/ant-urbanism/> > Acesso em jul. De 2015.

O projeto urbano (como produto e não como atividade de concepção projetual) pode ser definido a partir de um conjunto de diretrizes ou relações, o que não necessariamente implica na representação de edificações. O desenhista urbano

frequentemente produz planos conceituais que determinam princípios de ocupação de áreas urbanas como número de lotes por quarteirão, relação entre áreas pavimentadas e áreas não-pavimentadas, etc, (STEINØ e VEIRUM, 2005, p. 679).

A grande quantidade de elementos que constituem a morfologia urbana e as inúmeras variáveis que atuam sobre esses componentes dificultam a atividade projetual do urbanista. Uma vez que é necessário, para a obtenção da produção de bons espaços, antever e considerar a maior quantidade possível de variáveis para atender ao programa funcional adequadamente.

Para tanto é necessário que o urbanista seja capaz de considerar os riscos, custos e as consequências que a sua proposta poderá produzir (SAATY, 2013). A adoção de estratégias e ferramentas paramétricas de projeto na atividade de concepção auxiliam nesse processo de gerenciamento e verificação das soluções emergentes do sistema.

Essa capacidade é importante diante da necessidade de redução do consumo de recursos naturais e da otimização da ocupação das áreas urbanas. O fenômeno urbano, desde o século XIX até o nosso tempo presente, tem estado associado a ideia de desordem. Apesar do aparente caos provocado pela grande diversidade de formas físicas, é possível identificar padrões e lógicas de ocupação urbana que foram responsáveis por esta configuração (BATTY, 2008).

Para Schumacher (2009, p. 18) a grande deficiência do planejamento urbano modernista foi não ter tido a capacidade de identificar os padrões de ocupação urbana existente na Cidade Tradicional. Os urbanistas modernos não conseguiram perceber que os percursos sinuosos existentes nas cidades tradicionais não surgiam de forma espontânea. Essa deficiência ocorreu por que neste momento os arquitetos modernistas compreendiam o mundo sob a perspectiva cartesiana (SCHUMACHER, 2009, p. 18).

A cidade é um sistema complexo, que depende: de um grande número de variáveis; das relações destas variáveis entre si e destas com todos os demais elementos que compõe o conjunto. A morfologia urbana é resultado da maneira como os diferentes elementos físicos que a compõe são organizados. Além destes aspectos a configuração da cidade ainda depende dos aspectos socioculturais da população que nela vive.

A Teoria complexa define que um sistema complexo resulta de pequenos componentes que respondem a regras locais de combinação e que a soma das partes que integram o conjunto irá produzir um sistema complexo, em que o todo é dependente das interações conjuntas dos menores componentes do sistema (BURRY e BURRY, 2012, p. 254).

A teoria da complexidade e os experimentos desenvolvidos por Frei Otto tem nos ensinado a reconhecer, compreender e simular os padrões complexos que emergem de processos de auto-organização (*self-organization*). Padrões urbanos de ocupação que surgiram de modo espontâneo agora podem ter a sua lógica interna identificada (SCHUMACHER, 2009, p. 18).

A abordagem paramétrica se apresenta como um método adequado para atender a complexidade inerente aos processos de crescimento urbano. Uma vez que essa metodologia garante flexibilidade ao processo de projeção urbana. Beirão (2012, p. 249) define a flexibilidade como sendo a capacidade de um sistema projetual ou método de se adaptar a alterações inesperadas ao contexto projetual.

O uso de estratégias paramétricas de Desenho Urbano tem se tornado comum. Alguns escritórios de arquitetura, como o *Zaha Hadid Architects* e o MVRDV, têm utilizado estas metodologias como principal mecanismo para definição de suas propostas urbanas.

Estes trabalhos têm apontado alguns direcionamentos relativos a como incorporar os sistemas computacionais no processo de projeto urbano, com o objetivo de aumentar a qualidade urbana das soluções que propõe (STEINØ e VEIRUM, 2005, p. 682).

O desenvolvimento de tecnologias de *Building Information Modeling* (BIM) tem auxiliado a produção de edifícios que atendam às demandas da Sustentabilidade. Estas tecnologias computacionais permitem um processo integrado de projeto e construção, em que as soluções são avaliadas e testadas durante todas as etapas projetuais.

Neste sentido, desenvolvedores de *softwares* e urbanistas tem procurado estabelecer práticas e processos semelhantes ao BIM para o Desenho Urbano, um Modelo da Informação da Cidade (*City Information Model - CIM*) (GIL, ALMEIDA e DUARTE, 2011, p. 143).

O *City Information Model* também é entendido como uma analogia ao BIM por Stojanovski (2013) que afirma:

“CIM é uma analogia ao BIM no urbanismo. É um sistema de elementos urbanos representados por símbolos em um espaço 2D e dentro de um espaço 3D. Ele também é concebido como expansão 3D do GIS (3DIS ou Sistema de Informação tridimensional) enriquecido com vistas em múltiplos níveis e múltiplas escalas, conjunto de ferramentas de projeto e inventário de 3D de elementos com seus relacionamentos (STOJANOVSKI, 2013, p. 114).”

A transferência da lógica do BIM para o CIM no que diz respeito a sua aplicação ao processo de Desenho Urbano, traz algumas expectativas, tais como:

“ CIM (*City Information Model*) deve ser um altamente eficiente, multifuncional, sistema integrado de gerenciamento, seus dados são mais completos, o modelo é mais preciso e eficiente, seu enfoque é alcançar compartilhamento de informação e colaboração entre serviços e campos diversos (...) (XU, DING, *et al.*, 2014).”

A implementação do CIM passa pela integração dos sistemas GIS e CAD, ferramentas computacionais amplamente utilizadas para a produção de mapas e modelos urbanos tridimensionais. Deste modo, as plataformas a serem desenvolvidas deverão possuir características CAD e GIS (AMORIM, 2015, p. 97).

O CIM, apesar de proporcionar um novo conjunto de práticas urbanas baseada no uso de sistemas computacionais, tem tido o seu enfoque na gestão dos espaços urbanos existentes. Em que, a partir do volume de informação concentrado no modelo digital urbano seria possível uma tomada de decisão mais acertada por parte dos gestores urbanos.

Neste sentido ferramentas de modelagem paramétrica nos parecem mais apropriadas para auxiliar na concepção de espaços urbanos que é o enfoque deste trabalho.

O uso de uma abordagem paramétrica no Desenho Urbano nos últimos anos pode fazer emergir um novo estilo de Desenho Urbano, o urbanismo paramétrico. Que reúne produções urbanas que são produzidas a partir da utilização de técnicas de Projeto Paramétrico (SILVA, 2010, p. 50).

A maioria das aplicações e usos do Projeto Paramétrico tem tido enfoque na produção de soluções a partir de parâmetros formais. Isso tem provocado discussões relativas a necessidade de se inserir características que pudessem atender às necessidades projetuais urbanas que vão além dos aspectos morfológicos do lugar.

Silva (2010, p. 20) argumenta para a necessidade de se procurar atender a parâmetros que não sejam apenas parâmetros formais, sob o risco de incorrer nos mesmo erros dos urbanistas modernos. Deste modo, Silva (2010) em seu trabalho faz defende a necessidade de se estabelecer parâmetros formais e parâmetros sociais dentro do modelo paramétrico.

Esta tese também tenta contribuir com o preenchimento dessa lacuna propondo um método de projeto generativo paramétrico urbano cujo os parâmetros são extraídos a partir de teorias urbanas que definem características capazes de proporcionar uma melhor qualidade dos espaços construídos.

2.5 Considerações finais do capítulo

Os Sistemas Generativos, atualmente, constituem o arcabouço teórico e prático que definem os modos como os sistemas computacionais são utilizados pelos arquitetos. As aplicações desses processos, em arquitetura, indicam a consolidação de algumas metodologias de projeto computacional, dentre elas o Projeto Paramétrico e a Arquitetura Algorítmica.

A estratégia generativa de projeto compreende um conjunto amplo de abordagens metodológicas. Essas abordagens têm em comum a produção de formas, de maneira indireta, através da manipulação de parâmetros, regras e componentes.

Neste trabalho identificamos duas abordagens generativas que tem maior impacto nas práticas arquitetônicas contemporâneas, o Projeto Algorítmico e o Projeto Paramétrico. Estes processos se destacam pelo fato de que permitem que o arquiteto possa adotar abordagens generativas diferentes.

Nos métodos computacionais de projeto a informação adquire um papel central. Os Sistemas Generativos, o Projeto Algorítmico e o Projeto Paramétrico, em maior ou menor grau, se estabelecem a partir da definição e manipulação de informações, que, quando organizadas irão proporcionar a produção de soluções projetuais.

Esses métodos têm alterado a forma como concebemos e construímos as nossas edificações e mais recentemente as nossas cidades. A transposição do parametriso da arquitetura para urbanismo começa a se consolidar como método de projeto urbano capaz de atender às demandas por melhoria nos espaços urbanos.

A importância que esses processos podem desempenhar nos processos de Desenho Urbano nos próximos anos resulta do controle paramétrico das variáveis do sistema. Uma vez que as variáveis, as relações e restrições que atuam no modelo podem ser definidas a partir de critérios de Desempenho com o intuito de garantir a qualidade das soluções obtidas pelo sistema.

Capítulo 3

3 A EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO DESENHO DAS CIDADES

Nesta seção é apresentado um panorama histórico do processo de ocupação das cidades e as origens da vida urbana. O entendimento do processo evolutivo das cidades permitiu compreender a associação entre a vida urbana e a necessidade da humanidade se organizar em **sociedade** (BENEVOLO, 2011; NUTTGENS, 1997; MUMFORD, 1998). A **cidade** se estabeleceu em oposição às **áreas rurais**, essa separação ocorre ainda durante a sua origem na Antiguidade, em que, fica evidente a incompatibilidade de coexistência entre as atividades agropastoris e a vida urbana (KOSTOF, 1995; GUIMARÃES, 2004). A cidade, ao longo da história, possui diferentes graus de importância para a sociedade Ocidental. Os fatores que irão determinar qual a relevância que os espaços urbanos irão desempenhar na sociedade está relacionado com a estrutura social, as condições econômicas e com o contexto histórico na qual as cidades estão inseridas (KRIEGER, 2009). Nesta seção do trabalho são estabelecidas as origens do **planejamento urbano** e as lógicas que definem o surgimento de uma cidade. São apresentados ainda os modelos urbanos desenvolvidos ao longo da história como por exemplos os modelos urbanos renascentistas. São identificadas as origens da Cidade Industrial como sendo o resultado do término do sistema feudal e do processo de industrialização sofrido pelo mundo ocidental nos séculos XVIII e XIX. As cidades tradicionais europeias não estavam aptas para receber a população que se deslocou do campo para a cidade em busca de trabalho após o término do sistema feudal. Estas populações se dirigiam para as cidades para trabalhar nas fábricas da Cidade Industrial. Este processo provocou o aumento populacional nas cidades europeias existentes e teve como consequência a degradação destes ambientes urbanos. A partir deste contexto é que surgirão os **modelos urbanos utópicos**, que objetivavam melhorar as condições de vida nas cidades. Estes modelos utópicos terão grande influência sobre o **Desenho Urbano Moderno**. Por fim são discutidas as consequências provocadas pela implantação do **Urbanismo Moderno** nas cidades da primeira metade do século XX.

3.1 O desenho da cidade ao longo da história

3.1.1 A origem distante: as primeiras aldeias

Podemos associar a origem das cidades, tal qual as conhecemos atualmente, a quatro fatores. O primeiro se refere ao surgimento de excedentes, resultado dos avanços tecnológicos na área da agricultura, pecuária e metalurgia; o segundo a existência de condições geográficas favoráveis a ocupação humana, como áreas agricultáveis e próximas a rios que permitissem o abastecimento da cidade; o terceiro fator foi a formação de uma estrutura social complexa e organizada, dotada de uma forte estrutura política; por fim, a existência da atividade comercial que permitia a obtenção de produtos que não eram produzidos na região.

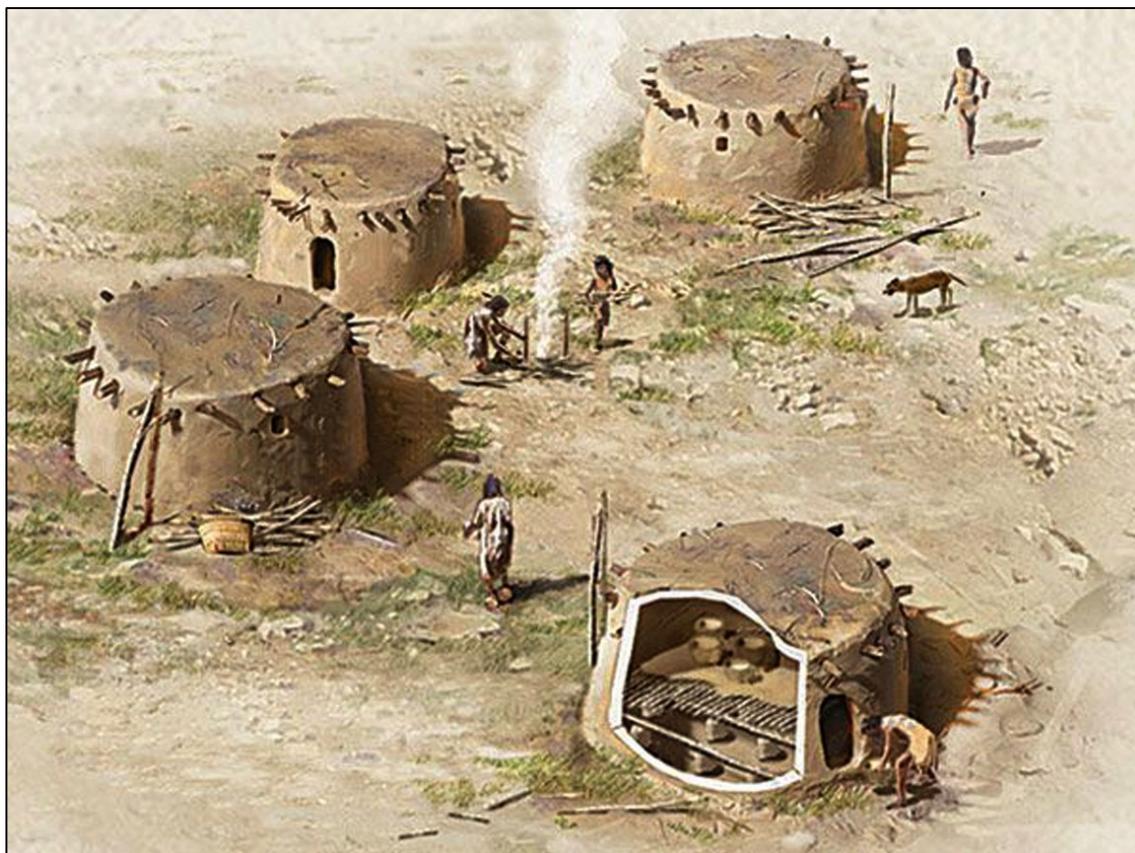
O aparecimento dos aglomerados urbanos vai coincidir com o fim da pré-história. Embora os primeiros agrupamentos sociais sejam deste período o homem primitivo não desenvolveu a cidade. Os agrupamentos existentes no período paleolítico e mesolítico eram aldeias rurais (as chamadas “proto-cidades”), que não eram fixas e mudavam de lugar com a exaustão dos recursos do local ocupado (DE ANDRADE LIMA, 2002).

Mumford define a aldeia:

“(...) a aldeia é um pequeno agrupamento de famílias, variando talvez entre meia dúzia e três vintenas, cada qual com seu próprio lar, seu próprio deus doméstico, seu próprio oratório, seu próprio cemitério, dentro da casa ou em algum campo comum de sepultamento. Falando a mesma língua, encontrando-se sob a mesma árvore ou à sombra da mesma pedra empinada, andando ao longo do mesmo caminho batido pelo seu gado, cada família segue o mesmo modo de vida e participa dos mesmos trabalhos. Se alguma divisão de trabalho existe, é de espécie rudimentar, determinada mais pela idade e pela força do que pela aptidão vocacional (...) (MUMFORD, 1998, p. 25). “

Essas aldeias eram agrupamentos de caráter familiar, que se organizavam para ocupar um território e consumir os recursos naturais existentes naquela área (Figura 3.1). As atividades eram divididas de acordo com o gênero, a faixa etária e as relações de parentesco que os indivíduos possuíam.

Figura 3.1 - Reconstrução artística da aldeia neolítica do sítio arqueológico de Göbekli Tepe, Turquia, 10000 a 9000 a.C., Turquia.



Disponível em: <<http://bernardperroud.com/wp-content/uploads/gobekli-huts-mud1.jpg>> Acesso em julho de 2015.

Nesse contexto os homens eram responsáveis pela caça e a pesca; enquanto as mulheres pela na coleta de frutas e raízes; os mais velhos eram responsáveis pela realização dos rituais e pela transferência dos rituais.

Essa estrutura social era importante para garantir a sobrevivência destes indivíduos, porque, agrupados, tinham a possibilidade de caçar grandes animais e se defender de grupos rivais. Essa organização possibilitou a coexistência dos indivíduos e ao mesmo tempo estimulou o processo de socialização (GUIMARÃES, 2004, p. 7).

Esses agrupamentos só permaneciam em uma região enquanto houvessem recursos naturais consumíveis. De modo que, com o esgotamento das fontes de alimento o grupo via-se obrigado a deixar a área, em busca de um novo local (FAZIO, MOFFET e LAWRENCE, 2011, p. 30).

A organização das habitações em uma aldeia primitiva fundamentava-se em princípios religiosos e práticos. Os aspectos religiosos se apresentavam através da forma que tentava replicar o movimento cíclico da renovação da vida. A área central correspondia ao lugar sagrado em que são realizados os rituais. O aspecto prático destes aglomerados estava relacionado à proteção destas comunidades, que eram circundadas com cercas ou paliçadas (GUIMARÃES, 2004, p. 8).

Estes grupos mantiveram sua característica nômade até o desenvolvimento tecnológico da agricultura. A evolução destas técnicas, juntamente com outros fatores permitiram que o homem primitivo abandonasse sua condição de nômade e se fixasse de modo permanente em um local.

A agricultura consistiu em uma grande revolução para a humanidade, ela possibilitou a evolução da aldeia para cidade e alterou a relação do homem com a natureza.

O domínio das técnicas agrícolas e a geração de excedente permitiu um modo de vida mais estável, em que a sobrevivência não dependia apenas das variáveis ambientais. A produção de excedentes de alimentos, vai estimular a troca de produtos entre grupos diferentes e vai fomentar o surgimento do comércio. É deste contexto que vai surgir a relação entre a cidade e a atividade comercial (KOSTOF, 1995, p. 44).

A existência de excedentes agrícolas modificou as relações sociais existentes. A estrutura social se torna mais complexa e passam a surgir novas funções dentro destas comunidades tais como: sacerdote, construtor, comerciante e soldado (BENEVOLO, 2011, p. 30).

O caráter social múltiplo e complexo que surge com a estabilização da sociedade em um único lugar vai definir a diferença entre a cidade e a aldeia. Na aldeia as funções e relações sociais eram definidas por questões de caráter prático ou pelos vínculos de parentesco.

Junto a Revolução Agrícola, este período também presenciou a primeira revolução urbana. Essa revolução é consequência da incompatibilidade de coexistência entre a atividade agrícola e a atividade urbana. A Revolução Urbana será responsável pela separação do meio urbano do meio rural, relação esta, que perdura até hoje nos espaços existentes (DE ANDRADE LIMA, 2002).

A Revolução Agrícola e a Revolução Urbana vão ser responsáveis por garantir as condições necessárias para o surgimento das grandes cidades do mundo antigo.

3.1.2 As cidades no mundo antigo: Religião, Comércio e Civilização

A análise das cidades no mundo antigo é importante, uma vez que é neste momento que a cidade se consolida como habitat do homem no mundo. Deste período datam as primeiras aglomerações que podem ser consideradas cidades.

A produção agrícola alcança um patamar que permitiu o surgimento e a existência de uma estrutura social complexa. Essa nova organização social estabelece a divisão laboral em que uma parcela da sociedade trabalha para gerar excedente e sustentar um grupo social dominante.

As primeiras cidades ocidentais evoluíram a partir de algumas aldeias, por volta de 4000 a.C., no Egito e a leste das montanhas da Suméria, na região onde fica o Iraque. Nesta região é que vão surgir as primeiras cidades de que se tem registro: Ur, Isin, Churupak, Uruk e Ur.

A cidade mesopotâmica de Uruk (Figura 3.2, p.118) é a primeira a se desenvolver entre 4500 a.C. e 3100 a.C. Embora existam outras cidades contemporâneas a Uruk que reclamam o título de primeira cidade (Aleppo, Jerusalém, Luoyang, Atenas, entre outras), Uruk é a única que possui evidências físicas e documentais que atestam sua condição de primeiro aglomerado urbano (MARK, 2014).

Figura 3.2 - Representação artística da cidade de Uruk



Disponível em: < <http://www.crystalinks.com/Uruk700.jpg> > Acesso em julho de 2015.

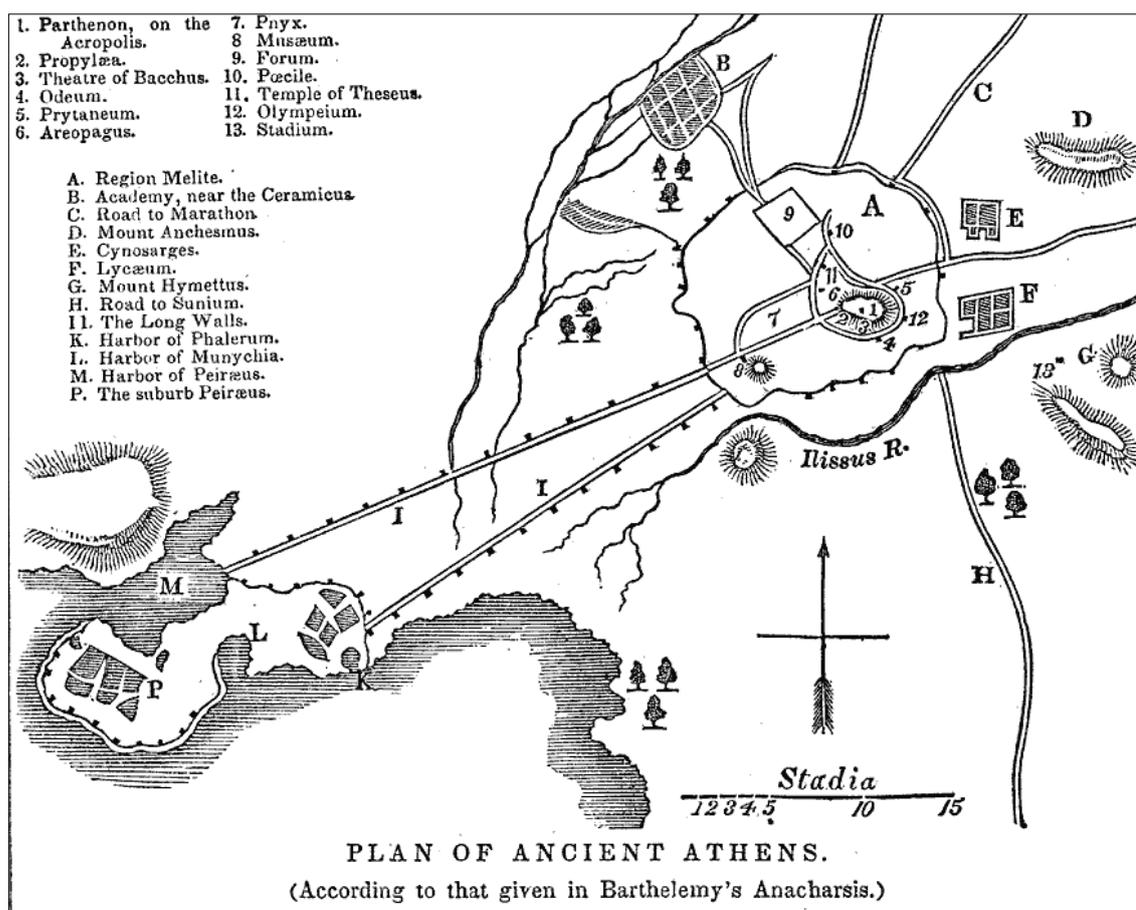
Essas cidades são consideradas primitivas, pelo fato de que a estrutura social desses sítios estava fundamentada na religiosidade. A cidade era simbolicamente a morada dos deuses, que se abrigavam no templo ou no castelo. A religião servia para moldar o caráter de comunidade e disciplinar as atividades de seus habitantes (GUIMARÃES, 2004, p. 10).

As cidades gregas, a Polis (ou Cidade Estado) vão apresentar uma nova estrutura social, fundamentada na figura do cidadão. Esse ente social era dotado de direitos e deveres, em que o mais importante era a participação da gestão política da cidade. O homem livre grego possuía tantos direitos quanto os indivíduos possuem atualmente nos sistemas democráticos modernos.

Na realidade essa estrutura política será a base do conceito de democracia tal qual a conhecemos hoje. Essa estrutura social vai diferenciar as cidades gregas das demais cidades do mundo antigo (como Ur e Uruk) em que o poder político estava centrado na figura de um rei que tinha seus poderes atestados por uma divindade.

Essa nova ordem social teve um impacto na forma da polis grega, que se organiza a partir do agrupamento de edificações importantes. Esses edifícios abrigavam às principais funções sociais do período: comércio (*stoa*), trabalho, interação social (*ágora*) e culto religioso (*acrópole* e o templo). A presença destas edificações caracteriza e define o espaço urbano em uma cidade grega (Figura 3.3, p. 119).

Figura 3.3 - Planta da cidade estado de Atenas.



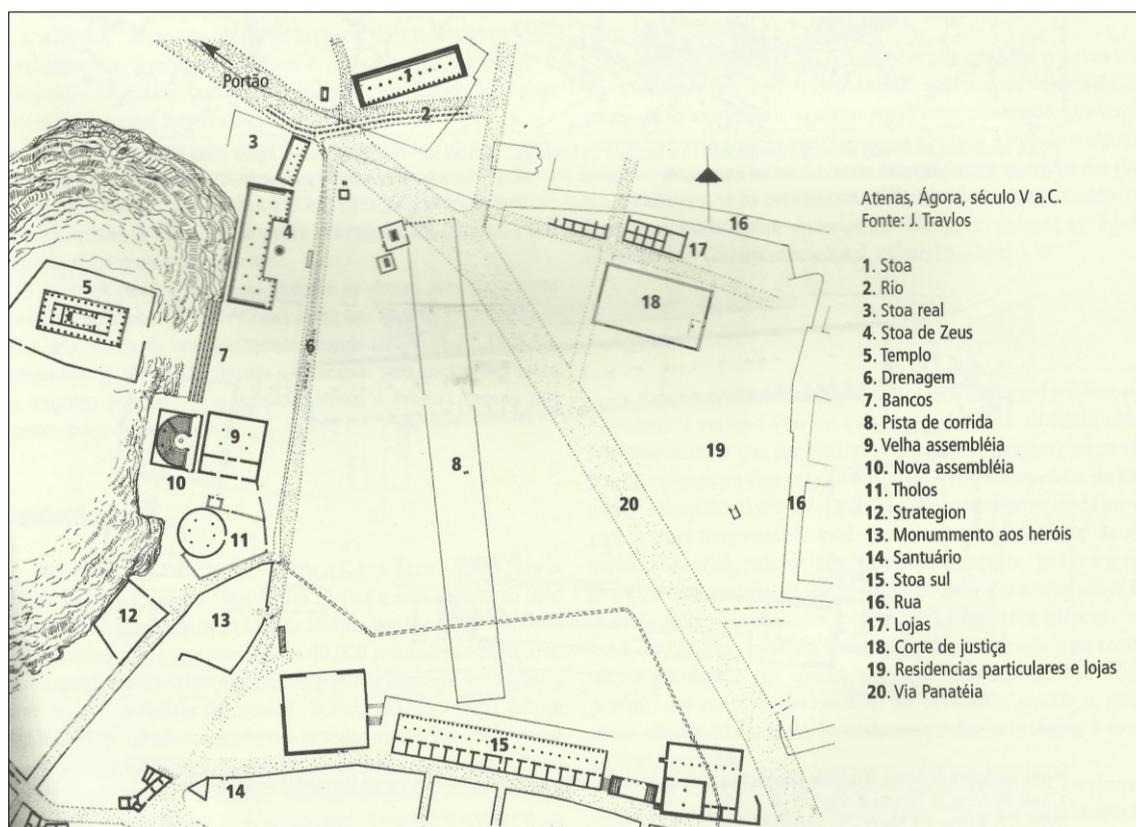
Disponível em: < <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRCzhIRDUVZNIuDrKU5KSjJ5UEwkNtmpYuzdbGnR63Q5KkBnNq> >. Acesso em julho de 2016.

A cidade grega apresenta uma nova estrutura urbana a Ágora, esse espaço surge para abrigar as interações sociais dos homens livres. Esse espaço era uma área pública que servia para promover o encontro entre os cidadãos gregos. Reuniões e discussões aconteciam nessas áreas, além de anúncios de interesse públicos (KOSTOF, 1995, p. 143).

Guimarães define a Ágora (Figura 3.4, p. 120):

“(…) constituía, com efeito, não um mero local público, mas o núcleo, o coração vivo da cidade e o foco da atividade cívica. Podemos afirmar que nenhum local público de qualquer outra civilização apresentou uma concentração tão intensa e continua de atividades[...] Era o cenário permanente da vida social, comercial, política, administrativa, legislativa, jurídica e religiosa da comunidade (GUIMARÃES, 2004, p. 18). “

Figura 3.4 - Atenas, Ágora, século V a.C.



Fonte: Guimarães (2004, p. 20)

A organização das cidades do mundo antigo, assim como nas primeiras vilas e aldeias, se estabelecia a partir de critérios de ordem prática. Elas eram implementadas em áreas próximas a cursos d'água e a regiões férteis que pudessem garantir que a atividade agrícola ocorresse. Esses elementos eram importantes para garantir o abastecimento de água e de produtos agrícolas do núcleo urbano existente.

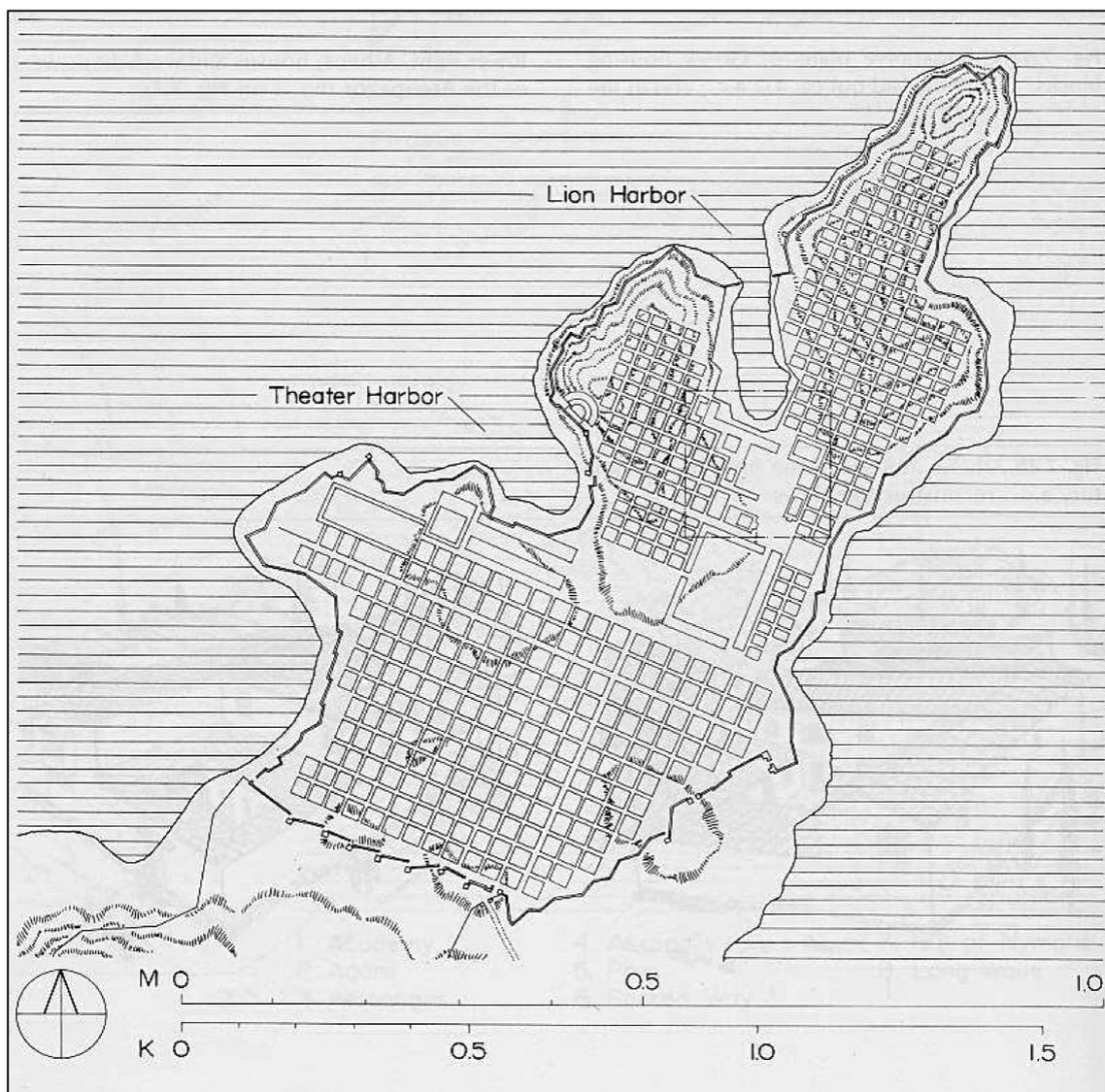
Os gregos serão os primeiros a estabelecer um modelo de malha urbana modular e a figura do planejador urbano. A invenção da malha ortogonal é atribuída a Hippodamus de Mileto, também conhecido como o “pai” do planejamento urbano. A malha ortogonal evidencia o poder do homem sobre a natureza, uma vez que impõe a linha e o ângulo reto ao mundo natural (WALL e WATERMAN, 2012, p. 22).

Embora a malha ortogonal precederem os gregos, foram estes que definiram um sistema coordenado de edificações públicas e residenciais organizadas coerentemente em quarteirões retangulares (ou quadrados).

Este esquema era constituído por um conjunto de avenidas distribuídas no sentido leste oeste que dividiam o território em áreas que eram subdividas por outras vias no sentido norte e sul. Os super quarteirões, então delineados por estas vias, eram então subdivididas em ruas estreitas e em quarteirões retangulares. A malha urbana é que determinava o tamanho e a forma das edificações públicas assim como a dos templos (KOSTOF, 1995, p. 141).

Na Figura 3.5 (p.122) temos o tecido urbano da cidade de Mileto em que a malha urbana se estabelece a partir do traçado de grandes avenidas nos sentidos norte sul e leste oeste.

Figura 3.5 - Mileto (Turquia), reconstruída após o saque persa em 470 a.C.



Fonte: Kostof, (1995, p. 142).

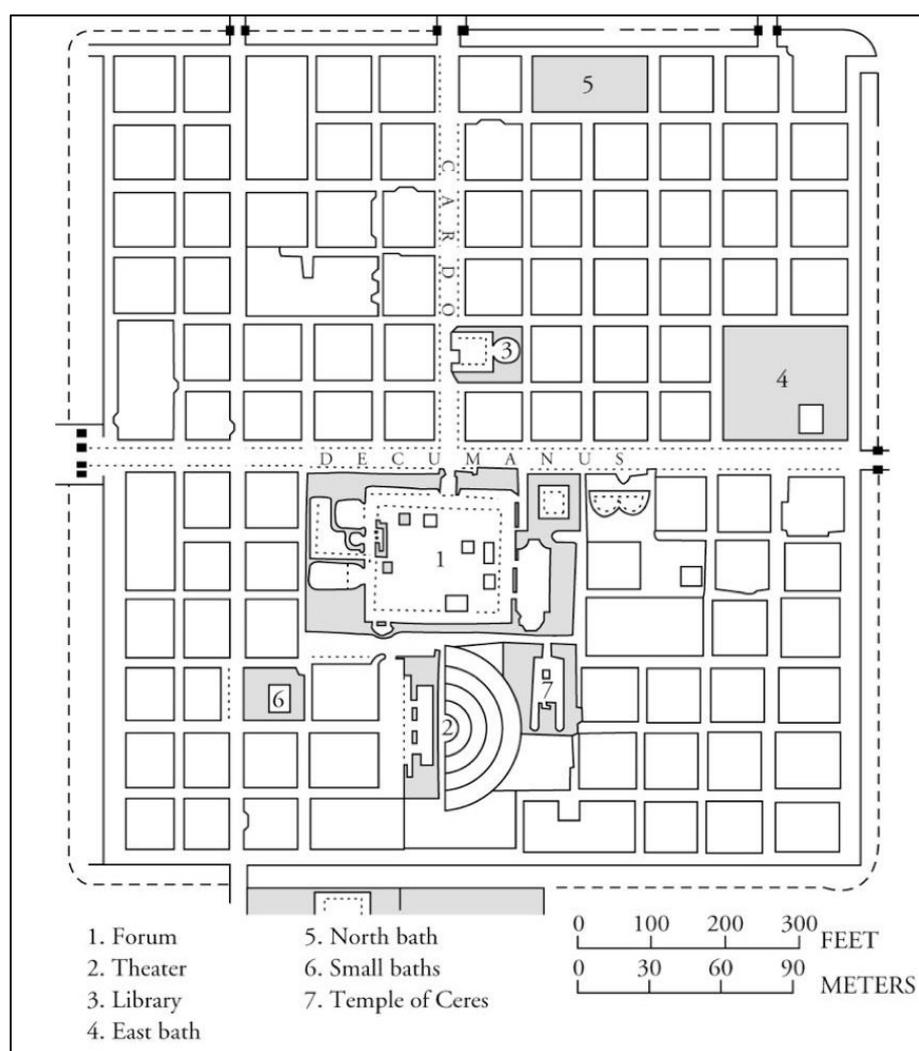
A estrutura do traçado ortogonal grego estabelecida por Hippodamus de Mileto determinava que a cidade deveria ser situada sobre uma malha localizada em um plano abaixo da acrópole. Esse espaço deveria conter uma ágora central, vias atravessando toda a cidade e a previsão de zonas destinadas à atividade comercial e religiosa (NUTTGENS, 1997, p. 100).

É interessante observar que o além de estabelecer um sistema de vias e ordenar a posição das principais edificações de caráter público (ágoras, templo, stoa, etc.) o sistema de Desenho Urbano grego previa um zoneamento de funções.

Além de trazer o simbolismo do domínio do homem sobre a natureza a malha ortogonal apresenta a característica de ser de fácil implantação. Esse tipo de estratégia de ocupação urbana foi difundido durante a antiguidade por Alexandre, o Grande. No entanto, foram os romanos que disseminaram a cultura clássica e por consequência o traçado ortogonal pela Europa, Norte da África e parte do Oriente Médio.

As novas cidades romanas (*castrum*) eram traçadas a partir de duas grandes vias principais que se cruzavam em ângulo reto junto ao “Fórum” (ver Figura 3.6, p. 124). Os eixos eram dispostos no sentido norte e sul (*cardo*) e leste e oeste (*decumanos*).

Figura 3.6 - Timgad, colônia romana na África do Norte.



Disponível em:

<[https://classconnection.s3.amazonaws.com/874/flashcards/21874/jpg/lecture_3_\(dragged\)_181329780831072.jpg](https://classconnection.s3.amazonaws.com/874/flashcards/21874/jpg/lecture_3_(dragged)_181329780831072.jpg)> Acesso em julho 2015.

Para a locação destes novos sítios (os *castrum*), os romanos consideravam a salubridade dos espaços, exposição ao sol. Eles ainda consideravam aspectos de ordem prática tais como: a inclinação do terreno e a topografia. O uso dessas diretrizes de ocupação ocorria considerando as características locais (GUIMARÃES, 2004, p. 34).

A fundação de cidades coloniais tinha como função difundir o modo de vida romano além de consolidar os seus processos expansionistas. Isso se dava porque a construção destas cidades se configurava em um ato político e de expressão do poder de Roma sobre outros povos. Corbusier afirma que:

“Os romanos [...] Quando chegavam a um lugar, à encruzilhada das estradas, à beira do rio, pegavam o esquadro e traçavam a cidade retilínea, para que ela fosse clara e ordenada, pudesse ser polida e limpa, para que as pessoas se orientassem nelas facilmente, para que a percorressem com facilidade [...]. A linha reta convinha a sua dignidade de romanos (CORBUSIER, 1992, p. 7).”

É importante observar que, apesar de termos modelos de ocupação urbana que remontam aos gregos, não é possível afirmar a existência do Desenho Urbano como prática que leve ao surgimento de novas cidades.

A configuração urbana de uma cidade, neste período, está mais relacionada às necessidades e os objetivos de seus habitantes, do que a aplicação de modelos. Mesmos os modelos ortogonais greco-romanos, funcionavam muito mais como diretrizes de ocupação do que como espaço urbano resultante de um gesto de projeto.

O surgimento de uma cidade não ocorre de forma espontânea, uma vez que, para que uma comunidade ocupe uma área é necessário que este local garanta a produção de alimentos, possua abundância de recursos hídricos e condições climatológicas favoráveis a sobrevivência humana (ELLIS, 2013).

Nas cidades não planejadas, sobre o traçado ortogonal, são sobrepostos os edifícios públicos de caráter religioso e secular; e os espaços abertos necessários para propósitos econômicos ou cerimoniais dos indivíduos. Em cidades planejadas estas necessidades são antecipadas e inseridas nas áreas em que as cidades são implantadas (POUNDS, 2005, p. 24).

A desarticulação do império romano marcou o início de um processo de ruralização da sociedade europeia no período medieval. Esse processo vai ocasionar a disseminação da população pelas áreas rurais e o esvaziamento das *civitas* ou *castrums* romanos. O fim do Império de Romano, vai provocar uma mudança na estrutura social europeia. Essa nova estrutura irá estabelecer o feudalismo como modo de vida e essa configuração será determinante para a compreensão da estrutura urbana das cidades europeias do período (GOITIA, 2003, p. 77).

3.1.3 A cidade Medieval e a cidade Renascentista

A partir do século 5 d.C., coincidindo com a queda do Império Romano, a Europa Ocidental foi invadida por tribos bárbaras. Estas Invasões culminaram com o declínio da civilização romana. O comércio se desintegrou, os serviços municipais foram interrompidos e a população urbana retornou para as áreas rurais. As cidades regrediram em importância e em tamanho (GUIMARÃES, 2004, p. 37).

Guimarães (2004, p. 37) afirma que: de todas as tribos bárbaras, os francos foram os que tiveram maior influência no processo de formação da cultura ocidental medieval. A história da Europa Medieval se inicia com a coroação de Carlos Magno e a história das nações medievais europeias começa com a repartição de seu império após a sua morte.

Com o término do Império Romano, diminuiu o ritmo de crescimento demográfico e a vida urbana foi reduzida consideravelmente. Apenas nos séculos X e XI, com a estabilidade política e o ressurgimento do comércio é que as estruturas urbanas vão se dinamizar novamente (LAMAS, 2004, p. 151).

Benévolo (2011) discorre sobre o desaparecimento físico entre a cidade e o campo na Idade Média ao afirmar que:

“Enquanto desaparece a diferença jurídica entre cidade e campo, também a diferença física entre os dois ambientes se torna cada vez menor. [...] Em ambos os casos é preciso notar o caráter espontâneo, despreocupado e infinitamente variável da construção e do urbanismo; este caráter depende da escassez dos meios, da raridade dos técnicos especialistas, da falta de uma cultura artística organizada, da urgência das necessidades de defesa e de sobrevivência, mas também de um novo espírito de liberdade de confiança. As novas instalações se adaptam com segurança ao ambiente natural e entre as ruínas do ambiente construído antigo, não respeitam nenhuma regra preconcebida, seguem com indiferença as formas irregulares do terreno e dos manufaturados romanos [...] (BENEVOLO, 2011, p. 255).”

Neste período é comum a distinção entre *Civitas* e burgo: a *Civitas* corresponde às cidades que foram criadas a partir dos processos de colonização e ocupação romana. Enquanto o burgo corresponde as ocupações urbanas que foram originadas durante o período medieval.

Quanto a configuração urbana esta distinção se traduz no tipo de traçado urbano que apresentam. A *Civitas* mantém a malha ortogonal de origem greco-romana, enquanto o burgo é constituído por uma malha orgânica (Figura 3.7, p. 128) (KOSTOF, 1995, p. 350-351).

Figura 3.7 - Nördlingen, Bavária, Germany.



Disponível em: < http://25.media.tumblr.com/tumblr_m1h7am4SsF1qa944oo1_1280.jpg > Acesso em julho de 2015.

Lamas (2004) estabelece as seguintes origens das cidades medievais:

- “- antigas cidades romanas que permaneceram, ou que, tendo sido abandonadas, são posteriormente reocupadas;
- burgos que se formam na periferia da cidade romana, por vezes do outro lado do rio, e que se desenvolvem até formar as cidades;
- antigos santuários cristãos instalados fora das cidades romanas e que, no período medieval, vão formar novos núcleos urbanos.
- cidades que se formaram pelo crescimento de aldeias rurais;
- novas cidades, como as *bastides*, fundadas, como bases comerciais e militares, a partir de um plano geométrico predeterminado (LAMAS, 2004, p. 151).”

Embora a cidade medieval possua um conjunto diversificado de origens e razões que levaram a sua origem é importante perceber que a morfologia urbana medieval tende, com o tempo, a se assemelhar.

As cidades planejadas são aquelas produzidas a partir da intenção (ou necessidade) de ocupação de uma determinada área. Esta necessidade seguia modelos ortogonais predefinidos que, em sua maioria, tinham influência da malha ortogonal greco-romana (POUNDS, 2005, p. 21).

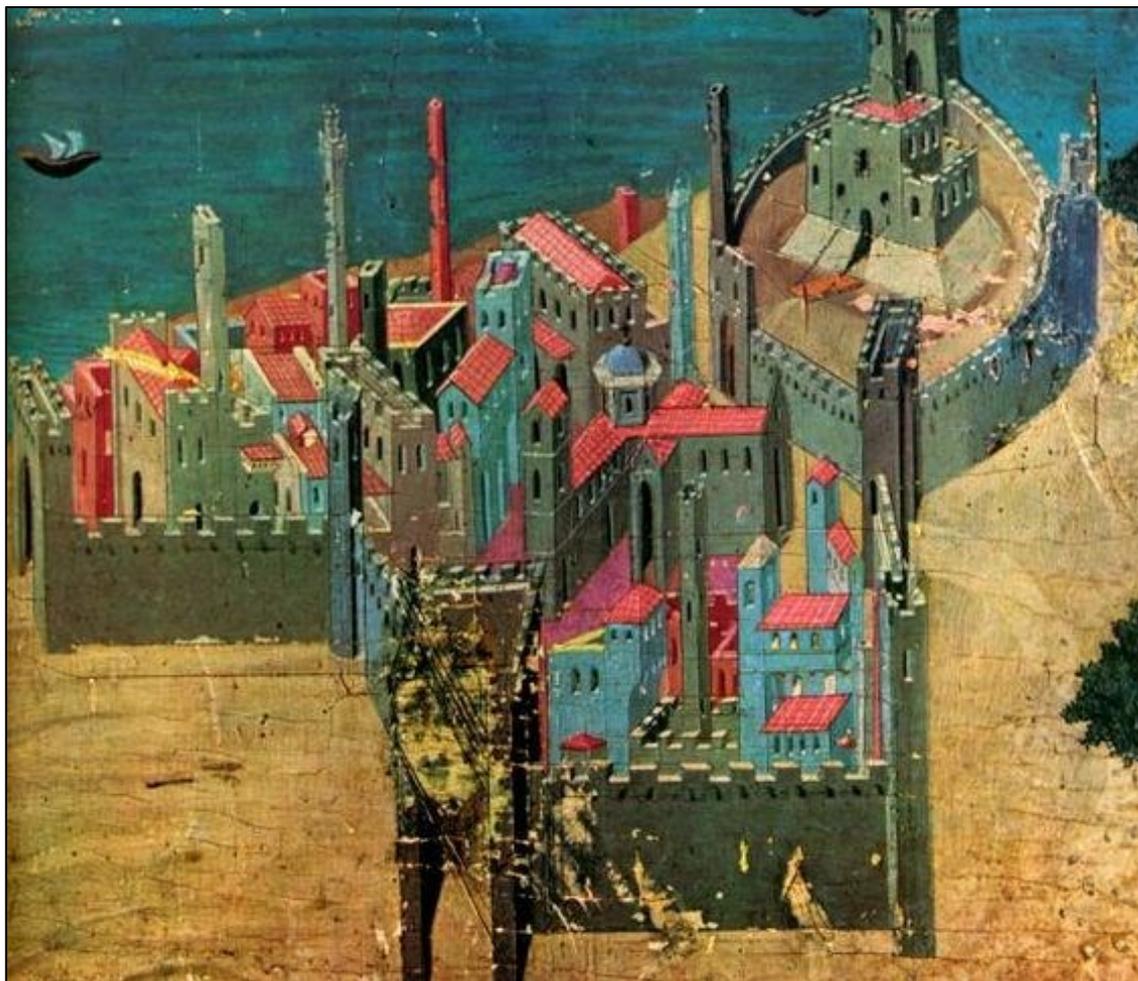
As cidades não planejadas Norman Pounds (2005) afirma que:

“Nenhuma cidade foi totalmente não planejada, no sentido de ser a distribuição aleatória de casas e edifícios públicos. Toda cidade já teve um núcleo que define seu propósito. Este talvez possa ter sido uma característica natural tal como a travessia de um rio ou de um obstáculo físico que necessitava ser transposto, a transferência de produtos de um modo de transporte para outro - de navio para a terra, de transporte animal para carroça. O núcleo deve também ter sido um castelo ou um lugar natural de segurança ou defesa, uma igreja ou um objeto de peregrinação. As ruas provavelmente têm se originado nos percursos pelos quais as pessoas chegam a este núcleo característico e tem formado um padrão radial, interligado e cruzado por ruas e passagens. Algumas vias são derivadas do modo como as pessoas se deslocam ou conduzem seus animais nos campos próximos (POUNDS, 2005, p. 24).”

Mesmo se estabelecendo de modo planejado ou não planejado a Cidade Medieval é composta por um conjunto característico de elementos morfológicos urbanos. Os elementos que constituem o espaço urbano medieval são: as muralhas, as ruas, os quarteirões, os espaços públicos (a praça e o mercado) e os edifícios singulares (a igreja, o castelo, o palácio, as torres senhoriais, etc).

Estes elementos quando agrupados constituem a imagem que construímos da Cidade Medieval. A pintura (ver Figura 3.8, p. 130) sobre tábua *Uma cidade Toscana*, de Ambrogio Lorenzetti, ilustra uma cidade tal qual ela existe no imaginário medieval.

Figura 3.8 – Representação da cidade medieval. Ambrogio Lorenzetti 1340: *Uma cidade toscana*.



Disponível em: < <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/originals/31/8e/1e/318e1e7659128548e5874f20c72573a3.jpg> >. Acesso em 30 de julho de 2016.

O espaço público medieval é constituído de dois elementos principais, a praça e o mercado. Lamas (2004) define e descreve estes ambientes da seguinte forma:

“ O mercado corresponde à principal razão da cidade como lugar de trocas e serviços. A posição do mercado varia ou até duplica, desde o adro da igreja ao centro da cidade, ou junto a uma das suas portas. É o espaço aberto e público por excelência, e a função comercial prolonga-se pelas ruas. A praça é geralmente irregular e resulta mais de um vazio aberto na estrutura urbana do que de um desenho prévio. (...) A praça medieval é um largo de geometria irregular, mas com funções importantes de comércio e reunião social. Assim, as praças medievais dividem-se geralmente na praça do mercado e na praça da igreja (adro), ou *parvis* medieval (LAMAS, 2004, p. 154).”

Dentre os elementos que constituem a Cidade Medieval o mais característico é a muralha. Este elemento servia para propósitos de segurança e delimitava o território urbano. As muralhas estabeleciam ainda a separação entre o campo e o espaço urbano (LAMAS, 2004, p. 152)

O período final da Idade Média (séculos X e XI) vai ser marcado pelo ressurgimento da atividade comercial e pela consolidação de uma economia urbana. O comércio vai fazer surgir uma nova classe social, composta por comerciantes, artesãos e outros trabalhadores. Esses novos agentes sociais vão competir por mais espaço dentro da sociedade da época (GUIMARÃES, 2004, p. 34).

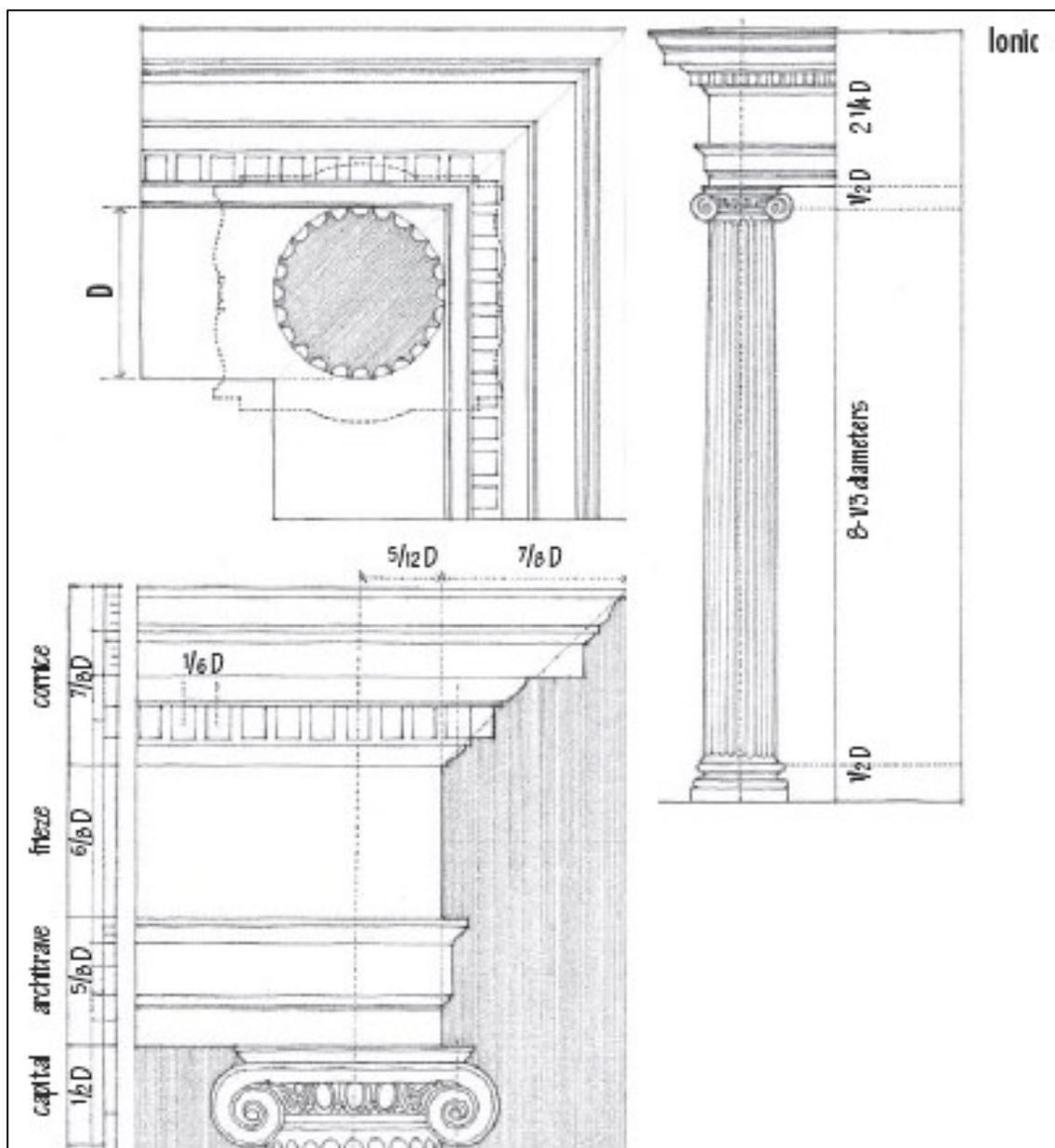
No fim da Idade Média a atividade comercial vai estimular o surgimento e o desenvolvimento de um grande número de cidades. O aumento das viagens e do comércio estimulou a concentração da população nos principais cruzamentos da Europa. À medida que a economia mercantil se expandia, o poder do senhor feudal diminuía (GUIMARÃES, 2004, p. 48).

O período posterior a Idade Média, é denominado Renascimento e está caracterizado por uma mudança no modo como a sociedade se organiza e percebe o mundo. No Renascimento as práticas medievais são contestadas e revistas sob a luz dos princípios da cultura clássica greco-romana.

A redescoberta da geometria e a sua utilização na pintura, na escultura e arquitetura seguem os preceitos do humanismo. O Humanismo é uma filosofia que parte da premissa de que a natureza deve ser dominada pela razão humana. Apenas através desta relação de domínio é que será possível determinar a forma correta das coisas (NUTTGENS, 1997, p. 179).

É importante afirmar que os artistas quatrocentistas (do início do Renascimento) fundamentavam suas teorias nos princípios geradores da forma dos gregos como seção áurea (Figura 3.9, p. 132).

Figura 3.9 - Regras de dimensionamento de uma coluna jônica, definida a partir do diâmetro.



Fonte: Ching, (1998, p. 311)

Não se tratava apenas de reproduzir os modelos construtivos greco-romanos, mas sim da utilização da técnica clássica, pelos renascentistas, para a resolução dos problemas do seu tempo (BENEVOLO, 2009, p. 144).

A perspectiva foi desenvolvida por Brunelleschi e por pintores florentinos em 1425. A sua utilização resultou em um grande avanço técnico para a classe artística da época. A perspectiva também possibilitou que a pintura e a arquitetura passassem a serem vistas como ciências exatas. Desse modo o artista pode estabelecer não apenas a forma bela como também a forma correta.

Do ponto de vista da arquitetura a difusão da perspectiva juntamente com a utilização dos preceitos vitruvianos ocasionou o surgimento do ato de projetar. Não apenas por dar ao arquiteto um conjunto de critérios a serem obedecidos, como também por permitir uma melhor representação daquilo que se estava projetando.

De acordo com Zevi (2011):

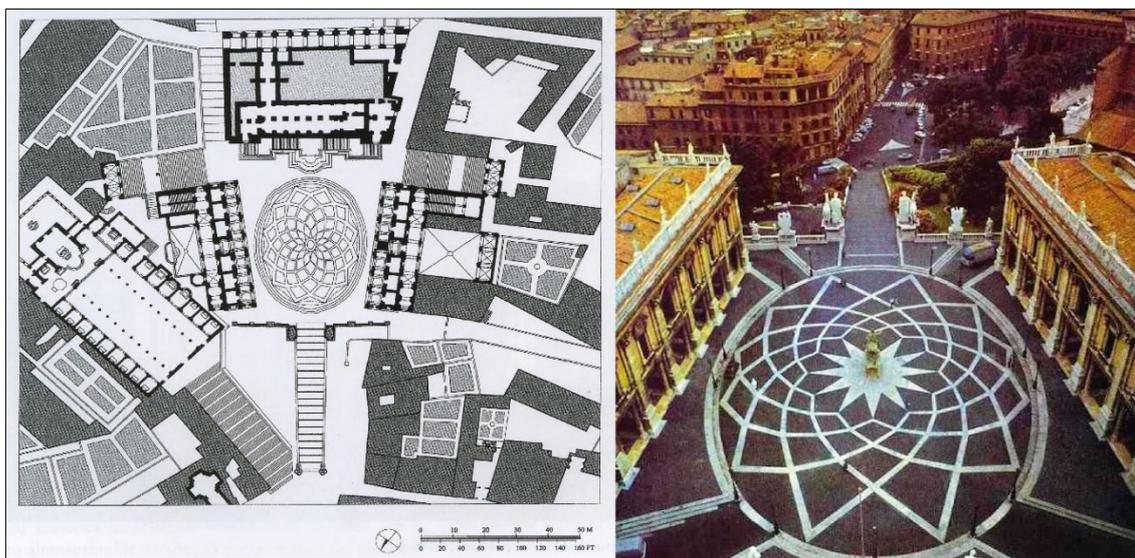
“[...]até agora o edifício havia determinado o tempo da caminhada do homem conduzido sua vista ao longo das diretrizes do arquiteto; com Brunelleschi, pela primeira vez, já não é o edifício que possui o homem, mas este que, aprendendo a lei simples do espaço, possui o segredo do edifício. [...] percorremos San Lorenzo com a consciência precisa de estar em nossa casa, numa casa construída por um arquiteto não exaltado por arrebatamentos religiosos, mas que raciocina segundo métodos e processos humanos [...] (ZEVI, 2011, p. 97)

Uma vez mais na história a arquitetura passa a ser resultado da escolha de um conjunto de preceitos teórico-prático. Nesse cenário, a edificação deixa de ser o resultado da reprodução de práticas construtivas tradicionais, que são assimiladas de forma nem sempre consciente (BENEVOLO, 2009, p. 147).

Esta mentalidade vai influenciar as práticas urbanas que irão ocorrer entre os séculos XV e XVIII. O Desenho Urbano do século XV e XVI, se restringiu a intervenções no interior de cidades existentes. Essas alterações não foram capazes de gerar mudanças significativas na estrutura urbana existente.

As intervenções estavam limitadas a abertura de novas ruas, a criação de novas praças regulares (ou quase regulares), para destacar um monumento ou um edifício (Figura 3.10). Essas intervenções serão ampliadas durante o período barroco (GOITIA, 2003, p. 102).

Figura 3.10 - Piazza del Campidoglio após projeto de Michelangelo.



Fonte: Autor desconhecido adaptado pelo autor.

A separação dos diferentes tipos de uso em áreas diferentes surge nos primeiros desenhos de Hippodamus de Mileto e nos *castrums* romanos. Em que, já era possível perceber a separação de funções dentro do espaço urbano. Esse zoneamento pode ser encontrado nas cidades ideais planejadas pelos renascentistas.

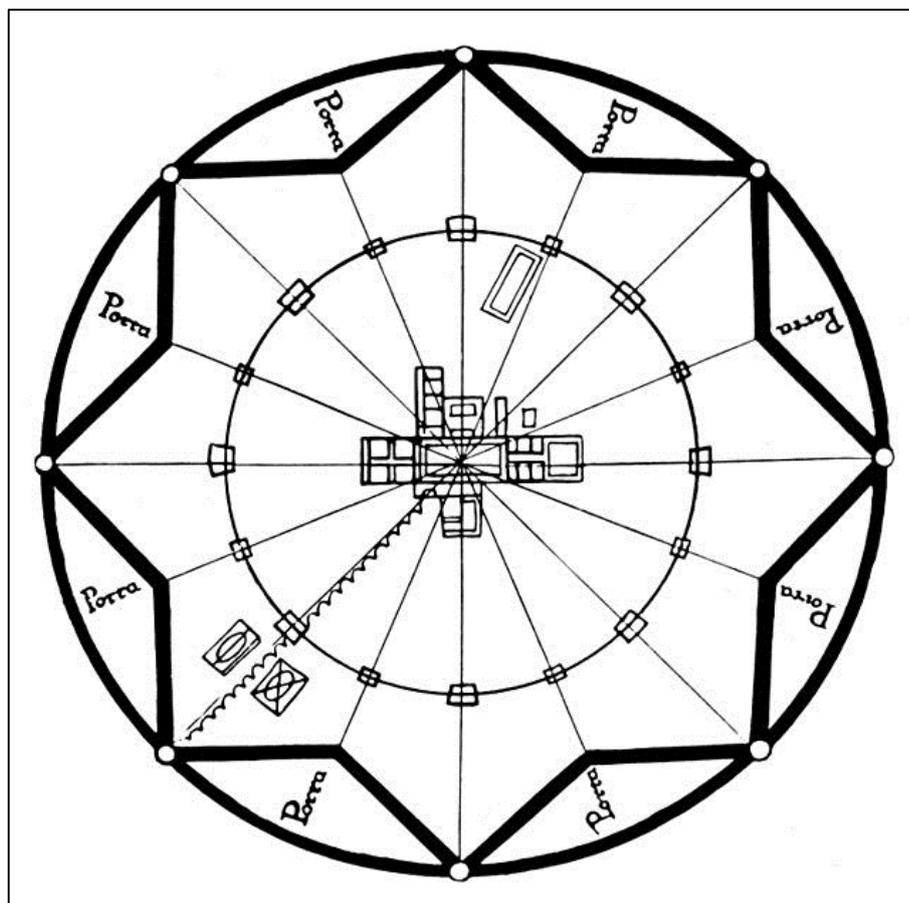
O resgate dos tratados greco-romanos pelos artistas renascentistas resultou no surgimento de novos princípios e práticas acerca da forma urbana ideal. Durante a Idade Média o Desenho Urbano passou por um processo de estagnação, uma vez que o desenhista urbano desaparece, não houve neste período o surgimento de novos modelos urbanos.

Os novos modelos urbanos gerados no Renascimento se baseiam no princípio de que as formas arquitetônicas e urbanas deveriam corresponder a sua configuração política e social. Os urbanistas renascentistas desenvolviam suas teorias considerando a cidade como um objeto artístico. E como tal, os modelos urbanos deveriam seguir os princípios da geometria e as leis de composição clássica.

Estes modelos, caracterizavam-se pelo formato de estrela octogonal, com a distinção entre áreas administrativas como o palácio do príncipe e a catedral e áreas funcionais (destinadas a praça e a edifícios de comércio e serviço). Essa configuração urbana possuía um traçado concêntrico ou ortogonal delimitado por um muro fortificado (GUIMARÃES, 2004, p. 50).

Filarete foi um arquiteto protorenascentista que propôs um diagrama de cidade ideal baseado no padrão de estrela de oito pontas, chamada Sforzinda (Figura 3.11, p. 135). Tratava-se mais de um modelo do que o projeto de uma cidade propriamente dita. Ela tinha os palácios governamentais no eixo e o comércio era distribuído ao longo de avenidas radiais.

Figura 3.11 - Sforzinda, modelo de cidade ideal criado por Filarete.



Disponível em: < <https://en.wikipedia.org/wiki/Sforzinda> > Acesso em maio de 2014.

Apesar de não ter sido executado o diagrama de Filarete serviu de modelo para muitas cidades fortificadas, como a cidade italiana de *Palmanova* (Figura 3.12, p.136). Apesar de ter sido um período próspero economicamente não houveram muitas oportunidades de se pôr em prática a construção dos modelos idealizados pelos urbanistas do período (WALL e WATERMAN, 2012, p. 27).

Figura 3.12 - Cidade de Palmanova, Itália, iniciada em 1593



Disponível em: < <https://en.wikipedia.org/wiki/Sforzinda> > Acesso em maio de 2014.

No início do Renascimento não havia a necessidade da construção de novos centros urbanos, permitissem a aplicação dos modelos renascentistas de cidade ideal. Isso ocorreu porque, muitas cidades possuíam uma estrutura urbana consolidada. De modo que a urbanística vai se realizar através da construção de sistemas de fortificação, modificação de zonas da cidade, criação de espaços públicos ou praças e arruamentos retilíneos; ou a criação de novos bairros (LAMAS, 2004, p. 168).

Os princípios renascentistas tiveram um rebatimento na produção arquitetônica e não no espaço físico da cidade. A repercussão do pensamento Renascentista, para a cidade, se dará muito mais no campo da teoria do que na prática urbana.

Benévolo (2011) afirma que:

“(...) a arquitetura da Renascença realiza seu ideal de proporção e regularidade em alguns edifícios isolados, e não está em condição de fundar ou transformar uma cidade inteira. Os literatos e os pintores descrevem ou pontam a nova cidade que não se pode construir, e que permanece, justamente, um objetivo teórico, a cidade ideal (BENEVOLO, 2011, p. 425).”

A Cidade Industrial vai se sobrepor sobre o tecido urbano da Cidade Medieval que foi modificada pelos preceitos humanistas propostos pelos pensadores Renascentistas. Na seção seguinte iremos tratar sobre como as alterações proporcionadas pela Revolução Industrial irão impactar sobre a produção dos espaços urbanos.

3.1.4 A cidade industrial e os modelos utópicos

A revolução industrial impulsionou o processo de urbanização das cidades, medievais e renascentistas, ao transformar o camponês em operário. Essa mudança vai provocar o deslocamento populacional do campo para as áreas urbanas existentes. Esse processo migratório irá influenciar a configuração dos sítios urbanos, assim como, os avanços tecnológicos também serão responsáveis por alterar a forma urbana (GOITIA, 2003, p. 144).

O desenvolvimento do sistema ferroviário, o surgimento do automóvel, a utilização da energia elétrica, a produção em série, o desenvolvimento dos sistemas de comunicação (tais como o telefone e o telégrafo) entre outros, avanços técnicos foram responsáveis por modificar a estrutura da sociedade ocidental da época.

A rapidez com que a tecnologia evoluiu neste período foi superior ao que ocorrera nos séculos anteriores. A difusão do sistema de ferrovias e dos sistemas de comunicação vai iniciar o processo de globalização ao facilitar os deslocamentos e a troca de informações dentro da sociedade.

As cidades existentes não estavam preparadas para absorver a população vinda do campo em busca de trabalho nas indústrias. Os sítios urbanos não apresentavam condições de receber em seus limites as novas tecnologias e as novas tipologias de edifícios que se estabeleceram durante a Revolução Industrial.

A população urbana cresceu em uma velocidade muito superior à velocidade de crescimento das estruturas urbanas existentes. A soma destes fatores gerou um ambiente urbano degradado. Cidades cobertas de fumaça e superpovoadas, em que a fome, a doença e a morte faziam parte do cotidiano (WALL e WATERMAN, 2012, p. 28).

Do ponto de vista do Desenho Urbano, trata-se de um período fértil, uma vez que veremos surgir novos modelos de ocupação do solo urbano. Estes modelos vão surgir a luz da problemática urbana da cidade industrial. Os preceitos aqui estabelecidos vão ter reflexo em todas as práticas urbanas que ocorrerão no século XX e XXI.

A Cidade Industrial se consolida sobre o traçado urbano da cidade medieval e da cidade renascentista. Às edificações iniciais somam-se os ambientes fabris e os centros de compra.

A Cidade Industrial está fundamentada nas configurações urbanas preexistentes, em que o centro da cidade agrupa as edificações mais importantes como: edifícios de poder, a igreja, fábricas, indústrias e galpões.

Além dos edifícios de caráter industrial a cidade passa a abrigar as moradias para a classe operária, que por uma necessidade de ordem prática, se localizam próximas às fábricas (ELLIS, 2013).

O núcleo urbano da cidade industrial tem sua estrutura formada na Idade Média ou na Idade Moderna, contendo igrejas e palácios. Estas áreas não são capazes de absorver uma população maior, pois suas ruas são estreitas e as casas são compactas. As classes abastadas abandonam gradativamente o centro em direção a periferia. E deixam para trás palácios nobiliários e outras edificações que passam a serem adaptados e ocupados pelos recém-imigrados. (BENEVOLO, 2011, p. 565).

A indústria passa a ter um papel importante no cenário urbano. Esta relevância a faz ocupar as melhores áreas dentro da cidade. De modo que, as fábricas passam a ser localizadas próximas às linhas férreas, para escoar a sua produção, e às margens de cursos d'água, para abastecer as caldeiras das máquinas a vapor.

Esta violenta apropriação pela indústria, dos espaços urbanos, se constitui em verdadeira catástrofe para a estrutura existente das cidades. Este modo de ocupação irá contribuir para a insalubridade dos ambientes urbanos (GOITIA, 2003, p. 149).

De acordo com, Benévolo (2011):

“A associação entre indústria e cidade depressa se consolidou: nas novas cidades, que se desenvolveram fora do sistema tradicional dos burgos e freguesias, empresários e operários podiam fugir aos vínculos anacrônicos do sistema isabelino; os empresários contavam com uma reserva de mão-de-obra sempre abundante e substituível, enquanto os operários, [...] encontravam na cidade uma maior variedade de escolha e uma possibilidade de reconhecer-se como classe [...]” (BENEVOLO, 1994, p. 18).

A cidade de Londres se tornou o símbolo desse fenômeno urbano. Entre os anos de 1840 e 1901 a população londrina duplicou, enquanto que a população da grande Londres triplicou.

No final do século XIX, estima-se que a população de Londres chegou 6,5 milhões de habitantes. O rápido crescimento populacional provocou mudanças na paisagem urbana da cidade europeia, que, tinha sua estrutura física baseada na Cidade Medieval.

As áreas operárias em Londres (e nas demais cidades industriais europeias) eram insalubres e extremamente adensados, ver Figura 3.13(p. 140). A ausência de sistema de saneamento e esgoto tornava estas populações vulneráveis a toda sorte de doenças.

Figura 3.13 - Uma rua de um bairro pobre de Londres (Dudley Street); Gustave Doré de 1872



Fonte: BENEVOLO, 2011

A população rural que se deslocou para a cidade ocupou inicialmente os bairros antigos, que rapidamente se deterioraram devido à ausência de condições para abrigar os imigrantes.

A ocupação destas áreas urbanas aconteceu de forma precária, seguindo a lógica da ocupação máxima da terra. As habitações operárias eram dispostas de modo que ficassem próximas dos centros de produção industrial, dada a precariedade ou inexistência de meios de transportes (FRAMPTON, 2003, p. 14).

A deterioração dos espaços de vida do operário provocou o deslocamento das pessoas mais pobres para áreas mais periféricas de Londres. Esse processo foi possível também, graças ao desenvolvimento do metrô e das linhas férreas que permitiam o deslocamento da residência até os ambientes de trabalho (PANERAI, CASTEX e DEPAULE, 2009, p. 44).

A periferia da Cidade Industrial passou a ser ocupada, não apenas pelas comunidades carentes, como também abrigou as populações mais abastadas.

As áreas periféricas da cidade do século XVIII e XIX se tornaram o somatório de iniciativas urbanas independentes que agrupavam: bairros de luxo, bairros pobres, indústrias, depósitos e instalações técnicas. Essas ocupações, com o tempo, se fundem em um tecido compacto constituindo a Cidade Industrial. Esse processo ocorre de forma espontânea e sem planejamento prévio (BENEVOLO, 2011, p. 565).

O cenário de degradação social, moral e física que se consolidou na cidade industrial teve como consequência a aversão a vida urbana por parte dos seus habitantes e dos urbanistas. Este sentimento vai, mais tarde, resultar na difusão de práticas de planejamento urbano baseados na baixa densidade dos espaços citadinos (TOWERS, 2005, p. 39).

Ao mesmo tempo que a fábrica e todos os seus estabelecimentos anexos ganham destaque no cenário urbano industrial, cresce também a relevância dos bairros de operários.

Esses ambientes foram estabelecidos com o objetivo de abrigar a crescente mão de obra e tomaram formas e características diferentes em cada país. A habitação operária tratava-se de uma edificação desprovida de iluminação natural e que procurava a ocupação máxima do terreno urbano (GOITIA, 2003, p. 149-150).

Nesse contexto surgem iniciativas para solucionar os problemas urbanos comuns às Cidades Industriais. Desse período datam as primeiras práticas e legislações de Saneamento e de Urbanismo. Estas legislações serão determinantes para a consolidação do Urbanismo e do Saneamento como campos do conhecimento.

Nesse período, o Urbanismo vai estar associado ao Saneamento público. As necessidades sanitárias vão determinar a forma como as áreas urbanas serão ocupadas. Havia na época um consenso de que a solução dos problemas da cidade passava por dar melhores condições de vida a população operária (FRAMPTON, 2003, p. 15).

O Desenho Urbano da segunda metade do século XIX assume uma postura conservadora nos processos de reordenamento das cidades. São adotadas soluções de caráter formal historicista, tais como: o eixo de simetria, pontos de fuga ordenamento em estrela entre outros.

Essas técnicas eram combinadas com as normas científicas da engenharia que construíam as obras de saneamento e as redes ferroviárias metropolitanas. Essas iniciativas, a princípio, não tinham como foco a solução efetiva da problemática da habitação popular. Uma vez que, apenas afastava essas populações para áreas urbanas periféricas onde ainda se repetiam as péssimas condições de vida (BENEVOLO, 2009, p. 212).

O cenário de degradação urbana e social torna-se comum em todas as cidades europeias que passaram por processos de urbanização impulsionados pela atividade industrial. Dentro deste processo as cidades inglesas tiveram um papel de destaque, pela importância econômica que possuíam no período.

O fato das cidades europeias terem sido as primeiras a sofrer com os problemas urbanos, fez com nestas áreas surgissem teóricos que buscavam estabelecer modos de ocupação que pudessem qualificar os espaços urbanos industriais.

A busca por soluções se traduz na criação de leis de saneamento e no surgimento da Lei da habitação das classes trabalhadoras de 1890. Criada com o objetivo de garantir condições mínimas de abrigo para as classes operárias. A criação destas leis transforma os problemas urbanos em uma questão de Estado. Em que o poder público passa a definir parâmetros de ocupação urbana e a construir habitações de classe.

É desse período o The Milbank Estate (ver Figura 3.14, p. 143) um dos primeiros edifícios construídos e projetados para atender as necessidades da classe operária pela prefeitura de Londres (FRAMPTON, 2003, p. 15).

Figura 3.14 - The Milbank Estate, Londres (1897-1902); projeto The London County Council.



Disponível em: <<http://edenison.zenfolio.com/p594844594/hFBE09DE#hfbe09de>>; acesso em 03 de setembro de 2014.

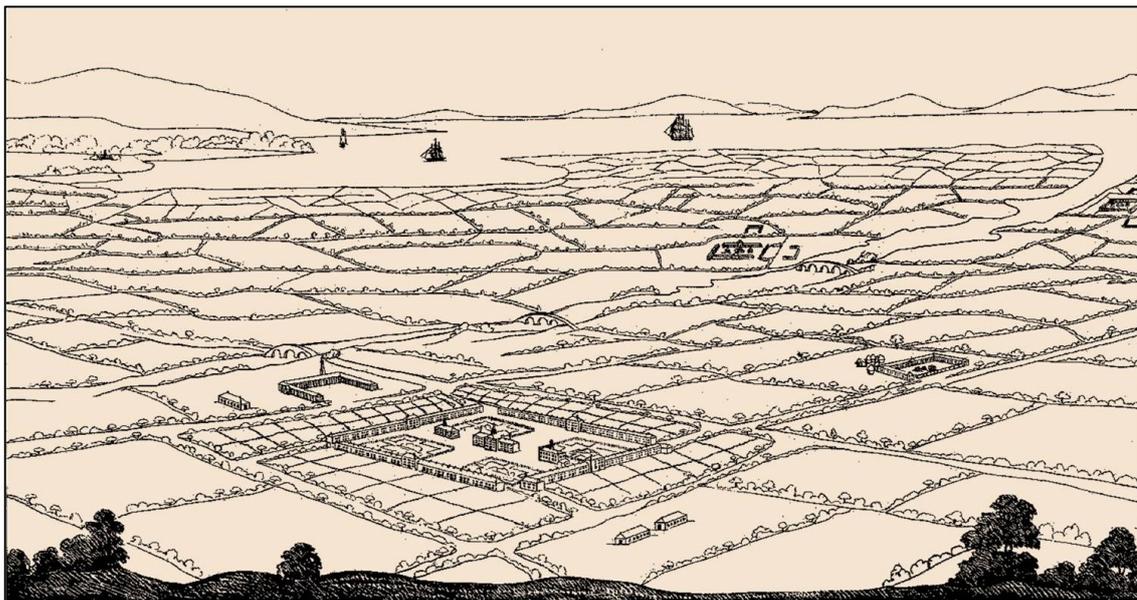
A proposição de soluções para o problema da qualidade dos espaços urbanos, na Inglaterra, na ficam restritas apenas ao poder público. Alguns membros da classe industrial propuseram soluções de caráter prático, que buscavam melhorar a relação entre a indústria e a cidade.

Dentre estas iniciativas destacam-se as figuras de Robert Owen (1771-1858) e Charles Fourier (1772-1858). Que concentraram recursos próprios para a produção e a implantação de comunidades utópicas. Estes agrupamentos tentavam criar novos conceitos de ocupação urbana que pudessem atender às necessidades produtivas da indústria e às necessidades dos operários com espaços públicos de qualidade.

Robert Owen propõe, em 1816, uma comunidade cooperativa que combina indústria e agricultura. Nesta comunidade as habitações e os edifícios comunitários eram agrupadas em volta de grandes espaços abertos.

Próximo as habitações haviam áreas para hortas e jardins. Em um dos lados das habitações situavam-se a fábrica e as oficinas também circundadas por áreas agrícolas (ver Figura 3.15, p. 144). Essas estruturas foram planejadas para abrigar uma população e 1200 habitantes. Owen acreditava que estas comunidades seriam autossustentáveis (GUIMARÃES, 2004, p. 73).

Figura 3.15 - Uma “aldeia de harmonia e de cooperação”; Robert Owen, de 1817.



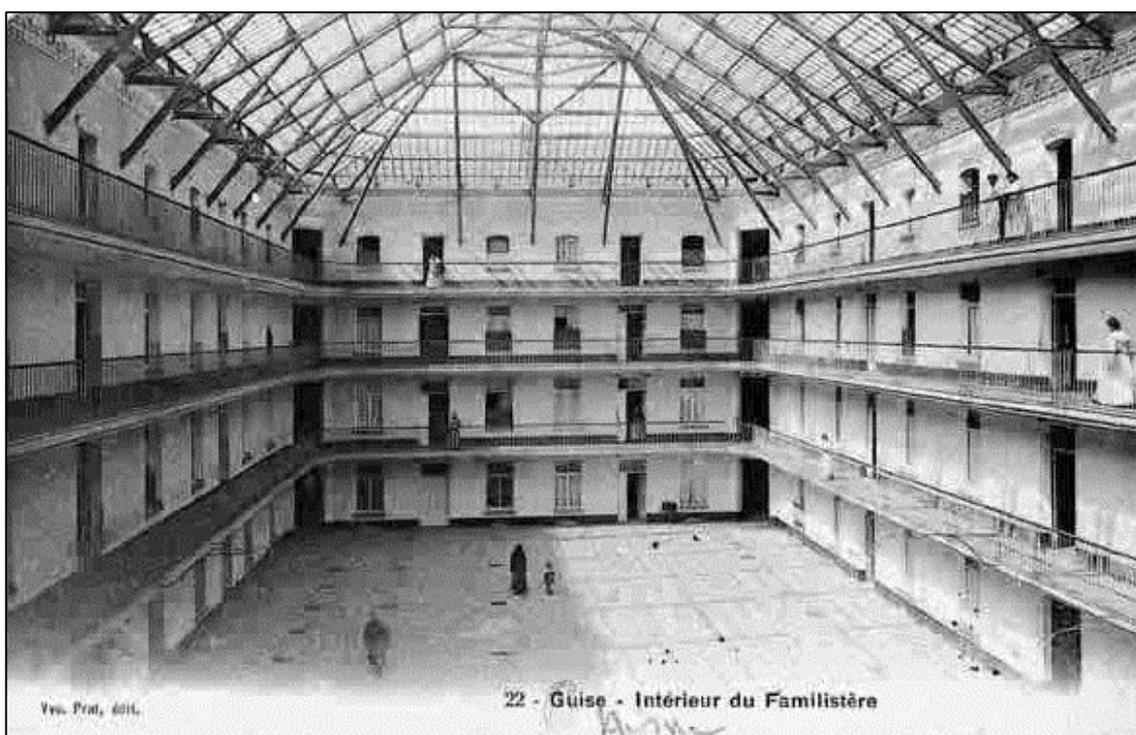
Fonte: Benévolo, 2011.

Charles Fourier propôs um modelo de cidade autossustentável para abrigar 1620 habitantes de diferentes estratos sociais. Estes moradores deveriam possuir uma légua quadrada e morar num edifício unitário de escala monumental em forma de Ω (ômega), o falanstério.

Este modelo despertou o interesse de muitos países que se propuseram a pô-lo em prática. De modo que, entre os anos de 1830 e 1850 foram construídos cerca de cinquenta tentativas de implementá-lo em países como Rússia, França, Argélia e Estados Unidos (BENEVOLO, 2011, p. 568).

Jean-Baptista Godin constrói para seus funcionários um edifício inspirado no falanstério de Fourier. Pelo fato das famílias possuírem suas unidades privadas o edifício passou a ser conhecido como familistério ver Figura 3.16, (p. 145).

Figura 3.16 - Familistério de Guise.



Disponível em:

<[http://pt.wikipedia.org/wiki/Familist%C3%A9rio_de_Godin_\(falanst%C3%A9rio\)#mediaviewer/File:Familist%C3%A8re-guise.jpg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Familist%C3%A9rio_de_Godin_(falanst%C3%A9rio)#mediaviewer/File:Familist%C3%A8re-guise.jpg)> Acesso em 06 de set de 2014.

Outra iniciativa de comunidade fabril foi implementada por Titus Salt, que em 1853 criou a aldeia de *Saltire* às margens do Rio *Aire* em *York Shire* (ver Figura 3.17, p. 146).

Figura 3.17 - Comunidade de Saltaire, Bradford – Inglaterra



Disponível em: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/24/Salts_Mill_2.jpg/800px-Salts_Mill_2.jpg; acesso em 14 de agosto de 2014.

Tratava-se de uma comunidade composta pelas instalações fabris, alojamentos para os trabalhadores e suas famílias, junto a instituições urbanas tradicionais (igreja, enfermaria, escola entre outros) (PANZINI, 2013, p. 520).

Estes modelos, compartilham entre si a tentativa de solucionar de forma coletiva e pública a maioria dos aspectos da vida familiar e social. Estas iniciativas surgem do protesto as péssimas condições de vida oferecidas aos operários pelas cidades industriais. Essa abordagem coletiva dos espaços antecipa as discussões modernistas sobre o urbanismo e a configuração da cidade (BENEVOLO, 2011, p. 568).

As tentativas de implementar estes modelos não obtiveram êxito, tendo a maioria delas fracassado em se tornar uma alternativa viável a Cidade Industrial. Além de terem sido realizadas de modo restrito e em ocupações de pequena escala.

Outro aspecto que contribuiu para o fracasso destas iniciativas foi o contexto político e econômico desfavorável. Muitas destas experiências chegaram a ser sabotadas ou boicotadas por ameaçar a estrutura socioeconômicas existente (GUIMARÃES, 2004, p. 74).

Os modelos utópicos propostos por estes pensadores, apesar de terem fracassado, irão influenciar as práticas de Desenho Urbano do século XX. Servindo de base para os preceitos teóricos do urbanismo moderno e seu modelo funcionalista de cidade.

Em 1898, Ebenezer Howard, lança *Tomorrow: A peaceful path to real reform* que em 1903 será reeditado com o título *Garden Cities of Tomorrow*. Esse trabalho continha a proposição de uma nova forma de se ocupar as metrópoles, a Cidade Jardim. Esse modelo urbano tentava agregar as melhores qualidades da vida urbana e da vida do campo (KOSTOF, 1995, p. 679)

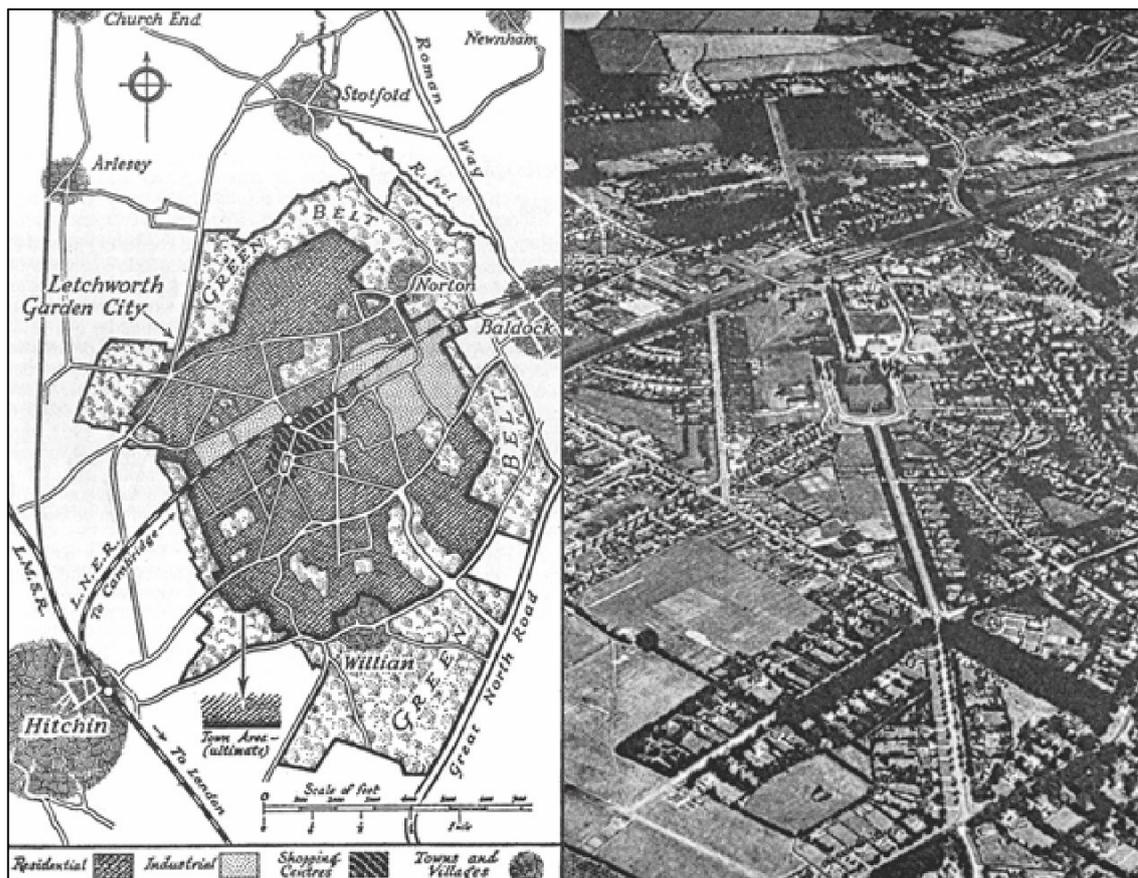
Howard propôs, através de diagramas uma cidade de baixa densidade edilícia, com a presença planejada de espaços verdes. Essa área urbana articulava-se por meio de vários setores concêntricos destinados a abrigar uma população de 35 mil habitantes.

Os edifícios de interesse comunitário (prédios administrativos, teatros, biblioteca, etc) eram localizados em um parque central, em torno do qual se posicionava uma galeria que concentrava as atividades comerciais. Imediatamente após a essa área comercial vinham as zonas residenciais atravessadas por uma faixa verde de jardins. Fora dessas áreas estavam localizados os setores de serviço, que concentravam as indústrias, depósito e o comércio (PANZINI, 2013, p. 521).

Por fim um anel ferroviário circundava essa última zona que fazia limite com um cinturão verde. Essa faixa deveria possuir cinco vezes a área da zona urbanizada e servia para impedir o crescimento do núcleo urbano inicial (PANZINI, 2013, p. 521).

A falta de conhecimento técnico fez com que Ebenezer Howard se associasse a dois arquitetos, Raymond Unwin e Barry Parker. Desse contato é que surge o projeto e a construção da primeira cidade jardim, Letchworth em 1904, ilustrada na Figura 3.19 (p. 149).

Figura 3.19 - Projeto da cidade de Letchworth e vista aérea da cidade implantada, autoria de Raymond Unwin e Barry Parker, 1904.



Disponível em: <<http://urbanidades.arq.br/bancodeimagens/displayimage.php?album=5&pos=8>>, acesso em outubro de 2015.

Raymond Unwin vai tirar partido da experiência de trabalho com Ebenézer Howard e vai desenvolver uma teoria de planejamento urbano. Essa teoria vai ser inicialmente aplicada na cidade Hampstead e posteriormente servirá como base para o planejamento urbano das cidades inglesas após a segunda guerra mundial. O manual desenvolvido por Unwin irá consolidar o planejamento urbano na Inglaterra e influenciará as práticas urbanas durante o século XX (PANERAI, CASTEX e DEPAULE, 2009, p. 47-48).

Os modelos urbanos utópicos terão ampla influência nos movimentos de Planejamento e Desenho Urbano, estabelecidos durante o século XX.

O início do século XX é marcado pela consolidação da revolução industrial. Existe um encantamento com a máquina e os avanços tecnológicos promovidos durante a Revolução Industrial.

O movimento futurista vai traduzir esse deslumbramento pela máquina no culto a modernidade e ao automóvel e os triunfos da engenharia. A cidade é vista como uma máquina dinâmica e mutável. Os centros urbanos eram considerados a partir da sua rede transportes que alimentava esse imenso mecanismo urbano (KOSTOF, 1995, p. 678).

Esta percepção vai ser o fundamento do pensamento urbano modernista, que irá resultar nos preceitos promulgados pela Carta de Atenas e implementados em diversas intervenções urbanas durante o período do pós-guerra na segunda metade do século XX.

3.2 O Desenho Urbano Moderno e a Cidade Moderna

A mudança de paradigma provocada pela Revolução Industrial reestruturara todos os aspectos da vida da sociedade ocidental. Essa alteração no modo de perceber o novo contexto global sócio econômico resulta na proposição de novos modelos de ocupação urbana. Modos estes, que tentavam atender às necessidades da sociedade moderna que começa a se consolidar no início do século XX (WALL e WATERMAN, 2012, p. 32).

A redução nos custos dos sistemas de transporte público viabilizou a ocupação dos subúrbios nos grandes centros urbanos. Os trabalhadores não precisavam mais morar próximos ao seu local de trabalho. Isso estimulou o esvaziamento dos centros das cidades e provocou o desenvolvimento de áreas periféricas. As áreas centrais assumiram funções de comércio e prestação de serviço. Essa nova organização dos centros urbanos possibilitou a proliferação dos arranha-céus, que se estabeleceram como a nova tipologia edilícia do período (ELLIS, 2013).

O Urbanismo Moderno vai reproduzir os princípios do movimento modernista na cidade. Estes preceitos até então haviam sido aplicados apenas na arquitetura. A Cidade Moderna, para os modernistas, é definida a partir das suas funções e do seu sistema de transporte.

A lógica urbana moderna surge da ampliação do conceito da casa como uma máquina de morar. Essa lógica será aplicada amplamente no processo de reconstrução das cidades europeias durante pós-guerra e no ordenamento de grandes centros urbanos.

O Urbanismo Moderno partia do pressuposto de que conseguiria reconfigurar as cidades através da combinação de formas geométricas puras com a sua filosofia funcionalista. O funcionalismo modernista defendia o agrupamento das atividades urbanas de acordo com as suas funções (morar, comércio, serviço e lazer).

Havia no início do século XX a percepção de que as cidades precisavam ser ordenadas. Que a cidade deveria se adaptar à nova realidade social que emerge da Revolução Industrial. Para tanto, os modernistas defendiam o abandono dos modelos urbanos tradicionais e a adoção de novas formas urbanas. A cidade Moderna vai ser o resultado da racionalização abstrata do espaço urbano.

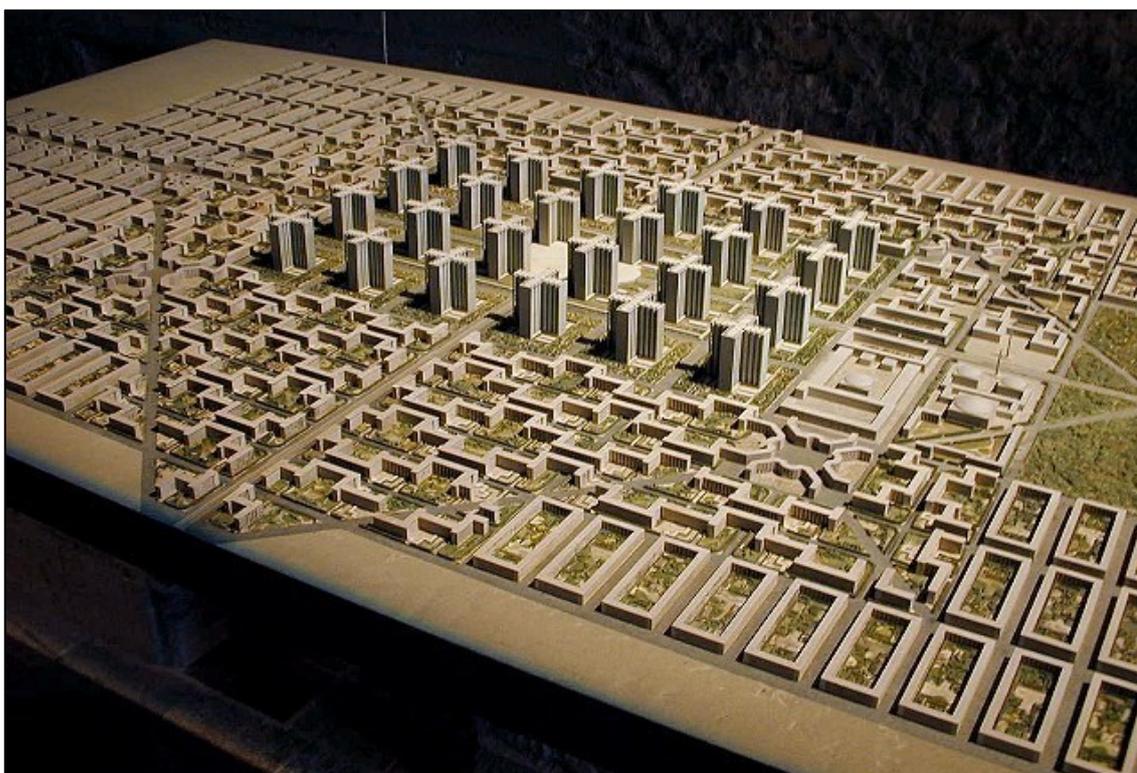
Essa abstração conceitual, proposta pelos modernistas, se deu a partir de três argumentos. O primeiro defende o zoneamento e o afastamento das áreas comerciais dos setores habitacionais, como forma de preservar os espaços residenciais.

O segundo constituía-se na produção de espaços urbanos com baixa densidade construtiva, para garantir a existência de áreas livres arborizadas. O terceiro argumento se estabelecia na crença de que a os centros das cidades tradicionais eram arcaicos e incapazes de serem melhorados (COUSSERAN, 2006, p. 106).

Em 1922 Le Corbusier apresenta o seu modelo de cidade contemporânea. O conceito apresentado era constituído de amplos arranha céus contornados por espaços abertos, que constituía um amplo parque. Os edifícios de escritório possuíam 65 andares e ocupavam apenas 5% do solo. O terminal de transporte ferroviário e aeroviário estavam localizados no centro urbano.

No entorno dos arranha-céus, situavam-se os distritos de edifícios de apartamentos de oito andares. Essas edificações eram distribuídas em ziguezague na grande área verde. Esse modelo vai passar por uma atualização e será lançado novamente como *Ville Radieuse* (ver Figura 3.20, p. 153).

Figura 3.20 - Maquete da *Ville Radieuse*, Le Corbusier, 1924.



Disponível

em: <http://images.adsttc.com/media/images/5200/1cc3/e8e4/4e6d/b000/0007/large_jpg/Corbusierville3millionsg.jpg?1375739072>, acesso em julho de 2015.

A cidade modernista não possuía nome, ela não existia tratava-se de um diagrama. Esse modelo urbano rejeitava a Cidade Tradicional e se apresentava como uma alternativa a “desordem” organizacional da cidade medieval. Apesar de ser uma abstração, o urbanismo Moderno proposto por Corbusier e consolidado na Carta de Atenas vai influenciar o planejamento urbano do pós-guerra (PANERAI, CASTEX e DEPAULE, 2009, p. 114).

A década de 1950 foi marcada pela ampla difusão e implementação do Desenho Urbano Moderno. Esse movimento, diferentemente de outros modelos urbanos que surgiram ao longo da história, foi amplamente implementado.

As cidades europeias que precisaram ser reconstruídas após o término da segunda guerra mundial adotaram os conceitos propagados pela Carta de Atenas. Os centros urbanos norte americanos também foram objeto do modelo modernista de urbanização. Essas cidades necessitavam de reestruturação para adaptar o centro antigo e atender as novas demandas habitacionais.

O Urbanismo Moderno transformou os centros urbanos em áreas comerciais e de prestação de serviço, que ficavam desertos fora do horário de trabalho. As zonas residenciais foram localizadas perifericamente o que transformou essas áreas em subúrbios dormitórios.

As intervenções urbanas produzidas pelos modernistas logo se mostram ineficientes em atender aos anseios da população. A insatisfação com os modelos urbanos modernos culmina na crítica a todos os processos de produção da cidade moderna. O que vai provocar a demolição de conjuntos habitacionais e o surgimento de organizações populares contrárias a esse tipo de intervenção.

Um exemplo emblemático foi o conjunto habitacional *The Pruitt-Igoe* construído em Chicago. Esse conjunto é obra do arquiteto Minoru Yamasaki, que desenvolveu um conjunto de prédios para receber a população carente que morava na cidade de *St Louis, Missouri* (ver Figura 3.21, p. 155). O conjunto foi construído entre 1954 e 1956. Assim que ficou completo a área passou por um processo de degradação que resultou na sua demolição em 1974 (PRUITT-IGOE, 2015).

Figura 3.21 - Vista aérea do conjunto habitacional The Pruitt-Igoe St Louis, Minoru Yamasaki (1954-1956).



Disponível em: <<http://www.pruitt-igoe.com/YAMA/wp-content/uploads/2010/09/P-I99.jpg>>, acesso julho de 2015.

Ao ignorar as lógicas tradicionais de ocupação da cidade, as particularidades do sítio e as individualidades sociais preexistentes, o urbanismo Moderno passa a ser sinônimo de lugar estéril. As áreas que passaram por esse tipo de intervenção se tornaram (ou são) desprovidas de vida social, o que vai estimular às críticas a esse modelo de planejamento por parte da sociedade (DEL RIO, 1990, p. 20).

As reações iniciais aos preceitos urbanos das Carta de Atenas ocorrem inicialmente no âmbito teórico durante os anos 1960. Nesta década se evidencia a pobreza formal e social das produções urbanísticas modernas. A Cidade Moderna passa a ser criticada sempre em oposição a Cidade Tradicional. De tal modo que a cidade antiga passa a ser o modelo de espaço urbano desejável (LAMAS, 2004, p. 385).

Ao rejeitar a Cidade Tradicional os modernistas abdicaram das qualidades espaciais urbanas presentes nestes ambientes. Características como a variedade de funções e usos, a existência de espaços públicos que promovam o convívio social deixou de ser contemplada pelo urbanismo Moderno.

Outro aspecto criticado era limitação plástica e visual dos ambientes urbanos produzidos sob os preceitos Modernos. A arquitetura modernista possuía a tendência de produzir de formas geométricas puras e livre de ornamentação (DEL RIO, 1990, p. 22).

O fracasso do planejamento urbano moderno se traduz nas críticas de diversos pesquisadores e na reação violenta aos projetos apresentados. Os planejadores foram criticados pelo o seu afastamento da realidade e pelo tipo de ambiente proporcionado por ser “planos”.

O descrédito no planejamento urbano moderno e em suas premissas são ilustradas nas palavras de Jane Jacobs (1961, p. 23 apud DEL RIO, 1990, p.23):

“(...) a pseudociência do planejamento urbano e do *city design* ainda não romperam o conforto superficial de desejos, superstições familiares, supersimplificações e símbolos, e não iniciaram a aventura de provar o mundo real.”

Outro aspecto que contribuiu para o fracasso foi a aplicação da lógica da produção em massa das edificações. Essa lógica ignorava as particularidades individuais e tratava as necessidades do usuário de forma geral. Essa percepção transformou a casa em um mero objeto. Em que, a unidade habitacional replicável infinitamente correspondia ao quarteirão modelo, que quando replicado produziria os novos espaços urbanos (COUSSERAN, 2006, p. 107).

O descontentamento com os rumos do planejamento urbano provocou o surgimento de novas práticas de projeto urbano. A crítica ao Desenho Urbano modernista que se consolidou a partir de um combate sistemático à Cidade Tradicional, gerou a retomada dos modos de ocupação urbana tradicional. Pesquisadores, urbanistas e a população passaram a verificar quais características a cidade possuía que a tornava tão atraente para seus moradores (KRIEGER, 2006, p. 20).

Nesse contexto surge a necessidade de antídotos aos danos provocados pelas teorias defendidas na Carta de Atenas. De modo que, o Urbanismo passa a buscar modelos que possam restabelecer as qualidades contidas na Cidade Tradicional. De modo que as teorias e práticas urbanas, a partir desse momento, vão tentar reverter os processos urbanos iniciados pelos modernistas (KRIER, 1979, p. 82).

3.2.1 A negação a cidade moderna

A partir dos anos de 1960 a sociedade e pesquisadores vão procurar propor novos conceitos e práticas de planejamento urbano. As teorias que surgirão a partir deste período terão um caráter de oposição a todo o corolário de técnicas e teorias modernas. As novas práticas urbanas irão tentar remediar os danos causados a vida urbana provocados pelas intervenções urbanas modernistas.

A Cidade Moderna ao se afastar da Cidade Tradicional, afastou-se de seus aspectos positivos e não foi capaz de proporcionar outros elementos qualitativos às áreas urbanas. A Cidade Tradicional, era multifuncional, multicolorida e multicultural. As atividades se distribuía a partir da escala do pedestre, o que possibilitava que as pessoas pudessem estar próximas aos locais em que desempenhava suas atividades cotidianas.

A rejeição da rua e da Cidade Tradicional e a introdução dos ideais funcionalistas, promovido pelos urbanistas modernistas, resultou em espaços urbanos baseados em mega-edificações dispersas e interconectadas através de rodovias. Os pontos de encontro e o deslocamento a pé não eram considerados (GEHL, 2010, p. 56).

Existe um consenso quanto a de que:

“(...) muitas das mazelas sociais, econômicas, ambientais e psicológicas são consequência direta do modo como nós temos construído nossas comunidades desde a Segunda Guerra Mundial. Zoneamento monofuncional, construção massiva de autoestradas, e desinvestimento urbano tem transformado uma nação⁵ de vizinhanças ecologicamente sustentáveis em uma coleção vasta de monoculturas, conectadas apenas pelo próstético dispositivo do automóvel (DUANY, SPECK e MIKE, 2010).”

O zoneamento moderno indiscriminado separava o indivíduo de suas atividades diárias e ao mesmo tempo criava uma relação de dependência com o automóvel. As áreas urbanas passaram a serem definidas considerando o deslocamento veicular como o principal meio de transporte. Essa lógica vai estimular o esvaziamento de áreas centrais e contribuir para o agravamento da crítica situação climática que enfrentamos nos grandes centros urbanos (DEL RIO, 1990, p. 46).

O objetivo do Urbanismo Moderno era sanear o espaço urbano e promover o bem-estar por meio da segregação de usos e a redução das densidades populacional e edilícia. A lógica urbana modernista, baseada na setorização dos espaços, separaram funções que ocorriam de forma integrada no tecido urbano (TRANCIK, 2007, p. 66-67).

No sentido de combater os espaços estéreis gerados pelo zoneamento funcional proposto pelos urbanistas modernistas, o Desenho Urbano passou a ter na diversidade de usos um objetivo, por conta das vantagens advindas com a concentração de funções em uma mesma área (CARMONA, TIESDELL, *et al.*, 2010, p. 324).

⁵ Os autores (DUANY, SPECK e MIKE) se referem aos Estados Unidos da América.

A negação do movimento moderno foi promovida pela sociedade que viu os espaços urbanos se degradarem a partir da implementação dos preceitos urbanos modernos. Os movimentos de negação a Cidade Moderna vão resultar no surgimento de novos direcionamentos e métodos de produção dos espaços urbanos.

Nesse processo o Urbanismo e o Desenho Urbano passam a apresentar alternativas as práticas urbanas modernas, que vigoravam até então. Estas duas atividades passam a fazer parte do processo de reconciliação entre a cidade, o homem e o meio ambiente. Através da proposição da retomada das relações morfológicas característicos a Cidade Tradicional (LAMAS, 2004, p. 390).

Um dos principais instrumentos propostos para auxiliar a produção da cidade vai ser o Desenho Urbano.

Apesar dos processos responsáveis pela definição dos espaços urbanos terem sido objeto de estudo da teoria do projeto, apenas na segunda metade do século XX é que o Desenho Urbano vai surgir como atividade específica. Um campo do conhecimento que se distingue da arquitetura, do planejamento, ou mesmo da engenharia civil (KRIEGER, 2009, p. 115).

O Desenho Urbano como atividade projetual passará a considerar dentro de suas práticas aspectos que representem os anseios e valores da população local. A partir daí o produto final do desenhista urbano passa a ser o resultado da organização dos elementos morfológicos que compõe a cidade juntamente com os aspectos sociais e culturais dos indivíduos que ocuparão o espaço projetado (MOUGHTIN, CUESTA, *et al.*, 1999, p. 15).

As ciências sociais passam a ser estudadas e consideradas pelos urbanistas no desenvolvimento de suas propostas urbanas. A nova postura dos urbanistas permite (e busca) a inserção da comunidade dentro do processo de projeção. Outra contribuição dada ao processo é a percepção da importância de se compreender o lugar em que se está intervindo. Esse entendimento levou os urbanistas a considerar questões de caráter morfológico, topográfico e ou político na tomada de decisão (DEL RIO, 1990, p. 46).

O novo cenário teórico do Desenho Urbano passa a ser definido por meio de dois vetores principais. O primeiro se refere ao interesse pela cidade antiga, sua preservação, conservação, restauro e revitalização. O segundo vetor está relacionado com a análise das relações morfológicas e sociais existentes na Cidade Tradicional para a produção de novas intervenções.

3.3 O Desenho Urbano como instrumento de produção de espaços urbanos

O Desenho Urbano trata-se de uma atividade interdisciplinar que tem por objetivo desenvolver (ou produzir) espaços urbanos melhores para as pessoas. Nesse sentido esta atividade utiliza de estratégias que atuam no campo das ciências sociais e nos processos técnicos e intelectuais responsáveis pela construção dos espaços.

O Desenho Urbano é parte do processo de Planejamento da cidade, e deve estar inserido no conjunto de ações destinadas para o ordenamento dos espaços urbanos. O Desenho Urbano pode se apresentar dentro do planejamento por meio de políticas, planos, projetos e programas (DEL RIO, 1990, p. 108).

Moughtin (2003) define o Desenho Urbano como:

“(...) a arte de ordenar edificações para formar uma composição unificada. O principal meio deste processo de projeto é o universo urbano. Existem inúmeros modos de agrupar as edificações para formar uma única composição, no entanto aquela que defendemos (...) é a disciplina de produzir espaços externos (MOUGHTIN, 2003, p. 233).”

As políticas estabelecem um conjunto de ações a serem tomadas no âmbito governamental e comunitário, definindo meios de implementação. O plano apresenta uma visão físico-ambiental para o desenvolvimento integrado das políticas urbanas.

O projeto de Desenho Urbano consiste na definição de uma diretriz para uma área ou território, ou atua sobre uma temática específica como a definição de áreas livres ou a arborização e o mobiliário urbano (DEL RIO, 1990, p. 108).

No sentido de garantir a produção de espaços urbanos adequados (DAVIES YEANG, 2000, p. 22) aponta seis pontos chaves a serem considerados e identificados pelo projeto urbano, são eles: identidade regional, conexões com o entorno, características locais, morfologia, características ambientais e o perfil sócio econômico dos seus habitantes.

As práticas urbanas contemporâneas (e o Desenho Urbano) como atividade se estabeleceram em oposição ao urbanismo modernista praticado na primeira metade do século XX.

O Planejamento Urbano Modernista propunha planejamentos de larga escala, que atuavam sobre toda a extensão territorial da cidade. Frey (1999, p. 20) afirma a existência de um consenso relativo aos limites físicos do Desenho Urbano que define a área de intervenção urbana em 0,8 km² (80 hectares).

O processo de produzir áreas urbanas é complexo por envolver uma grande quantidade de variáveis. De modo que o Desenho Urbano não deve ser responsabilidade de uma única área do conhecimento, ou de um único profissional. Na realidade a formação da cidade é objeto de interesse e de ação de muitos agentes (órgãos municipais, comunidades, classe empresarial, etc) (CARMONA, TIESDELL, *et al.*, 2010, p. 41).

Nesta tese o uso de sistema generativo implementado por computadores tem como objetivo atuar sobre o processo projetual do Desenho Urbano. A utilização do método generativo de projeto é compatível com processos de Planejamento urbano baseado em diretrizes. Neste processo são definidas diretrizes que atuam sobre os principais elementos morfológicos urbanos, o lote, o quarteirão e a rua (DEL RIO, 1990, p. 83).

A atividade de Desenho Urbano é um processo projetual que utiliza de processos diretos e indiretos de projeção. O projeto direto está relacionado com o desenvolvimento do componente urbano físico (como por exemplo o projeto de uma praça). O processo indireto de Desenho Urbano concentra-se na definição ambientes de decisão para os agentes do processo urbano (construtores, projetistas, comunidade, etc.) (CARMONA, TIESDELL, *et al.*, 2010, p. 16).

3.4 A sustentabilidade e a produção da cidade contemporânea

O processo de urbanização, iniciado no século XIX e consolidado no século XX, irá acentuar os impactos ambientais provocados pelas atividades humanas. A crítica situação ambiental que se estabelece nas décadas de 1970 e 1980 irá provocar a busca de novos modos de ocupação urbana.

Towers (2005) define a qualidade do Desenho Urbano do seguinte modo:

“ A boa qualidade de um ambiente produzida através de construções bem projetadas e bem construídas resistirão ao teste do tempo. [...] deve haver um coerente padrão de ruas e espaços públicos que sejam permeáveis aos pedestres e deem acesso aos equipamentos públicos (TOWERS, 2005, p. 76).”

Estabelecer novos modos de vida e de produção espaço urbano se tornaram essenciais para garantir a sobrevivência das cidades e de seus habitantes. A necessidade de enfrentamento da crise ambiental global pôs o desenvolvimento sustentável na agenda do Desenho Urbano (MOUGHTIN e SHIRLEY, 2005, p. viii).

Para a promoção do desenvolvimento sustentável, dois movimentos têm desempenhado um importante papel o do Novo Urbanismo e o das Cidades Compactas. Estes dois modelos de ocupação urbana têm sido implementados como meio de se promover o Urbanismo Sustentável (FARR, 2013, p. 27).

Neste sentido é importante definir a:

“(...) cidade sustentável é o assentamento humano constituído por uma sociedade com consciência de seu papel de agente transformador dos espaços e cuja relação não se dá pela razão natureza-objeto e sim por uma ação sinérgica entre prudência ecológica, eficiência energética e equidade sócio espacial (SILVA e ROMERO, 2011, apud ROMERO, 2007) ”.

O urbanismo sustentável deve produzir cidades capazes de atender as necessidades sociais, econômicas, políticas, culturais e ambientais de seus cidadãos. A cidade sustentável deve adotar modelos de desenvolvimento em que os recursos necessários ao seu funcionamento sejam utilizados de forma eficiente. Deve ainda possibilitar o máximo aproveitamento da infraestrutura disponível. Essas premissas quando agrupadas e balanceadas, em tese, serão capazes de proporcionar a sustentabilidade urbana (LEITE e AWAD, 2012, p. 135-136).

Neste sentido, despontam algumas teorias e práticas urbanas que tem como objetivo promover a sustentabilidade nas ocupações urbanas. Dentre elas podemos citar: o Novo Urbanismo; a Cidade Compacta; o *Smart Growth* e as *Smart Cities*. Estas teorias apresentam um conjunto de práticas que devem ser adotadas pelos agentes responsáveis pela a produção dos espaços urbanos.

As *Smart Cities* (Cidades Inteligentes) correspondem a um conjunto de ações e medidas de gestão e planejamento baseados na informação geradas pelas tecnologias da informação. Sensores que identificam os pontos críticos de demanda infraestrutura; o uso de aplicativos de celulares para identificar fluxos de trânsito; etc.

Arivaldo (2015) define as Cidades Inteligentes (*Smart Cities*):

“(...)a principal ideia por trás deles consiste no uso intensivo e extensivo das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), empregando todo o potencial destas visando aperfeiçoar o desempenho dos serviços urbanos, de modo a suportar o desenvolvimento econômico, social e cultural; contribuir para o estabelecimento das chamadas “indústrias criativas”; propiciar bem estar para todos os usuários da cidade e ainda assegurar a participação eficaz dos cidadãos em todas as questões que lhe dizem respeito (AMORIM, 2015, p. 90).”

As Cidades Inteligentes tentam fazer do grande volume de informação produzido pelas tecnologias da informação para gerir os processos de ocupação e gestão urbana.

O *Smart Growth* (Crescimento Inteligente), corresponde a um conjunto de práticas urbanas que procuram reverter os problemas causados pelo Urbanismo Moderno. Este processo de regeneração urbana é baseado na produção de vizinhanças dotadas de usos misto e no aproveitamento máximo da infraestrutura existente (DUANY, PLATER-ZYBERK e SPECK, 2000, p. 1).

Estas teorias têm em comum a negação da cidade proposta pelos modernistas e a retomada da Cidade Tradicional como modelo urbano ideal. Dentre estas teorias iremos utilizar como base para a formulação dos algoritmos Generativos aqui propostos o Novo Urbanismo e a Cidade Compacta.

A escolha destas teorias se deu pelo fato de que elas trazem enfoques conceituais mais abrangentes. Uma vez que, o Novo Urbanismo e a Cidade Compacta, compartilham aspectos que estão presentes em outras teorias tais como:

- a. O aumento da densidade urbana, de modo que esta seja adequada a população existente;
- b. O estímulo aos deslocamentos a pé e ao uso do transporte público;
- c. Dimensionamento dos espaços de acordo com os equipamentos e as facilidades urbanas existentes na área;
- d. Variedade de usos, atividades, e indivíduos nos espaços urbanos.

Estas premissas se baseiam na otimização dos recursos através da redução do uso do automóvel e do adequado dimensionamento dos espaços. As dimensões, no urbanismo sustentável, devem ser estabelecidas considerando as necessidades e limitações das pessoas. Estes parâmetros pretendem ainda aproximar a cidade contemporânea da Cidade Tradicional, que apresenta estes aspectos em seu espaço construído.

A seguir apresentamos as definições e as principais premissas promovidas pelo Novo Urbanismo e pela Cidade Compacta.

3.4.1 O novo Urbanismo: a retomada da Cidade Tradicional

O Novo Urbanismo surge como um movimento de contestação às práticas do Urbanismo Moderno. Essa teoria se baseia na inserção de características da Cidade Tradicional no planejamento das cidades e no restauro e manutenção dos centros históricos antigos.

O Novo Urbanismo concentra suas práticas no reforço de três qualidades primárias das cidades antigas: o senso de comunidade, o senso de lugar e o respeito pelos aspectos ambientais locais (CUTHBERT, 2006, p. 141).

As bases teóricas do Novo Urbanismo foram formalizadas nos Congressos para o Novo Urbanismo (CNU), que começaram a ser realizados em 1993 em Alexandria Virginia. A conferência teve como objetivo organizar os princípios teóricos que fundamentavam o movimento e produzir um documento que refutasse a Carta de Atenas e o CIAM⁶.

A elaboração dessa carta foi iniciada no primeiro congresso, no entanto só foi concluída no quarto encontro após uma série de discussões sobre o tema. Esse documento ficou conhecido como a Carta do Novo Urbanismo (FARR, 2013, p. 18).

⁶ CIAM (Congresso Internacional de Arquitetura Moderna) tratava-se de um movimento de reforma no desenho urbano com o objetivo de melhorar a saúde pública por meio da melhoria da cidade através da urbanística Moderna.

A Carta para o Novo Urbanismo elaborada nos Congressos para o Novo Urbanismo estabelece alguns princípios, são eles:

“(…) as vizinhanças devem ser diversificadas em uso e em população; as comunidades devem ser projetadas para o pedestre e para o automóvel; metrópoles e pequenas cidades devem ser moldadas por espaços públicos e acessíveis e equipamentos comunitários; espaços urbanos devem ser constituídos de uma arquitetura e um paisagismo que celebre a história local, o clima, a ecologia e as práticas construtivas (DUANY, PLATER-ZYBERK e SPECK, 2000, p. 260).

As diretrizes definidas pela Carta para o Novo Urbanismo se estabeleceram como novo paradigma na produção dos espaços urbanos. Esses parâmetros serviram de guia para o desenvolvimento de políticas urbanas e para urbanistas que buscavam minimizar os impactos ambientais provocados pelas cidades e pelo Urbanismo Moderno (DUANY, SPECK e MIKE, 2010, p. 2263).

3.4.2 A Cidade Compacta: a otimização dos recursos

Assim como o Novo Urbanismo a Cidade Compacta cumpre importante papel na produção de cidades sustentáveis. Ambos os modelos, promovem por meio de suas premissas a produção de ambientes urbanos que representam uma otimização no consumo dos recursos naturais disponíveis. Isso ocorre como resultado do estímulo ao deslocamento de pedestres em detrimento do uso do automóvel e do aumento da densidade populacional das áreas urbanas.

A Cidade Compacta trata-se de um modelo urbano que foi desenvolvido por dois matemáticos, George Dantzig e Thomas L. Saaty, em 1973. Eles propuseram um modelo urbano baseado no aumento da concentração populacional em uma determinada área urbana. O aumento da densidade teria como consequência a redução na utilização do automóvel o que resultaria em uma menor emissão de gás carbônico para a atmosfera (SAATY, 2013, p. 752).

No entanto, a densidade populacional não é único fator de promoção de sustentabilidade urbana e de economia no consumo de recursos. Além da alta concentração populacional é necessário que o espaço urbano apresente uma configuração que tire proveito da compacidade das cidades.

Leite e Awada (2012) definem a Cidade Compacta seria:

“(...) modelo de desenvolvimento urbano que promova altas densidades (maior do que 250 habitantes por hectare) de modo qualificado, ou seja, com adequado e planejado uso misto do solo urbano, misturando funções urbanas (habitação comércio e serviço) (LEITE e AWAD, 2012, p. 158).”

A cidade densa e compacta, socialmente diversificada, em que as atividades sociais e econômicas se sobreponham, e onde as comunidades se concentrem em torno de unidades de vizinhanças que agreguem as principais atividades urbanas é uma alternativa a cidade dispersa.

A cidade dispersa se estabeleceu a partir da aplicação da setorização das atividades urbanas promovidas pelo urbanismo moderno. A setorização provocou o esvaziamento das áreas centrais e afastou as áreas residenciais para as zonas periféricas da cidade. Este processo vai conhecido como *Urban Sprawl* irá resultar na Cidade Dispersa (CARMONA, TIESDELL, *et al.*, 2010).

A Cidade Compacta, se opõe ao modelo urbano dominante nos Estados Unidos. Grande parte das cidades norte americanas está dividida em zonas monofuncionais, com áreas de escritórios e serviços nas zonas centrais e áreas de lazer e shopping centers fora da cidade. Outra característica desse modelo é a presença marcante dos subúrbios, comunidades residenciais afastadas do centro da cidade e conectada ao centro por meio de vias expressas (ROGERS, 2001, p. 33).

Os modelos urbanos contemporâneos têm em comum a necessidade de produzir soluções de Desenho Urbano que contemplem a diversidade de funções urbanas e a densidade populacional. Essas características são importantes pois tentam reproduzir o cenário urbano da Cidade Tradicional e assim tentam atender as demandas por sustentabilidade.

É importante esclarecer que a densidade e a multiplicidade de funções não são os únicos fatores que devem ser considerados no desenvolvimento urbano sustentável. A sustentabilidade deve ser vista como a soma de um conjunto de ações.

Essas práticas envolvem a gestão de recursos, a produção de edificações eficientes, o uso de técnicas construtivas que considerem não apenas a produção do edifício como também a forma como os materiais são fabricados e descartados, etc, além da mudança de hábitos da sociedade.

A densidade e a multiplicidade de funções são importantes para a melhoria dos espaços construídos. Isso ocorre porque uma cidade adensada e compacta possibilita a comunidade uma independência em relação ao automóvel, melhor aproveitamento da infraestrutura urbana existente e a redução no consumo de combustíveis fósseis. De tal modo que não é possível se alcançar a sustentabilidade urbana em áreas de baixa densidade (FARR, 2013, p. 30).

Dada a importância que a densidade populacional e a variabilidade apresentam é importante a adoção de um método de Desenho Urbano capaz de proporcionar essas características nas soluções apresentadas. A aplicação de Sistemas Generativos no processo de Desenho Urbano pode consistir em um avanço significativo na produção de espaços urbanos sustentáveis.

3.5 Considerações Finais do capítulo

A Cidade evolui da vila e se viabiliza a partir da produção de excedentes agrícolas proporcionado pelos avanços tecnológicos na agricultura. Este cenário permitiu que as populações pudessem se fixar em um determinado território. As primeiras cidades se estabelecem a partir de necessidades de ordem prática e da existência de elementos que pudessem viabilizar a vida em um dado local.

Os gregos e os romanos vão estabelecer diretrizes formais para a criação de novas cidades. Os romanos serão responsáveis por difundir a malha ortogonal por toda a Europa e parte da África e da Ásia.

As Cidades Medievais vão surgir com o colapso do Império Romano. Durante a Idade Média a população urbana vai diminuir assim como a atividade econômica. As Cidades Medievais vão se sobrepor a cidades romanas já existentes ou irão surgir de forma não planejada.

A Cidade Renascentista se estabelece sobre um tecido urbano já existente. Os teóricos do Renascimento irão propor novos modelos urbanos, fundamentados na visão de caráter clássico (greco-romano), que buscava solucionar e explicar os fenômenos do universo através da razão humana.

Durante a Revolução Industrial as cidades europeias não estavam preparadas para atender as demandas sociais geradas pelo aumento populacional e nem as novas tipologias edilícias (fábrica, galpão e a casa operária). Como consequência deste contexto a Cidade Industrial se degradou social e moralmente. Isto impulsionou o surgimento e a aplicação de modelos utópicos tais como o familistério de Fourier e as Cidades Jardins de Ebenezer Howard.

Os modelos utópicos produzidos durante o século XIX terão ampla influência sobre a definição dos preceitos adotados pelo Urbanismo Moderno. O Planejamento Urbano Modernista será largamente aplicado na Europa e nos Estados Unidos após a segunda Guerra Mundial. A aplicação dos princípios modernistas irá resultar no processo de dispersão das cidades. Durante a década de 1960 a sociedade irá refutar o urbanismo modernista e passará a buscar a aplicação de novos modelos que resgatem a qualidade dos espaços urbanos.

Capítulo 4

4 O DESENHO URBANO E OS PARÂMETROS DE DESEMPENHO URBANO

Neste capítulo serão apresentados os principais elementos morfológicos que compõe uma cidade e a importância do gerenciamento destes elementos para a qualidade dos espaços urbanos (CARMONA, TIESDELL, *et al.*, 2010; LYNCH, 1981; LAMAS, 2004). Definimos ainda o bairro e o quarteirão (ALEXANDER, ISHIKAWA e MURRAY, 1977; DAVIES YEANG, 2000; LAMAS, 2004) e ao mesmo tempo apresentamos que características devem ser contempladas no processo de produção destes espaços. Tanto o bairro quanto o quarteirão cumprem um importante papel na produção de espaços urbanos sustentáveis (FREY, 1999; LYNCH, 1981; LAMAS, 2004). Nesta seção, apresentamos ainda a densidade, a diversidade e o planejamento baseado no estímulo dos deslocamentos a pé em detrimento do uso do automóvel (CARMONA, TIESDELL, *et al.*, 2010; FARR, 2013; JACOBS, 1961; BEIRÃO, 2012; GEHL, 2010). A partir da análise destes elementos foi possível definir os parâmetros e critérios de desempenho que utilizaremos para a definição dos algoritmos e do sistema generativo, que serão apresentados no Capítulo 5. Além dos parâmetros definimos nesta seção os elementos morfológicos que serão objeto da estratégia generativa de Desenho Urbano proposta nesta tese, que são o bairro e o quarteirão. A escolha ocorreu pela importância que estes elementos têm no processo de formação da cidade.

4.1 A cidade suas escalas e os seus elementos morfológicos

A forma da cidade é constituída por um conjunto de elementos estruturantes que se articulam entre si para produzir o espaço urbano. Dentre estes elementos podemos identificar o macro sistema de arruamentos e os bairros, as áreas habitacionais, centrais e ou produtivas. Estas estruturas se conectam entre si sobre um suporte geográfico configurando os espaços urbanos (LAMAS, 2004, p. 74)

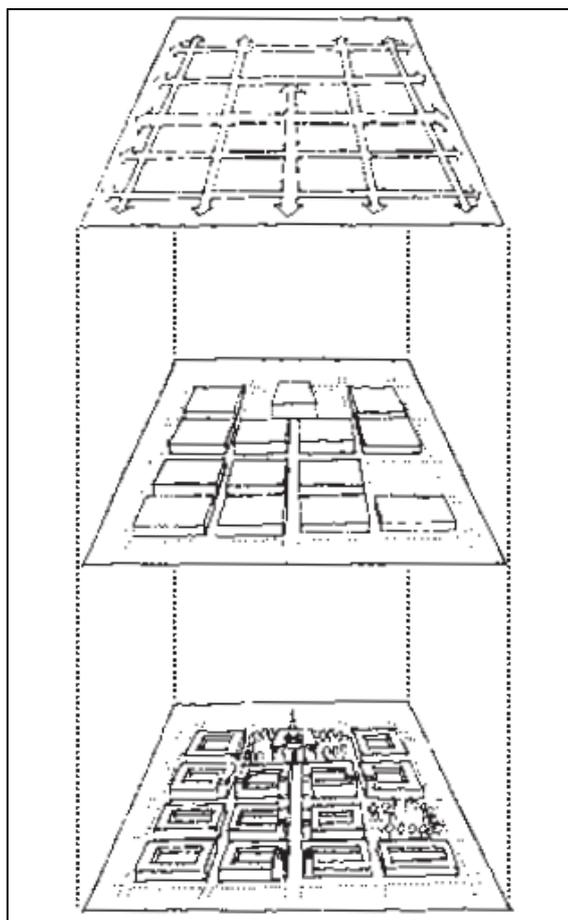
A morfologia urbana determina quais os elementos que dão forma a cidade, tais como: rotas históricas, padrões de quarteirões, altura das edificações, as características vernáculas locais, etc. Estes aspectos quando compreendidos servem como base para a intervenção urbana ou para a produção de novas áreas (DAVIES YEANG, 2000, p. 22).

Segundo Lamas (2004) a Morfologia Urbana:

“(...) estudará essencialmente a os aspectos exteriores do meio urbano e suas relações recíprocas, definindo e explicando a paisagem urbana e a sua estrutura (LAMAS, 2004, p. 37)”.

A cidade é constituída pela junção dos seus elementos morfológicos, a saber: a rua, o lote, o quarteirão, o bairro e a cidade (verificar Figura 4.1, p.173). Estes componentes quando agrupados compõe a paisagem urbana. O modo como estas estruturas são configuradas entre si são determinantes para a definição dos ambientes urbanos, assim como da qualidade da cidade).

Figura 4.1 - Composição do espaço urbano a partir de seus elementos morfológicos.



Fonte: Davies Yeang (2000, p. 33) adaptado pelo autor.

A imagem da cidade é constituída por um conjunto de elementos físicos. O modo como estes componentes morfológicos estão dispostos nos espaços urbanos são determinantes para a percepção que o habitante tem sobre a cidade. Além dos elementos físicos são também importantes para a percepção urbana o significado social, a função e a história do lugar (LYNCH, 1960, p. 57).

O termo estrutura urbana corresponde aos padrões de agrupamento que atuam sobre os quarteirões, ruas, edificações, espaços abertos e o paisagismo que irão resultar nos espaços da cidade. A inter-relação destes elementos é mais importante para a definição do espaço urbano do que as características individuais destas estruturas (DAVIES YEANG, 2000, p. 33).

Para maior compreender o fenômeno urbano é necessário entendê-lo em sua totalidade. Para isso é importante entender as diferentes escalas urbanas e como estas atuam no processo de formação das cidades. Esta divisão permite que possamos ter a compreensão do fenômeno urbano, além de permitir que se possa delimitar o escopo do trabalho a ser desenvolvido.

Neste sentido Lamas (2004, p. 73-74) estabelece três dimensões espaciais na morfologia urbana:

- a. **Dimensão setorial – escala da rua:** esta dimensão é menor unidade ou porção do espaço urbano com forma definida;
- b. **Dimensão urbana – escala do bairro:** trata-se de uma dimensão intermediária, que agrega as funções cotidianas básicas, ao mesmo tempo compartilham de características morfológicas semelhantes;
- c. **Dimensão territorial – escala da cidade:** esta é constituída pela articulação de diversos bairros que se conectam entre si.

É importante para as práticas de Desenho Urbano entender como os elementos morfológicos urbanos se articulam para a definição da cidade. Estes componentes correspondem aos aspectos físicos da cidade. Embora desempenhem um papel importante no processo de formação das cidades eles dependem da presença dos indivíduos.

A sociedade que faz uso dos espaços urbanos (e conseqüentemente dos elementos que o compõe) vão atribuir valores simbólicos a estes componentes. Dessa forma o modo como os indivíduos interagem com o espaço urbano é determinante na definição de estratégias de planejamento, projeto e intervenção urbana.

O tamanho ideal de uma cidade tem sido objeto de estudo de inúmeros teóricos ao longo da história. Muitos teóricos vão definir o tamanho de uma cidade a partir da sua população e de sua densidade.

Aristóteles, por exemplo, defendia que uma cidade deveria atender a uma população entre 5.040 e 20.000 habitantes. Com o deslocamento dos indivíduos do campo para a cidade os urbanistas passaram a estabelecer uma população entre 250.000 e 500.000 (LYNCH, 1981, p. 240).

Para a definição do nosso algoritmo partimos do princípio de que o Desenho Urbano deve determinar como os espaços externos devem ser ordenados. Para determinar como este ordenamento atuará sobre os componentes físicos que compõe a cidade (MOUGHTIN, 2003, p. 233). Foram estabelecidos regras e parâmetros de desempenho que serão utilizados para a produção de um sistema generativo de soluções urbanas.

Definimos a partir das dimensões urbanas definidas (setorial, urbana e territorial) por Lamas dois elementos morfológicos urbanos para a aplicação do sistema generativo, são eles o bairro e o quarteirão. Dessa forma o sistema generativo proposto irá produzir soluções urbanas de quarteirões e bairros.

Trabalhar com o quarteirão é importante uma vez que nesta escala as intervenções urbanas são mais perceptíveis pelos usuários. Outro aspecto é o fato de que o quarteirão se relaciona diretamente com a rua que é uma estrutura essencial para a percepção que os indivíduos possuem da cidade (MOUGHTIN, 2003, p. 274).

A rua é o espaço em que as atividades humanas ocorrem, nela os indivíduos se deslocam e convivem entre si. Este elemento é definido pelo tipo de quarteirão que existe em um determinado bairro. O quarteirão é ainda responsável pela transição entre o espaço público representado pelas ruas e calçadas e o espaço privado constituído pelo lote e a habitação.

O projeto de bairros é importante para o desenvolvimento de espaços urbanos mais sustentáveis. Nesta escala, o habitante tem compreensão sobre os problemas e as necessidades específicas a sua vida cotidiana. Daí a importância destas estruturas para a aplicação de políticas urbanas sustentáveis.

A complexidade inerente ao Desenho Urbano resultante do grande número de variáveis fez com que o enfoque das intervenções urbanas passasse a ser as pequenas escalas da cidade. Os urbanistas, a partir da segunda metade do século XX, passaram a intervir na escala da rua e do bairro, ao invés de produzir planos que atuassem sobre toda a cidade.

Neste sentido a produção de um Sistema Generativo capaz de auxiliar o planejamento destas duas estruturas morfológicas da cidade (o quarteirão e o bairro) se configuram em uma contribuição para o processo de Desenho Urbano.

4.2 O bairro: a microcidade

A distribuição de habitações, equipamentos públicos e do sistema viário produz a forma de um bairro ou distrito. Este conceito de bairro serviu de modelo para muitos assentamentos durante o século XIX e serviram de base para as primeiras Cidades Jardins tais como *Hampstead Garden Suburb* e *Letchworth*. A ideia de bairro foi incorporada nas práticas de planejamento urbano na Inglaterra durante o período do pós-guerra (TOWERS, 2005, p. 65).

O bairro corresponde a porção intermediária da cidade, capaz de agrupar em seus limites os principais elementos morfológicos urbanos (a rua, o lote, praças, o quarteirão, etc), assim como as funções urbanas (residencial, comercial, serviço, industrial) essenciais. Estas estruturas urbanas possuem um conjunto mínimo de componentes, que possibilitam a definição de espaços públicos e de padrões de quarteirões e ruas (BEIRÃO, 2012, p. 108).

O bairro pode ser definido ainda como uma porção da cidade que agrega elementos com características semelhantes, tais como indivíduos do mesmo estrato social ou com a mesma função (como por exemplo bairros residenciais e ou industriais).

Farr (2013) define o bairro do seguinte modo:

“O bairro tradicional é a unidade básica do planejamento urbano. Um bairro isolado na zona rural é uma *aldeia*. Dois ou mais bairros agrupados compartilhando um eixo específico ou uma rua principal são uma cidade pequena. [...] Junto com os distritos e corredores especiais, os bairros são os blocos de construção onde se formam assentamentos humanos duradouros (FARR, 2013, p. 120).”

A relação entre a dimensão do bairro e as relações sociais que ocorrem no espaço físico é importante para que o urbanista possa definir suas intervenções. Deste modo o lugar deve estimular as interações sociológicas entre os indivíduos que ocupam o bairro. Neste sentido Lynch (1981) afirma que o:

“(...) bairro urbano, (...) era a unidade social de análise utilizada pelos pioneiros da sociologia urbana, (...) o bairro era a base territorial adequada para dar suporte a um grupo, entre os quais existirão muitos contratos sociais. Teóricos do planejamento urbano, reafirmaram por meio de modelos orgânicos, (...) a ideia do bairro como unidade construtiva básica da cidade (LYNCH, 1981, p. 246).”

Muitos são os teóricos que têm o bairro como a unidade básica da cidade. Lamas (2004, p. 74) afirma que no bairro (ou na escala do bairro) existe o verdadeiro espaço urbano, a cidade ou parte dela. O bairro pressupõe a existência de uma estrutura de ruas, praças ou formas de escalas inferiores (como o largo por exemplo). Esta estrutura é constituída ainda por partes homogêneas identificáveis, que possibilitam que identifiquemos um conjunto de ruas e quarteirões como um bairro.

Lynch (1960) estabelece essa relação entre o espaço físico e a percepção de unidade através da definição que define o bairro como:

“(...) regiões urbanas de tamanho médio ou grande, concebidos como tendo uma extensão bidimensional, regiões essas em que o observador penetra (para dentro) mentalmente e que reconhece como tendo algo comum e identificável (LYNCH, 1960, p. 58).”

Sobre a necessidade dos indivíduos se relacionarem com o espaço físico Alexander (1977) afirma:

“Eles querem poder identificar a parte da cidade onde eles vivem como distinta das demais. As evidências existentes sugerem que: primeiramente bairros com que as pessoas se identificam tem populações pequenas; segundo, eles são diminutos em área; e terceiro, que a presença de uma grande rodovia atravessando o bairro o destruirá (ALEXANDER, ISHIKAWA e MURRAY, 1977, p. 81).”

A extensão e os limites de um bairro podem ser determinadas pela municipalidade por meio de um plano urbano ou pelos indivíduos que nele vivem. Os habitantes são capazes de atribuir significados e identificar características contidas no espaço urbano que permitem delimitar uma área como sendo uma unidade social e física da cidade.

No bairro os indivíduos estão familiarizados com aqueles que moram nas suas proximidades. Deste modo, as pessoas são capazes de se relacionar uns com os outros e com o espaço físico que ocupam. Para que estas relações se estabeleçam é necessário que o tamanho do bairro seja adequado, e que haja uma certa homogeneidade social (LYNCH, 1981, p. 246).

Áreas urbanas mais adensadas são capazes de reduzir o consumo de recursos naturais. O consumo de água de áreas densamente ocupadas chega a ser 65% menor do que aquele registrado em áreas de baixa densidade (HAUGHTON e HUNTER, 2003, p. 162).

Os bairros devem seguir os princípios extraídos daqueles existentes na Cidade Tradicional (DUANY, PLATER-ZYBERK e JEFF, 2007, p. 359). Apenas a densidade não é suficiente para garantir a qualidade dos ambientes urbanos. É necessário que estes apresentem em seus espaços um equilíbrio entre as atividades ali desempenhadas, as dimensões espaciais e às necessidades individuais e sociais da comunidade que nele vivem.

Um bairro (ou vizinhança) sustentável é o produto das distâncias que as pessoas podem percorrer para acessar os equipamentos urbanos e da existência de um conjunto diversificado de equipamentos que atendam às necessidades dos ambientes (DAVIES YEANG, 2000, p. 39).

O tamanho da população de um bairro deve permitir que os habitantes sejam capazes de se organizar para atuar sobre as questões de seu próprio interesse. Evidências antropológicas demonstram que grupos sociais com mais de 1500 indivíduos não possuem voz ativa na comunidade. Anthony Wallace em *Housing and Social Structure* defende que este grupo deve ser composto por agrupamentos de até 500 pessoas (ALEXANDER, ISHIKAWA e MURRAY, 1977, p. 81).

Moughtin e Shirley (2005, p. 168) apresentam uma definição de bairro em que o tamanho da população é mais compatível com o projeto e o planejamento urbano praticado no século XX. Nesta definição é estabelecido que o bairro possui uma população média que varia entre 4000 e 10000 habitantes. Este número é baseado no número de habitantes capaz de ser atendido por uma escola primária.

Apesar de apresentar uma comunidade ideal com uma população média entre 500 e 1500 Alexander (1977, p. 71) estabelece que o número de habitantes de um bairro deve variar entre 5000 e 10000 habitantes. Esta população, dentro do contexto das cidades do século XX, deve ser autônoma e capaz de decidir sobre as questões que afetam o seu cotidiano urbano.

De acordo Farr (2013, p. 120) o bairro tradicional se estabelece em oposição aos empreendimentos isolados e desconexos do contexto urbano existentes e aos complexos urbanos de apartamentos isolados. O bairro tradicional e sustentável, é aquele que atende a todas as necessidades (habitação, locais de trabalho, centros comerciais, funções cívicas, etc) de seus habitantes.

Ebenézer Howard propunha que serviços (tais como escola, hospitais, comércios) deveriam ser acessíveis a pé pelos habitantes de uma comunidade. Deste modo a dimensão (e a densidade) de uma área está associada a distância máxima que os indivíduos são capazes de percorrer a pé (HALL e TEWDWR-JONES, 2011, p. 38).

Neste sentido Moughtin e Shirley (2005) apresentam uma tabela em que são identificados valores que relacionam a população e o equipamento público que poderia a atendem. Estes valores são indicados na Tabela 4.1(p. 181).

Tabela 4.1 - Equipamentos públicos e a população que suportam.

POPULAÇÃO MÉDIA	EQUIPAMENTO PÚBLICO
2500 - 4000	Escola Primária
2500 - 3000	Posto de saúde
2000-5000	Comércio local
5000-7000	Edifícios públicos
5000-10000	Centro Comercial
5000-10000	Posto de Polícia

Fonte: Moughtin e Shirley (2005, p. 140), adaptado pelo autor

Este conceito serviu de diretriz para muitos manuais de planejamento urbano durante todo o século XX. Estas teorias passaram a relacionar a dimensão do bairro a quantidade de equipamentos urbanos que o atendem. Esta diretriz privilegia o deslocamento do pedestre ou o uso sistemas de transporte público em detrimento do uso do automóvel.

A definição de distâncias adequadas entre as áreas residenciais e os equipamentos públicos é essencial para proporcionar o desenvolvimento de espaços urbanos dotados com um "mix" de usos e funções (DAVIES YEANG, 2000, p. 40).

O deslocamento a pé nos espaços urbanos estimula o uso dos espaços públicos pelo pedestre e por consequência as interações sociais entre os membros da comunidade (ou do bairro).

Um dos principais aspectos a serem consideradas no processo do Desenho Urbano é a escala humana. A experiência humana cumpre um importante papel no modo como os indivíduos se colocam nos espaços em que vivem. A disposição dos elementos dentro em uma Cidade Tradicional, por exemplo, tem uma relação direta com o modo como as pessoas se deslocam.

Segundo Krier (1979, p. 62) as dimensões humanas devem ser consideradas para a definição do tamanho e das proporções das edificações. Esta relação deve ser respeitada também para a produção dos espaços públicos. O urbanismo moderno ao se afastar dessa premissa e adotar a escala do automóvel contribuiu para a produção de espaços urbanos precários.

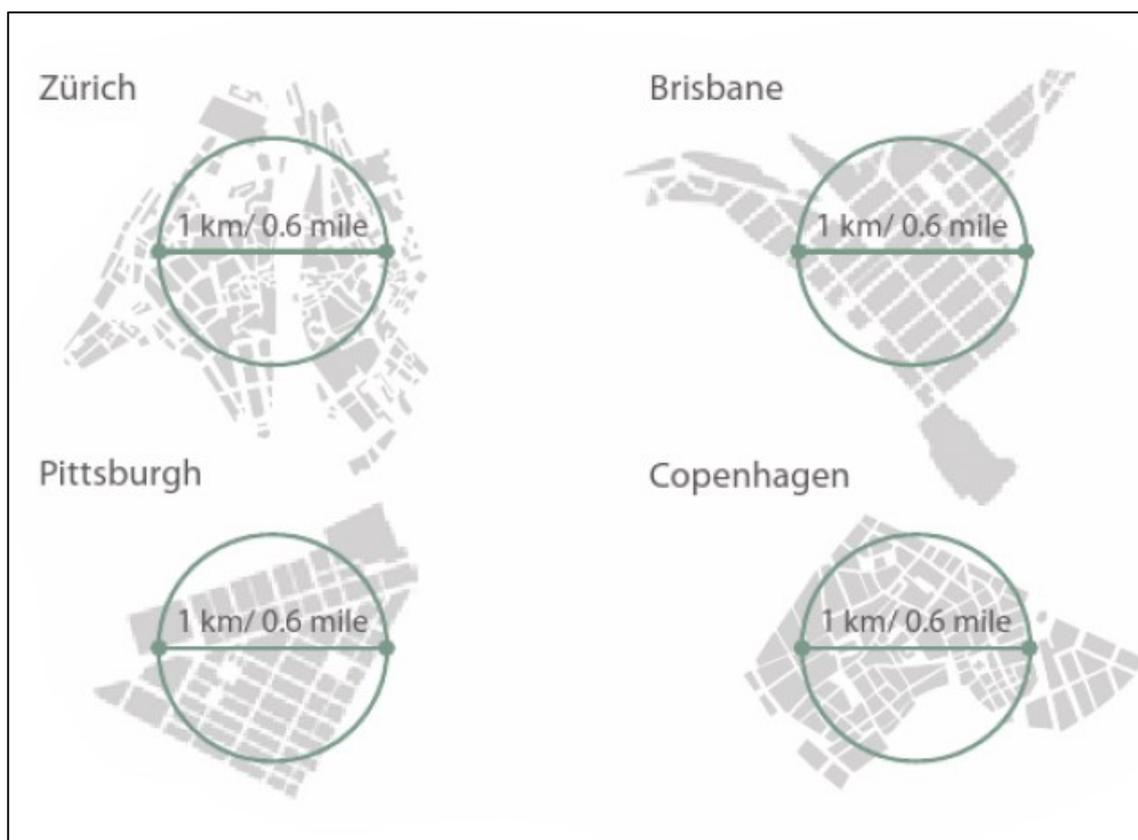
A Cidade Tradicional (ou orgânica) se desenvolveu a partir das atividades cotidianas de seus habitantes. As funções urbanas eram distribuídas considerando os deslocamentos a pé. Deste modo o tamanho e a configuração destes espaços estão diretamente relacionados com a escala do indivíduo. A compreensão da escala humana é essencial para a produção de espaços urbanos vívidos, seguros, sustentáveis e saudáveis (GEHL, 2010, p. 55).

As estratégias de Desenho Urbano devem considerar o usuário como parte integrante da cidade. O passo dos indivíduos é o módulo que define a proporção da Cidade Tradicional. A partir desta dimensão é possível estabelecer quais distâncias podem ser percorridas pelo pedestre.

Deste modo, os equipamentos urbanos devem estar compreendidos em uma circunferência com um diâmetro de um quilometro e meio (ou uma milha). Esta distância foi definida a partir do tempo (vinte minutos) que um pedestre leva para realizar este percurso (MOUGHTIN, 2003, p. 51).

Boa parte das áreas centrais das Cidades Tradicionais possuem a dimensão de um quilometro quadrado (verificar os exemplos na Figura 4.2, p.183). Nesta dimensão o pedestre é capaz de acessar, a pé, as principais funções urbanas em uma cidade (GEHL, 2010, p. 151).

Figura 4.2- Exemplo de cidades e as suas respectivas áreas centrais.



Fonte: Gehl (2010, p. 121), adaptado pelo autor.

O Desenho Urbano para proporcionar espaços públicos que estimulem o deslocamento pedonal, é necessária a compreensão de como as distâncias entre os equipamentos urbanos e as áreas residenciais devem ser articuladas na cidade.

Segundo Davies Yeang (2000):

“As pessoas devem ser capazes de andar de dois a três minutos (duzentos e cinquenta metros) até o posto e correio ou ao telefone público: a banca de jornais deve estar a cinco minutos (quatrocentos metros). Devem haver comércios locais, ponto de ônibus, posto de saúde e talvez uma escola primária dentro da distância de dez minutos (oitocentos metros) (DAVIES YEANG, 2000, p. 35).”

A partir das distâncias médias existentes nas cidades tradicionais e da análise dos bairros existentes nas cidades é possível determinar algumas dimensões mais comuns. Llewelyn (2000, p. 40) estabelece o tamanho de 50 ha para um bairro com equipamentos públicos a 400 m de distância das habitações.

Com base nas distâncias máximas a serem percorridas pelo pedestre, de 800 a 1000 m, é possível definir os limites de um bairro e suas dimensões médias. A partir destas medidas Moughtin e Shirley (2005) estabelecem que:

“Uma malha com 1600 m² poderia acomodar uma população de 10000 habitantes com uma densidade bruta de 50 pessoas por hectare: isto permite 56 hectares de terra para usos comunitários (ou parques e equipamentos públicos). A 90 pessoas por hectare o mesmo espaço poderia acomodar uma população de 15000 habitantes, permitindo 85 hectares de terra para usos comunitários, enquanto uma densidade maior de 150 pessoas por hectare suportaria um bairro com 20000 habitantes com 115 hectares para uso comunitário (MOUGHTIN e SHIRLEY, 2005, p. 140).”

Os bairros variam entre 16 e 80 hectares, esta dimensão se estabelece a partir da distância média que os indivíduos são capazes de percorrer sem dificuldades. Esta distância, em média, corresponde a 400m.

A distância de 400m é uma dimensão constante no modo como as pessoas tem ocupado as cidades por séculos. A maioria dos bairros construídos antes da Segunda Guerra Mundial tinha uma distância entre o centro e os seus limites (FARR, 2013, p. 121).

Outro aspecto a ser considerado na definição do tamanho de um bairro é o papel político da comunidade. Alexander (1977) estabelece o tamanho médio de 75 acres (aproximadamente 30 hectares). Esta dimensão é capaz de atender a uma população média entre 2000 e 6000 habitantes. Estas dimensões foram estabelecidas a partir da cidade de Atenas que em seus primórdios, em que:

“(…) nenhum cidadão deveria estar a dois amigos de distância do membro mais importante da unidade local. Considerando que todos conhecem cerca de 12 indivíduos em sua comunidade local. (...) podemos estabelecer o tamanho ideal de uma comunidade política como sendo 12³ ou 1728 famílias ou 5500 indivíduos (ALEXANDER, ISHIKAWA e MURRAY, 1977, p. 72).”

Segundo Moughtin e Shirley (2005), os aspectos a serem considerados para o dimensionamento de um bairro são:

“(...) uma extensão física determinada por uma distância a pé de 10-15 minutos da habitação mais distante para a escola no centro; uma população que suporte uma escola de ensino fundamental e um número de equipamentos urbanos que incluam um centro de comercial de caráter local; limites bem definidos por meio do uso da paisagem; um conjunto arquitetônico que o distingue dos bairros adjacentes; um centro definido; e a eliminação de grandes vias que atravessem o bairro, que devem ser alocadas na periferia (MOUGHTIN e SHIRLEY, 2005, p. 166).”

O percurso a ser percorrido é definido pelo tempo necessário para que o indivíduo vença uma determinada distância. Existem algumas divergências quanto a equivalência do tempo necessário para acessar os equipamentos públicos essenciais e as distâncias máximas a serem percorridas. Frey (1999) afirma que:

“(...) a distância máxima entre a porta e ponto de ônibus é o comprimento do percurso que uma pessoa possa percorrer em dez minutos. Apesar de algumas divergências sobre a distância, a distância de 600 m entre o limite de um bairro e sua área central e os nós de transporte é aceita como adequada. Esta dimensão permite uma área de 110-115ha de área construída (a qual é necessário adicionar uma certa quantidade de espaços abertos). Com uma população bruta de 60 pessoas por hectare, tal área poderia acomodar uma população de 7000 pessoas. (FREY, 1999, p. 57)”

Os dados levantados, nesta seção, foram compilados na Tabela 4.2 (p. 186), estes parâmetros foram agrupados para que pudéssemos identificar quais os principais elementos a serem considerados no processo de Desenho Urbano de um bairro.

Tabela 4.2 – Características gerais de um bairro.

POPULAÇÃO ADEQUADA
500-1500 habitantes
4000 - 10000
10000-15000
PERCURSOS MÉDIOS ÀS ATIVIDADES DIÁRIAS DO PEDESTRE
0,6-1 milha
400-800m
200-1000m
TEMPO MÉDIO A SER PERCORRIDO PELO PEDESTRE PARA ACESSAR AS ATIVIDADES
5-15 minutos
DIMENSÃO ADEQUADA DE UM BAIRRO
1 Km ² (100 ha)
16 -80ha
75 acres (30,35 ha)
110-120ha

Fonte: Elaborado pelo autor.

As características aqui levantadas e discutidas estão em acordo com as práticas promovidas pela Cidade Compacta e o Novo Urbanismo. Os dois conceitos apontam o uso de estratégias que estimulem o deslocamento a pé. Neste processo os percursos possíveis de serem realizados pelo pedestre são utilizados para definir a dimensão da intervenção urbana e servem de proporção para a locação dos equipamentos públicos no tecido urbano.

A discussão apresentada, permitiu que pudéssemos estabelecer alguns parâmetros físicos para a definição de um bairro. Foi possível ainda identificar algumas características que devem ser contempladas pelas soluções urbanas de um bairro. Assim como as características identificadas, as variáveis levantadas foram utilizadas para o desenvolvimento do Sistema Generativo proposto nesta tese.

4.3 O quarteirão como unidade urbana

Lamas (2004) define o quarteirão da seguinte maneira:

“O quarteirão é um contínuo de edifícios agrupados entre si em anel, ou sistema fechado e separado dos demais; é o espaço delimitado pelo cruzamento de três ou mais vias e subdivisível em parcelas de cadastro (lotes) para a construção de edifícios. É também um modelo de distribuição de terra por proprietários fundiários. Como é também o modo de agrupar edifícios no espaço delimitado pelo cruzamento de traçados (LAMAS, 2004, p. 88)”.

O quarteirão corresponde ao espaço urbano delimitado por um conjunto de vias (ortogonais ou não). Esta fração urbana é definida pela sua relação com as ruas que o circundam. O quarteirão abriga o espaço privativo (definido pelos lotes e edificações) em oposição ao espaço público (estabelecido pelas calçadas, ruas, praças, etc).

Diferentes tipos de quarteirões definem a aparência dos espaços urbanos, ao mesmo tempo em que, são responsáveis pelo tipo de interação social que podem surgir a partir dos aspectos formais determinado pelo ambiente que definem (BEIRÃO, 2012, p. 152).

O tamanho e a forma dos quarteirões são determinantes na definição do espaço urbano. A dimensão do quarteirão (existente ou não) deve estabelecer uma relação de equilíbrio entre o espaço destinado para as edificações e as áreas definidas para a circulação e interação social (CARMONA, TIESDELL, *et al.*, 2010, p. 160).

Esta relação entre os espaços públicos e privados dentro das cidades também é reforçado pela definição de Panerai que conceitua o quarteirão como sendo:

“[...] o espaço entre as ruas, ocupados pelos: espaços privativos das parcelas, pelos espaços semiprivativos e eventualmente por espaços públicos e edificações (PANERAI, CASTEX e DEPAULE, 2009, p. 168).”

Para o Planejamento urbano definir leis capazes de controlar e atuar sobre todos os aspectos de uma edificação é uma atividade difícil. De modo que os planos de ações e os projetos de Desenho Urbano devem propor diretrizes de ocupação. Desta forma o urbanista passa a projetar a cidade sem projetar edifícios (BARNETT, 1982 *apud* DEL RIO, 1990, p. 109).

As dimensões dos quarteirões nos espaços urbanos são definidas pela malha urbana. A configuração das malhas urbanas deve proporcionar uma estrutura capaz de permitir o fácil acesso a uma determinada área (a permeabilidade urbana). O formato dos traçados pode ser ortogonal ou irregular, desde que garantam um bom acesso ao espaço urbano que definem, ver Figura 4.3 (p. 189).

Figura 4.3 - Malha urbana ortogonal (Philadelphia, USA) e malha irregular (London, UK).



Fonte: Davies Yeang (2000, p. 38), adaptado pelo autor.

A malha deve ainda possibilitar gerenciamento de tráfego, de modo que seja possível restringir o acesso de veicular em algumas ruas (DAVIES YEANG, 2000, p. 38).

O urbanista para estabelecer a dimensão de seu quarteirão deve se basear no contexto urbano e (ou) no estudo de soluções preexistentes. Neste processo ele deve identificar padrões que estimulem o convívio social e que permitam a inserção adequada de edificações diversas (CARMONA, TIESDELL, *et al.*, 2010, p. 362).

Davies Yeang (2000) faz as seguintes considerações sobre o espaçamento para a malha urbana:

“O espaçamento da malha de 80-100m fornece uma rede ótima para as necessidades dos pedestres e dos automóveis na maioria das circunstâncias. O tamanho resultante do desenvolvimento dos quarteirões deve ser conferido junto aos usos propostos e ajustado de acordo com estas funções. Em áreas centrais com atividade de pedestres intensa, o espaçamento da malha de 50-70m fornece uma rede de circulação ótima (DAVIES YEANG, 2000, p. 38)”.

Áreas divididas em pequenos quarteirões proporcionam ao usuário uma maior possibilidade de escolhas de rotas e de movimentos do que grandes quadras. Esta característica foi perdida com a utilização das superquadras modernistas, em que as dimensões eram definidas considerando o deslocamento veicular, o que resultou nas superquadras.

Nas cidades tradicionais as dimensões dos quarteirões estavam entre meio e um hectare e as intersecções das ruas ocorriam a cada setenta ou cem metros. Esta relação garantia uma ampla variedade de percursos dentro do espaço urbano (MOUGHTIN, 2003, p. 223).

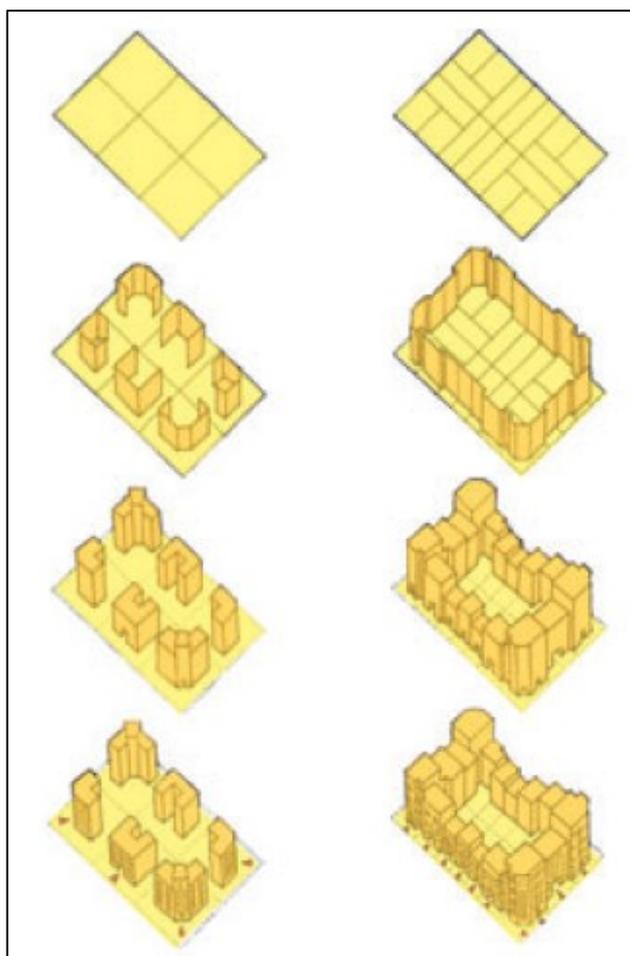
Para atingir um tamanho adequado de quarteirões é necessário garantir: fácil acesso aos equipamentos públicos; proporcionar uma variedade de edificações em tipos e usos; e a adaptabilidade ao longo do tempo (DAVIES YEANG, 2000, p. 65).

Beirão (2012, p. 209) determina que uma dimensão comum utilizada nos quarteirões varia de um acre (4046,86m²) a um hectare (10.000 m²). Estas dimensões são encontradas em diversas cidades em regiões e períodos históricos diferentes.

Outro aspecto a ser considerado na definição do quarteirão é o tamanho dos lotes que o definem. A subdivisão dos quarteirões em lote deve ser definida de modo a proporcionar uma diversidade de formas, usos e ocupações. Lotes com as dimensões de 5m x 20m permitem uma rica variedade de edificações. Lotes mais amplos com dimensões de 15m-20m de largura e 30m-40m de profundidade são mais adequados a áreas centrais (DAVIES YEANG, 2000, p. 67).

O tamanho do lote tem um impacto no tipo de cenário urbano que é produzido pelo conjunto de quarteirões, conforme demonstrado na Figura 4.4 (p.191). Lotes maiores estimulam a existência de grandes edificações e uma menor otimização no uso do quarteirão.

Figura 4.4 - Lotes menores possibilitam uma maior diversidade de usos e formas do que lotes amplos.



Fonte: Davies Yeang (2000, p. 67).

A subdivisão de quarteirões em que os lotes são menores há uma maior variedade de possibilidades de edificações e usos, além de ruas mais ativas devido a variabilidade de fachadas (DAVIES YEANG, 2000, p. 67).

Áreas urbanas constituídas por quarteirões pequenos possuem uma maior permeabilidade e são mais atraentes ao pedestre. Esta configuração proporciona uma rede de vias que facilita o acesso às áreas da cidade (DUANY, SPECK e MIKE, 2010, p. 94).

A partir do exposto foi possível formular uma tabela (Tabela 4.3, p.192) que demonstra as principais características que devem ser consideradas na definição dos quarteirões urbanos.

Tabela 4.3 - Características gerais do quarteirão e da malha urbana.

DIMENSÕES DO QUARTEIRÃO
0,5 – 1,0 Ha (5.000m ² -10.000m ²)
FORMATO DO QUARTEIRÃO
QUADRADADO
RETANGULAR
IRREGULAR
ESPAÇAMENTOS IDEIAIS DA MALHA (OU TRAÇADO) URBANO
80-100m (áreas residenciais)
50-70m (áreas centrais com intenso tráfego de pedestres)
Intersecções a cada 70 ou 100m
DIMENSÕES DOS LOTES
5 x 20m (permitem ampla gama de edificações e configurações)
15-20m x 30-40m (dimensões para áreas centrais para comportar edifícios de carácter público)

Fonte: elaborado pelo autor.

Os dados exibidos na Tabela 4.3 (p. 192) foram utilizados na definição do sistema generativo para a produção das soluções de quarteirão e de bairro. Estas características foram utilizadas como parâmetros de desempenho, uma vez que estas dimensões estão de acordo com as dimensões encontradas na Cidade Tradicional e promovidas pela Cidade Compacta e pelo Novo Urbanismo.

As características físicas das Cidades Tradicionais têm sido utilizadas como referência tanto para a cidade compacta quanto pelo Novo Urbanismo. Deste modo as dimensões apresentadas na Tabela 4.3 (p. 192) foram extraídas a partir das dimensões mais adotadas neste tipo de cidade.

4.4 Os parâmetros de desempenho urbano

Para a definição adequada de algoritmo generativo é necessário estabelecer quais os parâmetros e que relações devem ser consideradas para a produção de soluções projetuais.

A partir da análise das premissas urbanas do Novo Urbanismo e da Cidade Compacta identificamos variáveis que pudessem fundamentar a formulação do sistema generativo. Analisamos ainda o bairro e o quarteirão como os principais elementos de intervenção do Desenho Urbano contemporâneo. Por esta razão estes serão objeto de trabalho das estratégias generativas propostas.

As variáveis selecionadas foram aquelas que poderíamos mensurar e replicar dentro de um sistema computacional. Esta decisão partiu de duas preocupações: a primeira se refere ao fato de que os fenômenos sociais são difíceis de serem mensurados e simulados de forma precisa; a segunda está relacionada ao fato de que precisávamos de parâmetros que servissem para produzir as soluções e ao mesmo tempo permitissem que pudéssemos avaliar os resultados produzidos.

Os parâmetros utilizados são variáveis que podem ser mensuradas e replicadas dentro do processo de Desenho Urbano. Deste modo, poderíamos compreender melhor as vantagens e desvantagens do uso de Sistemas Generativos implementados através de computadores no Desenho Urbano.

Identificamos a densidade e a variedade de usos como sendo dois aspectos que devem ser considerados com atenção no Desenho Urbano. Além destas variáveis definimos também como parâmetro de desempenho as distâncias máximas entre a habitação e os equipamentos urbanos que permitem o deslocamento de pedestres.

A partir da compreensão destas variáveis definimos os algoritmos Generativos apresentados no capítulo cinco.

4.4.1 A densidade como parâmetro urbano

Para a manutenção do modo de vida urbana é necessária a adoção de estratégias de ocupação que otimizem o uso dos recursos disponíveis. As práticas urbanas contemporâneas apontam para o aumento da densidade nas cidades. Este aumento é consequência também do aumento da população urbana. Diante deste cenário é importante uma maior compreensão da densidade e de suas implicações sobre a vida nas cidades (TOWERS, 2005, p. 45).

A densidade é um importante parâmetro para a análise e definição dos espaços urbanos. A partir da população é possível definir: o tamanho de um bairro ou de uma comunidade, o número (e quais) de equipamentos públicos que poderão ser viabilizados em uma determinada localidade.

Segundo Beirão (2012) a densidade:

“(...) está relacionada a quantidade de espaço construído em relação ao tamanho (área) de um sítio urbano específico. É a taxa entre a quantidade total de área construída e a superfície do sítio. Em alguns casos a densidade pode ser definida pelo número de pessoas que vivem ou trabalham em uma determinada área, no entanto esta definição é ambígua devido a variações no número médio de moradores em uma determinada área assim como o tamanho das habitações (BEIRÃO, 2012, p. 79).”

O conceito de densidade em urbanismo é utilizado para descrever a relação entre uma determinada área e o número de certas entidades naquele local. É importante fazer a distinção entre a densidade descritiva e a densidade normativa. A densidade descritiva é aquela utilizada para descrever o ambiente construído. Enquanto que a normativa se refere ao índice urbano utilizado para os processos de planejamento urbano (BERGHAUSER PONT e HAUPT, 2009, p. 15).

A densidade populacional de um bairro ou de uma comunidade pode ser estabelecida a partir da escala de análise. As duas escalas mais comuns são a escala urbana e a escala do bairro. A densidade calculada por meio da razão entre a população e a extensão territorial total, permite que se verifique as proporções entre a população e os usos territoriais (habitacional, comercial, industrial, espaços públicos, etc.) tanto na cidade quanto no bairro (TOWERS, 2005, p. 45).

A densidade trata-se de uma característica que tem sido utilizada ao longo dos anos como parâmetro de análise dos espaços urbanos. A relação entre espaço e número de usuários tem sido determinante para se estabelecer a qualidade das cidades ao longo de sua história. Este parâmetro assume, nas práticas urbanas, tanto um caráter negativo quanto positivo.

BERGHAUSER PONT e HAUPT (2009) afirmam que:

“(...) no início do século vinte, Raymond Unwin afirmava que não havia nada a ser ganho em superpovoar as cidades; ele propunha uma densidade de doze casas por acre, ou trinta casas por hectare. Cinquenta anos depois, Jane Jacobs (...) sugeriu que uma densidade mínima de cem habitações por acre (250 habitações por hectare) era uma condição necessária para uma vida urbana vívida e participativa. Atualmente densidades elevadas e Cidades Compactas são tidas como pré-requisito para a urbanização sustentável e para o crescimento econômico (BERGHAUSER PONT e HAUPT, 2009, p. 15).”

Segundo Towers (2005, p. 46) para a definição da densidade de unidades residências existem dois parâmetros frequentes, são eles:

- a. Densidade residencial de redes (*Net Residential Density*): inclui a área ocupada pela residência, e quaisquer serviços ou benefícios existentes em seu entorno (jardins privativos, jardins comunitários, *playgrounds*, etc.). Há ainda a inclusão espaços para estacionamento, vias de acesso dentro da área e metade da largura das vias do entorno e de pequenos centros comerciais e comunitários.
- b. Densidade bruta do bairro (*Gross Residential Density*): além dos elementos descritos no item anterior, inclui espaços abertos que servem a uma área mais ampla tais como: escolas primárias; centros de saúde local; redes de transporte; áreas de trabalho, serviço e de uso misto. Neste parâmetro não são incluídas grandes áreas industriais ou comerciais e nem a vias de grande movimento.

A densidade é uma importante característica para a promoção da qualidade dos espaços urbanos. Um dos grandes equívocos do planejamento urbano modernista foi a adoção de uma densidade inadequada aos amplos espaços que promoviam. Quando utilizada de forma equânime ela (a densidade) permite que a diversidade de usos e funções floresça nos ambientes urbanos (JACOBS, 1961, p. 205).

Nas décadas 1960 e 1970 inúmeras cidades-dormitório londrinas aplicaram estratégias urbanas de alta densidade. Estas iniciativas concentravam um grande número de pessoas em um número reduzido de edificações. Entretanto estas edificações eram circundadas por uma grande quantidade de espaços abertos e sem uso, o que tornava a densidade global baixa (FREY, 1999, p. 47).

Ainda assim, os índices de densidade têm sido utilizados como ferramenta de análise e de projeto urbano. É comum a prática de desenvolver planos, por meio do projeto de configurações urbanas baseadas em índices específicos de densidade para estabelecer a negociação com investidores (BEIRÃO, 2012, p. 28).

Um dos fatores que faz com que a densidade seja utilizada como parâmetro urbano é fato de que se trata de um dado mensurável e que não é suscetível a ambiguidades. Isso permite que seja utilizada como instrumento de análise de desempenho para um sistema generativo.

Espaços urbanos sustentáveis exigem densidades urbanas superiores a vinte unidades habitacionais por hectare, densidade encontrada em subúrbios norte-americanos. Áreas em que a densidade está entre setenta e cinco e cem unidades por hectare, consomem uma menor quantidade de terra e conseqüentemente reduzem a distância entre as residências e os locais de trabalho (MOUGHTIN, 2003, p. 193).

De acordo com Farr (2013, p. 30) a densidade para uma determinada comunidade deve ser inferior a 17,5 unidades de habitação por hectare. Em uma ocupação com uma densidade que varie entre 17,5-20 unidades habitacionais por hectare é possível verificar efeitos positivos na compacidade e uma economia no uso dos recursos

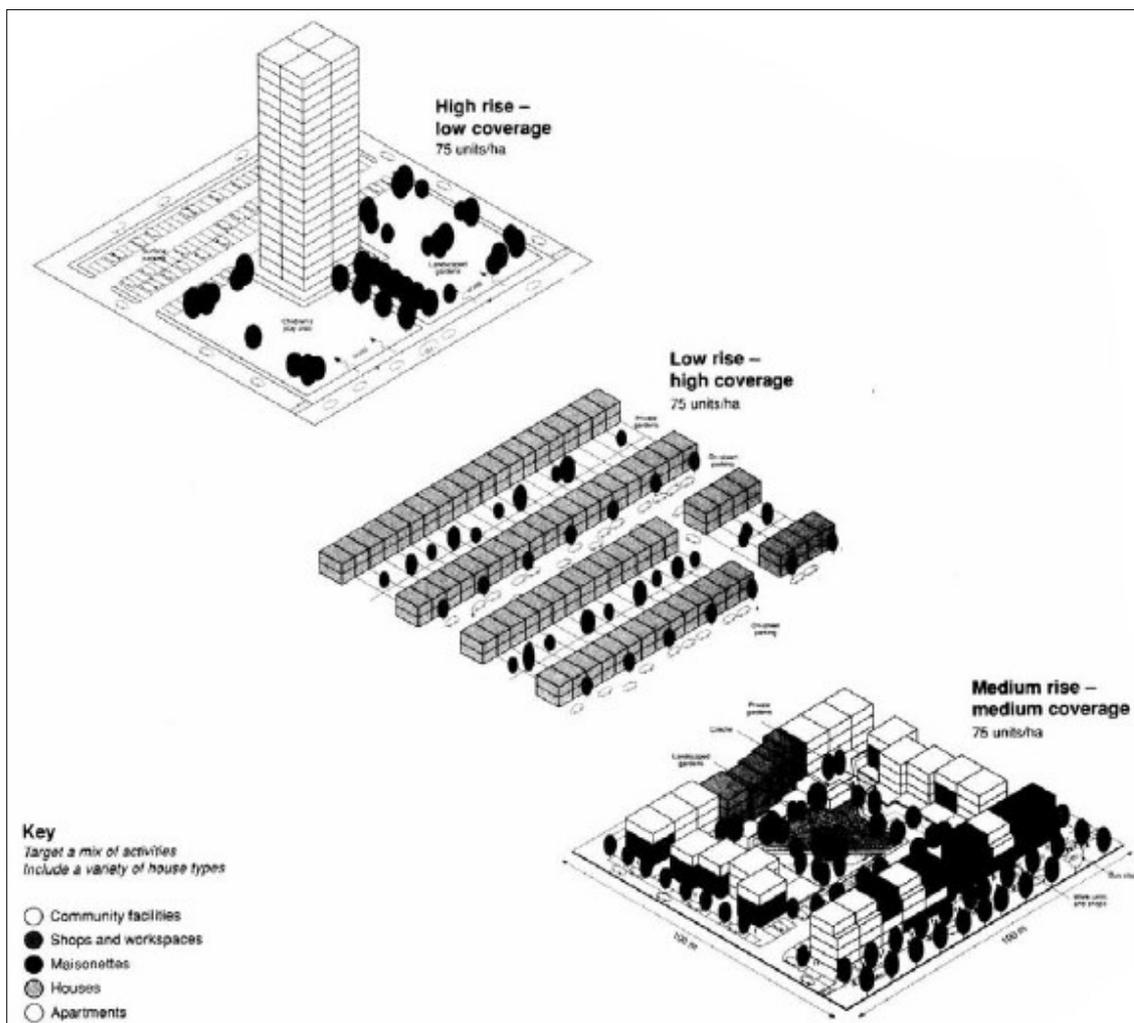
Beghauser Pont e Haupt (2009) em sua obra *Space, Density and Urban Form* descrevem um método de análise e descrição da densidade urbana o *Space Matrix*. Neste método a densidade é descrita por meio de gráficos que ilustram não apenas o número de habitantes (ou edificações) por uma dada área, como também apresentam índices de Desempenho. A partir dos dados gerados é possível que o urbanista possa avaliar a qualidade de um espaço existente ou de sua proposta urbana.

No *Space Matrix* a densidade não é apresentada de forma visual, ou seja, por meio de desenhos que a ilustrem. Para Beghauser Pont e Haupt (2009) representar a densidade graficamente é uma estratégia limitada por não apresentar todas as implicações que a densidade apresenta.

Entretanto, neste trabalho optamos por representar as soluções e os índices urbanos graficamente. Isso ocorre porque este modo de representação auxilia o processo de projeção e a compreensão das soluções apresentadas.

Apenas a densidade não é suficiente para garantir a qualidade dos espaços urbanos produzidos. Uma mesma densidade pode ser expressa de formas diferentes, conforme demonstrado na Figura 4.5 (p.199).

Figura 4.5 - Diferentes configurações de ocupação para a mesma densidade (75 unid. / ha).



Fonte: Moughtin (2003, p. 196), adaptado pelo autor.

Por exemplo uma densidade de setenta e cinco unidades por hectare pode ser expressa através de uma única edificação isolada no terreno que contenha as setenta e cinco unidades; ou podem ser distribuídas em blocos de dois pavimentos alinhados ao longo de uma via; ou ainda podem ser alocados nos limites do terreno agrupados em quatro pavimentos (MOUGHTIN, 2003, p. 195).

A densidade deve ser considerada de modo que possa viabilizar a vida urbana, as atividades comerciais e o sistema de transporte público. Para isso é importante que seja garantida uma população capaz de ocupar os espaços urbanos produzidos (MOUGHTIN, 2003, p. 278).

Os bairros devem prever a existência de uma unidade comercial. A quantidade depende do tamanho do bairro, da localização da área em relação aos sistemas de transporte e da densidade urbana encontrada. Em bairros constituídos por trezentas ou mais unidades habitacionais devem ser previstas no mínimo um comércio local (DUANY, SPECK e MIKE, 2010, p. 67).

Os índices de densidade descritos anteriormente foram compilados na Tabela 4.4 (p. 200). Os parâmetros apresentados foram agrupados para que pudéssemos identificar quais os índices seriam utilizados e para a produção do sistema generativo descrito e aplicado nos capítulos 5 e 6 desta tese.

Tabela 4.4 – Índices de densidade urbana.

NÚMEROS DE UNIDADES HAB. POR EXTENSÃO TERRITORIAL A SEREM ADOTADOS
12 unidades habitacionais/Acre – 30 unidades habitacionais/hectares
100 unidades habitacionais/Acre – 250 unidades habitacionais/hectares
40 unidades habitacionais/hectare
75 unidades habitacionais/hectare
DENSIDADE A SEREM EVITADAS
Densidades inferiores a 17,5-20 unidades habitacionais/hectare

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4.2 A diversidade de funções e usos no espaço urbano

A concentração de diferentes tipos de usos e atividades no mesmo espaço e tempo é um aspecto fundamental para a produção de espaços públicos bem utilizados pela comunidade (CARMONA, TIESDELL, *et al.*, 2010, p. 364). A existência de múltiplas funções em um espaço urbano evita a subutilização da infraestrutura urbana disponível.

A variedade de funções é determinante para a produção de ruas (ou espaços urbanos) ativas socialmente. As comunidades urbanas devem se apresentar tão diversificadas em seus usos que podem ser ocupadas em todos os horários. Morar, trabalhar, comprar e as demais atividades urbanas não podem ocorrer de forma isoladas, uma vez que estas atividades se complementam e se reforçam quando compartilham do mesmo espaço (DUANY, PLATER-ZYBERK e JEFF, 2007, p. 353).

De acordo Llewelyn-Davies (2000, p. 39, apud CARMONA, TIESDELL, *et al.*, 2010) a diversidade de usos proporciona as seguintes vantagens para os espaços urbanos:

“(...)Melhoria no acesso a equipamentos urbanos; redução nos congestionamentos; maiores oportunidades para a interação social; comunidades socialmente diversas; maior sensação de segurança por meio da maior concentração de indivíduos nas ruas; maior eficiência no uso da energia, do espaço e das edificações; maior número de opções de estilos de vida, localização ou tipo de edificações; maior vitalidade urbana e nas ruas; aumento na viabilidade dos equipamentos urbanos e dos pequenos negócios (CARMONA, TIESDELL, *et al.*, 2010, p. 364).”

A variedade de usos deve acontecer tanto verticalmente quanto horizontalmente. A diversidade urbana deve aumentar à medida que se aproxima das áreas centrais dos bairros (BEIRÃO, 2012, p. 209). Deste modo é necessário que o planejamento (ou o projeto urbano) estabeleça uma certa gradação entre as áreas periféricas e as áreas centrais dos bairros.

Proporcionar áreas urbanas dotadas de espaços que garantam a diversidade de usos é uma atividade difícil. Isso se dá pelo fato de que é difícil estabelecer as proporções adequadas para cada tipo de uso (BEIRÃO, 2012, p. 216).

A concentração das atividades para ser eficiente do ponto de vista do desempenho urbano deve ocorrer de forma adequada. As atividades devem ser distribuídas no espaço urbano de modo que possam ser acessadas pelos moradores sem a necessidade do automóvel.

Neste sentido é importante prever nas áreas urbanas a existência de espaços destinados a atividade comercial e espaços para o trabalho. Esta disposição tende a reduzir os deslocamentos já que as atividades essenciais à vida do indivíduo são de fácil acesso. O urbanista deve manter afastadas destes núcleos urbanos atividades que possam comprometer a habitabilidade dos espaços, tais como áreas industriais (HAUGHTON e HUNTER, 2003, p. 59).

A retomada da produção de espaços que apresentem uma variedade de usos ocorre pela expectativa de que este modelo de ocupação possa reduzir os deslocamentos veiculares e aumentar o uso dos sistemas de transporte público. Desse modo esta característica quando contemplada pelo Desenho Urbano proporcionaria redução na emissão de poluentes e no consumo de recursos naturais (HAUGHTON e HUNTER, 2003, p. 78).

No sentido de se produzir espaços urbanos com variedade de usos é necessário o uso de estratégias que garantam a variedade em termos de ocupação, renda e etnias (ROGERS, 2005, p. 11).

Ao distribuir as atividades nos espaços urbanos é necessário maximizar a sinergia e minimizar os conflitos. A diversidade de usos inevitavelmente produz conflitos.

Diferentes usos possuem necessidades específicas, daí a importância de se estabelecer que funções podem conviver nas áreas urbanas. Combinar atividades primárias (morar e trabalhar) viabiliza a existência de usos primários (pontos comerciais, espaços de entretenimento, lazer, etc) (DAVIES YEANG, 2000, p. 41).

Deste modo é importante prover uma diversidade de formas urbanas capazes de se adequar a diferentes tipos de atividades. O Desenho Urbano deve prover elementos morfológicos (ruas, lotes, quarteirões, edificações, etc) de dimensões e usos variados. Esta multiplicidade de formas permite uma maior gama de usos, que podem (e devem) ser definidos pela comunidade e seus membros.

4.5 Considerações Finais do Capítulo

Este capítulo permitiu que pudéssemos caracterizar os modelos urbanos definidos pelos princípios da Cidade Compacta e do Novo Urbanismo. A partir desta caracterização identificamos que parâmetros devem ser contemplados dentro do processo de Desenho Urbano.

Neste sentido foi possível determinar que a densidade em conjunto com a variedade de usos (ou funções) e do dimensionamento adequado das áreas urbanas são determinantes na produção de espaços urbanos de qualidade.

Outra característica identificada foi a distância que uma população deve percorrer a pé para realizar as suas atividades cotidianas (trabalhar, socializar, lazer, etc). Esta dimensão é determinante para a definição do tamanho de um bairro bem como para determinar a distribuição dos equipamentos públicos no tecido urbano.

Os parâmetros identificados na caracterização de bairro e quarteirão que apresentamos nesta seção foram utilizados na formulação dos algoritmos Generativos de Desenho Urbano propostos neste trabalho.

Uma estratégia generativa de projeto restringe as possibilidades projetuais àquelas que atendem aos critérios e parâmetros definidos pelo no sistema gerador de soluções urbanas. Deste modo o profissional passa a lidar apenas com as propostas que atendam as variáveis projetuais consideradas. Daí a importância e a necessidade de se compreender os parâmetros de desempenho aplicadas em uma estratégia generativa de projeto.

Capítulo 5

5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo apresentaremos os algoritmos Generativos utilizados para a definição de bairros e quarteirões. A formulação dos algoritmos teve como objetivo agrupar um conjunto de parâmetros e relações urbanas que pudessem servir de base para a formulação de modelos digitais urbanos paramétricos. Os algoritmos definidos neste trabalho têm o intuito de servir de base para a produção de *softwares* específicos para Desenho Urbano. As etapas metodológicas seguidas nesta tese foram divididas em dois processos. A primeira etapa consistiu na definição de parâmetros urbanos de Desempenho. Após identificarmos os parâmetros Desempenhos foram definidos dois algoritmos Generativos. O primeiro algoritmo permite a produção de quarteirões e o segundo a produção de bairros. A segunda etapa do trabalho se estabeleceu através da utilização do Algoritmo 1 (para a produção de bairros) como base para o desenvolvimento de um aplicativo desenvolvido na linguagem de programação *Java*. Este aplicativo foi produzido como uma ferramenta para a distribuição de lotes urbanos em uma área de um hectare. Para que o aplicativo realizasse esta função foram definidos parâmetros de ocupação baseados na relação entre a quantidade de blocos com funções específicas e a área disponível. Os parâmetros adotados foram a densidade e variedade de funções urbanas. Estes parâmetros foram estabelecidos a partir das teorias da Cidade Compacta e do Novo Urbanismo. O aplicativo foi definido com o objetivo de simular a densidade de edificações em uma área equivalente a um quarteirão. A aplicação foi desenvolvida ainda para permitir a identificação de padrões de ocupações produzidos a partir da implementação do algoritmo definido nesta tese. Além de possibilitar a produção de soluções urbanas baseadas em parâmetros de Desempenho o uso (e o desenvolvimento) do aplicativo permitiu que pudéssemos propor um procedimento de Desenho Urbano baseado no uso de linguagens de programação. Deste modo foi possível verificar como as linguagens de programação podem auxiliar o processo de projeção.

5.1 Estrutura metodológica

Este trabalho estabelece como premissa a definição de parâmetros de Desempenho urbano que permitam a produção de modelos urbanos paramétricos. Dentro do processo de Projeto Paramétrico é importante a definição de parâmetros e restrições capazes de garantir a qualidade das soluções urbanas produzidas.

A partir da compreensão dos processos de formação das cidades ao longo da história e das teorias de Desenho Urbano estabelecidas durante o século XX identificamos parâmetros e relações espaciais urbanas capazes de garantir a qualidade das soluções urbanas produzidas.

Estes parâmetros e relações permitiram a estruturação de dois algoritmos Generativos, que podem servir como base para a produção de ferramentas computacionais de Desenho Urbano ou como estrutura para a definição de modelos paramétricos urbanos. Estes modelos podem ser desenvolvidos em *softwares* de modelagem paramétrica algorítmica como o *Grasshopper* e ou o *Generative Components*.

O primeiro algoritmo foi definido para a produção de soluções urbanas de quarteirões. Esta definição algorítmica serviu como base para a produção de uma aplicação computacional baseada em *Java* o *ArquiTec*. Este *software* foi estabelecido para que pudéssemos avaliar o processo de aplicação de linguagem computacional como ferramenta de suporte projetual de Desenho Urbano.

O segundo algoritmo foi definido considerando os parâmetros urbanos de bairros que atendessem às características urbanas das Cidades Compactas e do Novo Urbanismo.

Nesta análise identificamos a densidade e urbana, a variedade de formas (lotes, tipologias edilícias, etc), e a variedade de funções urbanas (comercial, residencial, serviço, etc) como características que devem ser contempladas durante o processo de Desenho Urbano. O espaço urbano projetado deve proporcionar estes atributos para assim garantir qualidade destes ambientes.

Outro parâmetro aplicado dentro do algoritmo generativo para a produção de bairros urbanos foi a distância máxima a ser percorrida a pé pelos indivíduos para que estes alcancem as suas atividades. Este percurso deve ser considerado como parâmetro para a locação dos equipamentos urbanos dentro de um bairro ou de uma cidade.

Os critérios explicitados a partir das teorias urbanas adotadas, foram utilizados como parâmetros de produção de formas. Neste sentido a utilização do Projeto Paramétrico possibilita a produção de soluções urbanas a partir de parâmetros de Desempenho. Nesta tese os critérios de desempenho escolhidos foram: a densidade e a variabilidade de usos (e funções).

A abordagem que adotamos consiste na inserção de um método generativo de projeto no processo de concepção de espaços urbanos. Dentre as diferentes abordagens generativas projetuais optamos pelo projeto baseado em desempenho (*performance-based design*). Este método projetual consiste na produção de soluções urbanas a partir de parâmetros de desempenho.

Para demonstrar que a nossa hipótese é promissora, inicialmente realizamos uma análise histórica da função desempenhada pelos computadores no processo de projeção em arquitetura e urbanismo. Em um segundo momento apresentamos e definimos os principais processos de projeção baseados no uso de computadores, que Kolarevic (2003) denomina de *digital morphogenesis*.

Realizamos ainda um estudo sobre o processo de formação da cidade ao longo da história e apontamos alguns acontecimentos que possibilitaram o surgimento do Desenho Urbano como atividade projetual específica. Identificamos também quais as principais teorias urbanas contemporâneas e quais os parâmetros capazes de garantir a qualidade dos espaços urbanos projetados.

Neste trabalho adotamos duas estratégias, a primeira consiste na identificação de parâmetros urbanos que pudessem ser utilizados para a produção de algoritmos Generativos. A segunda etapa deste trabalho consistiu na utilização de um dos algoritmos propostos para a produção de protótipo de *software* de Desenho Urbano baseado na produção de quarteirões.

O uso da aplicação desenvolvida neste trabalho permitiu que pudéssemos verificar a eficiência do algoritmo e como a linguagem de programação pode ser utilizada para auxiliar o processo de projeção urbana. Neste sentido adotamos a escala urbana do quarteirão (ou da quadra).

A produção de soluções urbanas de quarteirões foi adotada pelo fato desta ser a menor unidade urbana capaz de agrupar as principais funções de uma cidade (moradia, trabalho, atividade lazer). O conjunto composto pelo agrupamento de quarteirões constitui o bairro, que por sua vez compõe a cidade (LAMAS, 2004).

Essa relação permite que a configuração do quarteirão desempenhe importante papel no processo de Desenho Urbano.

O segundo algoritmo foi pensado para a produção de bairros. A escolha da escala morfológica do bairro ocorreu porque o mesmo replica as principais funções existentes dentro de uma cidade. Há ainda o entendimento de que a junção de bairros diversos (com características semelhantes ou não) é determinante para a composição morfológica de uma cidade.

O primeiro algoritmo (para a produção de quarteirões) foi implementado através da linguagem *Java* foi criado para produzir soluções de configuração de quarteirões. Os quarteirões serão constituídos por frações urbanas (ou lotes) de uso residencial e ou comercial, além de espaços livres.

Os espaços livres inseridos dentro do sistema poderiam ser utilizados para a circulação e para definição de áreas verdes.

Neste trabalho definimos como fração uma unidade do quarteirão que representa o lote ou uma parcela urbana. A parcela considerada corresponde ao espaço urbano que uma edificação ocuparia. Para que pudéssemos identificar os usos e os tipos de frações urbanas inseridas no quarteirão estas foram representadas por blocos tridimensionais com uma cor específica.

Para o algoritmo generativo de soluções de quarteirões as frações possuem tamanhos diferentes. Estas parcelas podem vir agrupadas horizontalmente (através de uma relação de adjacência) ou verticalmente (através de uma relação de sobreposição). Isso permite que em um mesmo quarteirão possamos ter a atividade comercial e residencial acontecendo de forma integrada.

Apesar do algoritmo agrupar parte das frações de forma adjacente isso não necessariamente implica que as edificações que podem se inserir na parcela sejam geminadas (habitações diferentes que compartilham paredes entre si). Por se tratar da representação de lotes as edificações poderão ou não ocupar todo o espaço delimitado pelo bloco.

A variabilidade de usos, no nosso algoritmo generativo será produzida a partir da utilização de frações urbanas com tamanhos e funções diferentes. Esta diferenciação permitirá que estes lotes possam receber tipos diversos de edificações.

O segundo algoritmo foi produzido com o objetivo de se criar configurações urbanas de bairro de Cidades Compactas. Esse algoritmo tomará como parâmetro, além da densidade urbana, os deslocamentos a pé dos usuários e a variabilidade de usos e funções.

De acordo com os princípios da Cidade Compacta um bairro deve permitir que as principais atividades urbanas (trabalho, lazer, socialização, etc) sejam acessíveis a pé. Para isso recomenda-se que os deslocamentos estejam compreendidos entre quatrocentos e seiscentos metros.

A definição dos parâmetros urbanos e a estruturação dos mesmos em algoritmos Generativos permitem que o usuário do sistema possa produzir soluções a partir das variáveis definidas pelo urbanista. Deste modo são excluídas soluções que não atendam as especificações paramétricas estabelecidas.

Neste sentido, implementamos o algoritmo para a produção de quarteirões através do *ArquiTec* (o aplicativo desenvolvido) e apresentamos os parâmetros e as etapas de aplicação do algoritmo para a produção de bairros. Com o *software* definido passamos para a etapa de simulação e análise das soluções urbanas produzidas pelo Algoritmo 1(para a produção de quarteirões).

Por fim, apresentamos os parâmetros identificados que contribuem para o desempenho das soluções urbanas de bairro e os organizamos em um conjunto de etapas lógicas. Este algoritmo deve servir de base para a formulação de *softwares* específicos e ou para a produção de modelos digitais urbanos paramétricos.

5.1.1 Apresentação dos parâmetros de desempenho adotados

A análise dos conceitos da Cidade Compacta e do Novo Urbanismo possibilitaram a definição da densidade e da variedade de funções como os parâmetros de desempenho a serem utilizados neste trabalho. A densidade e variedade de funções quando presentes de forma apropriada em um espaço urbano podem proporcionar qualidade aos ambientes urbanos.

Segundo Farr (2013, p. 30) a densidade adequada para uma determinada comunidade deve estar entre 17,5 a 20 unidades de habitação por hectare. Essa taxa de ocupação permite uma compacidade adequada e uma melhor racionalização no consumo de recursos naturais. Além destas vantagens, a compacidade proporcionada por esta densidade garante uma redução nos custos da infraestrutura urbana utilizada.

Ao considerar uma densidade de vinte unidades por hectare na formulação do sistema generativo baseado em parâmetros de desempenho, pretendemos produzir soluções urbanas que atendam a este parâmetro.

Um Sistema Generativo permite a produção de um conjunto de possíveis soluções. O universo de resultados gerados exclui aqueles que não se adequam aos parâmetros predefinidos. Desse modo, o arquiteto (ou urbanista) passa a avaliar apenas soluções que estejam de acordo com o seu programa funcional.

Os parâmetros de desempenho que inserimos no sistema generativo servem para a produção de soluções e como critério de avaliação. Ao produzir projetos urbanos a partir de restrições paramétricas é possível verificar se o sistema obteve sucesso em atender aos parâmetros de Desempenho predefinidos.

O outro parâmetro utilizado para a definição do sistema generativo aplicado nesta tese foi a variedade de atividades urbanas. Essas funções urbanas básicas (espaços livres, serviços e equipamentos urbanos básicos, comércio local, acesso ao transporte coletivo, etc.) devem estar dispostas de modo acessível ao morador.

Segundo os princípios urbanos da Cidade Compacta as atividades urbanas devem estar dispostas de modo que os percursos a pé sejam realizados em um intervalo de tempo entre cinco e dez minutos, a partir da sua moradia (LEITE e AWAD, 2012, p. 162). Desse modo as distâncias não devem estar compreendidas entre quatrocentos e seiscentos metros das residências.

A concentração de atividades urbanas dentro de uma determinada área é importante para a otimização do uso dos recursos naturais. Um agrupamento urbano compacto permite a redução da extensão de terras ocupadas e estimula os encontros sociais entre os indivíduos. Isso ocorre por que as pessoas passam a ocupar e a se deslocar pelos espaços urbanos, de modo semelhante ao que ocorria nas cidades medievais.

A Cidade Tradicional serviu como base para as definições do Novo Urbanismo e da Cidade Compacta. A inexistência dos automóveis limitava os percursos dos indivíduos. Este limite foi determinante na distribuição das funções urbanas dentro da Cidade Tradicional, que tinham de serem alocadas considerando os deslocamentos a pé (e ou) através de animais de carga ou de veículos de tração animal.

O equilíbrio entre as diversas atividades é essencial para o sucesso de uma comunidade compacta. A relação entre os usos residenciais e comerciais vai variar de acordo com o tipo de bairro que se está planejando ou intervindo. Desse modo o ideal é proporcionar uma flexibilidade no uso do solo, para assim atender às demandas pela otimização na utilização dos recursos (FARR, 2013, p. 122).

Nesta tese foram adotadas duas escalas urbanas de trabalho. O quarteirão e o bairro, nas duas escalas iremos utilizar a densidade de vinte habitações por hectare. No algoritmo generativo do quarteirão iremos trabalhar apenas com uma única fração urbana comercial. Essa escolha parte do entendimento de que para um quarteirão com esta densidade habitacional uma única parcela comercial de caráter local é suficiente para suprir as necessidades da população proposta.

O algoritmo generativo para a produção de quarteirões baseia-se em quatro frações urbanas residenciais e duas frações urbanas comerciais. As frações se diferenciam pela:

- a. Função: para este trabalho serão utilizadas duas funções a comercial e a residencial;
- b. Dimensão: as frações possuem tamanhos diferentes para assim possibilitar a inserção de edificações com características distintas.

A utilização de frações urbanas com características diferentes tem o objetivo de garantir a diversidade de edificações e a variedade social. Parcelas com tamanhos proporcionam a produção de edificações com características variadas.

O Algoritmo Generativo ao adotar frações com dimensões diferentes acaba por produzir soluções de quarteirões constituídos por lotes de tamanhos distintos. Nesse cenário o usuário pode construir sua habitação de acordo com as suas necessidades específicas. Diferentemente do que ocorre com a lógica modernista de ocupação urbana em que se utiliza de muitas parcelas com a mesma dimensão.

Do ponto de vista do planejamento urbano essa situação é favorável pois dá ao habitante do quarteirão a possibilidade de definir as características da sua edificação. O que contribui para a consolidação de um espaço urbano variado e que reflita as necessidades individuais dos usuários. Mesmo que estes tenham de seguir restrições como afastamentos da edificação em relação aos limites da fração urbana.

Um quarteirão não deve ser constituído apenas de frações urbanas residenciais. É importante, para reduzir os deslocamentos motorizados e estimular a circulação de pedestres, a existência de unidades que possam ser utilizadas para a atividade comercial.

Neste estudo não foram consideradas atividades, como industrial e agrícola, porque iremos aplicar o processo generativo para a produção de soluções urbanas de bairros residenciais. Deste modo as atividades consideradas no sistema foram aquelas que pudessem conviver harmonicamente como o uso residencial.

No sentido de produzir bairros habitacionais de cidades compactas foram consideradas as atividades: residencial, comercial, serviço, lazer e institucional. Estas atividades urbanas são necessárias para o funcionamento de um bairro residencial.

5.1.2 A produção do ArquiTec e a implementação do algoritmo de produção de quarteirões

Para o desenvolvimento do *software* utilizamos a linguagem de programação *Java*. Esta linguagem computacional permitiu o desenvolvimento do protótipo do *software* o ArquiTec. Esta ferramenta permitiu que pudéssemos produzir a soluções projetuais de quarteirões.

5.1.2.1 *Java*

As linguagens de *scripting* são linguagens de programação que podem ser executadas dentro de *softwares*. Através de um *script* o usuário pode implementar comandos para que o computador execute uma tarefa específica. Através dessas ferramentas é possível modificar um programa para que este realize operações específicas.

A linguagem de programação foi utilizada neste trabalho para que pudéssemos implementar um algoritmo generativo e a partir deste gerar soluções projetuais. A inserção de especificações através de *scripts* possibilitou que verificássemos as implicações provocadas pela utilização da programação como ferramenta de auxílio ao processo de Desenho Urbano.

Neste experimento optamos pela utilização da linguagem de programação *Java*. Além das características comuns a outras linguagens de programação (tais como a operacionalização de algoritmos e a produção de *softwares*), *Java* é uma linguagem multiplataforma. Essa característica permite que o programador possa executar um programa sem a necessidade “recompilação”.

A compilação em computação significa traduzir o código fonte escrito em uma determinada linguagem para outra linguagem computacional (por exemplo: C, C++, *python*, etc). A conversão de um código escrito em uma determinada codificação permite que um programa possa ser executado em um computador. Essa conversão é realizada por meio de um (ou um conjunto de) programa de computador (GUZDIAL e ERICSON, 2005, p. 16).

Essa característica contribuiu para que *Java* se popularizasse entre os programadores, uma vez que ela viabilizou a interoperabilidade entre diferentes plataformas. Um programa escrito nesta linguagem pode ser executado em um computador ou em um dispositivo móvel sem a necessidade de recompilação do *software* (JAVA™, 1998).

Na década de 1990 a *Sun Microsystems* iniciou o *Green Project*. Esse projeto tinha o objetivo de tentar prever qual seria o próximo passo para a computação. A empresa pretendia desenvolver algo que pudesse colocá-la a frente de seus concorrentes (GUZDIAL e ERICSON, 2005, p. 15).

Antes do desenvolvimento da *Java* a *Sun Microsystems* tentou desenvolver uma linguagem baseada em C++. Esse protótipo apresentou diversos problemas de implementação, o que forçou a equipe desenvolver uma nova linguagem que foi denominada *Oak* (GUZDIAL e ERICSON, 2005, p. 15).

Inicialmente a equipe do projeto *Green* concluiu que o próximo passo para a computação seria integração entre o computador e os dispositivos digitais conectados em rede via serviços de TV cabo. No entanto, as empresas de TV não demonstraram interesse, o que comprometeu o futuro do projeto (ORACLE®, 2000).

Ante a falta de interesse das companhias de TV em utilizar a tecnologia desenvolvida, o *Green Project* tentou reposicionar a *Oak*, de modo que esta pudesse ser utilizada junto à internet. Neste sentido, os engenheiros do projeto fizeram uma demonstração em uma conferência, que demonstrassem as possibilidades que a *Oak* proporcionava para a internet.

Na exposição eles mostraram uma página de internet em que era possível que o usuário rotacionasse uma molécula. Até então as *webpages* não respondiam a ações do usuário e apresentavam apenas textos e imagens estáticas (GUZDIAL e ERICSON, 2005, p. 16).

Já havia na época uma linguagem de programação que se chamava *Oak*. A linguagem foi renomeada para *Java* e lançada gratuitamente em 1995. Desde então tem sido utilizada em diversos dispositivos de uso cotidiano. Essa ferramenta tem sido utilizada no desenvolvimento de programas de computadores e de páginas na web.

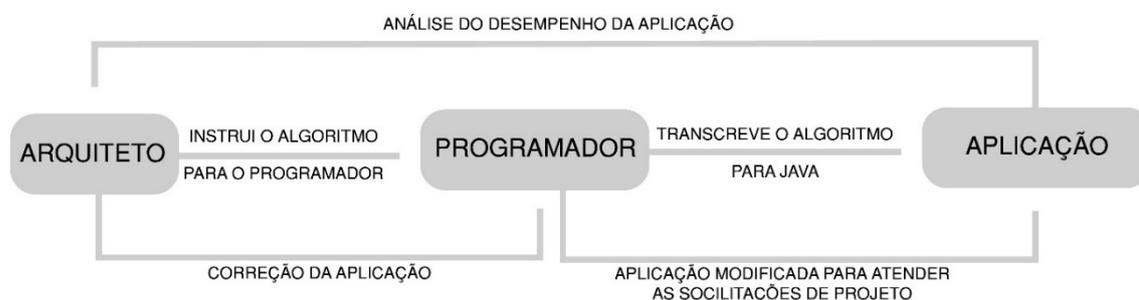
A aplicação da *Java* permite que desenvolvedores possam: escrever em uma única plataforma e executá-la em plataformas diversas; combinar aplicações ou serviços para customizar aplicativos; etc (JAVA™, 1998).

Procedemos a transcrição do nosso algoritmo para *Java* com o auxílio de um programador. O profissional de computação transcreveu as especificações definidas para a produção de configurações de soluções de quadras residenciais. Uma vez que as restrições e parâmetros foram transcritas pudemos gerar e avaliar as soluções produzidas.

A presença do programador dentro do processo de projeção não retirou do arquiteto a autoria das soluções geradas. Cabe ao arquiteto a definição dos parâmetros de Desempenho e das restrições utilizadas para a produção do sistema generativo.

Propomos um fluxograma para o desenvolvimento da aplicação. Esse fluxograma ilustra as atividades desempenhadas pelo arquiteto e pelo programador para a produção do programa (Figura 5.1, p.217).

Figura 5.1 - Fluxograma de desenvolvimento da aplicação. .



Fonte:Elaborado pelo autor.

Inicialmente o arquiteto define o algoritmo e o instrui para o programador. Este por sua vez irá desenvolver a ferramenta computacional a partir das instruções definidas pelo arquiteto.

Uma vez pronto, *software* retorna ao arquiteto para que este verifique se o sistema está operando de acordo com o algoritmo definido. Se o *software* estiver funcionando de forma adequada, o arquiteto poderá iniciar o processo de produção de soluções caso contrário a aplicação deverá ser encaminhado para o programador para que este faça as alterações necessárias.

O fluxo de trabalho ilustrado na Figura 5.1(p. 217) segue o seguinte conjunto de etapas:

- a. Definição do algoritmo pelo arquiteto;
- b. Transcrição do algoritmo para a linguagem pelo programador;
- c. Análise dos resultados produzidos pela aplicação pelo arquiteto;
- d. Alteração da aplicação para adequar o *software* e os resultados produzidos ao algoritmo;
- e. Versão final de uso do *software*.

A utilização destas etapas permite compreender a função do arquiteto (ou urbanista) dentro de um processo em que ele não possui o conhecimento necessário para o desenvolvimento de *softwares*. Embora não seja responsável pelo desenvolvimento da aplicação, o arquiteto é o responsável por definir o algoritmo generativo.

Neste processo projetual é importante que o arquiteto conheça a fundo o problema de projeto que pretende solucionar. Apenas com esse conhecimento é que este será capaz de definir as variáveis capazes de produzir um algoritmo generativo capaz de produzir soluções projetuais adequadas (BURRY, 2011, p. 459).

Para o desenvolvimento da aplicação foi utilizado um método de programação conhecido como *Incremental Development*. Este processo consiste em iniciar a construção do *software* a partir de rotinas simples. A estas rotinas são adicionadas, progressivamente, novas expressões, variáveis, funções para assim obter aplicativos complexos (BEIRÃO, 2012, p. 193).

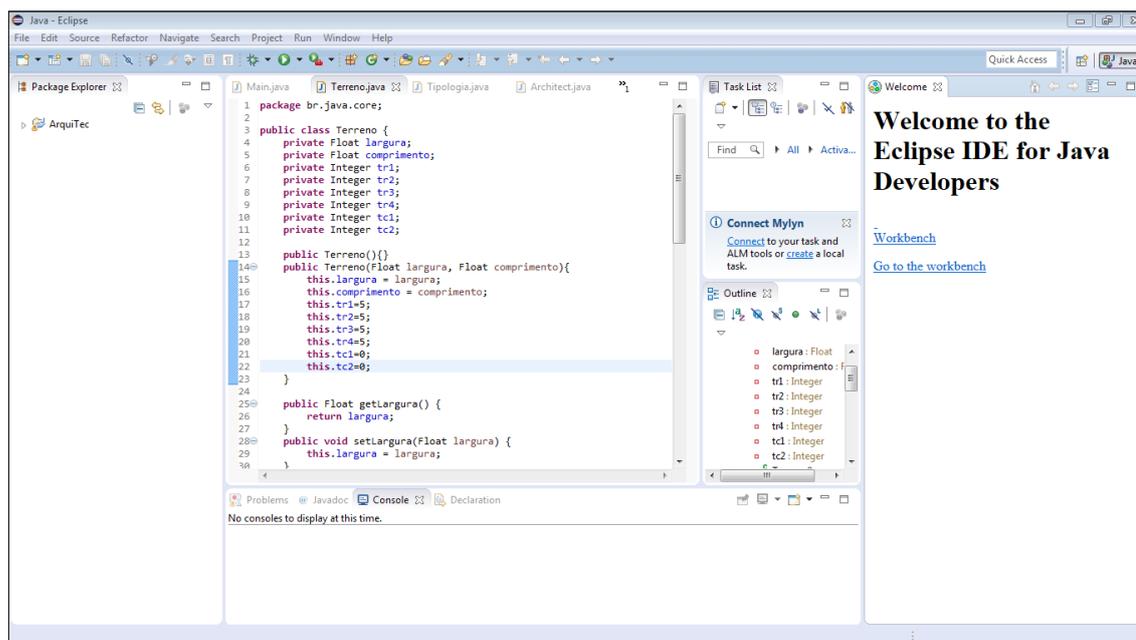
A produção do nosso aplicativo foi viabilizada por meio da *Java™ Platform, Standard Edition Development Kit (JDK™)* na versão *Java SE Development Kit 8u65*. A *JDK™* é o ambiente de desenvolvimento de *softwares* que permite a construção de aplicações e componentes baseados em linguagem *Java™* (ORACLE®, 2000). Esse aplicativo está disponível para *download* na seguinte página: <http://www.oracle.com/technetwork/pt/Java/Javase/downloads/jdk8-downloads-2133151.html>.

Além da JDK™ utilizamos o *Eclipse Mars* que é um *software* que permite gerenciar o código fonte da aplicação. Este aplicativo permitiu ainda que pudéssemos simular as soluções produzidas pelo algoritmo generativo (ECLIPSE). A versão utilizada foi a Eclipse Mars.1 (4.5.1), disponível em: <https://www.eclipse.org/downloads/>.

As versões dos *softwares* utilizadas no desenvolvimento deste trabalho são compatíveis com o sistema operacional *Windows*.

A interface do *Eclipse Mars* (ver Figura 5.2, p.219) possui uma estrutura semelhante a maioria dos *softwares*. Através dela podemos gerenciar os aplicativos desenvolvidos em *Java*. Nela podemos carregar as pastas que compõe a aplicação, ao mesmo tempo temos acesso as linhas de comando que controlam o aplicativo.

Figura 5.2 - Interface do Eclipse Mars.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Um algoritmo é uma estratégia de trabalho que permite a solução de problemas a partir da realização de um conjunto de procedimentos. O algoritmo tem uma estrutura baseada na entrada (*input*) e saída (*output*) de dados. Em que para cada informação que entra no sistema é produzida uma informação de saída.

A lógica algorítmica é aplicada no desenvolvimento de *softwares* computacionais. Em um programa de computador o programador determina um conjunto de operações que são executadas para que o *software* realize uma determinada tarefa. Um programa de computador é constituído por um conjunto de funções que permitem a realização de tarefas específicas, como: editar um texto, acessar a internet e etc.

O algoritmo definido para a produção do aplicativo tem como objetivo produzir soluções urbanas de quarteirões. Estas soluções são geradas a partir da distribuição de frações urbanas sobre uma superfície. Em que, a superfície corresponde a área do quarteirão e às frações aos lotes urbanos definidos. A partir destas premissas o aplicativo deverá:

1. *Permitir a definição da área do quarteirão;*
2. *Permitir a que se definam as dimensões (comprimento, largura e altura) das parcelas urbanas consideradas;*
3. *Permitir a definição das quantidades das frações urbanas.*

Estas ações são operações que serão definidas pelo usuário, a partir do programa funcional urbano utilizado. As tarefas executadas a partir das regras de agrupamento estabelecidas nesta tese são realizadas pela aplicação.

O usuário deve estabelecer novas regras a partir dos critérios de desempenhos definidos neste trabalho ou de acordo com necessidades específicas ao tipo de projeto que está desenvolvendo. De modo que, a aplicação aqui desenvolvida permite que o urbanista defina: a densidade, a dimensão do quarteirão e as dimensões das frações urbanas.

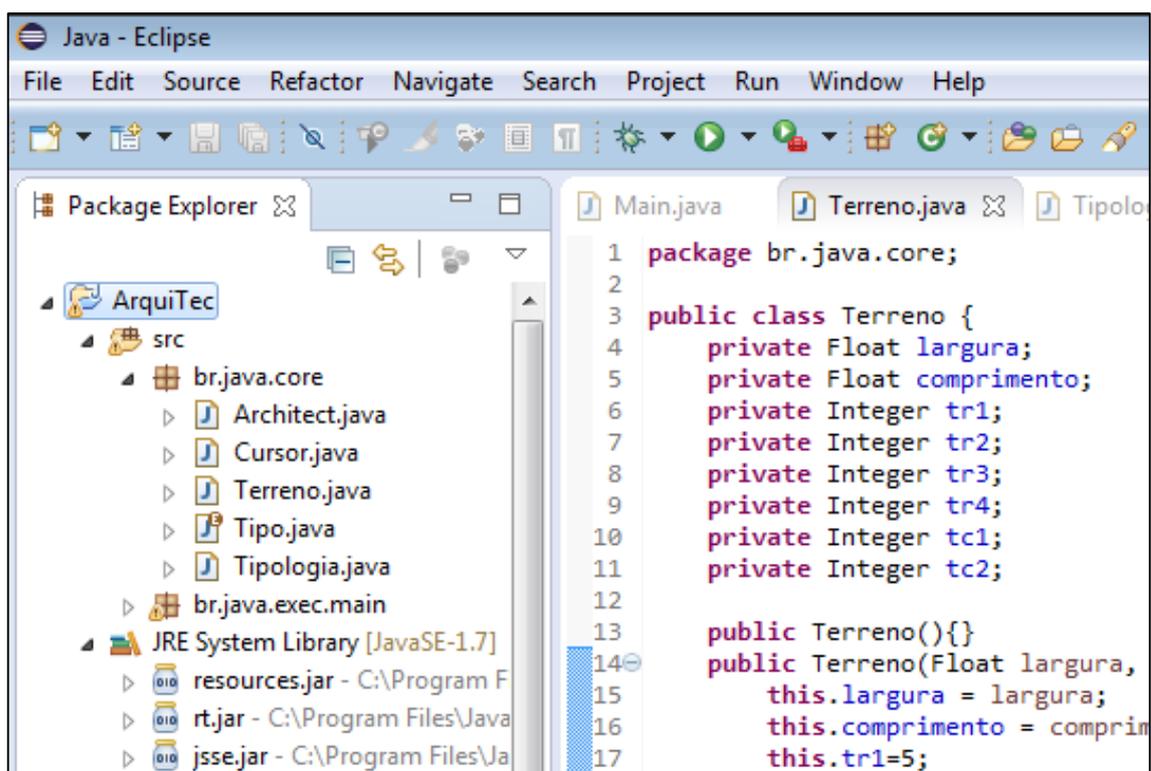
O algoritmo generativo serviu como base para a definição do código fonte da aplicação, que denominamos ArchiTec. Não foi possível desenvolver uma interface gráfica que pudesse ser utilizada por usuários sem um conhecimento prévio de programação.

À medida em que formos testando o algoritmo poderemos em um outro momento viabilizar a produção de um *software* com uma interface mais amigável, por meio da qual o usuário não necessite ter alguma familiaridade com programação.

O aplicativo desenvolvido é constituído por um conjunto de linhas de comando que descrevem o algoritmo. O algoritmo estabeleceu as etapas em que as operações irão ocorrer para que resultem nas soluções urbanas.

Dentro do *Eclipse Mars* essas definições foram agrupadas dentro da pasta do aplicativo, a pasta *ArquiTec* (Figura 5.3, p.221). Nesta pasta todas as definições estão descritas e agrupadas.

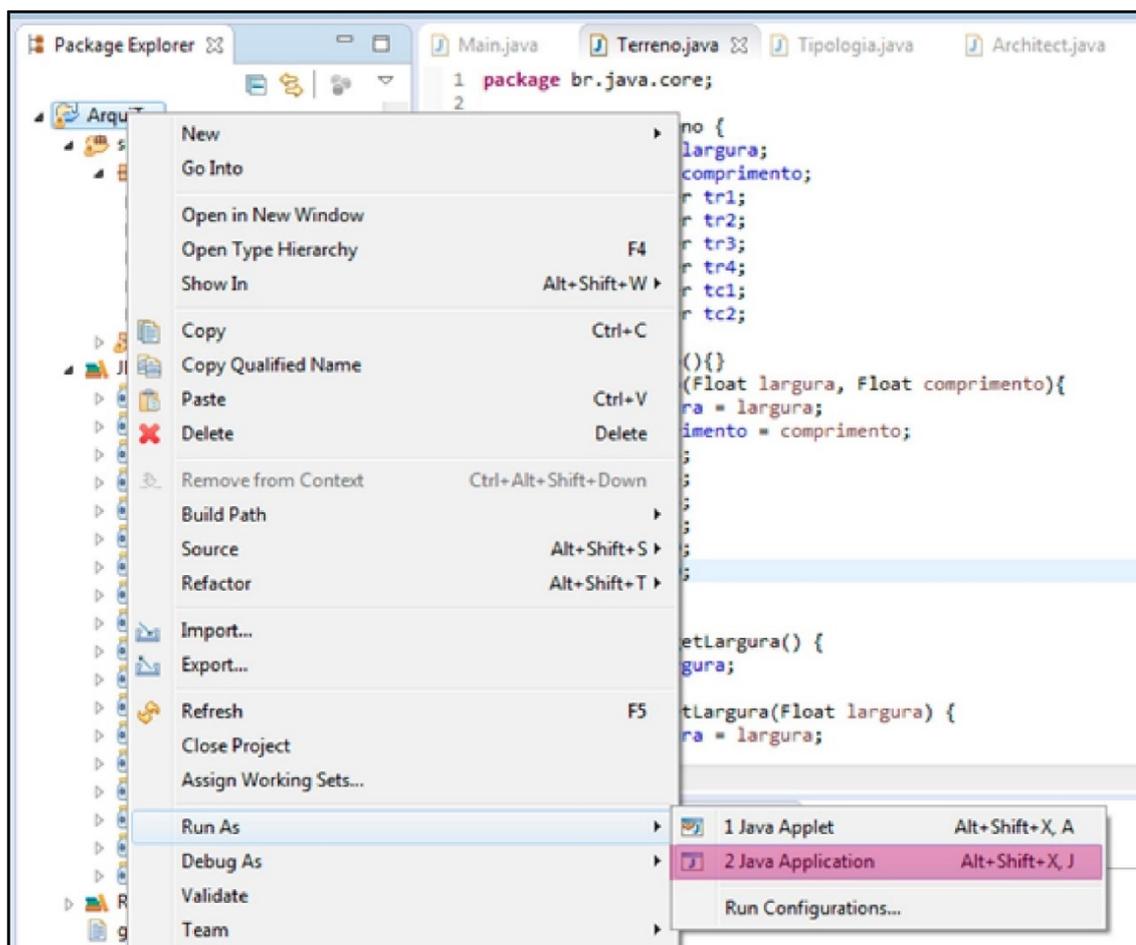
Figura 5.3 - Pasta da aplicação *ArquiTec* dentro do Eclipse.



Fonte: Elaborado pelo autor.

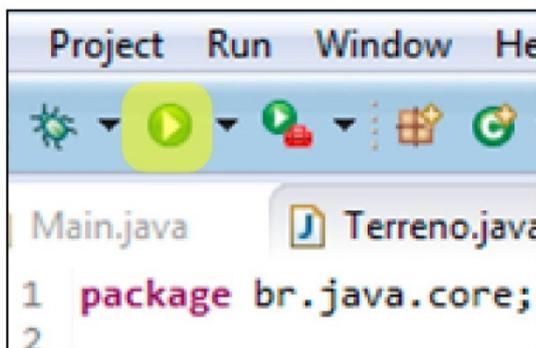
Ao utilizarmos o aplicativo é possível que todas as especificações sejam acessadas para assim produzir uma determinada solução. No sentido de executar aplicativo clicamos com o botão direito do mouse sobre a pasta do aplicativo. Esta operação vai ativar um menu contextual em que poderemos executar o aplicativo em *Run As* (ver Figura 5.4, p.222).

Figura 5.4 - Processo de execução do ArquiTec.



Fonte: Elaborado pelo autor.

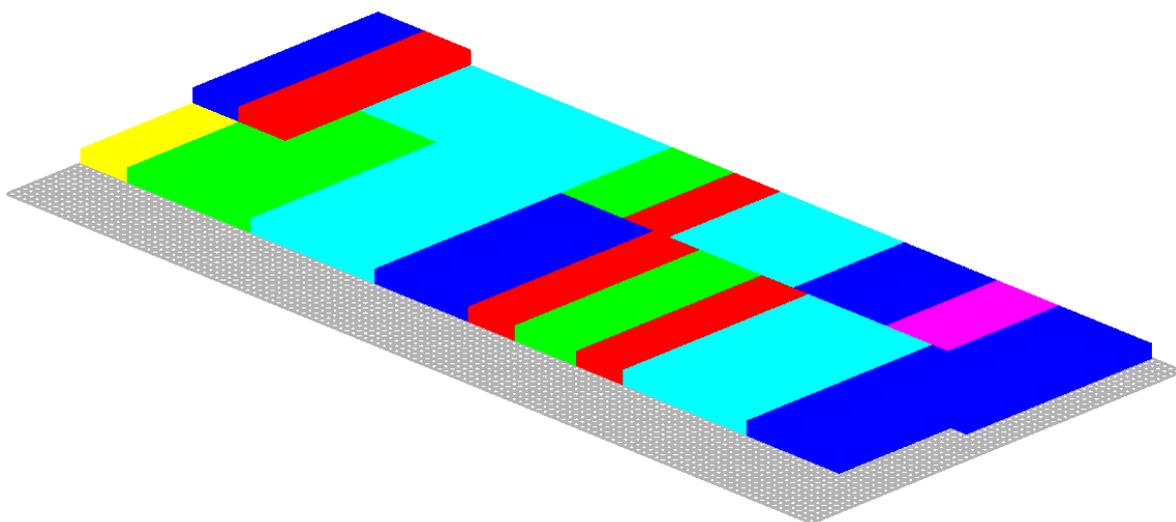
O aplicativo pode ser executado também através do atalho de teclado **Alt+Shift+x**. Uma vez que o aplicativo esteja carregado no *Eclipse* ele pode ser acionado pelo ícone localizado na barra de tarefas, conforme Figura 5.5 (p.223).

Figura 5.5 - Ícone para execução de aplicações no *Eclipse*.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Cada vez que o aplicativo é executado são produzidas soluções de quadras urbanas. Na Figura 5.6 (p.223) temos o exemplo de uma solução de quarteirão gerada pelo ArchiTec

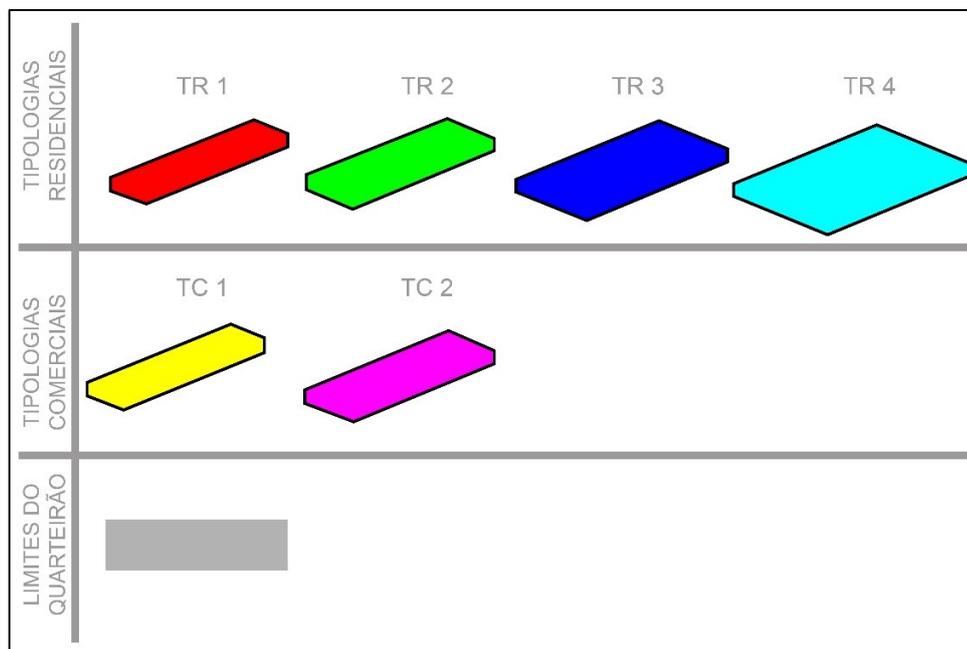
Figura 5.6 - Solução gerada a partir da execução da aplicação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Cada fração urbana é representada por um bloco tridimensional com uma cor específica. Embora em mapas urbanos as cores sejam utilizadas para representar funções (residencial, comercial, etc) no nosso aplicativo optamos por utilizar as cores para representar as frações urbanas definidas no sistema. A legenda adotada é demonstrada na Figura 5.7 (p. 224).

Figura 5.7 – Legenda de cores das frações urbanas (TR's de 1 a 4 e TC's 1 e 2) utilizadas para a solução ilustrada na Figura 5.6.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como não pudemos viabilizar a interface gráfica da aplicação desenvolvida foi necessário utilizar as cores para facilitar a identificação das tipologias dentro do quarteirão. Uma vez que apenas uma variação de gradiente de cores não permitiria uma compreensão adequada das soluções produzidas.

É importante esclarecer que cada bloco representado na Figura 5.6 (p. 223) e na Figura 5.7 (p.224) representa uma fração (ou parcela) urbana de caráter privativo. Esta unidade urbana foi dimensionada para receber uma edificação. A inserção de um edifício dentro das parcelas poderia ser controlada por parâmetros urbanos como recuos frontais e laterais, taxa de ocupação, índice de aproveitamento, etc.

A área do quarteirão é representada pela área em cinza, conforme ilustrado na Figura 5.7 (p. 224). O espaço delimitado em cinza representa a área do quarteirão. Estes espaços podem ser ocupados por espaços de circulação e áreas verdes.

No algoritmo generativo (e conseqüentemente na aplicação) optamos por definir parametricamente a parcela urbana e não a edificação. Esta escolha se deu por que entendemos que ao definir os lotes com tamanhos diferentes permitimos que estes espaços possam receber edificações com características diferentes.

As características específicas das edificações que ocuparão o lote serão definidas de acordo com as necessidades dos usuários ou a partir de diretrizes urbanas de ocupação.

Outra razão para não definirmos as características das edificações, mas apenas as das frações, é para que o algoritmo proposto (assim como o código fonte) possa ser modificado de acordo com necessidades específicas de um determinado projeto.

A inserção de linhas de comandos que permitissem inserir edificações dentro das parcelas urbanas dentro do ArchiTec são objeto de melhorias futuras. A aplicação como ela se apresenta permite que estudemos a distribuição de lotes com características diferentes dentro de um quarteirão urbano a partir da densidade. Isso permite que o usuário possa simular rapidamente cenários diferentes de ocupação que estejam em acordo com o parâmetro de Desempenho estabelecido, a densidade de vinte unidades por hectare.

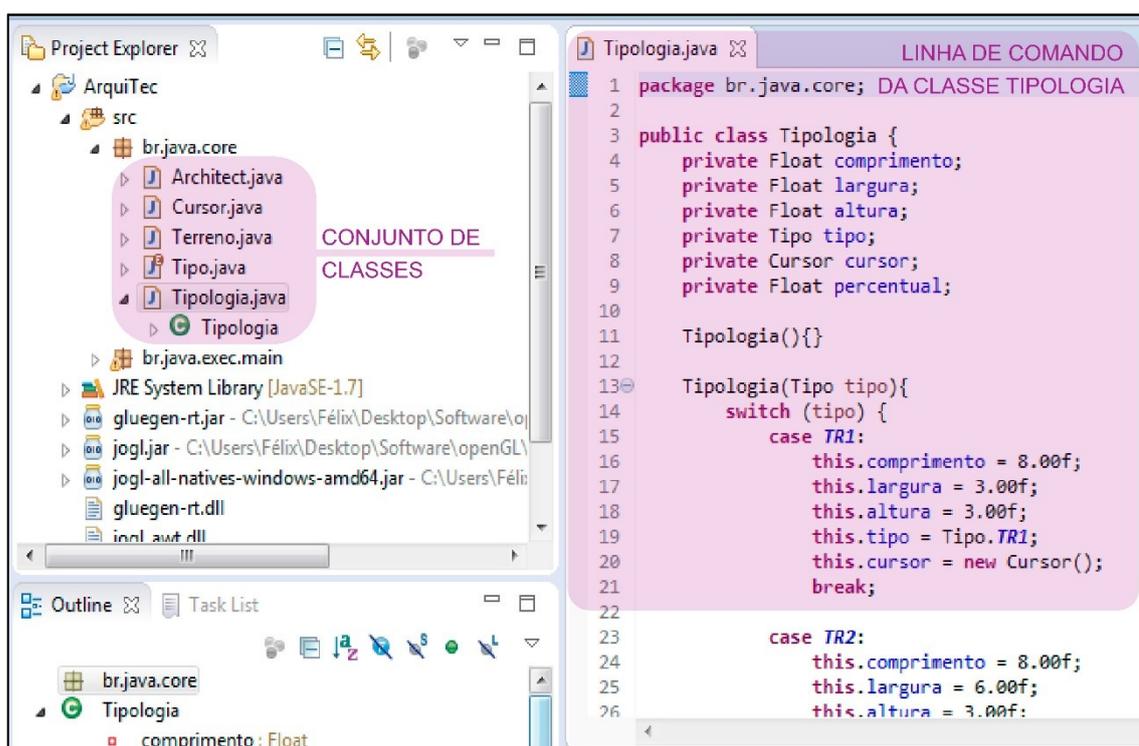
Como não desenvolvemos ainda uma interface gráfica para o ArchiTec as modificações dos parâmetros e restrições devem ser realizadas através da alteração das linhas de comando.

No processo que propomos os parâmetros a serem alterados são: as dimensões das parcelas (largura, comprimento e altura); a quantidade de frações urbanas a serem distribuídas (quantas tipologias residenciais e comerciais); e o tamanho (largura e comprimento) da área a ser utilizada.

O aplicativo produz soluções (retangulares ou quadradas). Esta forma foi adotada por ser uma forma comum as Cidades Compactas. Outro aspecto considerado é o fato de que boa parte dos bairros existentes possuem esta configuração. Desse modo a aplicação pode ser utilizada para simular novas configurações para bairros existentes.

Esses parâmetros, dentro do *Eclipse Mars*, são especificados em listas que são chamadas de classes. Estas classes agrupam o conjunto de linhas de comandos responsáveis por descrever as diferentes partes que constituem o algoritmo, ver Figura 5.8 (p. 226). Estas categorias também apresentam a caracterização dos objetos que serão utilizados pelo aplicativo. Estas classes estão agrupadas dentro da pasta raiz da aplicação.

Figura 5.8 - Organização das classes dentro do *Eclipse Mars*.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A linguagem *Java* permitiu a implementação do algoritmo e a produção de soluções de quarteirões urbanos de Cidades Compactas. O uso dessa ferramenta permitiu a produção da aplicação, que embora ainda em fase de teste, possibilitou a produção de soluções a partir dos parâmetros e restrições definidos nesta tese.

5.2 Algoritmos Generativos e a produção de soluções urbanas

5.2.1 Estruturação do algoritmo para a produção de quarteirões

5.2.1.1 Estruturação do algoritmo

O algoritmo aqui descrito tem a função de produzir soluções de quarteirões urbanos de Cidades Compactas. Para isso foram definidas regras de distribuição de frações (ou parcelas) urbanas sobre a superfície do quarteirão.

O algoritmo que elaboramos é constituído de quatro etapas de aplicação. A primeira consiste na caracterização das frações. A segunda corresponde à definição do quarteirão. A terceira consiste nas especificações das quantidades dos lotes a serem distribuídos na área. A quarta etapa corresponde a aplicação das regras de distribuição que resultarão nas soluções.

Para isso foi definida uma sequência de procedimentos que são executados pela aplicação desenvolvida, ArquiTec. Os procedimentos resumem a sequência de tarefas a serem executadas no *software*, a saber:

1. **Etapa 1 - Caracterização das frações urbanas:** esta etapa consiste na definição das características das frações. Neste processo o programa deve inserir as dimensões correspondentes a cada um dos tipos de parcelas urbanas adotadas. Para permitir a utilização da aplicação ela deve permitir que o usuário possa controlar as dimensões das frações urbanas. Nesta etapa o *input* são: a largura, o comprimento e a altura da fração urbana e *output* é a volumetria da tipologia.
2. **Etapa 2 - Caracterização do quarteirão:** nesta etapa é possível definir a dimensão do quarteirão a ser produzido. Assim como a etapa anterior esta função deve possibilitar o controle sobre as dimensões do quarteirão. No procedimento 2 o *input* é constituído pela largura e o comprimento do quarteirão enquanto que o *output*.
3. **Etapa 3 - Definição da densidade a ser utilizada:** aqui o usuário define a quantidade de frações urbanas a serem distribuídas na área do quarteirão. O (s) *input* (s) correspondente é o número de frações

urbanas a serem inseridas no quarteirão e *output* correspondente são as parcelas distribuídas na área de acordo com as quantidades definidas.

- Etapa 4 - Aplicação das regras de agrupamento das frações urbanas:** este procedimento é constituído pelas regras de agrupamento que atuarão sobre as frações urbanas e sobre o quarteirão. Esta etapa tem como *inputs*: as frações urbanas utilizadas, o terreno com as dimensões e as quantidades definidas pelo usuário nas etapas anteriores. O *output* produzido consiste no quarteirão com as tipologias agrupadas nos limites da área.

Estas etapas, que definem o algoritmo para a produção de quarteirões, foram utilizadas pelo programador para que este pudesse produzir a aplicação. Para auxiliar a compreensão do algoritmo desenvolvemos um diagrama que ilustra as etapas a serem executadas pelo *software*, ver Figura 5.9 (p.228).

Figura 5.9 - Diagrama simplificado contendo a sequência de tarefas a serem executadas pela aplicação para o algoritmo generativo para a produção de quarteirões.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Estas etapas podem ser agrupadas em dois tipos: em procedimentos que podem ser executados pelo usuário e em processos que são realizados pela aplicação.

Os procedimentos que são controlados pelo usuário são os que permitem o controle das características do terreno e das frações e o controle da densidade. Enquanto que a aplicação executará as regras de agrupamento sem a interação direta do usuário.

As tarefas executadas a partir das regras de agrupamento estabelecidas pelo algoritmo generativo são executadas pela aplicação. Para modificar as regras de distribuição das frações sobre a área do quarteirão é necessário que o usuário modifique o código fonte da aplicação. Para isso é preciso que se tenha um conhecimento em programação *Java*.

Para a produção do aplicativo inicialmente estabelecemos um cenário inicial que permitiu que pudéssemos definir o algoritmo. Este cenário inicial permitiu que pudéssemos avaliar a aplicação. Para este cenário definimos:

1. A área do quarteirão;
2. Número de tipos de frações a serem trabalhadas;
3. As características das frações urbanas;
4. E a quantidade das frações.

Estes parâmetros foram importantes para que pudéssemos estabelecer as regras de combinação e o funcionamento da aplicação. Estas variáveis são elementos que podem ser modificados pelo o usuário. Essas alterações permitem que as soluções de quarteirão possam ser adaptadas a programas de necessidades diversos.

Definimos uma densidade de 20 unidades para 0,98 hectares em relação ao uso residencial em nossa produção de quarteirões. Esta densidade foi estabelecida a partir da lógica de ocupação da Cidade Compacta.

A dimensão de 0,98 hectares foi estabelecida considerando o custo da infraestrutura urbana. É recomendável que o quarteirão deva seguir uma proporção em que o comprimento seja o dobro da largura (MASCARÓ, 2001, p. 43).

Com isso o terreno a ser considerado terá a largura de setenta metros e comprimento de cento e quarenta metros o que nos dá uma área de nove mil e oitocentos metros quadrados ou 0,98 hectares.

A opção pelo formato retangular (ou quadradas) nas soluções simuladas se deu pelo fato de que são as formas mais utilizadas nos processos de planejamento urbano.

O quarteirão retangular (ver discussão apresentada no item 4.4) apresenta vantagens de implantação. Esta forma permite o desenvolvimento de ruas ortogonais que contribuem: para permeabilidade de um local; apresentam um baixo custo de implantação; são fáceis de integrar com tecidos existentes; etc.

Os parâmetros que selecionamos para o quarteirão foram extraídos a partir da Tabela 4.3 (p. 192). Nesta tabela optamos por definir a dimensão dos quarteirões em 0,5 e 1ha. Esta medida foi estabelecida por ser uma dimensão capaz de receber lotes de tamanhos e funções diferentes e por ser compatível com o comprimento adequado (80-100m) para garantir uma maior permeabilidade às áreas urbanas. O tamanho dos lotes apresentados tem por objetivo proporcionar a inserção de um número diversificado de edificações e funções.

Além de frações urbanas residenciais foram definidos dois tipos de parcelas que pudessem desempenhar a função de comércio e ou serviço. Estes espaços foram definidos dentro do nosso algoritmo para que pudessemos simular quarteirões que pudessem abrigar o comércio local.

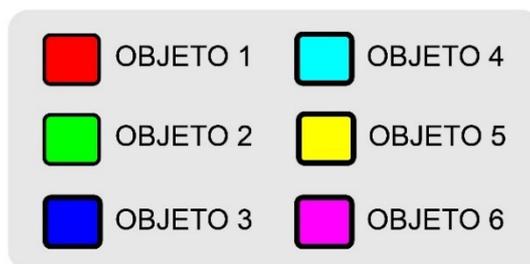
Este comércio deve atender tanto ao morador do quarteirão quanto os habitantes que se encontrem entre cinco e dez minutos de caminhada da edificação. Esta relação é importante para viabilizar economicamente a existência do lote de comércio. Segundo Farr (2013, p. 135) uma loja de conveniência com área entre cento e cinquenta trezentos metros quadrados necessita estar em uma comunidade de mil habitantes.

O algoritmo proposto produz soluções de quarteirões a partir da aplicação recursiva das regras de distribuição das parcelas. Estas regras distribuem as frações urbanas sobre a superfície do terreno até que a quantidade estipulada para cada tipo de fração seja alcançada.

A aplicação permite a definição de seis tipos de objetos que podem assumir tamanhos e funções diferentes de acordo com o programa funcional urbano utilizado. Estes objetos têm suas dimensões controladas pelo usuário, que pode modificá-las de acordo com as suas intenções projetuais.

Estes objetos dentro do sistema são representados nas soluções por meio de cores distintas. Desse modo o usuário tem como verificar como os objetos foram distribuídos e agrupados na superfície de trabalho. A legenda de cores utilizada para os objetos genéricos dentro do ArchiTec está representada na Figura 5.10 (p.231).

Figura 5.10 - Legendas de cores utilizada pelo ArchiTec.

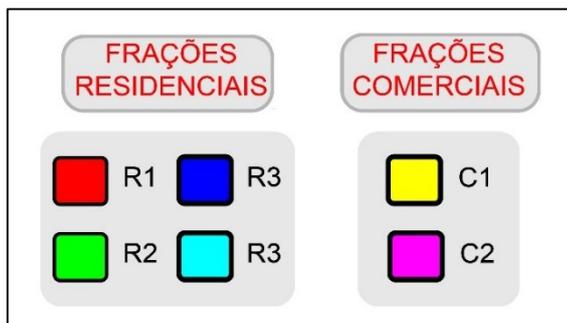


Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o cenário de análise inicial optamos por utilizar os seis objetos disponíveis no sistema. Cada objeto irá representar um tipo de fração urbana, estas parcelas vão possuir dois tipos de funções: a residencial e a comercial. Ainda neste contexto definimos quatro parcelas residenciais (R1, R2, R3 e R4) e duas parcelas comerciais (C1 e C2).

As frações serão identificadas nas soluções geradas de acordo com a legenda ilustrada na Figura 5.11 (p. 232). O ArchiTec representa cada bloco tridimensionalmente com a sua respectiva cor.

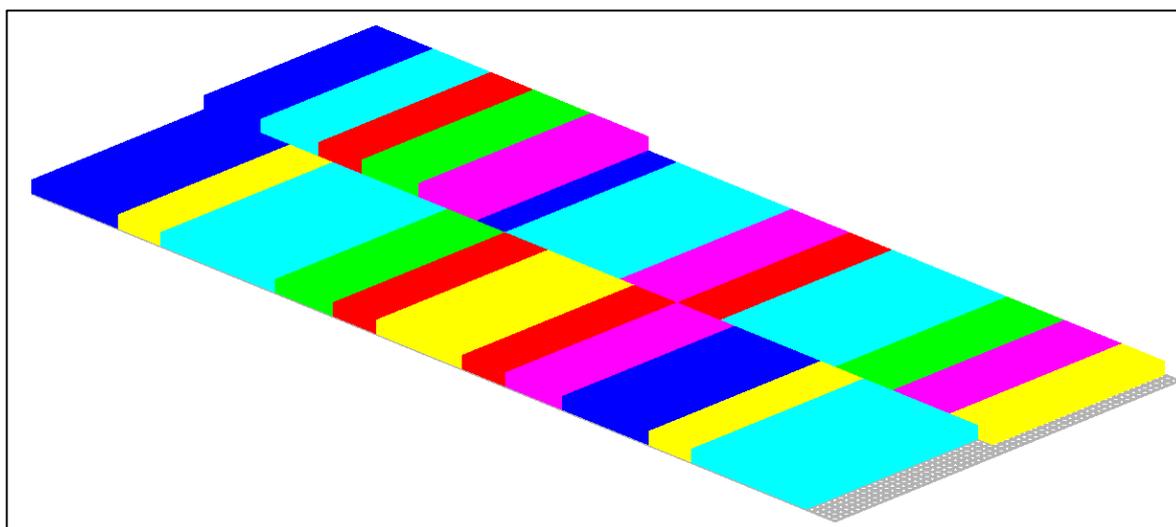
Figura 5.11 - Legenda de cores das frações urbanas utilizadas.



Fonte: Elaborado pelo autor

O quarteirão é representado por meio de uma superfície cinza que recebe os blocos tridimensionais (verificar Figura 5.12, p. 232).

Figura 5.12 - Exemplo de resultado obtido a partir do ArchiTec.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além de atribuir uma cor para cada uma das tipologias adotadas determinamos ainda as dimensões das frações urbanas que serão utilizadas no Cenário 1(ou inicial).

As frações urbanas definem os lotes que irão compor o quarteirão. De modo que as parcelas utilizadas no cenário inicial possuirão as características estabelecidas na Tabela 5.1 (p. 233).

Tabela 5.1 - Dimensões das frações urbanas aplicadas no ArquiTec para a produção das soluções de quarteirões.

TIPO DO LOTE	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Área(m ²)	CARACTERIZAÇÃO
R1	7,50	35,00	4,50	262,50	Fração residencial-R1
R2	10,00	35,00	4,50	350,00	Fração residencial-R2
R3	15,00	35,00	6,00	525,00	Fração residencial-R3
R4	20,00	35,00	6,00	700,00	Fração residencial-R4
C1	10,00	35,00	6,00	350,00	Fração comercial-C1
C2	10,00	35,00	9,00	350,00	Fração comercial-C2

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 5.1 (p.233) traz as dimensões dos lotes considerados para o cenário inicial de estudo. A primeira e a última coluna trazem a identificação da tipologia, de acordo com a identificação expressa na Figura 5.11 (p. 232). As linhas, específicas a cada uma das frações, demonstram as dimensões (comprimento, largura e altura) adotadas.

Os tipos de lotes foram estabelecidos para que um único quarteirão houvesse mais de um tipo de edificação. Essa característica pode ser obtida por que os limites dos lotes permitem uma ampla gama de edificações. Mesmo que a estes limites sejam aplicados afastamentos, áreas verdes, altura máxima e taxas de ocupação.

De acordo com a Lei federal número 6766/79 que dispõe sobre parcelamentos urbanos a menor dimensão que uma parcela urbana pode ter é de cinco metros, salvo exceções previstas em legislações municipais ou estaduais. No que se refere ao tamanho dos lotes esta legislação define a área de cento e vinte cinco metros quadrados como sendo a menor dimensão a ser aceita para uma parcela urbana.

O primeiro tipo de lote residencial (**R1**) possui a menor dimensão dentre as parcelas trabalhadas. Possui uma área de aproximadamente duzentos e sessenta e três metros quadrados. Esta área foi definida a partir da menor dimensão estabelecida pela legislação vigente que determina que a menor largura que um lote urbano pode possuir é de cinco metros.

A partir do tamanho de cinco metros estabelecemos um módulo de dois metros e meio. Este módulo foi aplicado aos cinco metros iniciais para assim pudéssemos ter um lote de sete metros e meio de largura (**R1**). A utilização de um lote com a largura superior a dimensão mínima se deu para que se pudesse proporcionar um lote (que embora estreito) com áreas superiores a cento e vinte cinco metros quadrados.

Apesar de desejarmos a produção de lotes amplos foi importante que o menor lote não possuísse uma dimensão superior a trezentos metros quadrados. Quanto maior o lote maior o seu custo o que diminui o número de pessoas capazes de adquirir uma parcela urbana desta nas quadras geradas.

Essa restrição acaba por reduzir a variedade de tipos sociais de indivíduos que compartilhem o mesmo espaço na cidade, o que não recomendável de acordo com as premissas da Cidade Compacta e do Novo Urbanismo. Desse modo o lote tipo R1 foi definido de modo a garantir um lote que possuísse um custo menor, mas sem comprometer a ocupação da parcela. Os lotes R2, R3 e R4 tem suas dimensões ampliadas de modo que possam receber edificações de maior porte.

O comprimento dos tipos de lote foi definido a partir da largura utilizada no quarteirão, de setenta metros de comprimento. Esta largura foi dividida ao meio para que os lotes tivessem um limite voltado para a rua e os demais limitantes (laterais e de fundo) às parcelas adjacentes.

Embora as frações façam divisa com todos os lotes próximos a ela isso não implica que as edificações serão obrigatoriamente geminadas, ou seja que compartilhem paredes. As divisões realizadas no quarteirão correspondem a uma parcela que pode (ou não) ser totalmente ocupada por edificação.

Estas características podem ser definidas pelo programa funcional ou por meio um a legislação que defina como o quarteirão pode ser ocupado. O tamanho do quarteirão utilizado (70,00x140,00 metros) no cenário não considera calçadas. Esta área será toda utilizada para a definição dos lotes.

As frações residenciais vão possuir duas alturas máximas, quatro metros e meio e seis metros. Os lotes menores (R1 e R2) poderão receber edificações com altura máxima de quatro metros e meio. Enquanto que os tipos maiores de lote (R3 e R4) poderão receber edifícios com altura de até seis metros. Essas alturas vão permitir que o quarteirão produzido possa receber edificações de altura variável e eventualmente com mais de um pavimento.

Para os tipos R1 e R2 definimos uma altura de quatro metros e meio. Este limite define o tamanho das edificações que ocuparão estes lotes e por consequência o porte das mesmas.

As dimensões dos lotes comerciais foram definidas considerando a escala do bairro e não a escala do quarteirão. Um espaço comercial para ser viável economicamente precisa atender a uma população média de mil pessoas. Como o nosso algoritmo tenta proporcionar uma densidade baixa um único quarteirão não seria capaz de garantir esta população.

Para viabilizar as unidades comerciais estas deverão atender a população do quarteirão em que estão inseridas e a daquelas que se encontrarem no raio de dez minutos de caminhada.

As frações urbanas definidas na Figura 5.11 (p. 232) são *inputs* e *outputs* que serão utilizados pelo ArquiTec. Estas características podem ser alteradas com o objetivo de adaptar o sistema a novas demandas projetuais. Esta flexibilidade permite ainda a produção de novas soluções de projeto.

As etapas um, dois e três (ver Figura 5.9, p.228) são procedimentos do algoritmo que são definidos e executados pelo usuário através do *ArquiTec*. A etapa seguinte do algoritmo consiste na definição das regras de distribuição das frações urbanas. As relações de agrupamento das parcelas são definidas previamente e executadas pelo *software*.

O usuário não realiza o processo de processamento, ele executa a aplicação que a partir dos *inputs* estabelecidos (dimensões do quarteirão, das frações e quantidade de parcelas) irá agrupar os lotes para gerar as configurações de quarteirões (*outputs*).

A Etapa 4 do algoritmo generativo consiste no conjunto de regras e relações que estabelecem como as frações urbanas serão distribuídas no quarteirão. Os lotes serão inseridos aleatoriamente no quarteirão a partir de um ponto zero. Este ponto inicial (denominamos no sistema de ponto 0,0,0) é o mesmo para todas as soluções produzidas.

Após a seleção do tipo de lote que será inserido inicialmente o sistema repete a seleção aleatória. A partir deste ponto passam-se a ser considerados critérios de agrupamento. Estes critérios definem como as tipologias podem se agrupar entre si. Este procedimento de seleção aleatória é aplicado recursivamente até que todos os lotes sejam distribuídos e assim seja encerrada a execução.

Dessa forma a etapa quatro do algoritmo segue os seguintes procedimentos:

1. Seleção aleatória de uma das frações urbanas definidas: **R1, R2, R3, R4, TC1** ou **TC2**;
2. Posicionamento da fração no ponto inicial do terreno;
3. Seleção aleatória de uma das frações urbanas definidas: **R1, R2, R3, R4, TC1** ou **TC2**;
4. Posicionamento da nova fração inserida junto a um lote já posicionado;
5. Repetição das etapas três e quatro até que todas as parcelas sejam distribuídas para atender a densidade estabelecida;
6. Ao inserir todas as parcelas no quarteirão o processo é encerrado.

Os objetos que representam as frações são agrupados pelo sistema através de suas faces. Após a definição (pelo sistema) de qual tipo de objeto será inserido o sistema irá definir aleatoriamente qual a superfície será utilizada para receber a nova fração.

Foi necessário que estabelecêssemos quais superfícies poderiam ser utilizadas para receber novas parcelas urbanas. Desse modo pudemos evitar que o sistema apresentasse resultados inconsistentes, como inserir os objetos abaixo do terreno. Desse modo estabelecemos como critérios de conexão:

1. Que todas as frações possam se agrupar através de todas as suas faces;
2. Que as frações não possam se associar através das faces superiores.

Inicialmente não havia a possibilidade de associar os objetos através das faces superior e ou inferior. Essa premissa foi alterada de modo que as frações comerciais e residenciais pudessem se associar verticalmente caso não houvesse espaço no quarteirão para receber novas unidades.

Essa associação garante que possamos trabalhar com quadras mais verticalizadas e por consequência mais adensadas. A ausência de muitas possibilidades de combinação vertical dentro do algoritmo proposto é minimizada pelo fato de que as parcelas ilustram uma projeção urbana. Estas representam um espaço que pode receber o edifício.

Essa edificação pode ocupar todo o espaço definido pela parcela ou apenas parte dele. Essa definição é estabelecida por necessidades de projeto ou mesmo por meio de uma legislação que defina parâmetros de ocupação.

Dessa forma um tipo de fração que apresente uma altura de seis metros poderia receber um edifício de com dois pavimentos se considerarmos a distância entre pavimentos de três metros. Ou ainda pode representar uma edificação térrea que possua uma altura elevada.

O conjunto formado por estas restrições foram utilizadas na produção do ArquTec por meio da linguagem *Java*TM. Na seção a seguir demonstraremos como o usuário deve operar o ArquTec dentro da plataforma de gerenciamento de aplicações, o *Eclipse Mars*.

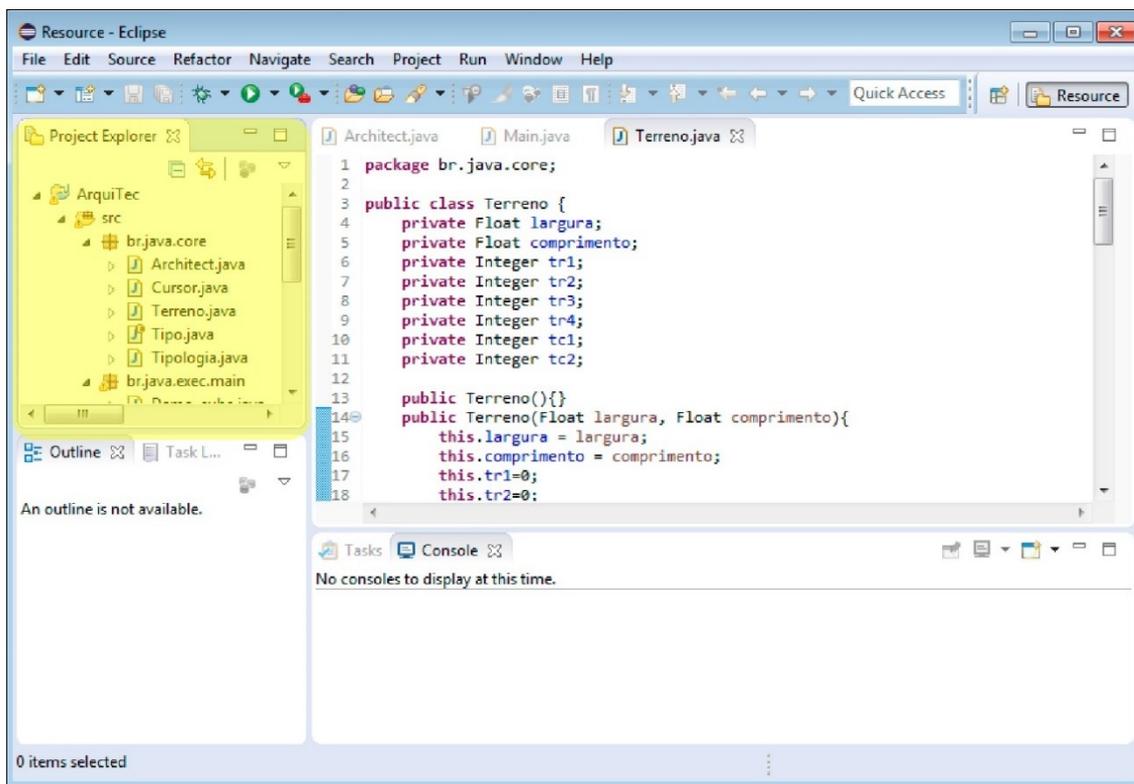
Implementação na linguagem *Java*[™] e produção dos resultados.

Após a definição do algoritmo generativo iniciamos o processo de tradução de uma linguagem para outra. Nesta etapa o sistema generativo foi construído a partir dos parâmetros definidos previamente e pelas relações de combinação estabelecidas neste trabalho dentro do ambiente de programação *Java*[™].

A transcrição do algoritmo para a *Java* permitiu a produção de uma aplicação experimental, que permite a distribuição de frações urbanas em um quarteirão. Este aplicativo se encontra em fase de desenvolvimento e foi produzido com o objetivo de verificar como o uso de um algoritmo generativo implementado através de linguagens de programação pode contribuir para o processo de projeção do urbanista.

Uma vez que o *ArquiTec* não possui uma interface gráfica para que ele seja utilizado é necessário que o profissional tenha instalado o *Eclipse Mars* em seu computador. Apenas com essa ferramenta o usuário será capaz de operar o *ArquiTec*. Ao utilizar o aplicativo instalado o usuário deve carregar a pasta que contém as definições do algoritmo no ambiente de edição do *Eclipse Mars* conforme (Figura 5.13, p. 240).

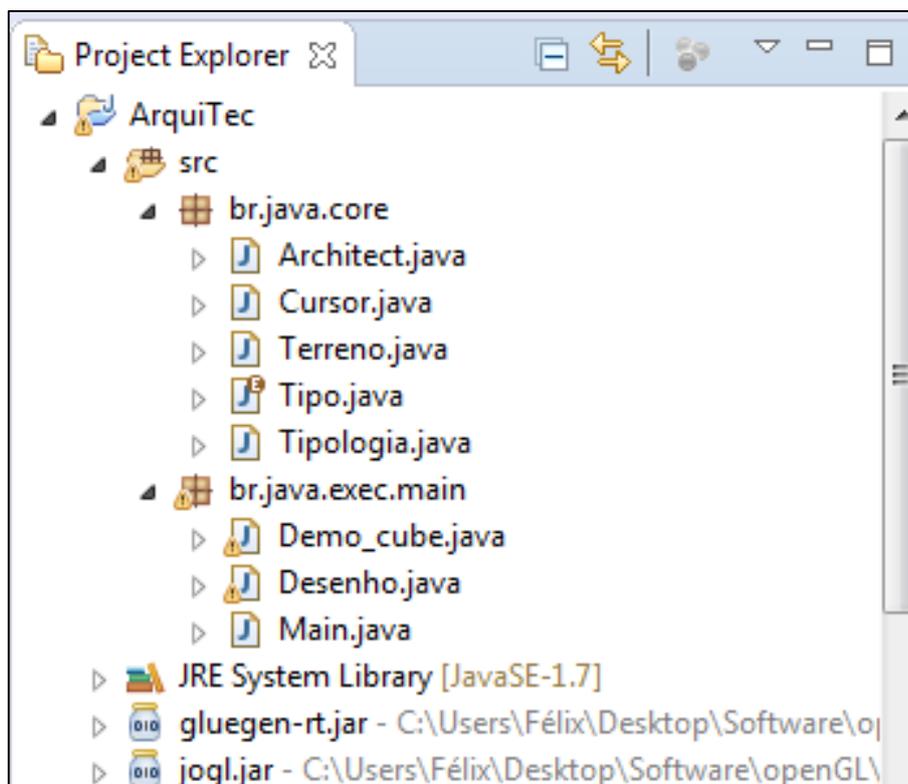
Figura 5.13 – ArquiTec sendo executado no ambiente de edição Java™ no Eclipse Mars.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O usuário carrega o aplicativo através do menu *File> Open* que dá acesso ao navegador do computador. Nesse ponto o usuário deve carregar a pasta e as subpastas do aplicativo. Isso permitirá que o usuário acesse as linhas de comando que controlam os parâmetros de projeto.

Com a pasta do aplicativo carregada é possível acessar a pasta *Main* (principal) que contém as especificações gerais do aplicativo. Além da pasta *Main* podemos acessar a pasta com o código utilizado para descrever os componentes e as restrições. Essas pastas e subpastas foram organizadas de acordo com o parâmetro que definem, ver Figura 5.14 (p. 241).

Figura 5.14 - Subpastas com as especificações dos parâmetros e restrições no *Eclipse mars*.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao abrirmos estas pastas dentro do *Eclipse Mars* podemos acessar as linhas de comando que controlam os parâmetros do sistema generativo. Desse modo o usuário pode controlar a dimensão dos tipos de frações urbanas, o tamanho do quarteirão e as regras de agrupamento.

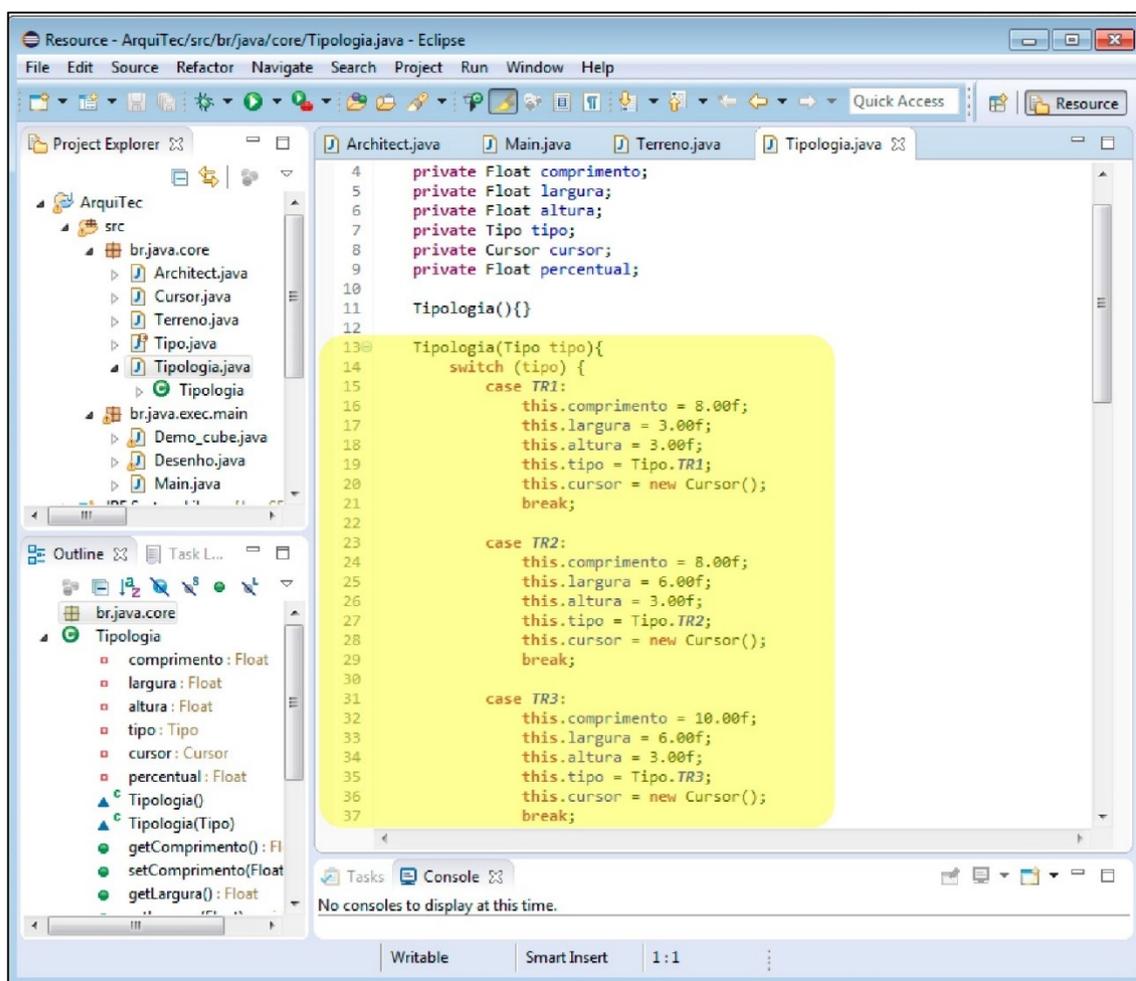
Ao acessar o ambiente de gerenciamento do *Eclipse Mars* o usuário tem acesso a todas as variáveis do sistema. As operações que definimos como sendo de uso do projetista são tarefas que podem ser executadas de forma simples. São alterações que podem ser realizadas apenas alterando parâmetros nas linhas de comando.

Para a modificar as regras de combinação é necessário que o usuário altere a linha de distribuição das frações. Essa operação demanda que este insira novas regras ao sistema generativo e as traduza novamente para a linguagem *Java*. Dessa forma o aplicativo aqui desenvolvido pode servir como base para o desenvolvimento de um *software* ou como fundamentação para o processo generativo de projeção.

Em que o usuário pode inserir ou remover regras existentes para melhor atender as suas necessidades projetuais.

Para alterar as características das tipologias (TR1, TR2, TR3, TR4, TC1 e TC2) devemos acessar a pasta *Tipologia* dentro do ArquTec (ver Figura 5.15, p. 242). As modificações devem ser feitas ao alterarmos as linhas de comando contidas no intervalo de 13 a 60. O controle deste parâmetro permite que possamos alterar as tipologias para adaptar as soluções ou para produzir novos resultados de configurações de quarteirões.

Figura 5.15 - Pasta *Tipologia* com as linhas de comando que controlam as dimensões das tipologias.

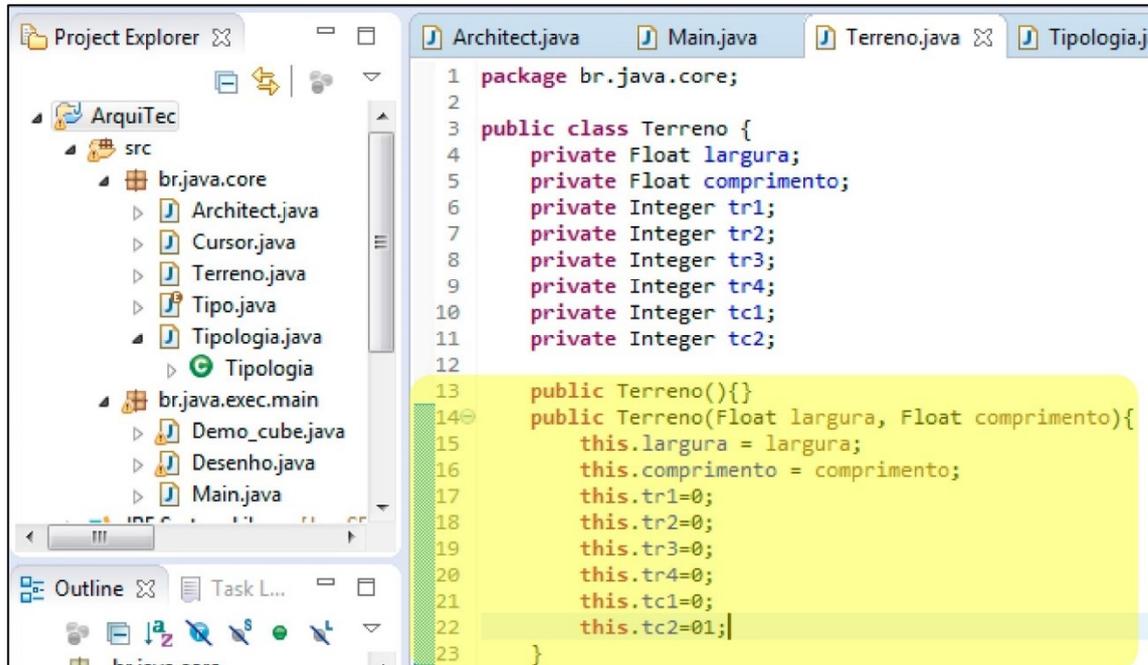


Fonte: Elaborado pelo autor.

As quantidades de tipologias são alteradas a partir da pasta *Terreno* e das seguintes linhas de comando 17 e 22, ver Figura 5.16 (p. 243). Este conjunto de

especificações é o mais importante para o nosso sistema pois nos permite definir a densidade e a variedade de usos.

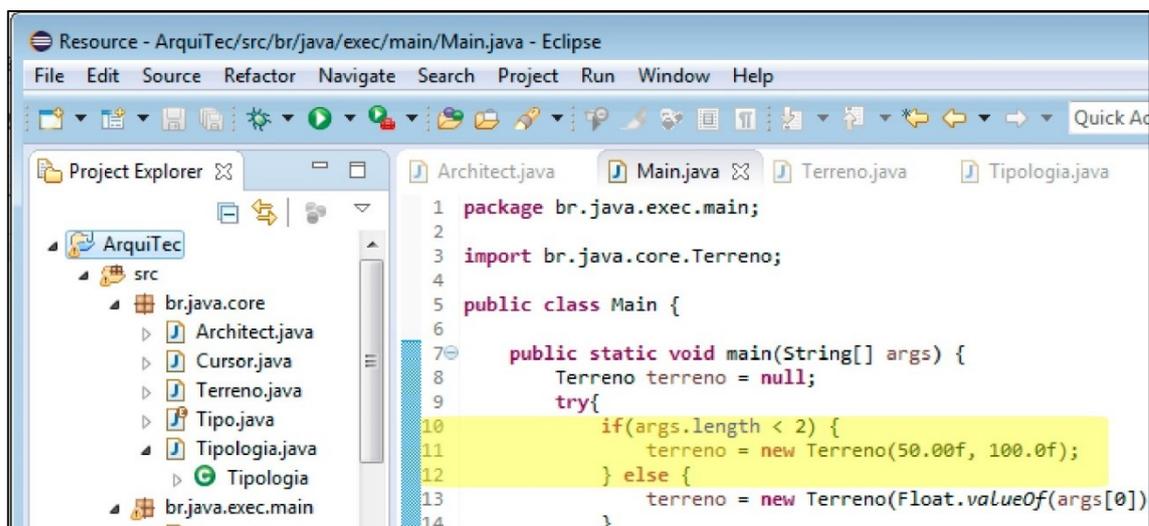
Figura 5.16 - Pasta *Terreno* com as especificações de quantidades de tipologias.



```
1 package br.java.core;
2
3 public class Terreno {
4     private Float largura;
5     private Float comprimento;
6     private Integer tr1;
7     private Integer tr2;
8     private Integer tr3;
9     private Integer tr4;
10    private Integer tc1;
11    private Integer tc2;
12
13    public Terreno(){
14    public Terreno(Float largura, Float comprimento){
15        this.largura = largura;
16        this.comprimento = comprimento;
17        this.tr1=0;
18        this.tr2=0;
19        this.tr3=0;
20        this.tr4=0;
21        this.tc1=0;
22        this.tc2=0;
23    }
```

Fonte: Elaborado pelo autor.

A dimensão do terreno pode ser controlada através da linha de comando 11 dentro da pasta *Main*. O controle deste parâmetro permite a simulação de quarteirões com tamanhos diferentes. Isto é necessário porque a cidade é constituída por quarteirões com dimensões e configurações distintas (ver Figura 5.17, p. 244).

Figura 5.17 - Pasta *Main* com as linhas de comando que controlam as dimensões do terreno.

```
Resource - ArquiTec/src/br/java/exec/main/Main.java - Eclipse
File Edit Source Refactor Navigate Search Project Run Window Help
Project Explorer
ArquiTec
  src
    br.java.core
      Architect.java
      Cursor.java
      Terreno.java
      Tipo.java
      Tipologia.java
    br.java.exec.main
      Main.java
      Terreno.java
      Tipologia.java
Main.java
1 package br.java.exec.main;
2
3 import br.java.core.Terreno;
4
5 public class Main {
6
7     public static void main(String[] args) {
8         Terreno terreno = null;
9         try{
10             if(args.length < 2) {
11                 terreno = new Terreno(50.00f, 100.0f);
12             } else {
13                 terreno = new Terreno(Float.valueOf(args[0]))
14             }
15         }
16     }
17 }
```

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a definição de todos parâmetros a serem considerados poderemos executar o aplicativo. O ArquiTec produzirá um novo resultado sempre que for executado. Esse resultado será exibido na tela para que o arquiteto possa fazer suas considerações.

Com o intuito de avaliarmos as soluções produzidas pelo sistema resolvemos trabalhar com dois cenários. Em que para cada um destes casos teremos um conjunto de especificações. Serão produzidas dez soluções para cada cenário para que possamos avaliar e comparar as soluções geradas.

No sentido de avaliarmos as soluções produzidas pelo sistema resolvemos trabalhar com dois cenários. O primeiro cenário é constituído pelos tipos de fração definidas na Tabela 5.1 (p. 233). Estes tipos serão distribuídos em um quarteirão com uma área de 0,98 hectares. As tipologias de parcelas urbanas serão distribuídas obedecendo as quantidades especificadas na Tabela 5.2 (p.245).

Tabela 5.2 – Especificação com as quantidades de unidades por tipologia do cenário de análise 1.

DESCRIÇÃO		QUANTIDADES
R1	Tipologia Residencial 1	5
R2	Tipologia Residencial 2	5
R3	Tipologia Residencial 3	5
R4	Tipologia Residencial 4	5
C1	Tipologia Comercial 1	1
C2	Tipologia Comercial 2	0

Fonte: Elaborado pelo autor

No cenário 1 a quantidade de tipologias distribuídas será a mesma. Para cada tipologia serão inseridas cinco unidades, que totalizarão vinte unidades distribuídas em uma área de 0,98 hectare. Quanto as tipologias comerciais optamos por distribuir uma unidade de cada tipo C1 e C2.

O cenário 2 foi definido a partir da modificação das quantidades de tipos de frações urbanas alocadas no quarteirão. Neste caso foram ampliadas as quantidades de unidades de tipologias residenciais do tipo R2 e R3. Esta decisão se deu para ampliar o perfil de usuários dentro do lote. Uma vez que lotes maiores (350,00 m² para R2 e 525,00m² para R3) permitem famílias com maior poder aquisitivo e com um maior número de indivíduos.

Outra consideração é o fato de que lotes muito grandes, tal qual o do tipo R4, apresentam um custo maior. O que restringe o perfil do usuário a uma faixa de renda mais elevada. A partir destas considerações definimos as quantidades de distribuição do cenário 2 de acordo com o apresentado na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Especificação com as quantidades de unidades por tipologia do cenário de análise 2.

DESCRIÇÃO		QUANTIDADES
TR1	Tipologia Residencial 1	0
TR2	Tipologia Residencial 2	20
TR3	Tipologia Residencial 3	5
TR4	Tipologia Residencial 4	0
TC1	Tipologia Comercial 1	0
TC2	Tipologia Comercial 2	1

Fonte: Elaborado pelo autor

Em relação ao número de unidades comerciais optamos pela manutenção de uma unidade para cada quarteirão. Para o cenário 1 foram considerados a densidade

de vinte lotes residenciais por quarteirão enquanto que no cenário 2 foi considerada a quantidade de vinte cinco parcelas urbanas distribuídas de acordo com a Tabela 5.3.

A partir das definições estabelecidas para os cenários de análise 1 e 2, definidos nas Tabela 5.2 (p. 245) e Tabela 5.3 (p. 245) respectivamente, foram geradas 10 soluções para cada um destes cenários. Os resultados gerados foram utilizados para que pudéssemos verificar como os sistemas computacionais de projeto podem auxiliar na produção de soluções urbanas baseadas em parâmetros de desempenho.

5.2.2 Estruturação dos parâmetros de produção de bairros

5.2.2.1 Estruturação do algoritmo

Para que os algoritmos possam ser efetivamente aplicados nos processos projetuais é essencial a definição dos parâmetros e das relações urbanas que serão utilizadas pelo sistema generativo. Neste sentido identificamos algumas características que de acordo com a literatura específica devem ser contempladas pelos projetos urbanos.

A análise realizada neste trabalho permitiu que identificássemos os elementos morfológicos urbanos, no caso o quarteirão e o bairro, que foram objeto dos algoritmos propostos. Buscamos na literatura especializada identificar parâmetros capazes de proporcionar espaços urbanos sustentáveis.

Além da definição dos elementos morfológicos apresentamos a definição de densidade e discutimos o papel da variedade de usos e formas urbanas como estratégia de produção de espaços urbanos sustentáveis.

Os parâmetros identificados e propostos pela Cidade Compacta e pelo Novo Urbanismo tem como base as qualidades encontradas na Cidade Tradicional. A retomada das características físicas e sociais da Cidade Tradicional como parâmetro de Desempenho do Desenho Urbano é resultante do entendimento de que a Cidade Tradicional possuía qualidades e que foram preteridas pelo Desenho Urbano Moderno.

O Novo Urbanismo e da Cidade Compacta, resgatam estas características e as inserem novamente no repertório projetual do Urbanismo Contemporâneo. Estas teorias buscam replicar e ampliar a qualidade das cidades existentes antes do Planejamento Urbano Moderno, tido como um dos responsáveis por agravar a crise urbana nas cidades ocidentais durante o século XX.

As medidas urbanas utilizadas foram estabelecidas considerando as dimensões do homem. As distâncias entre os equipamentos urbanos e as áreas residenciais, na Cidade Tradicional, eram limitadas pelo percurso que o habitante era capaz de realizar a pé.

As dimensões dos ambientes urbanos eram estabelecidas por meio das limitações físicas de seus moradores. Por exemplo as praças renascentistas eram definidas considerando o campo visual dos indivíduos e as atividades eram dispostas de acordo com o percurso realizado pelo pedestre.

Os dados levantados nesta tese possibilitaram que pudéssemos identificar e definir os parâmetros de desempenho utilizados na definição do algoritmo para a produção de bairros. Os parâmetros utilizados para a definição do algoritmo generativo estão reunidos na Tabela 5.4 (p. 248).

Tabela 5.4 - Tabela resumo de parâmetros físicos adotados para a produção de bairros e quarteirões e características a serem contempladas pelo Desenho Urbano.

PARÂMETROS FÍSICOS UTILIZADOS
QUARTEIRÃO
Dimensão: 0,5-1ha
Forma: Quadrada (50 x 50m) – Retangular (80 x 50 m)
Lotes:
5x25m
10x25m
15x25m
BAIRRO
Dimensão: 120 ha – 1,2 km ²
Raio de influência: 600-800 m
DENSIDADE
75 habitações por hectare
População: 15000
CARACTERÍSTICAS A SEREM CONTEMPLADAS
Diversidade de formas
Diversidade de Funções
Diversidade Pessoas
Priorização do deslocamento a pé em detrimento do uso do automóvel
Densidade Populacional compatível com os equipamentos públicos disponíveis na área urbana

Fonte: Elaborado pelo autor.

As características utilizadas para a definição do bairro foram reunidas na Tabela 4.2 (p. 186). O tamanho do bairro foi estabelecido considerando o raio gerado a partir das distâncias máximas que o pedestre consegue percorrer para que este tenha suas necessidades diárias atendidas sem que necessite do automóvel.

Outro aspecto considerado foi adequar a população ao espaço disponível, de modo que esta relação (entre território e população) proporcionasse densidades adequadas a manutenção das atividades urbanas.

A densidade foi definida considerando a compacidade, ou seja, manter e viabilizar núcleos urbanos compactos. A quantidade de edificações definida (e ilustrada na Tabela 5.4) setenta e cinco habitações por hectare está de acordo com o estabelecido pela cidade compacta e tem por objetivo garantir a diversidade de usos e garantir as interações sociais.

Estes parâmetros foram utilizados para a produção de um algoritmo generativo e ao mesmo tempo servem como critérios de Desempenho. Isso se dá pelo fato de que, as soluções são produzidas a partir das restrições e das variáveis explicitadas na Tabela 5.4 (p. 248).

A utilização dos diferentes parâmetros e características definidos tentam garantir que as soluções apresentadas possam ser aplicáveis. Os algoritmos propostos neste capítulo têm o objetivo de produzir soluções urbanas de bairros e de quarteirões que estejam de acordo com os parâmetros apresentados.

As soluções produzidas tentam garantir, a partir dos critérios de Desempenho, que os espaços propostos possam proporcionar locais que se eventualmente ocupados proporcionem uma vida social urbana sustentável.

O algoritmo definido a partir destes parâmetros se divide nas seguintes etapas:

Etapa 1 - definição do *Grid* (da malha urbana): estabelecer a configuração da malha urbana, se traçado reticular (ou ortogonal), se radial, ou orgânica;

Etapa 2 – Subdivisão das quadras: dividir as quadras em lotes de acordo com as atividades (se residencial, comercial, serviço, etc) e com as dimensões especificadas;

Etapa 3 - Distribuição das atividades urbanas a partir dos raios de circulação de pedestres;

Etapa 4 - Distribuição das densidades urbanas de acordo com as atividades urbanas (residencial, comercial, serviço, etc).

Estas etapas definem o fluxo de aplicação das diretrizes generativas de projeto. O procedimento estabelecido pelo algoritmo pode ser descrito também pelo diagrama ilustrado na Figura 5.18.

Figura 5.18 - Diagrama simplificado contendo a sequência de tarefas a serem executadas pela aplicação para o algoritmo generativo para a produção de bairros.



Fonte: Elaborado pelo autor

O algoritmo proposto agrupa um conjunto de procedimentos que devem ser aplicados em conjunto com as especificações reunidas para a produção de soluções generativas de bairros. Estas etapas podem ser implementadas através de linguagens de programação (na produção de *softwares* específicos) ou podem ser aplicadas através de *softwares* de modelagem paramétrica algorítmica, como o *Grasshopper*.

5.3 Considerações finais do capítulo

Neste capítulo são explicados os procedimentos metodológicos aplicados para o desenvolvimento do trabalho realizado nesta tese. Foram definidas e identificadas as escalas urbanas de trabalho, no caso, o Bairro e Quarteirão.

A partir destas escalas estabelecemos quais os parâmetros seriam capazes de proporcionar a produção de soluções urbanas que atendessem as premissas do Novo Urbanismo e da Cidade Compacta. Estes parâmetros foram formalizados em tabelas e utilizados para a definição de dois algoritmos generativos, um para a produção de Bairros e outro para Quarteirões.

Após a definição dos algoritmos selecionamos o algoritmo de produção de quarteirões para a transcrição do mesmo para a linguagem de programação *Java*. A transposição do algoritmo possibilitou o desenvolvimento de um protótipo de *software* geração de soluções de configuração de quarteirões, O ArquiTec.

Para o desenvolvimento deste *software* contamos com o auxílio de um profissional da área de computação, que programador foi responsável por transcrever os parâmetros e relações definidas no algoritmo para a *Java*.

Esta seção permitiu que explicitássemos o ArquiTec funciona e quais etapas são desempenhadas pelo usuário e quais são executadas pelo *software*. Apresentamos ainda o conjunto de parâmetros que foram utilizados para a produção das soluções de quarteirões demonstradas e analisadas no Capítulo 6.

Capítulo 6

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES TEÓRICO PRÁTICAS

Neste capítulo apresentamos e discutimos as soluções geradas pelo ArchiTec para os dois cenários de projeto de bairros. Os cenários definem duas situações que se diferenciam entre si pelos parâmetros definidos. Estas situações de projeto foram propostas para que pudéssemos demonstrar como o *software* proposto se comporta. Os resultados produzidos permitiram que verificássemos a eficácia da aplicação em produzir soluções que estivessem em acordo com os parâmetros de Desempenho definidos nas seções anteriores. Estes parâmetros foram definidos com base na Cidade Compacta e no Novo Urbanismo, que retiram suas diretrizes de características da Cidade Tradicional. O uso de densidades adequadas, diversidade de uso nos espaços urbanos e priorização do transporte de pedestre sobre o uso do automóvel, são atributos que devem ser estabelecidos com o objetivo de garantir cidades sustentáveis.

6.1 Apresentação das soluções produzidas pelo sistema

As soluções apresentadas neste trabalho foram produzidas a partir do uso do aplicativo desenvolvido, o ArchiTec. Este aplicativo foi criado a partir do algoritmo proposto para a produção de soluções de quarteirões. O desenvolvimento da aplicação e a sua implementação em linguagem de programação permitiu que demonstrássemos o processo de inserção de métodos Generativos de projeto na produção de espaços urbanos.

As soluções geradas foram agrupadas de acordo com dois cenários de análise pré-definidos. Os cenários foram estabelecidos e definidos a partir da identificação de parâmetros de desempenho contidos nos preceitos teóricos da Cidade Compacta e do Novo Urbanismo.

No sentido de produzir as soluções estabelecemos um quarteirão com a dimensão de 70x140,00m, que corresponde a uma área de 0,98 hectares. Para esta tipologia de quarteirão foram simuladas vinte soluções urbanas, dez para o cenário 1 e dez para o cenário 2.

Os parâmetros relativos ao cenário 1 e 2 também foram aplicados na produção de quarteirões quadrados com a dimensão de 70x70,00m (0,49 hectares). A utilização de quarteirões de dimensões diferentes permitiu que verificássemos como o algoritmo, implementado através do ArchiTec pode ser utilizado para produzir soluções variadas.

As dimensões do quarteirão são inseridas no ArchiTec através da pasta *Main.Java*, que contém as linhas de comando que possibilitam a definição da dimensão do quarteirão. Este controle é feito através da inserção da dimensão pretendida nas linhas de comando de a dez a doze (Figura 6.1, p. 254).

Figura 6.1 - Pasta *Main* com as linhas de comando que controlam as dimensões do terreno.

```

1 package br.java.exec.main;
2
3 import br.java.core.Terreno;
4
5 public class Main {
6
7     public static void main(String[] args) {
8         Terreno terreno = null;
9         try{
10             if(args.length < 2) {
11                 terreno = new Terreno(50.00f, 100.0f);
12             } else {
13                 terreno = new Terreno(Float.valueOf(args[0])
14             }

```

Fonte: Elaborado pelo autor.

As frações urbanas e as dimensões inseridas no ArquiTec para a produção de soluções urbanas de quarteirões são demonstradas na Tabela 6.1(p.254). Estas dimensões foram utilizadas para a produção das soluções geradas para os cenários de análise 1 e 2.

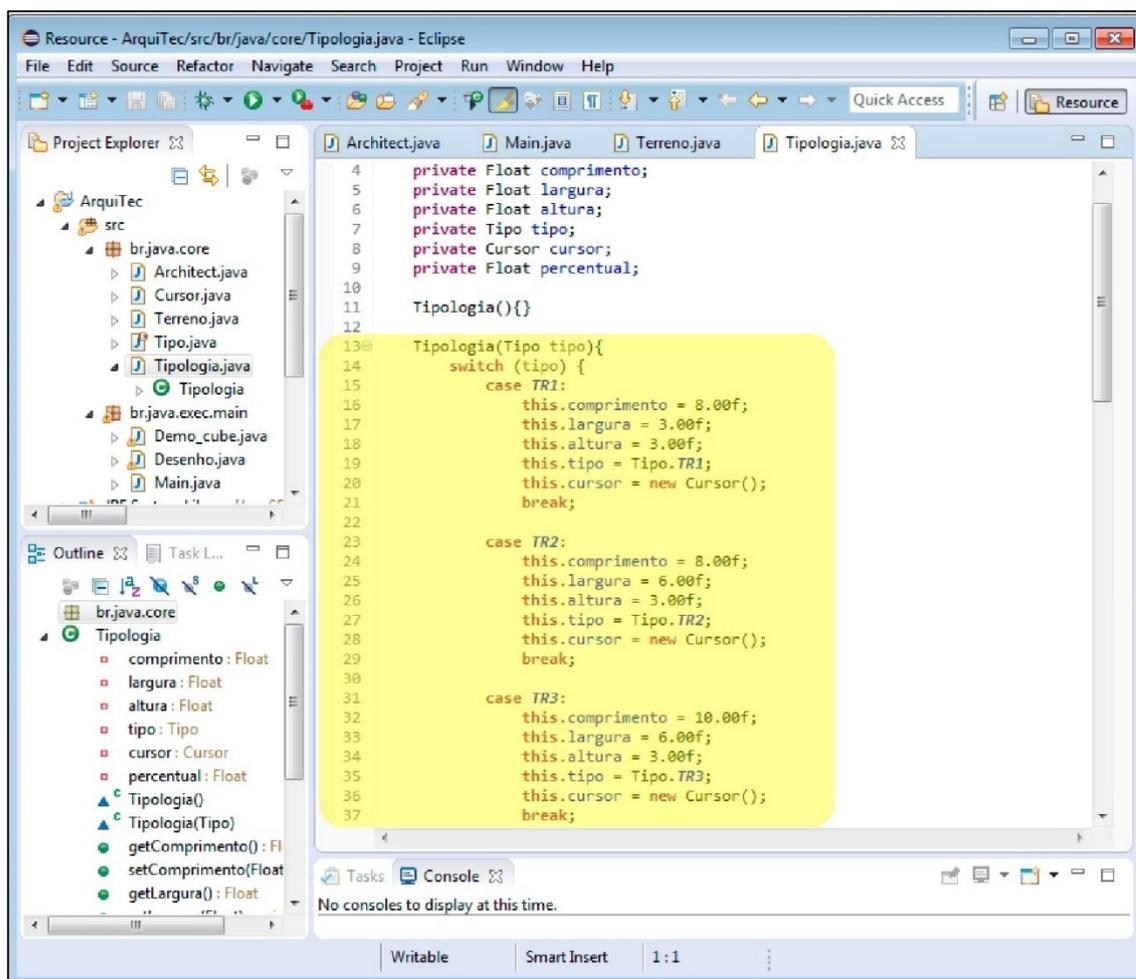
Tabela 6.1 - Dimensões das frações urbanas aplicadas no ArquiTec para a produção das soluções de quarteirões.

TIPO DO LOTE	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Área(m ²)	CARACTERIZAÇÃO
R1	7,50	35,00	4,50	262,50	Fração residencial-R1
R2	10,00	35,00	4,50	350,00	Fração residencial-R2
R3	15,00	35,00	6,00	525,00	Fração residencial-R3
R4	20,00	35,00	6,00	700,00	Fração residencial-R4
C1	10,00	35,00	6,00	350,00	Fração comercial-C1
C2	10,00	35,00	9,00	350,00	Fração comercial-C2

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os parâmetros referentes as dimensões das tipologias urbanas são inseridas dentro do ArquiTec através do *Eclipse Mars*. Com a aplicação carregada no gerenciador de aplicativos *Java* o usuário deve acessar a pasta *tipologia* e nas linhas de comando (de quinze a cento e vinte) inserir as dimensões desejadas para cada fração ver Figura 6.2 (p.255).

Figura 6.2 - Pasta *Tipologia* com as linhas de comando que controlam as dimensões das tipologias.



```
4 private Float comprimento;
5 private Float largura;
6 private Float altura;
7 private Tipo tipo;
8 private Cursor cursor;
9 private Float percentual;
10
11 Tipologia(){
12
13 Tipologia(Tipo tipo){
14     switch (tipo) {
15         case TR1:
16             this.comprimento = 8.00f;
17             this.largura = 3.00f;
18             this.altura = 3.00f;
19             this.tipo = Tipo.TR1;
20             this.cursor = new Cursor();
21             break;
22
23         case TR2:
24             this.comprimento = 8.00f;
25             this.largura = 6.00f;
26             this.altura = 3.00f;
27             this.tipo = Tipo.TR2;
28             this.cursor = new Cursor();
29             break;
30
31         case TR3:
32             this.comprimento = 10.00f;
33             this.largura = 6.00f;
34             this.altura = 3.00f;
35             this.tipo = Tipo.TR3;
36             this.cursor = new Cursor();
37             break;
```

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os cenários propostos se distinguem entre si pela densidade e pela atividade de funções definida para cada situação de projeto. Para o cenário 1 foram definidas as densidades estabelecidas na Tabela 6.2, p. Tabela 6.2 – Especificação com as quantidades de unidades por tipologia do cenário de análise 1.256).

Tabela 6.2 – Especificação com as quantidades de unidades por tipologia do cenário de análise 1.

DESCRIÇÃO		QUANTIDADES
R1	Tipologia Residencial 1	5
R2	Tipologia Residencial 2	5
R3	Tipologia Residencial 3	5
R4	Tipologia Residencial 4	5
C1	Tipologia Comercial 1	1
C2	Tipologia Comercial 2	0

Fonte: Elaborado pelo autor

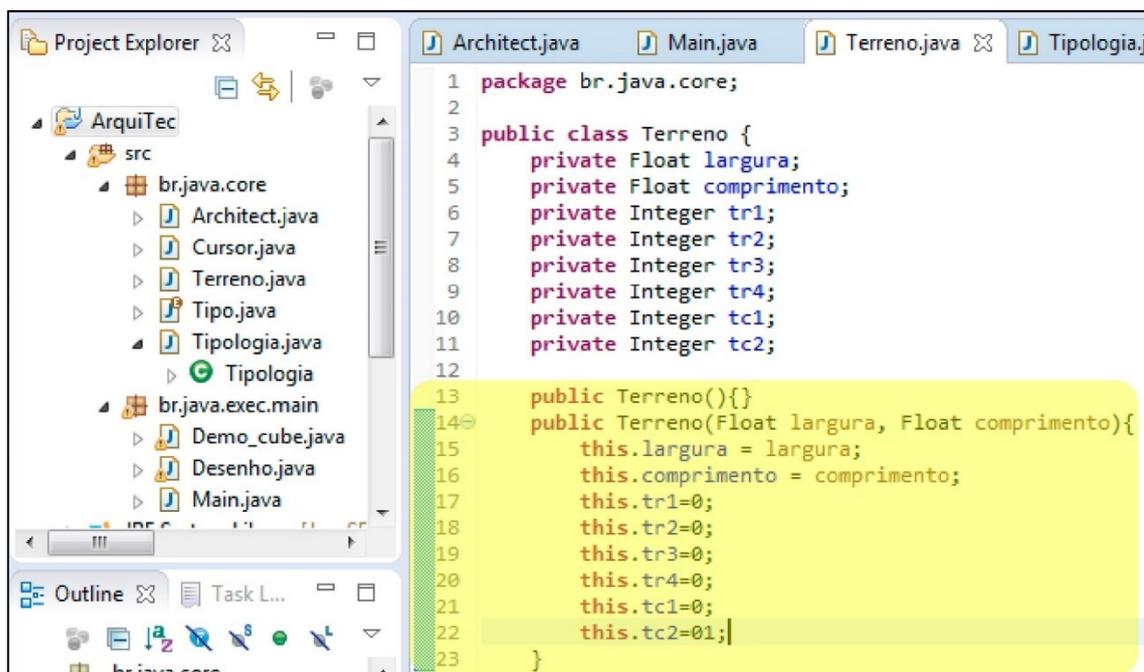
Para o cenário 2 as quantidades definidas por tipologia adotadas no ArchiTec são apresentadas na Tabela 6.3 (p.256).

Tabela 6.3 - Especificação com as quantidades de unidades por tipologia do cenário de análise 2.

DESCRIÇÃO		QUANTIDADES
TR1	Tipologia Residencial 1	0
TR2	Tipologia Residencial 2	20
TR3	Tipologia Residencial 3	5
TR4	Tipologia Residencial 4	0
TC1	Tipologia Comercial 1	0
TC2	Tipologia Comercial 2	1

Fonte: Elaborado pelo autor

A quantidade de tipologias a serem distribuídas pelo ArchiTec são definidas através da pasta *Terreno.Java*, que permite que possamos estabelecer o número de unidades para cada tipologia. Para isso é necessário alterar os valores nas linhas de comando dezessete a vinte e dois (Figura 6.3, p. 257).

Figura 6.3 - Pasta *Terreno* com as especificações de quantidades de tipologias.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A qualidade das soluções geradas é validada pelas restrições e pelos parâmetros de Desempenho definidos neste trabalho. Estas condicionantes foram estruturadas em um algoritmo generativo de soluções urbanas de quarteirão. Deste modo o sistema proposto passa a gerar as soluções que estejam em acordo com os parâmetros elencados.

Ao restringir o universo de soluções produzidas àquelas que atendem às necessidades projetuais um sistema generativo faz com que o arquiteto passa se relacionar apenas com as soluções que atendam as diretrizes de projeto desejadas.

6.1.1 A produção algorítmica de quarteirões urbanos no ArquiTec

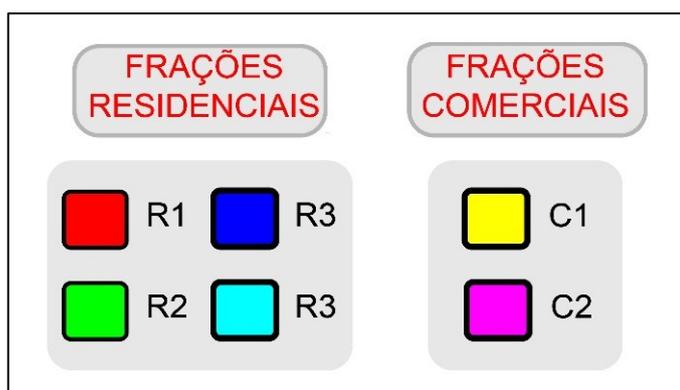
As soluções produzidas pelo ArquiTec foram geradas a partir dos cenários de análise descritos nas Tabela 6.2 (p. 256) e 6.3 (p. 256). As interações entre as variáveis foram definidas através do algoritmo proposto para a produção de soluções urbanas de quarteirões (descritos na Figura 5.18, p. 250).

O cenário de análise 1 é caracterizado pela utilização de todas as tipologias residenciais (TR) e da aplicação da tipologia comercial (TC1). Cada uma das tipologias

será inserida dentro do espaço definido para o quarteirão até que alcancem a quantidade de cinco unidades. Ao término do processo esta quantidade proporcionará uma densidade de vinte parcelas de uso residencial e uma parcela de uso comercial.

Estas parcelas (ou frações) são representadas através de cores e de blocos tridimensionais (ver Figura 6.4, p.258). Esta representação permitiu que pudéssemos identificar as tipologias inseridas no sistema.

Figura 6.4 - Legenda de cores das frações urbanas utilizadas.

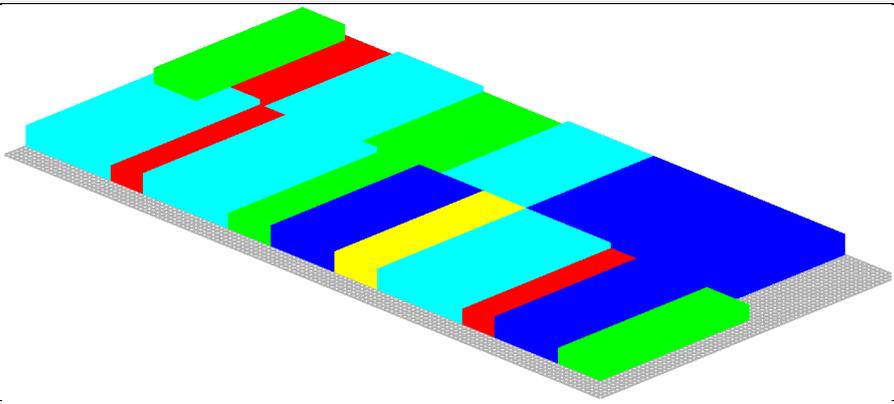
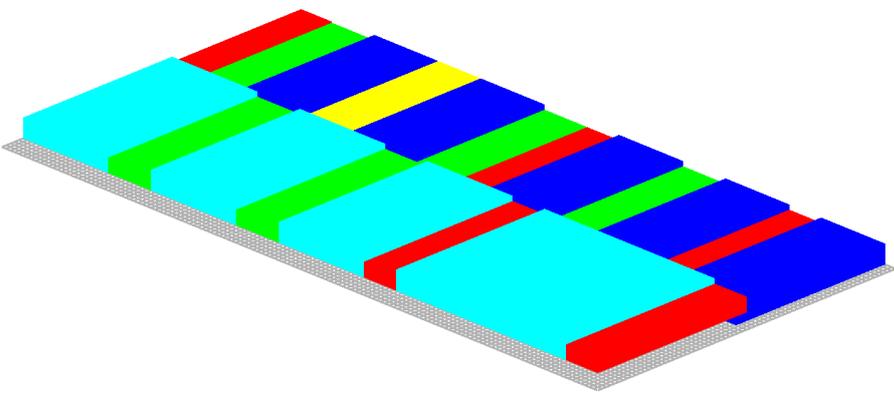
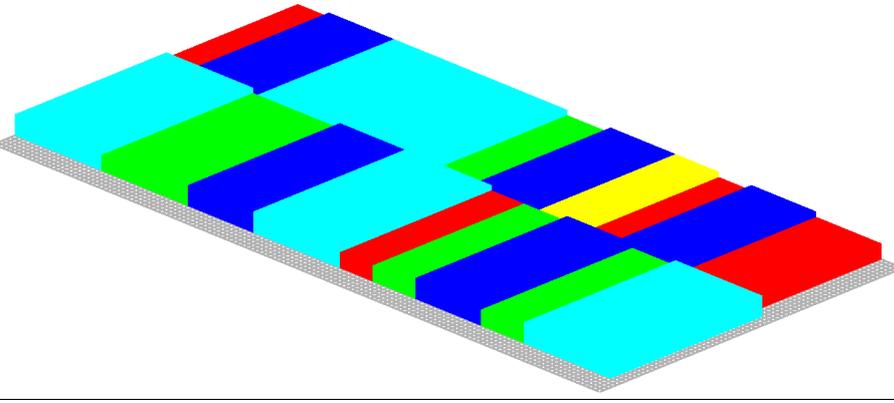
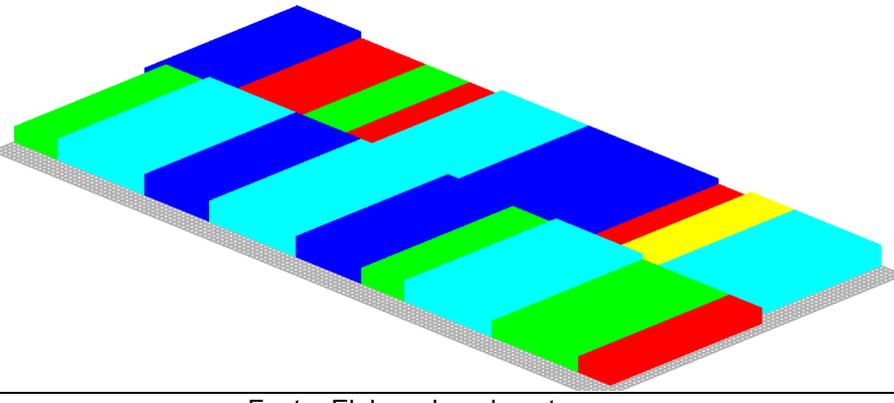


Fonte: Elaborado pelo autor

As soluções produzidas pelo ArchiTec para a produção de quarteirões são apresentadas nas tabelas a seguir. Os resultados gerados são apresentados na forma de diagramas tridimensionais que permitem a visualização de possíveis configurações de quarteirão.

O Quadro 6.1 (p. 259), Quadro 6.2 (p. 260) e o Quadro 6.3 (p. 261) apresentam as soluções produzidas no ArchiTec para o Cenário 1. As parcelas estão agrupadas de maneira diversa sobre a área definida para este cenário, 0,98 hectares.

Quadro 6.1 – Soluções de 1 a 4 produzidas pelo ArquITec para o Cenário 1

SOLUÇÕES	
SOLUÇÃO 1	
SOLUÇÃO 2	
SOLUÇÃO 3	
SOLUÇÃO 4	

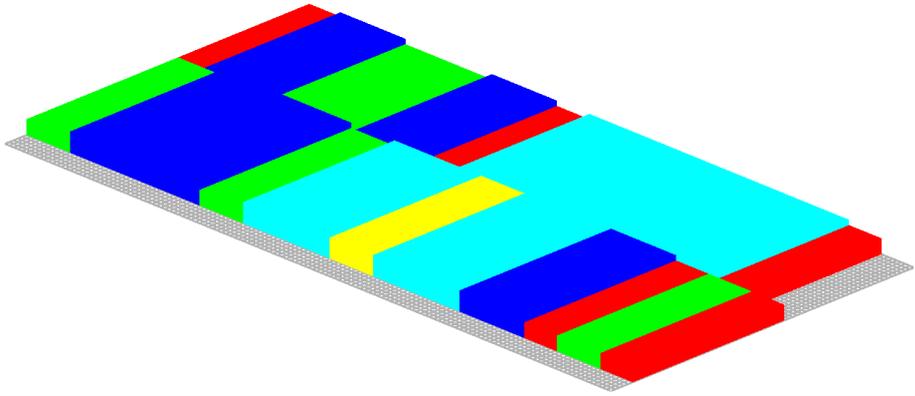
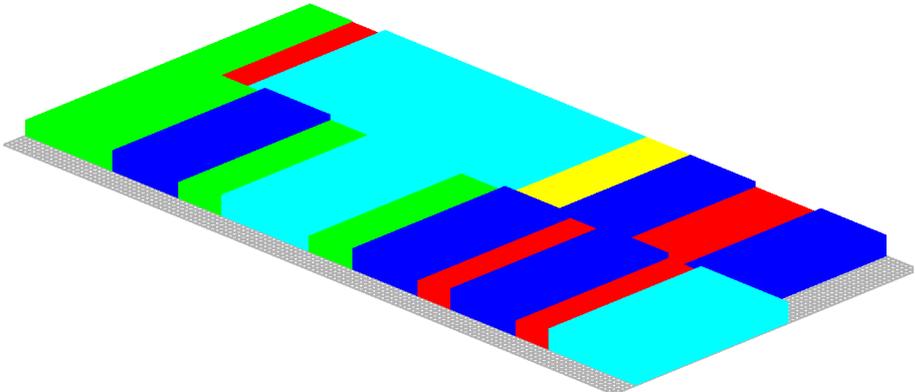
Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 6.2 – Soluções de 5 a 8 produzidas pelo ArquITec para o Cenário 1

SOLUÇÕES	
SOLUÇÃO 5	
SOLUÇÃO 6	
SOLUÇÃO 7	
SOLUÇÃO 8	

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 6.3 – Soluções de 9 e 10 produzidas pelo ArchiTec para o Cenário 1

SOLUÇÕES	
SOLUÇÃO 9	
SOLUÇÃO 10	

Fonte: Elaborado pelo autor

Os parâmetros definidos para o cenário 1 tinham o objetivo de definir a produção de soluções de quarteirões que tivessem uma característica predominantemente residencial. Este tipo de quarteirão tende a ser o mais comum dentro dos espaços urbanos, uma vez que a função habitacional ocorre com maior frequência dentro das cidades.

Outro aspecto considerado na definição deste cenário de análise foi a presença de uma unidade comercial de pequeno porte (loja de conveniência, padaria, pequeno mercado, etc) que pudessem atender as necessidades comerciais dos moradores da área e do bairro em que estas quadras estivessem inseridas.

Quanto a densidade adotada aplicamos a densidade de 20 lotes urbanos residenciais e um lote de uso comercial. As dimensões das frações urbanas que constituem os quarteirões produzidos foram definidas para que pudessem receber edificações de tamanhos e tipos diferentes, uma vez que os blocos representados nas propostas produzidas correspondem ao espaço urbano passível de ser ocupado.

Restrições urbanas legais tais como taxas de ocupação (percentual máximo de superfície do lote que pode ser ocupado pela edificação) e afastamento entre o edifício e as divisas do lote, assim como alturas máximas e número de pavimentos, podem ser definidos através de legislações específicas que atuem sobre as edificações a serem inseridas nos lotes apresentados.

Estas restrições podem ser incorporadas previamente no algoritmo generativo. Neste trabalho optamos por não as inserir pelo fato de que estas legislações variam de acordo com o bairro ou região urbana em que se está intervindo. Isto restringiria o algoritmo a uma área ou cidade específica o que não é o objetivo desta tese.

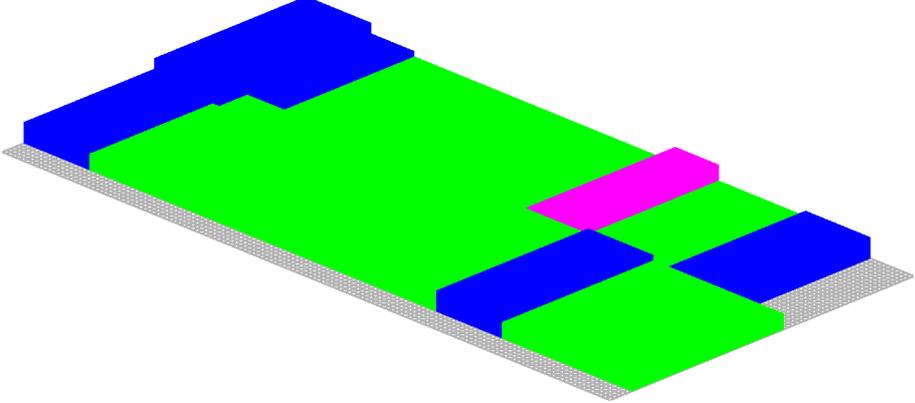
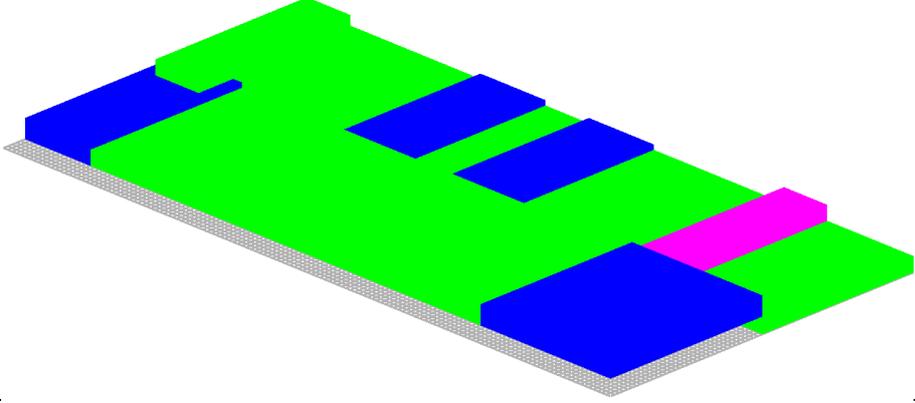
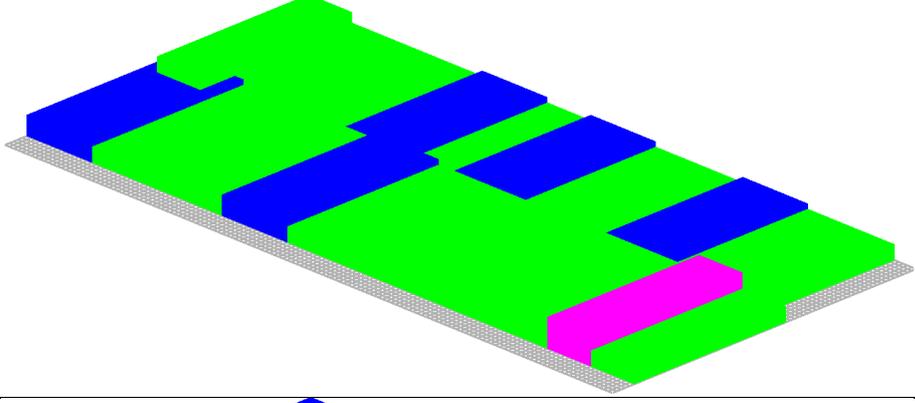
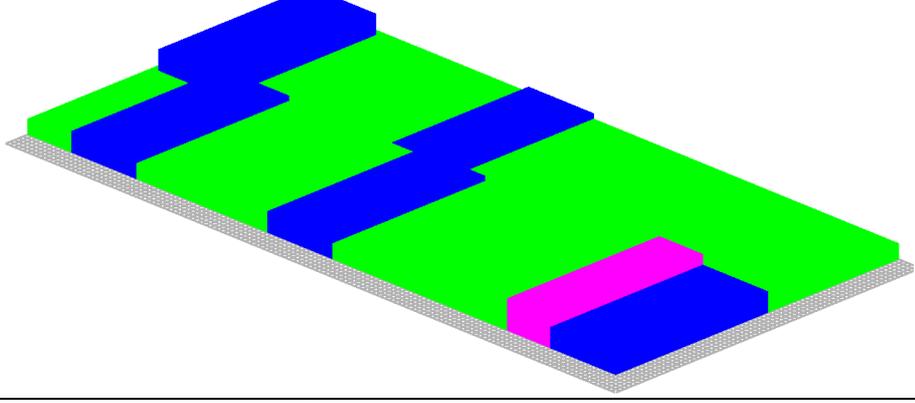
Nosso interesse maior é que os algoritmos aqui definidos sirvam como base para aplicação de estratégias generativas de projeto urbano. Que a partir dos parâmetros especificados o usuário possa modificar (e ou adaptar) o algoritmo através da inserção de novos parâmetros e (ou) regras de combinação. Deste modo o sistema proposto poderá ser expandido para atender um grande número de situações de projeto.

As soluções apresentadas nos Quadros 6,1, 6,2 e 6.3 apresentam algumas possibilidades de configuração de quarteirões. Os resultados produzidos atendem a densidade e as relações definidas para os cenários e determinadas pelo algoritmo proposto.

A variedade de funções é proporcionada pelo uso de tipologias residenciais de lotes de tamanhos diferentes, apesar da predominância da função residencial. A variação nas dimensões das parcelas dá ao espaço urbano a possibilidade de ser ocupado por edificações de tamanhos e formas diferentes.

As soluções produzidas proporcionam, além da variedade formal de edificações através de lotes de tamanhos diferentes, que tipos diferentes de indivíduos ou famílias compartilhem o mesmo espaço urbano. Isso se dá pelo fato de que a variação na dimensão das tipologias de lotes residenciais adotadas pode atender às necessidades específicas de perfis diferentes de habitantes. O Quadro 6.4 (p.263), Quadro 6.5 (p. 264) e o Quadro 6.6 (p.265) apresentam as soluções produzidas para o Cenário 2.

Quadro 6.4 – Soluções de 1 a 4 produzidas pelo ArquITec para o Cenário 2

SOLUÇÕES	
SOLUÇÃO 1	
SOLUÇÃO 2	
SOLUÇÃO 3	
SOLUÇÃO 4	

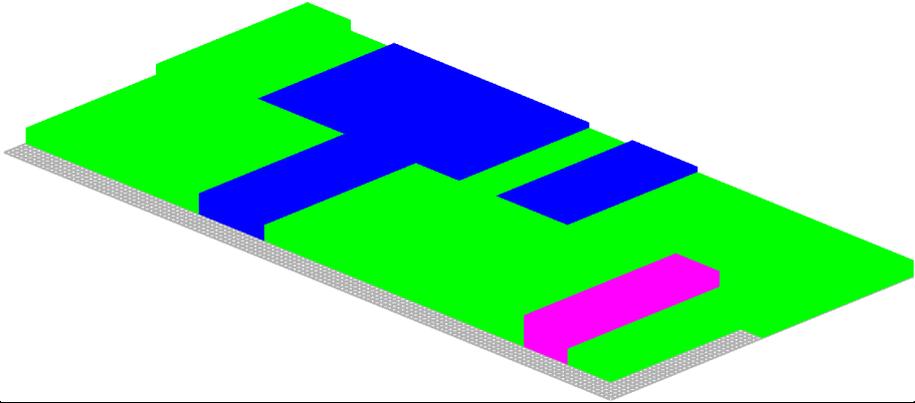
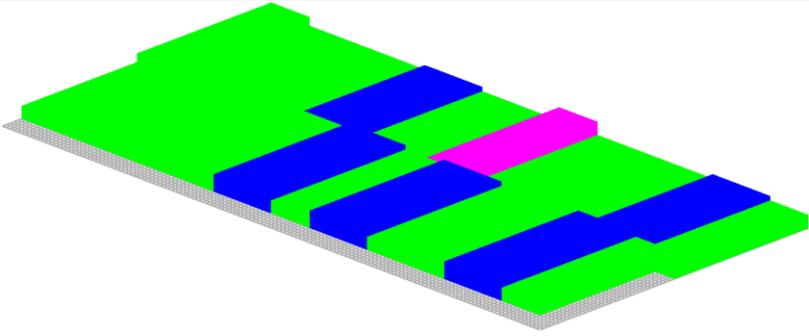
Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 6.5 – Soluções de 5 a 8 produzidas pelo ArchiTec para o Cenário 2

SOLUÇÕES	
SOLUÇÃO 5	
SOLUÇÃO 6	
SOLUÇÃO 7	
SOLUÇÃO 8	

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 6.6 – Soluções de 9 e 10 produzidas pelo ArchiTec para o Cenário 2

SOLUÇÕES	
SOLUÇÃO 9	
SOLUÇÃO 10	

Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados produzidos para o cenário 2 apresentados nos quadros 6.4, 6.5 e 6.6 assim como os do cenário 1 atendem as especificações definidas para o contexto de análise criado.

O cenário 2 foi produzido com o objetivo de produzir quarteirões urbanos de caráter residencial, assim como o do cenário 1. No entanto o cenário 2 retirou do conjunto de tipologias residências as tipologias TR1 e TR4.

A tipologia TR1 foi removida por que pela sua dimensão reduzida (7,5x35,00m) proporciona uma menor quantidade de possibilidades edilícias. Já o lote do tipo TR4 foi retirado por ser a fração urbana de maior dimensão (20x35,00m).

Apesar de possibilitar uma grande quantidade de tipos de edificações parcelas maiores correspondem a unidades urbanas mais caras o que reduz o perfil do usuário a parcelas sociais com maior poder aquisitivo. Neste sentido optamos por definir um tipo de quarteirão residencial que fizesse uso apenas das parcelas urbanas

residenciais de tamanho intermediário TR2 e TR3. Acreditamos que isto proporciona uma variedade nos tipos de edificações e no perfil de usuário.

A parcela comercial adotada para este cenário a (parcela C2) possui uma altura de 9,00m. Este tipo de lote possibilita a produção de edificações de até três pavimentos. Neste caso seria possível a proposição de edificações de uso misto, que abrigassem funções (tais como serviço e habitação) diferentes em cada dos seus pavimentos.

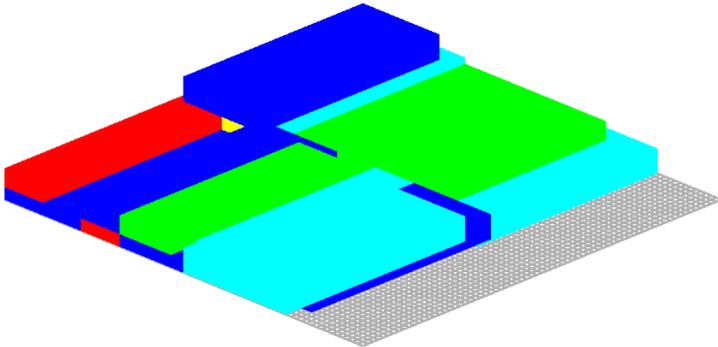
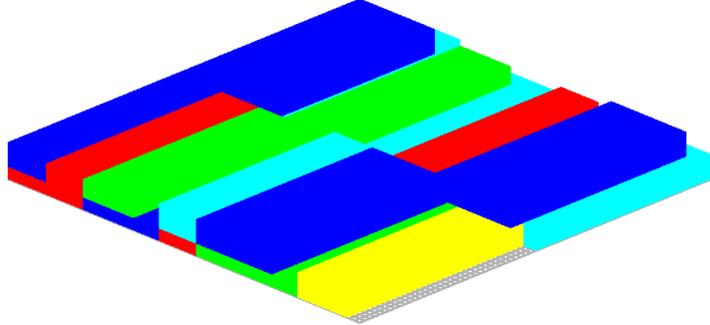
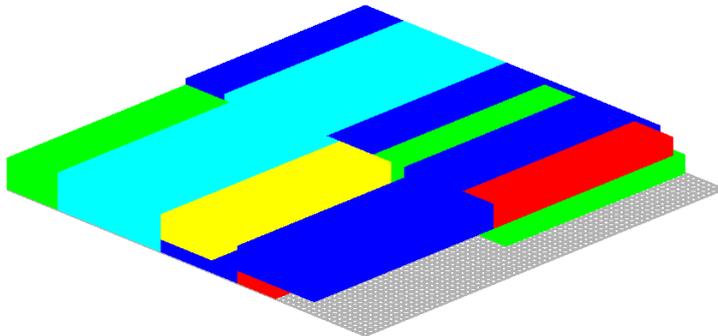
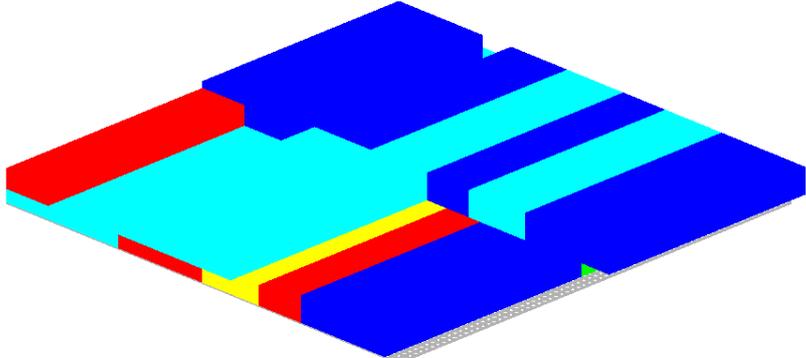
A densidade aplicada no cenário dois foi a de vinte e cinco unidades habitacionais para uma unidade comercial em um quarteirão de 0,98 hectares. Esta dimensão permitiu que o ArquiTec produzisse soluções em que frações urbanas diferentes pudessem ser sobrepostas. Estas sobreposições são produzidas sempre que as unidades urbanas ultrapassam a superfície do terreno.

Ao observarmos os resultados obtidos tanto para o cenário 1 quanto para o cenário 2 é possível perceber que as soluções obtidas em cada contexto de análise possuem semelhanças entre si. Deste modo é possível afirmar que cada conjunto de especificações é capaz de produzir um universo de soluções que guardam semelhança entre si.

Estas similaridades são possíveis pelo fato de que os resultados proporcionados pela aplicação do ArquiTec são produzidos a partir dos parâmetros e das restrições urbanas definidas pelo algoritmo proposto. Este algoritmo possui um conjunto comum de restrições que determinam o tipo de soluções possíveis de serem produzidas pelo sistema.

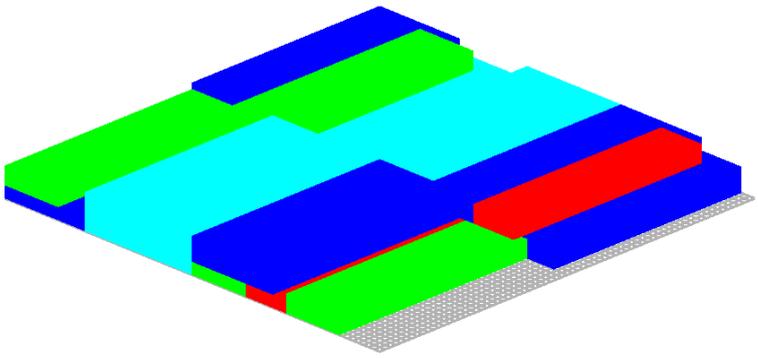
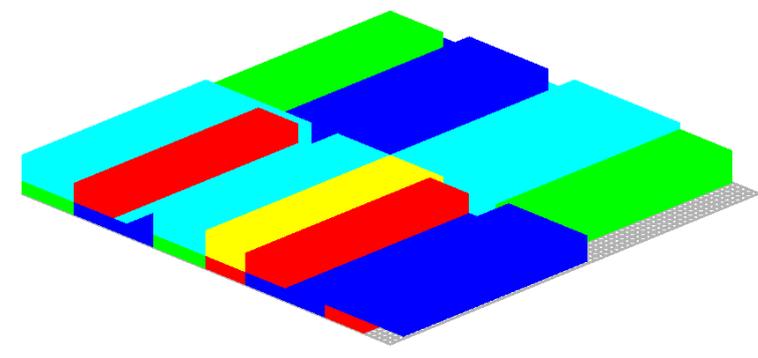
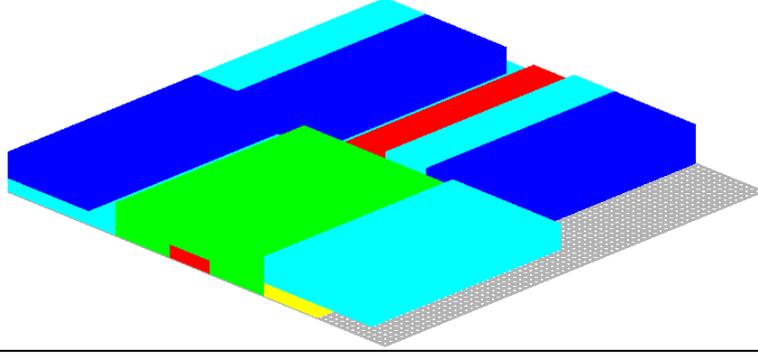
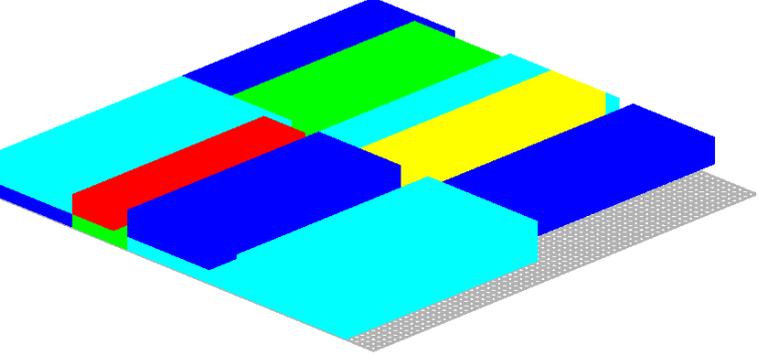
Com o intuito de demonstrar as possibilidades das soluções produzidas pelo algoritmo através do ArquiTec as especificações do cenário 1 e 2 foram aplicadas em um quarteirão quadrado. Os resultados são apresentados no Quadro 6.7 (p. 267), Quadro 6.8 (p. 268), Quadro 6.9 (p.269) e no Quadro 6.10 (p. 270). Para este novo contexto (quarteirões quadrados) foram produzidas dezesseis soluções, oito para cada cenário.

Quadro 6.7 – Soluções de 1 a 4 pelo ArchiTec para o Cenário 1 considerando um quarteirão 0,49 hectare.

SOLUÇÕES	
SOLUÇÃO 1	
SOLUÇÃO 2	
SOLUÇÃO 3	
SOLUÇÃO 4	

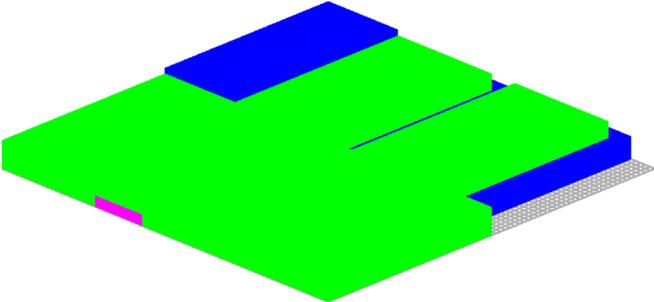
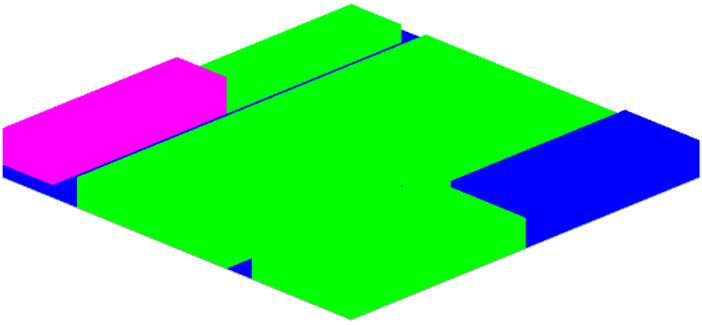
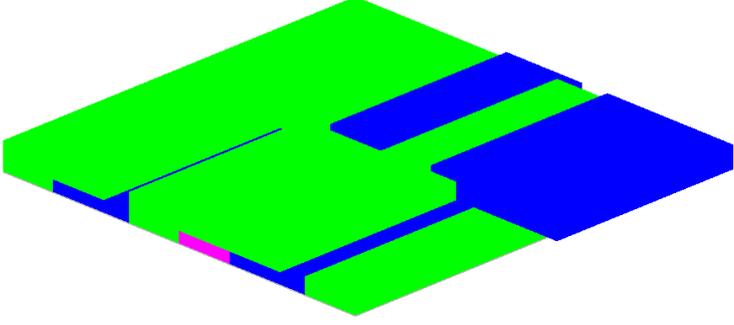
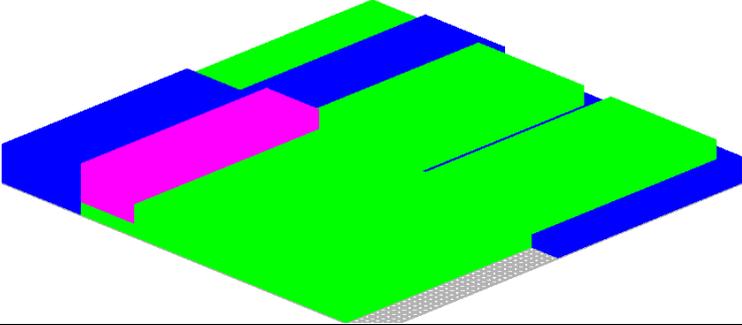
Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 6.8 – Soluções de 5 a 8 produzidas pelo ArquiTec para o Cenário 1 considerando um quarteirão 0,49 hectare.

SOLUÇÕES	
SOLUÇÃO 5	
SOLUÇÃO 6	
SOLUÇÃO 7	
SOLUÇÃO 8	

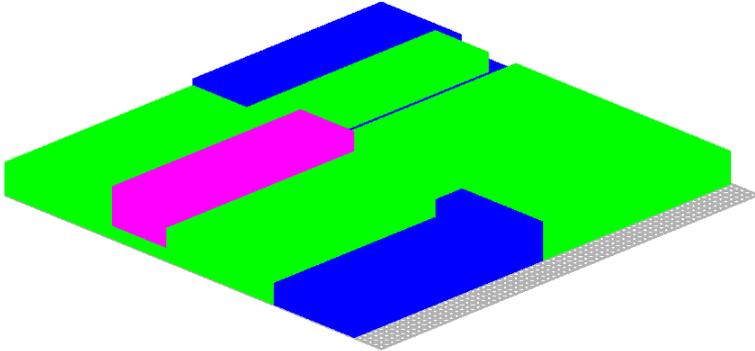
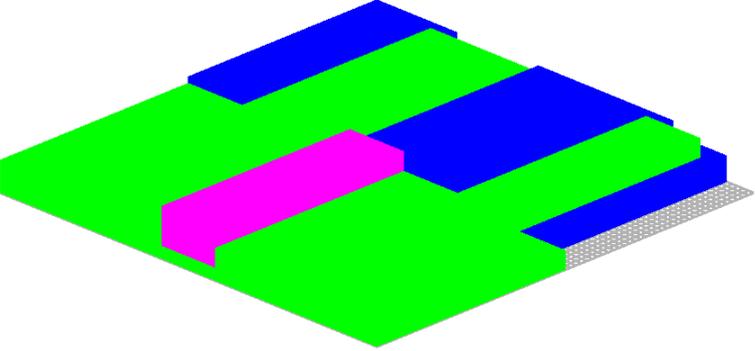
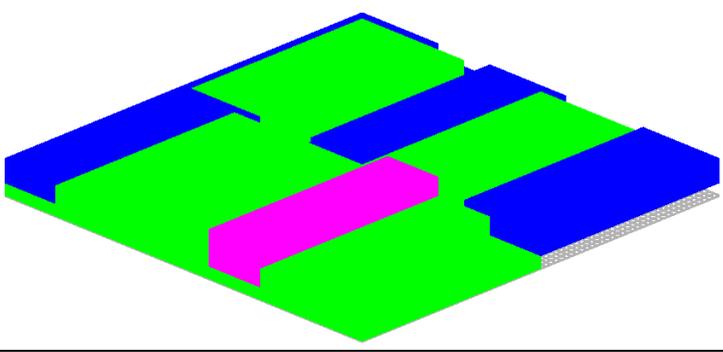
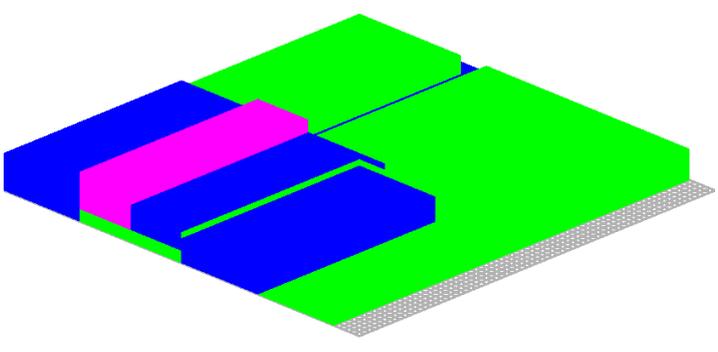
Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 6.9 – Soluções de 1 a 4 produzidas pelo ArchiTec para o Cenário 2 considerando um quarteirão 0,49 hectare.

SOLUÇÕES	
SOLUÇÃO 1	
SOLUÇÃO 2	
SOLUÇÃO 3	
SOLUÇÃO 4	

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 6.10 – Soluções de 5 a 8 produzidas pelo ArchiTec para o Cenário 2 considerando um quarteirão 0,49 hectare.

SOLUÇÕES	
SOLUÇÃO 5	
SOLUÇÃO 6	
SOLUÇÃO 7	
SOLUÇÃO 8	

Fonte: Elaborado pelo autor

A partir da alteração de uma especificação do conjunto é possível produzir novos tipos de soluções urbanas. Isso faz com que o arquiteto possa simular diversas possibilidades projetuais em um curto espaço de tempo. O mais importante é que as soluções geradas são estabelecidas considerando os parâmetros definidos no sistema generativo utilizado. Com isso o arquiteto passa a manipular conjuntos de soluções que atendem aos parâmetros de Desempenho desejados.

A abordagem paramétrica de Desenho Urbano baseada na produção de algoritmos dá ao urbanista a possibilidade de produzir soluções urbanas de forma indireta. Ou seja, o arquiteto não define a solução, mas sim um procedimento que quando aplicado produz soluções projetuais.

Neste processo é essencial a definição dos parâmetros e das relações que serão estruturadas no algoritmo. Portanto são as variáveis e o modo como estas se combinam que serão responsáveis pela produção das soluções. Cabe ao arquiteto e urbanista conhecer o objeto que está projetando para que possa definir adequadamente seu modelo de produção de soluções.

6.2 Considerações gerais sobre a aplicação de linguagens de programação e de algoritmos como ferramenta de projeto urbano

O algoritmo (ou a lógica algorítmica, definida como conjunto de procedimentos aplicados de forma sequencial com o objetivo de produzir resultados) permite a definição de um procedimento capaz de produzir soluções projetuais a partir da definição de parâmetros e da aplicação de regras e restrições.

Ao produzir soluções projetuais a partir de parâmetros e relações possibilita a inserção dos parâmetros de desempenho dentro do processo projetual. Ao mesmo tempo o sistema gerador de soluções restringe as possibilidades projetuais àquelas que atendam as variáveis generativas do sistema.

Esta característica contribui para a produção de espaços urbanos sustentáveis pois leva ao surgimento de soluções urbanas que estejam em acordo com os parâmetros do sistema. Em um processo projetual tradicional o projetista não

tem como garantir que todas as suas soluções atendam às variáveis definidas pelo seu programa funcional.

O projeto algorítmico oferece ao arquiteto e urbanista condições de produzir soluções baseadas em parâmetros de Desempenho. Esta possibilidade é potencializada através da aplicação de sistemas computacionais que auxiliam e otimizam o processo de produção e verificação dos resultados de projeto.

Dentro de uma estratégia algorítmica paramétrica uma das maiores dificuldades encontradas pelo arquiteto e urbanista é a definição dos parâmetros e relações que irão definir o sistema generativo e ou o modelo paramétrico de projeto. Esta dificuldade se amplia quando são considerados projetos complexos.

Neste sentido a definição de parâmetros e de um algoritmo básico que contemple critérios de desempenho contribui para a aplicação dos Sistemas Generativos de projeto no Desenho Urbano.

Outro aspecto é o fato de que ao definir um conjunto básico de parâmetros urbanos e estruturá-los em uma sequência de etapas é possível proporcionar ao usuário a possibilidade de interagir com o sistema proposto e a partir desta interação ele poderá definir novas relações ou novos parâmetros.

O algoritmo proposto funciona como um código aberto que permite que o usuário possa colaborar com a melhoria do mesmo. Esta lógica é semelhante à de *softwares open source* em que o código fonte de um aplicativo é disponibilizado para que este possa ser modificado e melhorado.

A utilização de linguagem de programação como ferramenta de projeto se mostrou bem consistente. Ela possibilitou que pudéssemos simular inúmeros cenários urbanos e ao mesmo tempo alterar os resultados produzidos a partir de modificações nos parâmetros de projeto.

A dificuldade que encontramos na utilização desta estratégia se deu pelo fato de que programar não é uma atividade familiar ao arquiteto. Houve a necessidade de estarmos em contato com um programador, para a implementação do algoritmo. No entanto, observamos que esta relação de dependência é maior no momento da implementação do algoritmo.

No momento em que as especificações são definidas e implementadas de forma adequada o papel do programador se reduz. Esse cenário se observa apenas quando o profissional em questão não domina o processo de programação. Profissionais de arquitetura que estejam familiarizados com programação poderão desenvolver seus aplicativos sem esta relação de dependência com o programador.

Outra dificuldade no uso destas estratégias é a definição de parâmetros e relações que sejam capazes de produzir um conjunto variado de soluções. Ao se executar repetidamente o sistema generativo as soluções tendem a se tornar semelhantes. Isso ocorre pelo fato de que ao se produzir resultados sobre um mesmo conjunto de diretrizes as soluções passam a obedecer um padrão. Este padrão é resultante da aplicação dos parâmetros e restrições definidas pelo sistema.

A ferramenta aqui desenvolvida, em caráter experimental, apresenta limitações. Uma série de implementações devem ser feitas para que o ArquiTec possa ser utilizado de forma eficiente. Melhorias, principalmente, na interface podem facilitar o uso da aplicação aqui proposta.

Embora apresente limitações gráficas na sua interface gráfica, as modificações que podem ser realizadas nas linhas de comando especificadas já permitem a produção de um conjunto variado de possibilidades formais. Os códigos dão ao usuário a possibilidade de controlar a dimensão do terreno e quantidade de tipologias inseridas no terreno.

Essas alterações são modificações simples de serem executados, pois independem de um conhecimento avançado em programação. Isto torna o ArquiTec possível de ser utilizado por usuários iniciantes.

Já alterações nas regras de distribuição necessitam de um conhecimento de programação mais profundo, pois, as relações de combinação são descritas com uma quantidade maior de linhas de comando.

Há neste trabalho a intenção de demonstrar que métodos computacionais podem servir de base para a produção de soluções de projeto que atendam não apenas a aspectos formais.

A utilização das ferramentas computacionais está associada a produção de geometrias complexas e a arquitetura futurista. Essa percepção faz com que muitos arquitetos limitem o uso destas tecnologias apenas para a produção de formas irregulares e na representação das mesmas. Isto afasta os métodos digitais de projeto do processo de projeção e o limita aos processos de visualização e documentação arquitetônica.

Computadores tem otimizado inúmeros processos no cotidiano das pessoas. A Arquitetura e o Urbanismo devem lançar mão desses processos com o objetivo de melhorar seus processos. Não se trata apenas da produção de formas complexas, mas sim de incorporar novos processos que sejam compatíveis com as demandas inerentes a construção.

Esses métodos devem ser empregados nas diversas escalas e tipologias arquitetônicas e não apenas para a produção de formas não euclidianas. É importante demonstrar que esses métodos podem ser empregados na produção arquitetônica cotidiana.

A arquitetura cotidiana pressupõe o uso de soluções ortogonais de caráter funcionalista e modernista, e que arquiteturas não ortogonais devam permanecer como expressões arquitetônicas de exceção. Apesar das novas tecnologias permitirem a incorporação, sem custos adicionais, de soluções não ortogonais ao dia a dia projetual e construtivo.

Embora o processo generativo seja um processo indireto de projeto, há ainda dentro do processo a existência de intuição. Ao definir parâmetros e restrições em algoritmo o arquiteto tem uma certa expectativa referente aos resultados produzidos pelo sistema. Mesmo que, sejam produzidas soluções diferentes das que sejam esperadas a intencionalidade ainda persiste no processo.

6.3 Considerações finais do capítulo

Neste capítulo apresentamos os resultados produzidos pelo ArchiTec para dois cenários de projeto. Os cenários propostos demonstram a flexibilidade do processo proposto ao permitir a rápida produção de soluções diferentes a partir da alteração dos parâmetros do sistema.

Os parâmetros considerados nos cenários de análise estudados foram definidos a partir das variáveis identificadas nas seções quatro e cinco desta tese. Nestes capítulos determinamos os parâmetros urbanos que deveriam ser contemplados para a produção de espaços urbanos sustentáveis.

Estes parâmetros foram a base para a produção dos algoritmos de produção de bairros e quarteirões que serviram para a formulação do *software* utilizado para a produção das soluções de quarteirões.

Os cenários inicialmente consideraram um quarteirão de formato retangular com a dimensão de 0,98 hectares. As situações de projeto propostas divergiam entre si pela quantidade de tipologias residenciais e comerciais a serem distribuídas sobre o quarteirão.

Os cenários propostos foram aplicados ainda sobre um quarteirão quadrado, para que pudéssemos produzir novas tipologias de quarteirão a partir da alteração de um dos parâmetros (no caso o tamanho e a forma da área ocupada).

A partir das soluções produzidas analisamos a eficiência da ferramenta e como os processos propostos nesta tese se comportaram no processo de Desenho Urbano de quarteirões. Discutimos ainda o papel do uso das linguagens de programação como dispositivo de auxílio ao processo de concepção urbana.

Alertamos para a dificuldade de uso das linguagens de *script* por arquitetos e urbanistas que não estão inteiramente familiarizados com os processos de programação computacional.

Capítulo 7

7 CONCLUSÕES

7.1 Resultados alcançados e contribuições

Esta tese aborda como o uso de algoritmos podem contribuir para o processo de Desenho Urbano, não apenas na otimização dos processos de produção projetual, mas como ferramenta de auxílio na produção de espaços urbanos melhores.

Planejar a cidade é uma atividade complexa pois exige que o profissional identifique e gerencie um grande volume de informações. Além disto as demandas por redução nos impactos ambientais e no consumo de recursos naturais fez surgir a necessidade de que as propostas urbanas geradas devessem atender a critérios que garantissem a qualidade das soluções apresentadas.

O uso de computadores nas ultimas seis décadas modificou o processo de produção arquitetônica. Estas alterações não ocorreram do mesmo modo nos processos de projeção urbana.

A presença das ferramentas computacionais no Desenho Urbano tem sido, na maior parte dos casos, restrita a representação gráfica de projetos. A ausência de opções de *softwares* específicos para o processo de projetos urbanos demonstra esta defasagem no uso de métodos computacionais de projeto no urbanismo.

No final do século XX e na primeira década do século XXI temos visto a transposição de técnicas de digitais de projeto para o desenho urbano. O urbanismo paramétrico e o desenvolvimento do *City Information Modeling* (CIM) têm se estabelecido como práticas digitais de projeto urbano.

Nestas abordagens a grande dificuldade encontrada está na definição de parâmetros que possam ser aplicados para a produção de modelos paramétricos e ou de soluções urbanas. Neste sentido entendemos a importância da definição de parâmetros urbanos que possam ser utilizados para a implementação destes métodos projetuais.

Identificar parâmetros que possam funcionar como parâmetros de Desempenho é determinante para o sucesso da aplicação de métodos algorítmicos de projeto. Para isso buscamos compreender o processo de formação das cidades e identificar dentro do Desenho Urbano que teorias seriam capazes de proporcionar estes parâmetros.

Nesta tese os parâmetros foram identificados a partir dos modelos urbanos da Cidade Compacta e do Novo Urbanismo. Dois movimentos urbanos que tem como base a retomada das características positivas da Cidade Tradicional e a negação dos preceitos do Urbanismo Modernista.

Estas teorias permitiram que identificássemos que a densidade, a diversidade (de formas urbanas, de pessoas e de usos) e o estímulo ao deslocamento de pedestres são determinantes para a produção de espaços urbanos de qualidade. Estas características garantem espaços de maior convívio entre os indivíduos e reduzem as demandas por recursos naturais pois estas relações tendem a otimizar o uso da infraestrutura existente e diminuir deslocamentos veiculares.

Estes parâmetros foram estruturados em algoritmos que tem como finalidade a produção de quarteirões e de bairros que atendessem os critérios de Desempenho identificados a partir da análise dos modelos urbanos estudados.

Estes algoritmos foram definidos para que pudessem servir como referência para a produção de modelos urbanos paramétricos ou para a definição de aplicativos como o que desenvolvemos aqui de modo experimental.

A definição de algoritmos permite esta flexibilidade uma vez que estes podem ser alterados de forma simples e quando alterados podem ser implementados em um sistema computacional ou transcritos para uma linguagem de programação e assim servirem para o desenvolvimento de novas ferramentas.

Os algoritmos propostos servem como ponto de partida para a aplicação dos métodos computacionais no Desenho Urbano. Os procedimentos apresentados podem ser aplicados tal qual eles foram definidos neste trabalho ou podem (e devem) ser alterados e melhorados. Estas melhorias podem ocorrer através da inserção de novos parâmetros ou mesmo através da proposição de novas relações de combinação.

Deste modo os algoritmos Generativos Paramétricos aqui definidos devem ser otimizados a partir de um processo colaborativo, em que outros profissionais poderão aplicar as definições e os parâmetros apresentados e alterá-los de acordo com suas necessidades de projeto.

Acreditamos ainda que ao ser submetido à apreciação por outros profissionais será possível melhorar os algoritmos propostos o que levará a melhores soluções urbanas. Deste modo acreditamos ser esta a maior contribuição deste trabalho a definição de parâmetros urbanos e algoritmos para a aplicação de Sistemas Generativos no Desenho Urbano.

Referências Bibliográficas

- AISH, R. First Build Your Tools. In: PETERS, B.; TERRI, P. **Inside Smartgeometry**: Expanding the Architectural Possibilities of Computational Design. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 2014. Cap. 2, p. 36-49. Versão Kindle.
- ALEXANDER, C.; ISHIKAWA, S.; MURRAY, S. **A pattern Language**: towns, buildings and construction. 1ª. ed. New York: Oxford University Press, 1977.
- AMORIM, A. L. Discutindo City Information Modeling (CIM) e conceitos correlatos. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Paulo, 10, jul/dez 2015. 87-99.
- ASANOWICZ, A. **Evolution of Computer Aided Design**: Three Generations of CAD. Architectural Computing from Turing to 2000 [eCAADe Conference Proceedings]. Liverpool (UK): eCAADe. 1999. p. 94-100.
- BANAVAR, G. Overcoming the Sustainability Challenge: An interview with Guruduth Banavar. **Journal of international Affairs: The Future of the city**, v. 65, n. 2, p. 147-153, Spring/Summer 2012.
- BARNETT, J. **An Introduction to Urban Design**. [S.l.]: HarperCollins Publishers, 1982.
- BATTY, M. The Size, Scale, and Shape of Cities. **SCIENCE**, New York, v. 319, n. 8, p. 769-771, FEVEREIRO 2008. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org/content/319/5864/769.full>>. Versão Kindle.
- _____. A Digital Breeder for Designing Cities. **Architectural Design**, Londres, v. 79, n. 4, p. 46-49, July/August 2009. ISSN 0003-8504.
- BATTY, M. et al. **Gis and urban design**. London: CASA UCL, v. Paper 3, 1998.
- BEIRÃO, J. N. **City maker - Designing grammars for urban design**. Delft: ABE:Architecture and the Built environment, v. 05, 2012. ISBN 978-1479355020.
- BEIRÃO, J. N. et al. **Monitoring urban design through generative design support tools: a generative grammar for Praia**. Cabo Verde: [s.n.]. 2009. p. 1223-1252.
- BENEVOLO, L. **A origem da urbanística moderna**. 2ª. ed. Lisboa: Editora Presença, 1994.
- _____. **Introdução à arquitectura**. Tradução de Maria Manoel Ribeiro. 1ª. ed. [S.l.]: Edições 70, LDA, 2009.
- _____. **História da cidade**. Tradução de Silvia Mazza. 5ª. ed. São Paulo: Perspectiva, 2011.
- BERG, N. Citizens as sensors. In: BOOKS, T. **City 2.0**. [S.l.]: TED BOOKS with The Atlantic Cities, 2012.
- BERGHAUSER PONT, M.; HAUPT, P. **Space, Density and Urban Form**. Delft, Holanda: Delft University, 2009.
- BORDEN, G. P. **Process Material and Representation in architecture**. New York: Routledge, 2014. Versão Kindle.
- BRIDGES, A. The Challenge of Constraints: A Discussion of Computer Applications in Architectural Design. **Laboratório de Projeto de Arquitetura e Fabricação Digital - FAU/UnB**, Glasgow, 1993. Disponível em: <<http://lecomp.fau.unb.br/moodle/mod/resource/view.php?id=541>>. Acesso em: 23 Setembro 2009.

BURRY, J.; BURRY, M. **The New Mathematics of architecture**. 2ª. ed. Londres: Thames & Hudson Ltd., v. único, 2012.

BURRY, M. **Scripting Cultures: Architectural design and programming**. 1ª. ed. London: John Wiley & Sons, 2011.

CALDAS, L.; NORFORD, L. **Architectural Constraints in a Generative Design System: Interpreting Energy Consumption Levels**. 7th International IBPSA Conference. Rio de Janeiro: [s.n.]. 2001. p. 1397-1404.

CARLSON, W. Section 10 CAD/CAM/CADD/CAE software defines a new field. **A Critical History of Computer Graphics and Animation**, 2003. Disponível em: <<https://design.osu.edu/carlson/history/lesson10.html>>. Acesso em: 07 Junho 2014.

CARMONA, M. et al. **Public Places - Urban Spaces**. 2ª. ed. Oxford, UK: Architectural Press is an Imprint of Elsevier, 2010.

CECCATO, C. **The Architect as Toolmaker: Computer-Based Generative Design Tools and Methods**. CAADRIA '99 [Proceedings of The Fourth Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia]. Shangai (China): CAADRIA. 1999. p. 295-304.

CELANI, G. Algorithmic Sustainable Design. Uma visão crítica do projeto generativo. **Resenhas Online**, São Paulo, Ano 10, n. 116.03, ago 2011. Disponível em:<.>.

CELANI, G. et al. **Generative Design Systems for Housing: An Outside-in Approach**. Digital Design: The Quest for New Paradigms. 23rd eCAADe Conference Proceedings. Lisboa: [s.n.]. 2005. p. 501-506.

CELANI, G.; VELOSO, P. **CAAD conferences: a brief history**. The next city - New technologies and the future of the built. São Paulo: Electronic Proceedings. 2015. p. 47-58.

CELANI, M. G. C. **Beyond analysis and representation in CAD: a new computational approach to design education**. 2002.p 202.Thesis(Doctor of Philosophy in Architecture: Design and Computation) - Massachusetts Institute of technology(MIT). Boston. 2002.

CELANI, M. G. C. et al. **A Gramática da Forma como Metodologia de Análise e Síntese em Arquitetura**. Caxias do Sul: [s.n.]. 2006. p. 180-195.

CHING, F. D. K. **Arquitetura, forma espaço e ordem**. Tradução de Júlio Fischer. 1ª. ed. São Paulo: Martins fontes, 1998.

CIRIACO, D. Unix: o pai de todos os sistemas operacionais. **Techmundo**, 2011. Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/mac-os-x/10556-unix-o-pai-de-todos-os-sistemas-operacionais.htm>>. Acesso em: 12 Junho 2014.

COONS, S. Computer Graphics. In: NEGROPONTE, N. **Soft Architecture Machines**. Boston: MIT Press, 1975. Cap. 2, p. 53-55.

CORBUSIER, L. **Urbanismo**. Tradução de Maria Ermantina Galvão Gomes Pereira. 1ª. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1992.

COUSSERAN, A. Post modern movement the 'inscribed' city. In: MOOR, M.; ROWLAND, J. **Urban Futures**. 1º. ed. London: Routledge, 2006. Cap. 13, p. 106-112.

CUTHBERT, A. R. **The form of cities: Political Economy and Urban Design**. 1ª. ed. Oxford: Blackwell Publishing , 2006.

DAVIES YEANG, L. **Urban Design Compendium**. 3ª. ed. Londres, UK: homes and communities agency, 2000.

DE ANDRADE LIMA, J. A. Urbanismo como ciência, técnica e arte: sua política e sua proteção legal. **Arquitextos**, São Paulo, v. 3, n. 027.04, agosto 2002. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/03.027/760>>. Acesso em: julho 2015.

DEL RIO, V. **Introdução ao desenho urbano no processo de planejamento**. 8ª. ed. São Paulo: Pini, 1990.

DUANY, A.; PLATER-ZYBERK, E.; JEFF, S. The inner city. In: READER, U. D. **Carmona, Matthew; Tiesdell, Steve**. 1ª. ed. Oxford, UK: Architectural Press, 2007. Cap. 37, p. 323-359.

DUANY, A.; PLATER-ZYBERK, E.; SPECK, J. **Suburban Nation: The rise of sprawl and the decline of the american dream**. 10ª. ed. New York: North Point Press, 2000.

DUANY, A.; SPECK, J.; MIKE, L. **The Smart Growth Manual**. New York: McGraw Hill, 2010.

DUARTE, J. P. **Towards the mass customization of housing: The Grammar of Siza's houses at Malagueira**. Environment and Planning B: Planning and Design. [S.l.]: [s.n.]. 2005. p. 347-380.

EASTMAN, C. **Why are We Here and Where We are Going: the Evolution of CAD**. New Ideas and Directions for the 1990's: ACADIA Conference Proceedings. Gainesville, Florida - USA: [s.n.]. 1989. p. 9-26.

_____. **Old And New Challenges: ACADIA After 25 Years**. Synthetic Landscapes: Proceedings of the 25th Annual Conference of the Association for Computer-Aided Design in Architecture. Louisville, Kentucky: ACADIA. 2006. p. 14-17.

EASTMAN, C. et al. **BIM Handbook: A guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. 2ª. ed. Indianápolis: Wiley Publishing, 2011.

ECLIPSE. Página sobre o Eclipse. Disponível em: <<https://www.eclipse.org/downloads/>>. Acesso em: 15 Janeiro 2016.

ELLIS, C. History of Cities And City Planning, 2013. Disponível em: <<http://www.art.net/~hopkins/Don/simcity/manual/history.html>>. Acesso em: Novembro 2013.

EVANS, R. **The Urban Design Compendium**. 2ª. ed. London: Homes and Communities Agency, 2007.

FARR, D. **Urbanismo Sustentável: desenho urbano com a natureza**. Tradução de Alexandre Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2013.

FAZIO, M.; MOFFET, M.; LAWRENCE, W. **A história da arquitetura mundial**. Tradução de Alexandre Salvaterra. 3ª. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

FISCHER, T.; HEER, C. M. **Teaching Generative Design**. The Proceedings of the Fourth International Conference on Generative Art 2001. Milan, Italy: Politecnico di Milano University. 2001.

FRAMPTON, K. **História Crítica da Arquitetura Moderna**. Tradução de Jefferson Luiz Camargo. 1ª Edição. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2003.

FRAZER, J. **An Evolutionary Architecture**. 1ª Edição. ed. Londres: E.G. Bond Ltd, v. VII, 1995.

FREY, H. **Designing the City: Towards a more sustainable urban form**. 1ª. ed. London: Spon Press, 1999.

GARBER, R. Optimisation Stories: The Impact of Building Information Modelling on Contemporary Design Practice. **Architectural Design: Closing the Gap. Information Models in Contemporary Design Practice**, Londres, v. 79, n. 2, p. 6-13, Mar-Abr 2009. ISSN 978-0470 998205.

_____. **Bim Design: Realising the creative potential of BIM**. Londres: John Wiley & Sons Ltd, 2014. Versão Kindle.

GEHL, J. **Cities for people**. Washington, DC: Island Press, 2010.

GIL, J.; ALMEIDA, J.; DUARTE, J. P. **The backbone of a city information model (CIM): Implementing a spatial data model for urban design**. RESPECTING FRAGILE PLACES [29th eCAADe Conference Proceedings]. iversity of Ljubljana, Faculty of Architecture (Slovenia): eCAADe. 2011. p. 143-151.

GIPS, J. **Shape Grammars and their Uses: Artificial Perception., shape Generation and Computer Aesthetics**. 1ª Edição. ed. Stuttgart: Birkhäuser, 1975.

GODOI, G. **Sistemas Generativos de Projeto: Um Estudo de Campo em Monte Alegre**. 2008. 113f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Construção). Programa de Pós Graduação em Engenharia, Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2008.

GOITIA, F. C. **Breve História do Urbanismo**. 5ª Edição. ed. Lisboa: Presença, 2003.

GROSS, M. D. **Relational Modeling: A Basis for Computer-Assisted Design**. The Electronic Design Studio: Architectural Knowledge and Media in the Computer Era [CAAD Futures '89 Conference Proceedings]. Cambridge (Massachusetts / USA): CAAD Futures. 1990. p. 123-136.

GUIMARÃES, P. P. **Configuração Urbana: Evolução, Avaliação Planejamento e Urbanização**. 1ª Edição. ed. Rio Janeiro: Prolivros Ltda., 2004.

GUZDIAL, M.; ERICSON, B. **Introduction to Computing Programming in Java: A Multimedia Approach**. New Jersey: PRENTICE HALL, 2005. 166 p. Disponível em: <<http://coweb.cc.gatech.edu/mediaComp-plan/uploads/101/javaMediacomp-book--9-6-05-4chaps.pdf>>.

HALL, P.; TEWDWR-JONES, M. **Urban and Regional planning**. 5ª. ed. New York: Routledge, 2011.

HAUGHTON, G.; HUNTER, C. **Sustainable Cities**. 3ª. ed. Londres, UK: Routledge, 2003.

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

HERZOG, T. Performance Form. In: KOLAREVIC, B.; MALKAWI **Performative architecture: beyond instrumentality**. New York: Spoon Press, 2004. Cap. 5, p. 71-84.

HORVÁTH, I. **Shifiting paradigms of computer aided design**. Delft (Netherlands): Delft Press, 1998.

ISHLL, A.; PACHECO, J. "Why The Blueprint of the 21st Century Should Be Open Source" 13 Mar 2014. **ArchDaily**, 2014. Disponível em: <<http://www.archdaily.com/484706/why-the-blueprint-of-the-21st-century-should-be-open-source/>>. Acesso em: 30 Junho 2015.

IWAMOTO, L. **Digital Fabrications: architectural and material techniques**. New York: Princeton Arch Presstectural, 2009. Kindle edition p.

JACOBS, J. **The death and life of great american cities**. 1ª. ed. New York: Vintage Books, 1961.

JAVA™. www.java.com. **Site sobre Java**, 1998. Disponível em: <https://java.com/en/download/faq/whatis_java.xml>. Acesso em: 15 Janeiro 2016.

KALAY, Y. E. **The future of CAAD From computer-aided design to Computer-aided collaboration****The future of CAAD: From computer-aided design to Computer-aided collaboration**. Proceedings of the Eighth International Conference on Computer Aided Architectural Design Futures. Atlanta, Georgia, USA: Springer US. 1999. p. 13-30.

KALISPERIS, L. N.; GRONINGER, R. L. **Design Philosophy: Implications for Computer Integration in the Practice of Architecture**. Mission - Method - Madness [ACADIA Conference Proceedings]. [S.l.]: [s.n.]. 1992. p. 27-37.

KHABAZI, M. **Algorithmic Modelling with Grasshopper (Rhino Pljug-in)**. 1ª Edição. ed. [S.l.]: Este livro foi publicado digitalmente estando disponível em: www.khabazi.com/flux, 2009.

KNIGHT, T.; STINY, G. Classical and Non-classical Computaion. **Information Technology**, v. V, n. 4, p. 355-372, 2001.

KOLAREVIC, B. **Designing and Manufacturing Architecture in the Digital Age**. In Architectural Information Management: 19th eCAADe Conference Proceedings. Helsink: [s.n.]. 2001. p. 117-123.

_____. **Digital Fabrication: Manufacturing Architecture in The Information Age**. ACADIA XX: Reinventing The Discourse. Buffalo: State University of New York. 2001. p. 268-277.

_____. **Architecture in Digital Age: Design and Manufacturing**. Nova York: Taylor & Francis, 2003.

_____. Digital morphogenesis. In: KOLAREVIC, B. **Architecture in Digital Age: Design and Manufacturing**. Nova York: Taylor & Francis, 2003. Cap. 2, p. 12-28.

_____. Introduction. In: KOLAREVIC, B. **Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing**. New York: Spoon Press, 2003. Cap. 1, p. 1-11.

_____. Computing the performative. In: KOLAREVIC, B.; MALKAWI, A. **Performative architecture: beyond instrumentality**. New York: Spon Press, 2004. Cap. 14, p. 193-202.

_____. Parametric evolution. In: PETERS, T.; PETERS, B. **Inside Smartgeometry: Expanding the Architectural Possibilities of Computational Design - AD Smart**. London: John Wiley & Sons, 2013.

KOLAREVIC, B.; MALKAWI, A. **Performative architecture: beyond instrumentality**. 1ª. ed. [S.l.]: Taylor & Francis e-Library, 2004.

KOLSON, K. **Big Palns: The allure and folly of Urban Design**. 1ª. ed. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 2001.

KOSTOF, S. **A history of architecture: settings and rituals**. 2ª. ed. New York: Oxford University Press, 1995.

KOUTAMANI, A. **A Biased History of CAAD**. Digital Design: The Quest for New Paradigms, 23nd eCAADe Conference Proceedings. Lisboa: [s.n.]. 2005. p. 629-637.

KRIEGER, A. Territories of urban design. In: MOOR, M.; ROWLAND, J. **Urban Futures**. 1ª. ed. Londres: Routledge, 2006. Cap. 1, p. 17-27.

_____. Where and How does Urban Design Happen? In: KRIEGER, A.; S. SAUNDERS, W. **Urban Design**. Minnessota: University of Minnesota Press, 2009.

KRIER, R. **Urban Space**. 5ª. ed. Londres: Academy Group Ltd, 1979.

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

LAMAS, J. M. R. G. **Morfologia urbana e desenho da cidade**. 3ª. ed. Porto: Fundação Calouste Gulbenkian Fundação para a ciência e tecnologia, 2004.

LEACH, N. Digital Cities. **AD: Architectural Design**, London, v. 79, n. No 4, p. 6-13, July/August 2009. ISSN 978-0470 773000.

LEE, H.-R. **The Changing Face of Architectural Computing Research**. Architectural Computing from Turing to 2000: 17th eCAADe Conference Proceedings. Liverpool: eCAADe: Conferences. University of Liverpool, UK: University of Liverpool. 1999. p. 11-17.

LEITE, C.; AWAD, J. D. C. M. **Cidades Sustentáveis; Cidades Inteligentes**. 1ª. ed. Porto Alegre: Bookman, v. único, 2012.

LYNCH, K. **A imagem da Cidade**. Tradução de Maria Cristina Tavares Afonso. 1ª. ed. Lisboa: Edições 70, LDA, 1960.

_____. **A theory of good city form**. 1ª. ed. Boston, US: The Massachusetts Institute of Tech, 1981.

MACFARLANE, B. MAKING IDEAS. In: KOLAREVIC, B. **ARCHITECTURE IN THE DIGITAL AGE DESIGN AND MANUFACTURING**. New York: Spon Press, 2003. p. 181-198.

MARK, E.; GROSS, M.; GOLDSCHMIDT, G. **A Perspective on Computer Aided Design after Four Decades**. Architecture in Computro [26th eCAADe Conference Proceedings]. Antwerpen (Belgium): eCAADe Conference Proceedings. 2008. p. 169-176.

MARK, J. J. The Ancient City. **A ancient History Encyclopedia**, 2014. Disponível em: <<http://www.ancient.eu/city/>>. Acesso em: julho 2015.

MARTINO, J. A. D.; CELANI, G. **O algoritmo evolutivo como ferramenta para análise e tomada de decisão na implementação de edifícios em um lote**. III Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído, VI Encontro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção. Campinas: [s.n.]. 2013. p. 482-492.

MASCARÓ, J. L. **Loteamentos Urbanos**. 1ª. ed. Porto Alegre: Masquatro, 2001.

MAYER, R. **A linguagem de Oscar Niemeyer**. 2003. 162f. Dissertação(Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Pesquisa e Pós Graduação em Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2003.

MCCULLOUGH, M. 20 Years of Scripted Space. **Architectural Design - Programming Cultures: Art and Architecture in the Age of Software**, Londres, v. 76, n. 4, p. 12-15, Jul/Ago 2006. ISSN 13 9780470025857.

MCNEEL, R. The History of Rhino. **rhino: rhinohistory**, 2011. Disponível em: <<http://wiki.mcneel.com/rhino/rhinohistory>>. Acesso em: 21 Fevereiro 2011.

MITCHEL, W. J. Afterword: The Design Studio of the future. In: MCCULLOUGH, M.; MITCHELL, W. J.; PATRICK, P. **The eletronic design studio**. 2ª. ed. Boston: The MIT Press, 1991. p. 479-494.

_____. **CAD Technology, Its Effects on Practice and the Response of Education - an Overview**. The Third European Conference on CAD in the Education of Architecture [eCAADe Conference Proceedings]. Helsinki(Finnland): eCAADe Conference Proceedings. 1984. p. 20-22.

_____. **A New Agenda for Computer-Aided Architectural Design**. New Ideas and Directions for the 1990's [ACADIA Conference Proceedings]. Gainesville (Florida - USA) : ACADIA. 1989. p. 27-43.

_____. **e-topía**: "Vida Urbana, Jim, pero no la que nosotros conocemos". Barcelona : Gustavo Gili, v. único, 2001.

_____. **From SKETCHPAD to city of bits: A Story of Shifting Intentions**. CAADRIA 2006 [Proceedings of the 11th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia]. Kumamoto (Japan): CAADRIA. 2006. p. 1-5.

_____. **A Lógica da Arquitetura: Projeto, Computação e Cognição**. Tradução de Gabriela CELANI. 1ª Edição. ed. Campinas: Editora da UNICAMP, 2008.

MITCHELL, W. J.; MCCULLOUGH, M. **Digital Design Media**. 2ª. ed. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc, 1994.

MONEDERO, J. Parametric design: a review and some experiences. **Automation in Construction**, Londres, n. 9, 2000. 369–377.

MOUGHTIN, C. **Urban Design: Street and Square**. 3ª. ed. Oxford, UK: Architectural Press, 2003.

MOUGHTIN, C. et al. **URBAN DESIGN: METHOD AND TECHNIQUES**. 1ª. ed. OXFORD: Architectural Press, 1999.

MOUGHTIN, C.; SHIRLEY, P. **Urban Design: Green Dimensions**. 2ª. ed. Oxford : Elsevier, 2005.

MUELLER, V.; SMITH, M. Generative components and smart geometry: situated software development. In: PETERS, B.; PETERS, T. **Inside Smartgeometry**: expanding the architectural possibilities of computational design (AD Smart). London, UK: John Wiley & Sons, Inc., 2013. p. 142-153.

MÜLLER-PROVE, M. **Vision and reality of hypertext and graphical user interfaces**. 2002.p 122. Thesis(Master in Informatics) - Departament of Informatics, University of Hamburg. Hamburg, Germany. 2002.

MUMFORD, L. **A cidade na história: suas origens, transformações e perspectivas**. Tradução de Neil R. da Silva. 4ª. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

NABINI, R.; PAOLETTI, I. The Third Industrial Revolution. In: NABINI, R.; PAOLETTI, I. **Advanced Customization in Architectural Design**. [S.l.]: Springer International Publishing, 2015. Cap. 2, p. 7-27.

NAÇÕES UNIDAS. The future we want: Sustainable cities. **Página das nações unidas**, 2015. Disponível em: <<http://www.un.org/en/sustainablefuture/cities.asp#stories>>. Acesso em: Setembro 2015.

NARDELLI, E. S. Arquitetura e o projeto na era digital. **Arquiteturarevista**, v. 3, n. 1, p. 28-36, Janeiro/Junho 2007. ISSN 1008-5741.

NEGROPONTE, N. Toward a Theory of Architecture Machines. **Journal of Architectural Education**, v. 23, n. 2, p. 9-12, mar 1969.

_____. **Soft Architecture Machines**. London: The MIT Press, 1975.

NUTTGENS, P. **The Story of Architecture**. 2ª. ed. Londres: Phaidon, 1997.

OLGYAY, V. **Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism**. New Jersey: Princeton university press, 1962.

OOSTERHUIS, K.; XIA, X.; JAP SAM, E. File to factory and real time Behavior in ONL-Architecture. In: OOSTERHUIS, K.; XIA, X.; JAP SAM, E. **Interactive Architecture**. [S.l.]: episode publishers, 2007. p. 8-21.

ORACLE®. Página da oracle, 2000. Disponível em: <<http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/overview/javahistory-index-198355.html>>. Acesso em: 15 Janeiro 2016.

OXMAN, R. Theory and design in the first digital age. **Design Studies**, Great Britain, 27, 3 Maio 2006. 229-265.

_____. **Performative design: a performance-based model of digital. Environment and Planning B: Planning and Design** 2009. [S.l.]: [s.n.]. 2009. p. 1026-1037.

PANERAI, P.; CASTEX, J.; DEPAULE. **Formas Urbanas: A dissolução da Quadra**. 1ª. ed. Porto Alegre: Bookman, v. único, 2009.

PANZINI, F. **Projetar a Natureza: Arquitetura da paisagem e dos jardins desde as origens até a época contemporânea**. Tradução de Letícia Andrade. 1ª. ed. São Paulo: Senac, 2013.

PAYNE, A.; ISSA, R. **Grasshopper: Primer**(for version 0.6.0007). 2ª Edição. ed. [S.l.]: Esse livro foi publicado digitalmente estando disponível em: <http://www.grashopper.rhino3d.com>., 2009.

PDP-11. In: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre.Flórida: Wikimedia Foundation, 2015. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=PDP-11&oldid=42470037>>. Acesso em: 9 jul. 2015.

PESSOA, D. F. Desafios do desenho urbano para a cidade contemporânea. **Arquitextos**, São Paulo, n. 192.06, Maio 2016. ISSN 1809-6298. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/16.192/6063>>. Acesso em: 30 Junho 2026.

PICON, A. Architecture and Mathematics: Between Hubris and Restraint. **AD Architectural Design: Mathematics of Spaces**, London, v. 81, n. 4, p. 28-35, Jul/Aug 2011. ISSN 978-0470-689806.

POUNDS, N. **The Medieval City**. 1ª. ed. Londres: Greenwood Press, 2005.

PRUITT-IGOE. In Wikipedia, The Free Encyclopedia, 2015. Disponível em: <<https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Pruitt%E2%80%93Igoe&oldid=655416104>>. Acesso em: julho 2015.

QUIRK, V. A Brief History of BIM. **ArchDaily**, 2012. Disponível em: <<http://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim/>>. Acesso em: 15 Jul 2015.

ROCHA, I. A. M. **Programa e projeto na era digital: O ensino de projeto de arquitetura em ambientes virtuais interativos**. 2009.358f.Tese(Doutorado em Arquitetura) - Programa de pós graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2009.

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

_____. **Towards a Strong Urban Renaissance**. Urban Task Force. Londres, p. 20. 2005.

RUEDA, S. **Modelos de ordenación del territorio más sostenibles**. Ciudades para un Futuro más Sostenible. Barcelona: [s.n.]. 2003.

SAATY, T. **Compact City: The next Urban evolution in response to climate change**. 1ª. ed. Pittsburgh: RWS Publications, 2013. ISBN 978-1-888603-17-x. versão Kindle.

SCHUMACHER, P. Parametricism as Style - Parametricist Manifesto. **www.patrikschumacher.com**, Junho 2008. Disponível em: <<http://www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism%20as%20Style.htm>>. Acesso em: 03 Julho 2014.

_____. Parametrism: A New Global Style for Architecture and Urban Design. **AD: Architectural Design**, Londres, v. 79, n. 4, p. 14-45, Julho/agosto 2009. ISSN 0003-8504.

_____. Parametrism: A New Global Style for Architecture and Urban Design. **AD: Architectural Design**, Londres, v. 79, n. 4, p. 14-45, Julho/agosto 2009. ISSN 0003-8504.

_____. The Parametric City. **www.patrikschumacher.com**, 2010. Disponível em: <<http://www.patrikschumacher.com/Texts/The%20Parametric%20City.html>>. Acesso em: Julho 2014.

SILVA, G. J. A. D.; ROMERO, M. A. B. O urbanismo sustentável no Brasil. A revisão de conceitos urbanos para o século XXI (parte 01). **Arquitextos**, São Paulo, n. 128.03, Janeiro 2011. Disponível em: <>.

SILVA, R. C. D. **Urbanismo Paramétrico: parametrizando a modernidade**. 1ª. ed. Recife: Editora Universitária UFPE, 2010.

SILVA, R.; AMORIM, L. Urbanismo paramétrico: emergência, limites e perspectivas de nova corrente de desenho urbano fundamentada em sistemas de desenho paramétrico. in:**VIRUS**, São Carlos: Nomads,USP, n. 3, ago. 2010. Disponível em: <<http://www.nomads.usp.br/virus/virus03/submitted/layout.php?item=2&lang=pt>>. Acesso em: 19 Agosto 2010.

STEINØ, N. **Parametric Thinking in Urban Design**. CAAD - Cities - Sustainability [5th International Conference Proceedings of the Arab Society for Computer Aided Architectural Design (ASCAAD 2010)]. Fez (Morocco): ASCAAD. 2010. p. 261-270.

STEINØ, N.; VEIRUM, N. E. **A parametric approach to urban design**. Digital Design: The Quest for New Paradigms [23rd eCAADe Conference Proceedings]. Lisbon (Portugal): eCAADe. 2005. p. 679-686.

STINY, G. Introduction to Shape and Shape Grammars. **Environment and Planning B** 7, p. 343-351, 1980.

STINY, G.; GIPS, J. **Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture**. IFIP CONGRESS: Proceedings of Future. Amsterdam: C.V.Freimanp. 1972. p. 1460-1465.

_____. **Algorithmic Aesthetics: Computer Models for Criticism and Design in The Arts**. 1ª edição. ed. Berkeley: University of California, 1978.

STOJANOVSKI, T. **City Information Modeling (CIM) and Urbanism: Blocks, Connections, Territories, People and Situations**. 2013 Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design. San Diego CA USA: [s.n.]. 2013. p. 111-118.

SUTHERLAND, I. E. **Sketchpad: A man-machine graphical**. University of Cambridge, Technical report is based on a dissertation submitted January, 1963. Cambridge, p. 149. 2003. (ISSN 1476-2986).

SZALAPAJ, P. **Contemporary Architecture and the Digital Design Process**. 1ª. ed. New York: Routledge, 2005.

TED BOOKS WITH THE ATLANTIC CITIES. **City 2.0**. 1ª. ed. [S.l.]: TED BOOKS with The Atlantic Cities, 2012.

TERZIDIS, K. **Expressive Form: A conceptual approach to computational design**. 1ª. ed. New York: Spoon Press, 2003.

_____. **Algorithmic Design: A Paradigm Shift in Architecture?** Architecture in the Network Society: 22nd eCAADe Conference Proceedings. Copenhagen, Denmark: eCAADe: Conferences. 2004. p. 201-207.

_____. **Algorithmic Architecture**. 1ª Edição. ed. Oxford: Elsevier, 2006.

_____. **The role of computers in architectural design**, 2008. Disponível em: <<http://isites.harvard.edu/fs/docs/icb.topic250888.files/w02.computers%20in%20architecture.pdf>>. Acesso em: 17 Fevereiro 2014.

_____. **Pemutation Design: Buildings, texts, and contexts**. 1ª. ed. New York, USA: Routledge, 2015.

THE OPEN UNIVERSITY. Página do curso Smart Cities. **World urbanisation**, 2015. Disponível em: <<https://www.futurelearn.com/courses/smart-cities/1/steps/46385>>. Acesso em: setembro 2015.

TOWERS, G. **An Introduction to Urban Housing Design: At Home in the City**. 1ª. ed. Oxford: Architectural Press, 2005.

TRANCIK, R. What is lost space? In: CARMONA, M.; TIESDELL, S. **Urban Design Reader**. 1ª. ed. Oxford, UK: Architectural Press, 2007. Cap. 7, p. 63-69.

UNIX. In Wikipedia, The Free Encyclopedia., 2015. Disponível em: <<https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Unix&oldid=669802877>>. Acesso em: 9 jul. 2015.

VELASCO, R.; DÍAZ, C. **Digital tools and high performance architecture revising the design process organizational structure**. Computation and Performance-Proceedings of the 31ªInternational Conference on Education and Research in Computer Aided Design in Europe. Delft: eCAADe. 2013. p. 117-125.

VEREBES, T. Experiments in Associative Urbanism. **Architectural Design**, Londres, v. 79, n. 4, p. 24-33, Jul/Ago 2009. ISSN 0003-8504.

_____. A new toolbox for adaptable masterplanning. In: VEREBES, T. **Masterplanning The Adaptive City: Computational Urbanism in the Twenty-First Century**. 1ª. ed. New York: Routledge, 2014. Cap. 13.

_____. Computational Urbanism. In: VEREBES, T. **Masterplanning the Adaptive City: Computational Urbanism in the Twenty-First Century**. 1ª. ed. New York,USA: Taylor & Francis, 2014. Cap. 15. Kindle Edition.

WALL, E.; WATERMAN, T. **Fundamentos de paisagismo: desenho urbano**. Tradução de Alexandre Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2012.

WIKIPEDIA. Compiler, 2016. Disponível em: <<https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Compiler&oldid=698264675>>. Acesso em: 15 Janeiro 2016.

WIKIPEDIA. MAINFRAME. In: WIKIPEDIA, A enciclopedia livre. **Wikimedia Foundation**, 2016. Disponível em: <>. Acesso em: 7 julho 2016.

XU, X. et al. From building information modeling to city information modeling. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon), Special Issue BIM Cloud-Based Technology in the AEC Sector: Present Status and Future Trends**, 19, n. ITCON, setembro 2014. 292-307. Disponível em: <<http://www.itcon.org/2014/17>>.

ZEVI, B. **Saber Ver a Arquitetura**. Tradução de Maria Isabel Gaspar e Gaetan Martins de Oliveira. 6ª Edição. ed. São Paulo: Martins Fontes, v. único, 2011.

