

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional
PROPUR

**FORMA URBANA E TIPO DE USO DO SOLO COMO FATORES
DETERMINANTES PARA A GERAÇÃO DE ÁREAS URBANAS IMPERMEÁVEIS**

Rochele Amorim Ribeiro

Porto Alegre

2006

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

R484f Ribeiro, Rochele Amorim

Forma urbana e tipo de uso do solo como fatores determinantes para a geração de áreas urbanas impermeáveis / Rochele Amorim Ribeiro ; orientação de José Luís Farinatti Aymone ; co-orientação de Simone Zarpelon Leão. — Porto Alegre : UFRGS, Faculdade de Arquitetura, 2006.

184 p.: il.

Dissertação (mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Arquitetura. Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional. Porto Alegre, RS, 2006.

CDU: 711.55(816.5)
711.41
711.14
699.82

DESCRITORES

Zona urbana : Canoas : Rio Grande do Sul
711.55(816.5)

Forma urbana
711.41

Uso do solo
711.14

Impermeabilização
699.82

Bibliotecária Responsável

Elenice Avila da Silva - CRB-10/880

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional
PROPUR

**FORMA URBANA E TIPO DE USO DO SOLO COMO FATORES
DETERMINANTES PARA A GERAÇÃO DE ÁREAS URBANAS IMPERMEÁVEIS**

Rochele Amorim Ribeiro

Orientador: Prof. Dr. José Luís Farinatti Aymone

Co-orientadora: Prof.^a Dr.^a Simone Zarpelon Leão

Trabalho realizado no Departamento de Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFRGS, dentro do Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional – PROPUR, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Planejamento Urbano e Regional

Área de Concentração: Infra-estrutura e Planejamento Urbano e Ambiental

Porto Alegre

2006

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional
PROPUR

**FORMA URBANA E TIPO DE USO DO SOLO COMO FATORES
DETERMINANTES PARA A GERAÇÃO DE ÁREAS URBANAS IMPERMEÁVEIS**

Rochele Amorim Ribeiro

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

Prof. Dr. José Luís Farinatti Aymone
Presidente e Orientador / PROPUR - UFRGS

Prof.^a Dr.^a Simone Zarpelon Leão
Co-orientadora

Prof. Dr. André Luiz Lopes da Silveira
PROPUR – UFRGS

Prof. Dr. Emilio Merino Dominguez
PROPUR – UFRGS

Prof. Dr.^a Nina Simone Vilaverde Moutra Fujimoto
Instituto de Geociências – Departamento de Geografia – UFRGS

Porto Alegre, 01 de setembro de 2006

Dedico esta dissertação aos meus pais,

Gilberto e Nilda

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que colaboraram na forma de orientação, auxílio, compreensão e estímulo, pois foram fundamentais na realização desta dissertação.

Aos professores José Luís Farinatti Aymone e Simone Zarpelon Leão, pela orientação, dedicação, amizade e apoio técnico;

Ao Professor Emilio Merino, pelo apoio, amizade e constante engajamento nas atividades acadêmicas;

Ao Professor Rui Ramos, pela amizade, apoio e encorajamento para a pesquisa acadêmica;

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela completa infra-estrutura oferecida e qualidade de recursos, ao PROPUR, pelo apoio e infra-estrutura;

Às secretárias do PROPUR, Rosane e Mariluz, pela amizade e apoio;

À Capes pelo apoio financeiro;

Aos colegas, professores e pesquisadores do PROPUR pelas sugestões e contribuições técnicas;

Aos funcionários da Secretaria Municipal de Planejamento de Canoas, Lenita, Adriana, Renate e Lauri, pela fundamental ajuda, conhecimento e disponibilidade de dados fundamentais para a pesquisa;

Aos arquitetos e colegas mestrandos, Fábio, Daiane, Carla, Luciana e Alexandre, por suas contribuições e pela amizade;

E finalmente, agradeço àqueles que, de uma maneira particular e especial, contribuíram para o desenvolvimento e finalização deste trabalho: Ronise, Karen, Luiza, Lília, Anelise e Érico.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Tema	17
1.2 Origem do problema de pesquisa	19
1.3 Objetivos	21
1.4 Relevância e justificativa	22
1.5 Hipóteses do trabalho	24
1.6 Estrutura do trabalho	24
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	26
2.1 O planejamento urbano e o plano diretor municipal.....	26
2.2 Drenagem pluvial e impermeabilização de áreas urbanas.....	30
2.3 Os elementos da forma urbana.....	34
2.4 Densidades urbanas e uso do solo	42
2.5 O geoprocessamento e o uso de sistemas de informações geográficas (SIG) em estudos urbanos.....	47
3 OBJETO DE ESTUDO – CANOAS / RS	54
3.1 Delimitação do objeto empírico de estudo	54
3.1.1 Características demográficas e sociais do objeto de estudo.....	54
3.1.2 Características físicas do objeto de estudo	58
3.2 Seleção e caracterização das unidades de análise	60
4 METODOLOGIA.....	66

4.1	Estrutura metodológica da pesquisa	66
4.2	Base de dados da pesquisa	67
4.2.1	Censo demográfico de 2000	67
4.2.2	Planta cadastral municipal digital.....	68
4.2.3	Fotografias aéreas	69
4.2.4	Plano diretor de desenvolvimento urbano	69
4.3	Procedimentos metodológicos	69
4.3.1	Caracterização da forma urbana	69
4.3.2	Caracterização das densidades urbanas.....	77
4.3.3	Caracterização da impermeabilidade urbana	80
4.3.3.1	Mapeamento das áreas impermeáveis do objeto de estudo proveniente da base cartográfica	80
4.3.3.2	– Mapeamento da vegetação e das áreas intraquadras através da fotografia aérea	83
4.3.3.3	Classificação dos níveis de impermeabilidade dos tipos de superfície em cada unidade de análise	86
4.3.4	Caracterização e organização dos dados finais das unidades de análise.	90
5	RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS	92
5.1	Forma urbana e impermeabilização	92
5.2	Densidades urbanas e impermeabilização	96
5.3	Zoneamento urbano e impermeabilidade.....	101
5.3.1	Tipo de uso do solo e impermeabilização.....	101
5.3.2	Regime urbanístico e impermeabilidade.....	103

5.4 Ocupação do solo e impermeabilização	104
5.5 Análise de cenários alternativos.....	109
5.5.1 Presença de áreas verdes nos loteamentos.....	109
5.5.2 Atribuição da taxa de ocupação e impermeabilização no lote	114
5.5.3 Configuração da pavimentação dos passeios	116
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	120
6.1 Síntese do trabalho	120
6.2 Validação das hipóteses e contribuições do trabalho	122
6.3 Recomendações para trabalhos futuros	123
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126
APÊNDICES	137
APÊNDICE A - Descrição das unidades de análise.....	137
APÊNDICE B – Quantificação dos elementos da forma urbana	153
APÊNDICE C - Conjunto de cartas da base cartográficas que cobrem o objeto de estudo e as unidades de análise.....	163
APÊNDICE D - Fotografias correspondentes à cada unidade	165
APÊNDICE E - Dados finais das unidades de análise	172
APÊNDICE F - Dados de finais nas unidades de análise – cenários alternativos	176
APÊNDICE G - Comparação dos valores obtidos pelas unidades de análise, estas segregadas por tipo de traçado viário	178

APÊNDICE H - Relação entre os parâmetros da forma urbana e a taxa de impermeabilização no lote - comparação entre os resultados obtidos nas unidades de análise e a estimativa do modelo de regressão (Stone Jr., 2004)	178
APÊNDICE I - Comparação dos valores obtidos pelas unidades de análise, estas segregadas por tipo de uso do solo	179
APÊNDICE J - Dados de ocupação nas unidades de análise	179
ANEXOS	180
ANEXO A - Mapa de localização dos diques, polders e casa de bombas (CB).....	180
ANEXO B - Tabela de valores do coeficiente C (ASCE, 1969 apud Tucci, 2000)	181
ANEXO C – Relação entre a forma urbana e a impermeabilização do lote: Parâmetros e resultados da análise de regressão (Adaptado de Stone Jr, 2004, p.109)	182
ANEXO D – Plano Diretor de Canoas – Seção II – do zoneamento (Canoas, 1996)	183

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1 - Introdução

Figura 1.1 - Impacto da urbanização no hidrograma.....	18
Figura 1.2 - Esquema gráfico da construção do tema.....	19
Figura 1.3 - Esquema gráfico da construção do problema de pesquisa	21
Figura 1.4 - Relação entre taxa de impermeabilização da bacia hidrográfica e nível de degradação do corpo receptor.	22
Figura 1.5 - Esquema gráfico da construção da justificativa e relevância do tema.....	23

Capítulo 2 - Fundamentação Teórica

Figura 2.1 - Vazão em uma bacia hidrográfica atribuídos pela aplicação da taxa de ocupação permitida pelo plano diretor de cada cidade.....	29
Figura 2.2 – Características do balanço hídrico numa bacia hidrográfica.....	31
Figura 2.3 - Tipo de malhas urbanas.....	34
Figura 2.4 – Características físicas das vias locais.....	35
Figura 2.5 – Relação entre o tamanho do grão (área da quadra) e a ocupação viária no loteamento.....	36
Figura 2.6 - A unidade de estudo da cobertura e as possíveis análises nesta escala	39
Figura 2.7 - Padrões de ocupação urbana na área de estudo – Munique (Alemanha).....	39
Figura 2.8 - Componentes de impermeabilidade da unidade de análise	41
Figura 2.9 - Quadro comparativo da baixa e alta densidade.....	44
Figura 2.10 - Relação entre a densidade populacional e área impermeável	46

Figura 2.11 - Representação dos dados no modo vetor e no modo raster	48
Figura 2.12 – Exemplo de georreferenciamento de um arquivo raster	49
Figura 2.13 - Exemplo de mosaico de mapas raster	49
Figura 2.14 - Exemplo de reclassificação de uma imagem raster	50

Capítulo 3 - Objeto de Estudo - Canoas/RS

Figura 3.1 - Microrregião de Porto Alegre	55
Figura 3.2 - Densidade demográfica – população por setor censitário	56
Figura 3.3 - Média de pessoas por domicílio.....	57
Figura 3.4 - Taxa de verticalização por setor censitário	57
Figura 3.5 - Traçado viário de Canoas indicando os principais elementos da hidrografia.	58
Figura 3.6 - Áreas alagáveis e ocupação urbana	59
Figura 3.7 - Localização das unidades de análise.....	61

Capítulo 4 - Metodologia

Figura 4.1 - Estrutura geral e seqüência de procedimentos metodológicos da pesquisa	67
Figura 4.2 - Obtenção do valor médio de largura de rua para a unidade 1A	71
Figura 4.3 - Obtenção dos dados de área média do lote para a unidade 1A	72
Figura 4.4 - Obtenção dos dados de valor médio da testado do lote para a unidade 1A.....	73
Figura 4.5 - Obtenção do valor médio de área de quadra para a unidade 1A	75
Figura 4.6 - Obtenção do valor de densidade de interseções viárias na unidade 1A	76
Figura 4.7 - Procedimentos para obtenção da densidade populacional de cada unidade	78

Figura 4.8 - Obtenção do valor de densidade de edificações para a unidade 1A	79
Figura 4.9 - Etapas para o mapeamento das edificações residenciais na unidade 1A, segundo as informações da planta cadastral.....	81
Figura 4.10 - Procedimentos para o mapeamento das calçadas	83
Figura 4.11 – Reclassificação dos atributos do mapa raster.....	84
Figura 4.12 – Esquema do processo de álgebra com mapas	85
Figura 4.13 - Etapas da classificação da impermeabilidade na unidade 1A	88

Capítulo 5 - Resultados e Análise dos Dados

Figura 5.1 – Comparação entre os traçados viários das unidades 6A e 4B.....	93
Figura 5.2 - Relação entre o tamanho da área da quadra e a ocupação viária	94
Figura 5.3 – Relação entre a área do lote e a ocupação da edificação no mesmo.....	95
Figura 5.4 – Relação entre densidade populacional e área impermeável por habitante.....	98
Figura 5.5 – Detalhe das áreas 1A (média densidade) e 3B (baixa densidade)	99
Figura 5.6 - Gráfico comparativo dos valores médios de densidades urbanas entre os grupos e unidades de análises 3A, 3B e 7A.....	100
Figura 5.7 Relação entre a densidade populacional e taxa de impermeabilização.....	101
Figura 5.8 – Valores médios de distribuição das áreas nas unidades de análise	105
Figura 5.9 – Valor médio de porcentagem de cada tipo de cobertura nas unidades de análise	105
Figura 5.10 - Porcentagem da ocupação da vegetação nas unidade de análise.....	106
Figura 5.11 – Comparação da ocupação da vegetação nas unidades com e sem a área verde	106

Figura 5.12 - Porcentagem de ocupação das edificações nas unidades de análise.....	107
Figura 5.13 - Valores de ocupação do sistema viário - vias e calçadas - nas unidades de análise	108
Figura 5.14 - Porcentagem de ocupação das áreas intraquadras nas unidade de análise.....	108
Figura 5.15 – Localização das áreas verdes nas unidades analisadas	111
Figura 5.16 – Influência da ocupação da área verde na impermeabilização total das unidades de análise	112
Figura 5.17 – Relação entre a ocupação das áreas semi-públicas e a impermeabilização total	113
Figura 5.18 - Relação entre ocupação e impermeabilização no lote com a impermeabilização total das unidades de análise.....	115
Figura 5.19 – Exemplo de ocupação e impermeabilização de um lote residencial de 300m ² ...	116
Figura 5.20 – Seqüência de procedimentos para o cálculo da impermeabilidade da calçada..	117
Figura 5.21 – Relação entre ocupação das calçadas e redução da impermeabilidade total nos loteamentos devido à reconfiguração das calçadas, estes segregados de acordo com o traçado viário	118

Tabela 5.6 - Resumo das conclusões das análise do uso do solo e da impermeabilidade urbana	103
Tabela 5.7 –Impermeabilidade no lote das unidades de análise conforme o zoneamento urbano	103
Tabela 5.8 – Comparação dos dados dos loteamentos com e sem a presença das áreas verdes.	112
Tabela 5.9 – Áreas semi-públicas e a impermeabilização total nas unidades de análise.....	113
Tabela 5.10 – Comparação dos valores de taxa de ocupação no lote e impermeabilidade na unidade de análise, atribuindo diferentes tipos de cobertura nas áreas intraquadras.	114
Tabela 5.11 – Comparação entre os valores de impermeabilidade total original e com a reconfiguração da calçada	118
Tabela 5.12 – Orientações para projetos de loteamentos residenciais.....	119

RESUMO

O impacto ambiental da urbanização através da crescente impermeabilização das superfícies e da inadequação da ocupação urbana às características naturais do sítio traduz um significativo aumento de eventos de enchentes em todos os centros urbanos mundiais. Desta forma, este trabalho tem como objetivo investigar a forma urbana e o tipo de uso do solo como fatores que caracterizam os impactos hidrológicos, considerando que estes são condicionantes que determinam o surgimento de áreas urbanas impermeáveis.

Para realizar esta pesquisa, toma-se como objeto de estudo a cidade de Canoas (RS), selecionando 13 áreas urbanas pertencentes ao município, conforme o zoneamento urbano estabelecido pelo plano diretor municipal, que representam diversos tipos de ocupação, de uso do solo, de densidades e de configuração da forma urbana. A metodologia envolve a manipulação de dados provenientes da base digital cartográfica municipal, do levantamento censitário, das fotografias aéreas e das determinações do zoneamento municipal e do plano diretor. Estes dados são integrados através de um sistema de informações geográficas (SIG), permitindo a produção de dados relativos à forma urbana e ao uso do solo das unidades de estudo, para a posterior análise da relação destas informações com os níveis de impermeabilidade. Por meio destas análises são construídos cenários alternativos visando a mitigação da impermeabilidade nas unidades de análise.

As principais constatações obtidas pelos resultados mostraram que: (i) as relações entre a forma urbana, uso do solo e impermeabilidade devem ser avaliadas simultaneamente com outros fatores que influenciam este fenômeno, como legislação urbana, tipos de ocupação, densidades urbanas e padrões culturais e socioeconômicos; (ii) Os cenários alternativos mostram efeitos moderados para minimizar a geração de áreas impermeáveis, através de medidas associadas à presença de áreas verdes nos loteamentos, ao controle da impermeabilização no lote e à reconfiguração da pavimentação das calçadas, atingindo médias de redução da impermeabilidade de 8.74%, 13.91% e 5.70% respectivamente.

Por fim, considerando as conclusões acerca dos itens avaliados, as relações entre os resultados obtidos, as constatações dos cenários alternativos e as determinações expostas por outros estudos neste âmbito, a dissertação finaliza sugerindo parâmetros para projetos de loteamentos residenciais em áreas urbanas, com o objetivo de buscar um menor nível de impermeabilização na sua implantação.

ABSTRACT

The environmental impact of urbanization due to the surface impervious growing and inadequacy of urban occupation induces to a significant increase of inundation events in every urban centers around the world. Therefore, the aim of this work is to investigate the urban form and the land use types as factors that characterizes the hydrological impacts and determinates the urban impervious areas.

It is taken as case study 13 urban areas pertaining to Canoas City, Rio Grande do Sul State (Brazil). The land use municipal law is considered for selecting these analysis units, taking examples of several types of land cover, land use, urban densities and urban form. The methodology involves the manipulation of municipal digital cartographic base, census data, aerial photographs and information about municipal urban laws. These data is integrated using geographic information system toolbox. This process allowed a production of the unit analysis output data related with the urban form and the land use, in order to study the connection with impervious level. Through the output data, alternative scenarios are developed in order to minimize the impervious level in the analysis units.

The main conclusions from the results show: (i) the relations between the urban form, the land use and the impervious surfaces must simultaneously be evaluated with others factors that influence this phenomenon, namely, urban law, land use type, urban densities and culture and socioeconomic patterns; (ii) The alternative scenarios show moderate effects to minimize the impervious cover generation. Through strategies associated with presence of green areas, lot impervious control and sidewalk cover design, the impervious reduction average in analysis units is 8.74, 13.91 and 5.70% respectively.

Finally, this research suggests some urban planning parameters, considering the results from analysis data, the relation between these results, the alternative scenarios output and the

1 INTRODUÇÃO

1.1 Tema

As alterações no equilíbrio do ciclo hidrológico devido à urbanização é uma preocupação mundial. Trata-se de um problema que envolve diversos aspectos vinculados ao sistema natural e ao sistema construído no território urbano. Estes aspectos e sua relação com o impacto hidrológico constituem a construção deste tema de pesquisa, cujos principais conceitos serão abordados a seguir.

Primeiramente, pode-se considerar a cidade como a manifestação da sociedade urbana (Choay, 1998, p.1), esta que ocupa o território expressando seu poder de transformar a paisagem natural conforme sua vontade. Entretanto, o insucesso na ordenação territorial¹ destes pólos urbanos mundiais enfraquece o suporte físico do sítio ocupado, fazendo com que este desempenhe um papel secundário no processo de definição da forma urbana. (Castro; Nascimento Jr., 2003, p.38). Deste modo, quando o homem interfere no ciclo natural de um sistema ecológico resulta na alteração, muitas vezes irreversível, deste ciclo, trazendo consigo impactos significativos no próprio homem e na natureza, comprometendo o funcionamento deste sistema (Tucci, 2003, p.12).

A ocupação de áreas para atividades urbanas resulta no surgimento de superfícies impermeáveis, ou seja, áreas que possuem uma cobertura do solo que impossibilita a infiltração da água da chuva. A cobertura impermeável sempre foi uma característica das áreas urbanas, porém, recentemente, a taxa de impermeabilização emergiu como um indicador ambiental (Arnold; Gibbons, 1996, p.244). A transformação de áreas anteriormente permeáveis, ou seja, áreas em que eram permitidos processos de infiltração e de pequena retenção da água da chuva (coberturas vegetais), em áreas impermeabilizadas através de pavimentações (placas de concreto, asfalto) ou através da própria ocupação da edificação, induzem a um desequilíbrio hidrológico caracterizado pelo aumento do escoamento superficial e mudanças do comportamento do hidrograma², além da gradativa diminuição da quantidade de água infiltrada

¹ Aqui entendido como a busca de um equilíbrio entre os equipamentos habitacionais e de produção e a distribuição da população, através da divisão do território em parcelas nas quais se autorizam determinadas atividades, considerando uma gestão dos recursos naturais. (Benatti, 2003)

² Hidrograma é o gráfico que relaciona vazão e tempo do escoamento superficial num ponto de interesse. (IPH/DEP, 2002, p.148)

pelo solo, prejudicando o suprimento dos mananciais subterrâneos. A Figura 1.1 ilustra um esquema de hidrograma de pré-urbanização e de pós-urbanização.

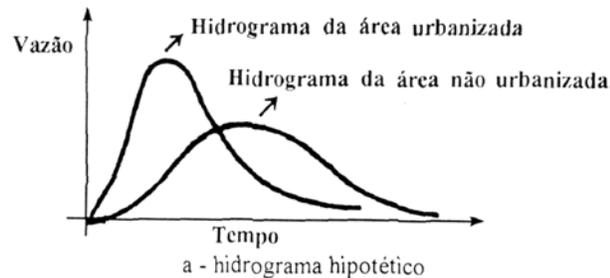


Figura 1.1 - Impacto da urbanização no hidrograma. (Tucci, 1995, p.18)

O aumento do escoamento de águas da chuva também está diretamente associado aos seguintes impactos ambientais: (i) degradação dos corpos d'água em áreas urbanas devido às cargas de poluição difusa³; (ii) enchentes em áreas urbanas devido ao aumento de vazão, ocasionando perdas materiais e risco de morte; (iii) erosão e sedimentação configurando áreas degradadas (Tucci, 2003, p.14).

Superfícies impermeáveis são elementos possíveis de serem mensurados, quantificados financeiramente e considerados no planejamento da ocupação urbana (Arnold; Gibbons, 1996, p.245). A forma urbana e o tipo de uso do solo são fatores que configuram a impermeabilização de um sítio urbano e, conseqüentemente, influenciam na intensidade e no tipo de impacto ambiental devido à ocupação deste sítio. Entende-se como conceito de forma urbana a caracterização física de uma aglomeração urbana (Porto Alegre, 1999), um elemento formal reconhecível e com um limite preciso. Já o conceito de tipo de uso do solo é considerado como afetação do solo determinada pelo tipo de construção ou atividade (residencial, comercial, industrial, agrícola ou misto) (GDF, 2005).

A preocupação com equilíbrio entre os recursos naturais, a forma urbana e o tipo de uso do solo sempre foi uma constante busca dos planejadores urbanos. Ademais, a degradação ambiental dos centros urbanos e a crítica às estratégias de desenvolvimento apoiadas em uma

³ "A poluição gerada pelo escoamento superficial em zonas urbanas é dita de origem difusa, uma vez que provém de atividades que depositam poluentes, de forma esparsa, sobre a área de contribuição da bacia hidrográfica." (Porto, 1995, p.388)

exploração da natureza vêm incentivando discussões e novas propostas de forma e de uso do solo urbano. Assim, as legislações urbanísticas que regulam o crescimento e a ocupação da cidade, como, por exemplo, o plano diretor de desenvolvimento urbano, são um importante instrumento para atingir uma relação equilibrada entre o sistema natural e o ambiente construído.

Desta forma, o tema deste estudo procura avaliar a forma urbana e o tipo de uso do solo como fatores que caracterizam os impactos hidrológicos, considerando que estes são diretrizes que determinam áreas urbanas impermeabilizadas e, por conseguinte, tornam-se importantes instrumentos de previsão e controle de impactos hidrológicos. Na Figura 1.2 é possível visualizar de maneira esquemática os assuntos envolvidos na construção do tema de pesquisa.



Figura 1.2 - Esquema gráfico da construção do tema

1.2 Origem do problema de pesquisa

As enchentes são fenômenos naturais que ocorrem periodicamente devido a chuvas intensas. Por sua vez, a urbanização, através da ocupação irregular de áreas, da crescente impermeabilização das superfícies e da inadequação da malha urbana às características do sítio, traduz um significativo aumento de eventos de enchentes em todos os centros urbanos mundiais (Pompêo, 2000).

Entretanto, a falta de comprometimento dos planos diretores municipais brasileiros com a qualidade ambiental do meio urbano, sobretudo quanto aos impactos hidrológicos, é uma situação preocupante, pois este é o principal instrumento que a cidade possui para direcionar sua ocupação, densidade e forma urbana. Apesar dos estudos apontarem que os impactos no equilíbrio hidrológico têm uma intrínseca relação com a impermeabilização de áreas devido à urbanização (Ramos; Baptista; Nascimento, 1997; Baptista *et al.*, 1997; Tucci, 1995), o planejamento urbano das cidades brasileiras geralmente não considera o fato de que a ausência de soluções integradoras entre os sistemas urbanos e os sistemas naturais é um significativo fator para a ocorrência de freqüentes enchentes (Pompêo, 2000, p.16).

A presença da água sempre influenciou na escolha do sítio para os assentamentos urbanos. Segundo Castro e Nascimento Jr. (2003, p.38) a proximidade da água caracterizava um meio essencial à subsistência, juntamente com a topografia do fundo do vale que viabilizava a implantação do núcleo e, ao mesmo tempo, delimitava a borda do crescimento da ocupação, pois a expansão geralmente evitava ultrapassar o alcance visual, sendo muitas vezes desviada para outros sentidos ao atingir os pontos mais altos do terreno, confirmando a tendência da urbanização de ocorrer no sentido de jusante para montante⁴. Entretanto, segundo Tucci (1995, p.22), a combinação do impacto de diversos loteamentos produz aumento da ocorrência de enchentes à jusante, local onde geralmente concentram-se os loteamentos mais antigos. Desta forma, é essencial que novos loteamentos possam providenciar suas próprias estruturas de controle da drenagem pluvial, a fim de não incrementar a vazão de escoamento na rede de drenagem municipal.

Desta forma, de que maneira se pode abordar o processo de geração de superfícies impermeáveis urbanas interpretando aspectos relativos à legislação urbana? Como os diversos tipos de forma urbana e uso do solo podem influenciar na geração de superfícies impermeáveis? Qual é o vínculo entre a geração de áreas impermeáveis e a ocupação urbana, considerando padrões de forma urbana, uso do solo e densidades urbanas? Estas são as principais perguntas que moldam o problema de pesquisa e, por conseguinte, o trabalho irá buscar respondê-las. Por fim, a Figura 1.3 apresenta um esquema da construção do problema de pesquisa.

⁴ Jusante: refere a uma localização rio abaixo com relação a uma seção de referência; Montante: refere a uma localização rio acima com relação a uma seção de referência. (IPH / DEP, 2002)

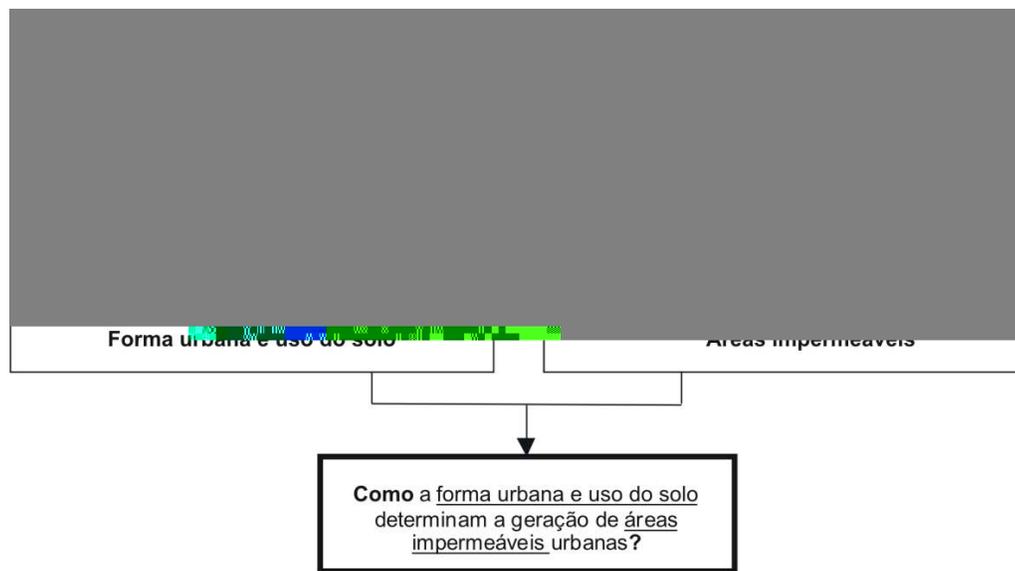


Figura 1.3 - Esquema gráfico da construção do problema de pesquisa

1.3 Objetivos

Objetivo Geral:

Avaliar o surgimento e a configuração de superfícies impermeáveis devido à ocupação de áreas urbanas, através da relação entre a forma urbana e o uso do solo, para o estudo dos impactos ambientais devido à urbanização.

Objetivos Específicos:

- (i) Avaliar qual a contribuição de cada tipo de cobertura para o valor total de impermeabilização das unidades de análise, através de uma distribuição espacial dos tipos de superfícies que ocupam a área urbana de estudo;
- (ii) Investigar como os elementos que compõe a forma urbana influenciam no nível de impermeabilidade das unidades de análise, por meio de mensurações e observações no local;
- (iii) Pesquisar como os instrumentos reguladores da cidade, adotados pelo plano diretor municipal de desenvolvimento urbano, através das diretrizes definidas pelos índices urbanísticos e pelo zoneamento, influenciam na geração de áreas urbanas impermeabilizadas;

- (iv) Relacionar valores referentes às densidades urbanas com o nível de impermeabilidade das unidades de análise, mediante dados populacionais e de ocupação das edificações na área de estudo;
- (v) Discutir meios alternativos de ocupação urbana onde se expressa um menor índice de impermeabilidade e, conseqüentemente, um menor impacto hidrológico.

1.4 Relevância e justificativa

A justificativa para o desenvolvimento deste tema de pesquisa pode ser descrita por três principais tópicos. Primeiro, a determinação da taxa de impermeabilização como um indicador de impacto hidrológico pode auxiliar no planejamento da ocupação urbana das cidades. Arnold e Gibbons (1996, p.245-246) interpretam que, embora a impermeabilização não seja responsável pela produção de cargas poluidoras, ela é um fator que contribui no processo gerador de impactos hidrológicos, pois (i) é a via de condução da poluição difusa incrementando a degradação de corpos d'água; (ii) é o componente característico de áreas de ocupação intensiva e de grande produção de poluentes; (iii) a taxa de impermeabilização de uma bacia hidrográfica é diretamente proporcional ao nível de degradação do seu corpo d'água receptor (Schueler, 1994). A Figura 1.4 mostra a relação entre o índice de impermeabilidade de uma bacia hidrográfica e o seu correspondente nível de deterioração.



Figura 1.4 - Relação entre taxa de impermeabilização da bacia hidrográfica e nível de degradação do corpo receptor. (Adaptado de Schueler, 1994, p.101)

O segundo item que justifica o desenvolvimento deste tema é o fato de que o estudo dos tipos de coberturas da superfície urbana e seu conseqüente nível de impermeabilização são úteis não somente para detecção de alterações no ciclo hidrológico no meio urbano, mas

também como unidades de análise para investigar outros tópicos relacionados à ecologia urbana, sobretudo impactos climáticos e biológicos devido às mudanças de uso e ocupação do solo, tópicos estes também importantes para o planejamento urbano ambiental.

E terceiro, a estimativa de futuras áreas urbanas impermeabilizadas pode contribuir para a elaboração de medidas não estruturais de controle da drenagem urbana, ou seja, medidas que procuram reduzir os danos ou conseqüências das inundações, não por intervenções constituídas por obras, mas fundamentalmente pela introdução de normas, regulamentos e programas. Esta estratégia de controle evita a necessidade de soluções estruturais, geralmente onerosas e não condizentes com o restrito orçamento dos governos brasileiros. Além dos escassos recursos financeiros para implementação de obras de controle da drenagem pluvial, a dinâmica social reconfigura rapidamente os espaços e, conseqüentemente, novas soluções são exigidas, tornando, em pouco tempo, obsoleta a estrutura já implantada (Pompêo, 2000,p.16).

Desta forma, o tema de pesquisa é relevante para a compreensão global das conseqüências ambientais de uma decisão de planejamento urbano, pois procura descrever e avaliar a relação entre impactos hidrológicos, ocupação urbana, forma urbana, uso do solo e legislações urbanas. Assim sendo, estudos que procuram explicitar as relações entre uso do solo e forma urbana com a geração de impermeabilidade podem ajudar a redefinir índices urbanísticos para um menor impacto hidrológico. A Figura 1.5 ilustra esquematicamente a construção da justificativa e da relevância do tema de pesquisa.

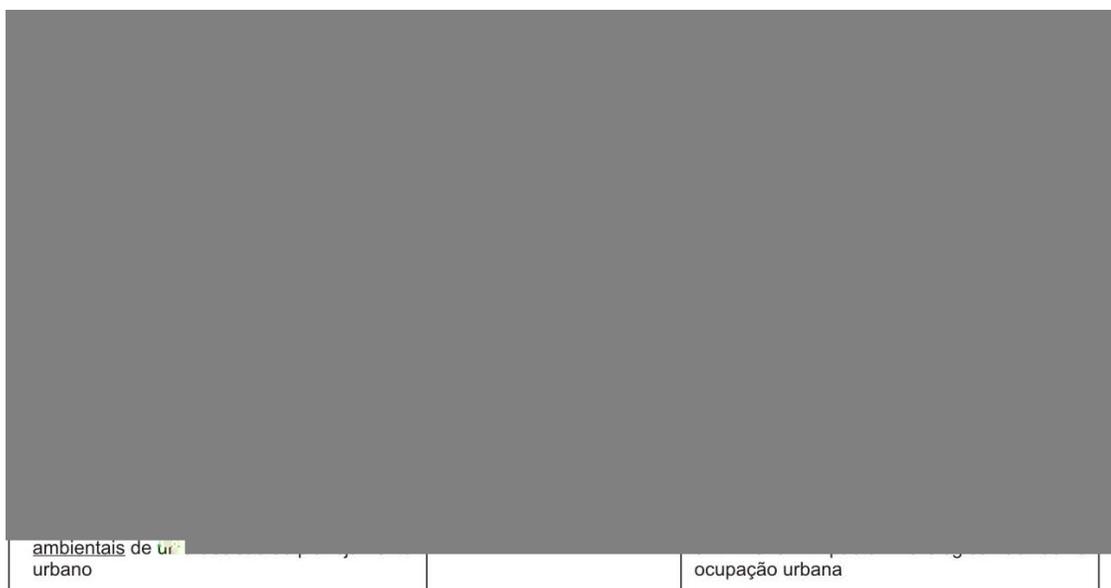


Figura 1.5 - Esquema gráfico da construção da justificativa e relevância do tema

1.5 Hipóteses do trabalho

O estudo procura a validação de três hipóteses:

A hipótese 1 define que a legislação urbanística, considerando o plano diretor de desenvolvimento urbano vigente no município e interpretando normas relativas à densificação e ao regime de atividades, determina a configuração da forma urbana e, conseqüentemente, este fato influencia na geração de áreas urbanas impermeáveis.

Já a hipótese 2 define que o nível de impermeabilidade das unidades de análise é dependente simultaneamente da configuração da forma urbana, das densidades e do tipo de uso do solo. Partindo deste ponto, é válido questionar, por exemplo, se somente a forma do traçado viário não-ortogonal, vinculada a áreas residenciais com baixas densidades urbanas, proporcionando uma melhor adequação à topografia do terreno e o surgimento de espaços arborizados, porém sem a alteração dos condicionantes dos elementos da forma, principalmente os que são relativos ao sistema viário, é capaz de proporcionar uma área com menores índices de impermeabilidade. Ou, senão, questionar se altas densidades populacionais vinculadas a locais com alto índice de verticalização exibem um maior ou igual índice de impermeabilidade em relação às áreas residenciais unifamiliares com baixo índice de verticalização.

Por fim, a hipótese 3 julga que, através da compreensão de como a forma urbana e o tipo de uso do solo influenciam na obtenção de áreas impermeáveis, é possível o desenvolvimento de soluções alternativas que resultem numa menor geração de áreas impermeáveis e, conseqüentemente, possibilitando um menor impacto hidrológico. Deste modo, é possível que mudanças nas configurações de forma urbana, por exemplo, possam auxiliar na reformulação de índices urbanísticos e agregar normas de controle de geração de áreas impermeáveis.

1.6 Estrutura do trabalho

Partindo deste capítulo introdutório, a dissertação estrutura-se através de mais cinco capítulos, cujo conteúdo e finalidade estão descritos a seguir.

O Capítulo 2 discute a fundamentação teórica desta investigação, apresentando uma breve discussão de tópicos relacionados ao planejamento urbano, à drenagem urbana, à forma urbana, às densidades urbanas e à aplicação do geoprocessamento e sistemas de informações

geográficas (SIG) em estudos urbanos. O objetivo deste capítulo é esclarecer os conceitos e idéias pautadas tanto na construção do tema quanto na aplicação da metodologia e apresentar pesquisas científicas afins com a investigação proposta para esta dissertação.

Já o Capítulo 3 trata do município de Canoas/RS, apresentando-o como objeto de estudo desta pesquisa e justificando a escolha desta área. Apresenta as características demográficas e sociais da cidade, bem como as características físicas, principalmente quanto à hidrografia e sistemas de drenagem. Por fim, delimita as áreas do município que caracterizarão as unidades de análise para a pesquisa, fundamentada através dos critérios para seleção destas unidades. A principal finalidade deste capítulo é esclarecer e justificar a escolha das unidades de análise, contextualizando-as em um panorama de informações acerca do objeto de estudo.

Logo, o Capítulo 4 discute a proposta metodológica para este trabalho, descrevendo as informações do levantamento de dados e as atividades necessárias para a caracterização das áreas impermeáveis, das densidades urbanas, da forma urbana e do regime urbanístico das unidades de análise. O propósito deste capítulo é definir e justificar os procedimentos eleitos para alcançar as informações para validar as hipóteses desta pesquisa.

Em seguida, no Capítulo 5, estão dispostos os resultados e as análises das informações obtidas pela aplicação da metodologia. Os resultados e as análises dos níveis de impermeabilização estão relacionados com quatro tópicos fundamentais: (i) uso e ocupação do solo; (ii) forma urbana; (iii) regime urbanístico e (iv) densidades urbanas. Após, são elaboradas e avaliadas simulações de cenários alternativos a fim de minimizar a geração de impermeabilização nas unidades de análise. O intuito deste capítulo é esclarecer quantitativamente e qualitativamente os resultados obtidos e, por meio destes, apresentar medidas e parâmetros de planejamento a fim de promover uma menor geração de áreas impermeáveis.

Enfim, no Capítulo 6, são apresentadas as considerações finais da pesquisa, este que é estruturado em três partes. A primeira envolve uma síntese do trabalho de investigação. Logo, a segunda parte trata da discussão acerca da validação das hipóteses da pesquisa e das possíveis contribuições deste trabalho. Por fim, na terceira parte, são propostas recomendações para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica desta dissertação procura tratar, de uma maneira geral, os principais conceitos e discussões que envolvem o problema de pesquisa. Os tópicos selecionados para este capítulo são o planejamento urbano e o plano diretor municipal (item 2.1), a drenagem pluvial e a impermeabilização de áreas urbanas (item 2.2), os elementos da forma urbana (item 2.3), as densidades urbanas, o uso do solo (item 2.4) e o geoprocessamento e o uso de sistemas de informações geográficas (SIG) em estudos urbanos (item 2.5).

2.1 O planejamento urbano e o plano diretor municipal

Desde o início do século XIX, com a emergência das grandes cidades, os trabalhos dos pensadores urbanistas já denunciavam a deplorável higiene dos núcleos urbanos, exemplificada pelos lixões fétidos e pela ausência de jardins públicos. Este pensamento higienista deu origem ao modelo progressista da cidade, onde se priorizou as necessidades do homem sobre a natureza, em virtude do seu bem estar e progresso, subsidiado pelas inovações tecnológicas que ocorreram na época (Choay, 1998, p.8-9).

Entretanto, atualmente, a promoção da qualidade de vida na cidade não considera mais a supremacia das atividades antrópicas, tendo hoje como importante ponderador a relação entre a dinâmica urbana e o meio ambiente natural. Sendo assim, a preocupação das legislações federais, estaduais e municipais com a definição de um desenvolvimento urbano que considera os condicionantes ambientais é uma condição urgente para o adequado ordenamento territorial nos centros urbanos.

Desta forma, o plano diretor municipal “é o instrumento básico da política de desenvolvimento e da expansão urbana” (Brasil, 1988, Art. 182.º). Segundo o Estatuto da Cidade (Brasil, 2001), “a propriedade urbana cumpre sua função social quando atende às exigências fundamentais de ordenação da cidade expressas no Plano Diretor, assegurando o atendimento das necessidades dos cidadãos quanto à qualidade de vida, à justiça social e ao desenvolvimento das atividades econômicas”. Inserido no plano diretor, encontra-se a lei de uso e de ocupação urbana, ou seja, a lei de zoneamento urbano, que define normas de uso e de ocupação para cada macrozona da área urbana. Procurando definir um equilíbrio na apropriação do território do município pela população, o zoneamento conta com índices

urbanísticos para estabelecer este controle da urbanização, sobretudo na densificação demográfica e habitacional (Braga; Carvalho, 2002). O índice de aproveitamento, a taxa de ocupação, a cota ideal e o recuo de jardim são exemplos de índices urbanísticos empregados no zoneamento urbano e, no caso específico desta investigação, serão levados em consideração para a caracterização das unidades de análise deste trabalho.

O Índice de Aproveitamento (IA) é o “quociente entre a área construída máxima e a área do lote” (Canoas, 1996). É contabilizado pela soma das áreas adensáveis (as partes da edificação utilizadas para morar ou trabalhar) com as áreas não-adensáveis (garagens e áreas de circulação, por exemplo) (Porto Alegre, 1999). Este índice permite uma fácil gestão do processo de urbanização, otimizando a capacidade do espaço das infra-estruturas existentes, porém pode causar sobrecarga nas mesmas se não for monitorado (Acioly; Davidson, 1998).

A Taxa de ocupação (TO) é “a percentagem da área do lote, ocupada pela projeção horizontal máxima de edificação” (Canoas, 1996). Em áreas residenciais, a taxa de ocupação nos lotes possui valores entre 50% a 75% do lote, sendo que, em áreas comerciais, esta taxa pode chegar a 100% do lote (Canoas, 1996; Porto Alegre, 1999; Niterói, 1995; Cascavel, 1996). É o índice urbanístico com maior influência no nível da impermeabilidade urbana, pois determina a impermeabilização no lote devido à ocupação da edificação (Cruz; Tucci; Turcknicz, 2000).

Já a cota ideal mínima (CI) é a “porção mínima de área a que corresponde teoricamente a cada economia residencial do lote” (Canoas, 1996). É o índice que determina o número máximo de unidades habitacionais (casas, apartamentos) que pode ser construído em um terreno (Porto Alegre, 1999), sendo um indicador de locais com tendência à densificação e à verticalização das edificações. Ou seja, um menor valor de CI (por exemplo, 44m²) indica uma tendência à verticalização, pois permite o maior número de unidades habitacionais no lote, materializada, por exemplo, em prédios de apartamentos nesta área; já um maior valor de CI (300m²) indica o incentivo para habitações unifamiliares no lote.

O recuo de jardim indica “a distância que a construção deve manter da calçada” (Porto Alegre, 1999). Geralmente este índice é aplicado em áreas residenciais, sendo as áreas comerciais isentas. Normalmente possui um valor de 4 metros, podendo oscilar entre 3 a 7 metros, conforme o zoneamento de cada município. Ademais, existe, em alguns zoneamentos

municipais, o recuo viário, que é faixa reservada do terreno para o futuro alargamento de ruas e avenidas

Outro importante dispositivo legal municipal é a lei de parcelamento do solo urbano, definido como “a divisão da terra em unidades juridicamente independentes, com vistas à edificação, podendo ser realizado na forma de loteamento, desmembramento e fracionamento, sempre mediante aprovação municipal” (Porto Alegre, 1999). Está sujeita às determinações da lei federal de parcelamento e uso do solo urbano (Brasil, 1979). Dentre as diretrizes de urbanização presentes na lei, estão dispostas as proporções de áreas públicas, áreas semi-públicas e áreas privadas no projeto de loteamentos. Entende-se como: (i) áreas públicas: as ocupações das vias, calçadas e demais circulações; (ii) áreas semi-públicas: as áreas verdes de recreação e lazer e áreas institucionais; (iii) área privada: os lotes e áreas condominiais. Geralmente as leis de parcelamento do solo definem o mínimo de 35% e o máximo de 50% da área do loteamento para uso público e semi-público, sendo que 10% desta área é destinada para áreas verdes e 5% para áreas institucionais, resultando, no mínimo, 20% para o sistema viário (Canoas, 1996; Porto Alegre, 1999). Quanto às áreas verdes, de uma maneira geral, as leis de parcelamento do solo somente determinam o caráter do seu uso, porém não especificam a porcentagem de cobertura vegetal e arbórea nestes locais, bem como o tipo de pavimentação a ser empregado.

Já Caminos e Goethert (1984, p.15 e 92) sugerem as seguintes proporções para um leiaute de urbanização eficiente: (i) área pública = no máximo 30%, sendo que a taxa desejável é de 20%; (ii) área privada = no mínimo 55%, sendo que o valor desejável é de 60%; (iii) área semi-pública – áreas verdes e áreas institucionais = de 15% a 20% do loteamento. É importante o esclarecimento destes padrões de urbanização, pois estes serão retomados posteriormente na discussão das análises dos resultados obtidos pelos loteamentos investigados nesta dissertação.

Outro ponto a ser discutido é o fato de que, apesar da existência de legislações contemplando a integração do desenvolvimento urbano com as questões socioambientais, como a lei estadual de Planejamento Urbano Ambiental (Rio Grande do Sul, 2000) e os planos diretores de drenagem urbana municipais, sobretudo o de Porto Alegre (IPH/DEP, 2000; IPH/DEP, 2002), os ambientes urbanos continuam com elevados índices de degradação, sendo este fato uma consequência do desequilíbrio entre o planejamento e o processo de

urbanização, agravado pela omissão das políticas de combate à depreciação da qualidade de vida urbana (Fujimoto, 2000).

Desta maneira, estudos procuram investigar os efeitos da implantação das legislações urbanísticas, verificando se há uma real melhora na qualidade do ambiente urbano. A seguir serão apresentados trabalhos que avaliam, dentre outros aspectos, os efeitos das regulações urbanas na questão da drenagem pluvial, sendo referências importantes principalmente para a compreensão do papel da legislação na geração da impermeabilidade urbana.

Estudos comparativos dos Planos Diretores de Porto Alegre/RS com os de outras cidades brasileiras (Florianópolis/SC, Goiânia/GO, Campinas/SP e Belo Horizonte/MG), foram feitos por Cruz, Tucci e Turcknicz (2000). Este trabalho mostra que, na maioria das vezes, os planos de desenvolvimento urbano não contemplam estratégias para a mitigação de problemas de drenagem associados aos condicionantes do sistema natural. Através da construção de loteamentos hipotéticos modelados em computação gráfica, o trabalho estima o escoamento superficial considerando os índices urbanísticos do Plano Diretor (índices de aproveitamento e taxa de ocupação do lote) no cálculo das áreas impermeáveis. Em todas as análises, os planos diretores de Porto Alegre, tanto o elaborado em 1979 quanto este último, elaborado em 1999 e que leva o nome de “Plano de Desenvolvimento Urbano e Ambiental”, apresentam maior impacto hidrológico em relação aos planos diretores das outras cidades consideradas, pois permitem um maior índice de ocupação dos lotes e, conseqüentemente, uma maior taxa de áreas impermeabilizadas. A Figura 2.1 mostra valores médios de vazão de escoamento em uma bacia hidrográfica onde é aplicada a taxa máxima de ocupação permitida pelo plano diretor de cada cidade analisada, onde ficam explícitos os altos valores atribuídos aos planos diretores de Porto Alegre.

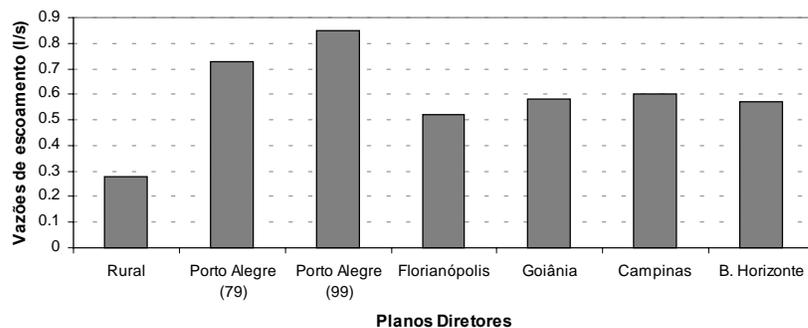


Figura 2.1 - Vazão em uma bacia hidrográfica atribuídos pela aplicação da taxa de ocupação permitida pelo plano diretor de cada cidade. (Adaptado de Cruz; Tucci; Turcknicz, 2000, p.497)

Entretanto, há casos onde a legislação municipal consegue instaurar uma melhora no equilíbrio hidrológico urbano. Promovendo a relação entre forma urbana e controle da drenagem pluvial, Ramos, Baptista e Nascimento (1997) apresentam uma avaliação do impacto das recentes mudanças da legislação de uso e ocupação do solo em Belo Horizonte/MG no cálculo de hidrogramas de projeto. Os resultados obtidos indicam vazões de pico menores quando se utiliza a legislação atualmente em vigor, refletindo uma melhoria nas condições de escoamento pluvial na cidade em resposta a um controle maior do adensamento e ao incentivo à preservação de áreas verdes com cobertura vegetal e arbórea.

De um modo geral, através destes estudos, é possível perceber que o plano diretor municipal, em conjunto com as diretrizes estabelecidas pelos índices urbanísticos definidos pelo zoneamento urbano, são de suma importância para o controle dos impactos ambientais. Finalmente, no caso específico da impermeabilidade urbana, as legislações municipais relativas à taxa de ocupação e à determinação de áreas verdes permeáveis são as que mostram ser mais efetivas na mitigação do surgimento de superfícies impermeáveis e, conseqüentemente, na menor produção de escoamento pluvial.

2.2 Drenagem pluvial e impermeabilização de áreas urbanas

O modelo urbano progressista, juntamente com o pensamento higienista, promoveu, no século XIX, uma brusca mudança na aceitação dos corpos d'água no meio urbano. Assim, a ordem maior no urbanismo era afastar a presença da água por meio de sistemas de drenagem pluvial e esgotamento sanitário através de redes subterrâneas, com a intenção de promover melhores condições de circulação e de conforto (Baptista; Nascimento, 2002; Silveira, 2000). Este conceito higienista da drenagem urbana se estendeu até o século XX, promovendo uma redução progressiva do papel da água na paisagem urbana e uma crescente transformação dos rios urbanos em canalizações de esgoto.

Entretanto, no final do século XX até os dias atuais, a consciência ecológica e a necessidade de um manejo otimizado e sustentável dos recursos hídricos promoveram o uso das inovações tecnológicas para efetivar um modelo ambientalista para a drenagem urbana. De um modo elementar, este modelo procura preservar o ciclo hidrológico natural e o balanço hídrico do meio urbano (ver Figura 2.2), atenuando as vazões de pico e reduzindo a concentração de poluentes no esgoto pluvial (Silveira, 2000).

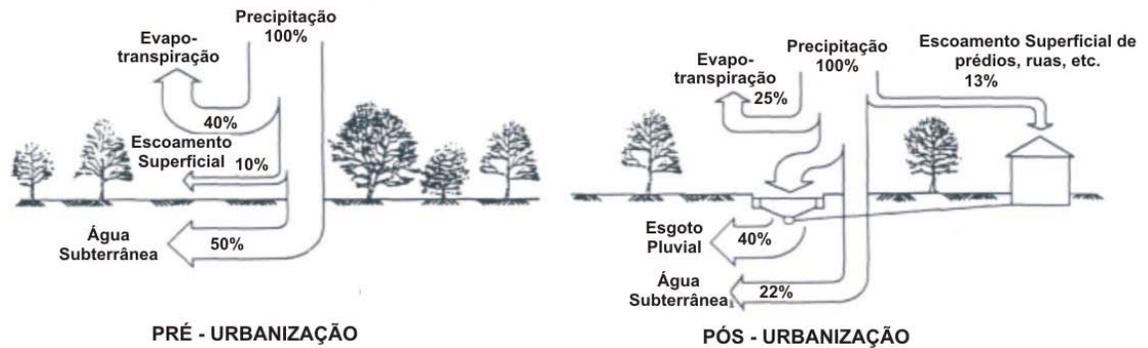


Figura 2.2 – Características do balanço hídrico numa bacia hidrográfica urbana (Tucci, 1995, p.284)

Os princípios atuais da concepção da drenagem urbana respeitam os seguintes condicionantes: (i) os novos loteamentos não podem aumentar a vazão de pico das condições naturais; (ii) o planejamento ambiental deve incluir controle do volume de escoamento; (iii) deve-se evitar a transferência dos impactos do escoamento de montante para jusante (Tucci, 2003; Workshop em Drenagem Urbana Sustentável no Brasil, 2003). Estes são importantes conceitos para esta pesquisa, pois encaram a importância do controle da produção de escoamento, logo, da geração de áreas impermeáveis urbanas, como condicionante para o planejamento da drenagem urbana sustentável.

Neste contexto, é importante compreender que a ocorrência de enchentes em áreas urbanas surge devido a dois processos, que podem ocorrer isoladamente ou simultaneamente (Tucci, 1995, p.16). O primeiro é um processo natural, que ocorre em áreas ribeirinhas, caracterizado por cheias que alcançam os loteamentos que ocupam os leitos dos rios, geralmente em razão da falta de um controle na preservação das áreas inundáveis.

Por outro lado, o segundo processo da ocorrência de enchentes é devido à urbanização. A impermeabilização do solo, por meio dos telhados das edificações, ruas asfaltadas, calçadas, pátios, entre outros, que impede a infiltração e a retenção das águas da chuva, em conjunto com medidas higienistas de drenagem urbana, provocam um desequilíbrio do ciclo hidrológico, ocasionando enchentes devido ao aumento do volume e da vazão de escoamento pluvial (Tucci, 1995; Arnold e Gibbons, 1996). É necessário o esclarecimento destes dois processos, pois a pesquisa focalizará seu estudo nos impactos hidrológicos devido somente à urbanização, expressos na geração da impermeabilidade urbana.

Para evitar os impactos acima citados, medidas de controle do escoamento pluvial são adotadas na implantação da infra-estrutura de drenagem. São classificadas em dois tipos: as medidas estruturais e as não-estruturais. As estruturais envolvem “medidas físicas de engenharia destinadas a desviar, deter, reduzir ou escoar com maior rapidez as águas do escoamento superficial direto” (FCTH/PMSP, 1999, p.19). Já as medidas não-estruturais são representadas por legislações de controle do uso e de ocupação do solo, principalmente nas várzeas e nas bacias hidrográficas. Por envolver, muitas vezes, aspectos de natureza cultural, estas medidas podem ter dificuldades na sua implantação a curto prazo, sendo que o envolvimento da comunidade é indispensável para o sucesso deste tipo de medida de controle. Sendo assim, os resultados constatados nesta dissertação irão subsidiar a elaboração de medidas não-estruturais de controle da drenagem, através de recomendações acerca da forma urbana e uso do solo.

Entretanto, algumas medidas de controle da drenagem urbana relacionadas com o controle da impermeabilidade urbana vêm sendo consideradas nas legislações municipais. O Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre (PDDrU) (IPH/DEP, 2000, p.32) propõe a reformulação dos artigos 97 (referente aos reservatórios de retenção no lote) e 134 (referente ao parcelamento do solo) do plano diretor de Porto Alegre (Porto Alegre, 1999), baseando-se em medidas de controle na fonte do escoamento pluvial através de dispositivos permeáveis que recuperem a capacidade de retenção e infiltração da água da chuva. Além disto, estabelece o monitoramento de áreas impermeáveis, bem como sua relação com a dinâmica de urbanização e densificação da cidade, como um dos Programas dentro do PDDrU, ou seja, como atividades de médio a longo prazo para auxiliar no planejamento da drenagem urbana municipal (IPH/DEP, 2000, p 36-37).

Outra importante providência tomada por leis de zoneamento municipal é a determinação da taxa de ocupação e impermeabilização no lote (TOI), já implantada em diversas cidades brasileiras. Como exemplo, pode ser citado o caso da cidade de Niterói/RJ, cujo zoneamento define áreas de restrição da ocupação urbana e taxas de impermeabilização, permitindo apenas 40% de impermeabilização em lotes em áreas residenciais inseridas em áreas de interesse ambiental e no máximo 50% de área impermeável em lotes com edificações coletivas ou com uso industrial (Niterói, 1995). Em São José dos Campos/SP, a taxa de impermeabilização é aplicada em áreas verdes de lazer e recreação e em loteamentos inseridos em áreas de proteção ambiental, definindo coeficientes máximos de impermeabilidade (São José dos

Campos, 1997). Em Belo Horizonte é definida uma taxa de permeabilidade, conceituada como “uma porcentagem de área descoberta e permeável do terreno, em relação a sua área total, dotada de vegetação que contribua para o equilíbrio climático e propicie alívio para o sistema público de drenagem urbana” (Belo Horizonte, 1996) e é aplicada, de maneira diferenciada, tanto nas zonas de proteção ambiental, como nas zonas urbanas comerciais e residenciais. Entretanto, nem sempre este índice urbanístico parece servir como medida de controle da drenagem, pois, por exemplo, na cidade de Cascavel/PR, o zoneamento permite taxas de 80% de impermeabilização em lotes residenciais, chegando a 100% em áreas comerciais (Cascavel, 1996).

Com relação às estimativas de áreas impermeáveis, pesquisas defendem sua importância como instrumentos de planejamento urbano para assentamentos, a fim de que estes interfiram na menor maneira possível no equilíbrio do ciclo hidrológico natural. Uma importante referência é o trabalho de Arnold e Gibbons (1996), que justifica a definição da superfície impermeável como indicador de impacto ambiental em áreas urbanas.

Por outro lado, um exemplo no cenário nacional seria o estudo feito em São Carlos (SP), na bacia hidrográfica do córrego do Gregório, onde Queiróz e Souza (1997) desenvolveram um trabalho que apresenta os resultados obtidos através de simulações de medidas estruturais e não estruturais de controle das cheias urbanas em diversos cenários. Por meio da integração de um sistema de informações geográficas e um modelo hidrológico testado e calibrado para a bacia hidrográfica em estudo, verificou-se a efetividade do emprego das medidas mitigadoras, dentre elas: (i) presença de áreas permeáveis internas aos lotes urbanos (cenário 1); (ii) reserva de 20% da área total do loteamento para áreas verdes (cenário 2); (iii) retificação dos canais naturais (cenário 3); (iv) preservação da mata ciliar (cenário 4); (v) reserva de 5% da área total do loteamento para áreas verdes (cenário 5). De um modo simplificado, os resultados encaminharam às seguintes conclusões: (i) o impacto negativo da retificação dos canais é superior ao impacto positivo promovido pelas demais medidas de controle; (ii) a manutenção de 20% da área total loteada para espaços verdes densamente arborizados foi a medida que surtiu maiores efeitos com relação à diminuição do volume escoado e à vazão de pico; (iii) a presença da mata ciliar (cenário 4) e o aumento da área permeável nos lotes (cenário 1) tiveram aproximadamente o mesmo efeito sobre a drenagem; (iv) a arborização densa de apenas 5% da área loteada é muito pouco para produzir efeitos positivos sobre a drenagem da sub-bacia hidrográfica. Portanto, o estudo confirmou a idéia de que uma ocupação dos loteamentos

urbanos mais adequada ao sistema natural, bem como a existência de áreas verdes, pode diminuir os impactos gerados pela impermeabilização sobre a drenagem urbana. Estas conclusões serão úteis, posteriormente, para subsidiar a elaboração de cenários alternativos para as unidades de análise desta pesquisa.

Os conceitos e as referências bibliográficas explorados neste item são importantes para compreender em que contexto do tema “Drenagem Urbana” a questão da impermeabilidade está inserida e como, sob este aspecto, ela será abordada neste trabalho. De qualquer forma, a questão da impermeabilidade de superfícies urbanas continuará sendo abordada nos itens seguintes deste capítulo, pois este tópico possui uma forte conexão com a forma urbana, além de ser um ponto de investigação dos trabalhos citados nos assuntos referentes à densidade urbana e aplicabilidade do Geoprocessamento e SIG em estudos urbanos.

2.3 Os elementos da forma urbana

A investigação da influência dos elementos da forma urbana na geração de áreas impermeáveis faz parte do objetivo principal desta dissertação. Desta forma, é importante esclarecê-los para a compreensão deste trabalho, pois integram os parâmetros que serão avaliados para a caracterização das unidades de análise desta pesquisa. Assim sendo, os assentamentos urbanos são configurados basicamente por três importantes elementos: a rua, o quarteirão e o lote.

As ruas, as avenidas e os caminhos para pedestres são definidos pela malha urbana, conforme a topografia do terreno, as características do uso do solo e a hierarquia dada para estas vias. Basicamente, como mostra a Figura 2.3, os tipos de desenhos da malha urbana podem ser classificados em três: (i) ortogonal, (ii) não ortogonal, (iii) triangular. Segundo Mascaró (2003, p.37), o traçado não ortogonal, além de acarretar um maior custo na sua implantação, proporciona uma maior superfície a ser pavimentada por possuir cruzamentos atípicos.

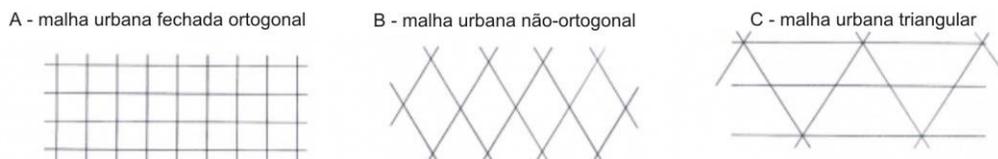


Figura 2.3 - Tipo de malhas urbanas (Mascaró, 2003, p.37)

As larguras das ruas e avenidas são dimensionadas através dos gabaritos viários presentes na lei municipal de parcelamento do solo, cujas medidas são determinadas de acordo o tipo de uso: (i) vias arteriais ou principais, destinadas à circulação geral no município, normalmente com largura entre 40 a 20 metros, (ii) vias coletoras ou secundárias, destinadas a distribuir os fluxos da circulação local, com larguras entre 25 a 16 metros, (iii) vias locais, destinadas a orientar os fluxos dos quarteirões, permitir acessos a pontos internos e canalizar o fluxo para as vias secundárias, com largura entre 17.50 a 12 metros (Canoas, 1995; Porto Alegre, 1999).

De uma maneira simplificada, as larguras das vias de circulação são dimensionadas de acordo com os usuários, a fim de permitir uma qualidade de conforto para o deslocamento. Deste modo, para vias locais, as calçadas devem ter no mínimo uma largura de 1.50m, sendo a largura ideal de 3.00m, e as faixas nas vias, tanto para circulação quanto para estacionamento, devem ter uma largura de 2.50m (Mascaró, 2003). Assim, por exemplo, a largura mínima das vias locais, determinada por 12.00m, permite duas faixas de calçadas com 2.25m de largura, duas faixas de circulação de veículos com 2.50m e uma faixa de estacionamento de veículos de 2.50m. A Figura 2.4 mostra as larguras mínimas de cada elemento do sistema viário em vias locais.



Figura 2.4 – Características físicas das vias locais (Mascaró, 2003, p.72)

No caso específico das calçadas, os padrões de urbanização e as legislações atuais procuram otimizar os espaços para a circulação de pedestres, faixa de arborização e mobiliário urbano, além de promover uma permeabilidade na pavimentação do passeio. Neste aspecto, pode-se verificar em Mascaró (2003, p. 90) a definição de uma calçada ideal apresentando uma faixa 1.00m junto ao meio fio para a arborização urbana, uma faixa de 1.60m pavimentada para circulação de pedestres e uma faixa gramada com largura variável de 1.00m a 1.40m junto ao alinhamento do lote, totalizando uma largura de calçada de 3.60m a 4.00m. Semelhante a esta configuração, o decreto municipal que dispõe sobre a pavimentação dos passeios públicos de Porto Alegre/RS (Porto Alegre, 2000) define um desenho de calçada em áreas residenciais reservando faixas permeáveis na pavimentação. O esclarecimento destes aspectos sobre o leiaute do sistema viário é necessário para a posterior formulação dos cenários alternativos dos loteamentos estudados nesta dissertação.

Já o quarteirão ou quadra é a “área do terreno delimitada por vias de comunicação, subdividida ou não em lotes para construção, excetuando-se passagem para pedestres” (Canoas, 1995). Geralmente os quarteirões possuem um formato quadrado ou retangular, tendo como dimensões médias de lado entre 100 e 200 metros. A área dos quadras (“tamanho do grão”) variam entre 1.00 a 3.00 hectares, sendo que, segundo as estimativas presentes em Mascaró (2003, p. 43), o tamanho do grão próximo de 1ha é o que resulta em menores taxas de ocupação do sistema viário no loteamento. O conceito de “grão” é “a abertura da malha urbana ou a distância entre as vias circundantes” (Mascaró, 2003, p.41). A Figura 2.5 apresenta uma relação entre o tamanho do grão (área da quadra) e a ocupação viária no loteamento. Estas relações entre o tamanho da quadra, ocupação viária e impermeabilidade serão retomadas na análise dos dados desta dissertação.

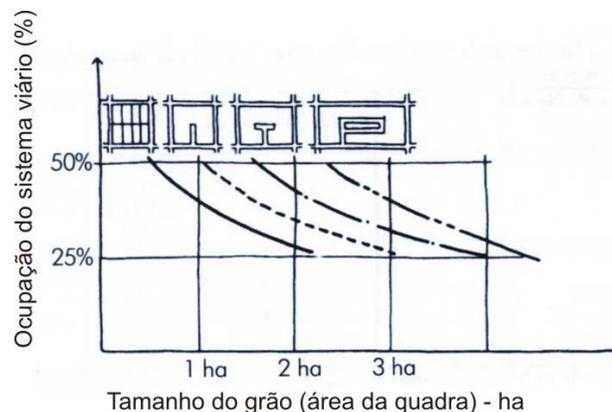


Figura 2.5 – Relação entre o tamanho do grão (área da quadra) e a ocupação viária no loteamento. (Mascaró, 2003, p. 43)

Por fim, o lote é “cada uma das porções fundiárias resultantes de loteamento, de desmembramento ou de desdobro com, pelo menos, uma divisa lindeira com a via pública” (Canoas, 1995). No planejamento dos lotes, costuma-se considerar três características básicas: área mínima, testada do lote (medida da divisa do lote voltada para a via pública) e o tipo de uso da edificação que será implantada no lote (residencial unifamiliar ou multifamiliar, comercial ou industrial).

Quanto ao tamanho do lote, a lei federal de parcelamento do solo urbano define uma área mínima de 125m² e testada mínima de 5m (Brasil, 1979). Já a lei de parcelamento do solo do município de Canoas define como tamanho mínimo do lote uma área de 300m² e uma testada de 10m, com exceção de loteamentos populares, onde a área mínima é de 150m² e máxima de 200m², com testada mínima de 7.50m (Canoas, 1995). Entretanto, o trabalho de Acioly e Davidson (1998, p. 63 e 64) destaca o fato que os padrões aceitáveis de tamanho de lotes urbanos estão estreitamente relacionados com os aspectos culturais das sociedades. Para exemplificar este fato, pode-se observar que enquanto no Brasil o lote de 200m² (10m por 20m) é um padrão mínimo capaz de promover uma habitação aceitável, em Guiné Bissau este padrão de lote mínimo passa para 500m² (25m por 25m).

Estudos científicos procuram relacionar os elementos da forma urbana e tipos de uso do solo com aspectos relacionados à drenagem urbana, sobretudo à geração de áreas impermeáveis. A seguir serão apresentados alguns trabalhos que podem exemplificar esta investigação e estabelecer algumas conclusões acerca destas relações.

Ellis (1995) apresenta um trabalho de caráter conceitual, que procura defender uma estreita relação entre a forma urbana e o traçado da rede hidrográfica, tendo como objetivo não somente uma segura drenagem das águas urbanas e o controle da poluição hídrica, mas também extrair um suporte ecológico e um benefício estético. O trabalho conclui que medidas de controle do escoamento que promovam um aumento da rugosidade e da permeabilidade do solo, através da cobertura vegetal, são importantes para áreas com baixa declividade que, conseqüentemente, são as mais alagadiças.

Outro estudo que procura estreitar a relação entre a forma urbana e uso do solo com a geração de áreas impermeáveis foi feito por Zielinski (2002), que estabelece um método para avaliação da vulnerabilidade dos corpos d'água, estes que são receptores das bacias hidrográficas urbanas, em função do nível de impermeabilidade, cujo conceito está baseado no

estudo de Schueler (1994). Utiliza como unidade de estudo a bacia hidrográfica e a sub-bacia hidrográfica e, através de dados de doze bacias hidrográficas, estabelece a relação entre tipos de uso de solo e tamanho do lote com níveis de impermeabilização. A Tabela 2.1 mostra a estimativa de cobertura impermeável relatada por este trabalho.

Tabela 2.1 - Estimativas de superfícies impermeáveis para a região da Baía de Chesapeake (Maryland, Virgínia - EUA) (Zielinski, 2002, p.20)

Tipo de uso do solo	Média de cobertura impermeável do lote
Agricultura	1.9%
Área urbana não construída	8.6%
Lote residencial de 2 acres (8093.74 m ²)	10.6%
Lote residencial de 1 acre (4046.87m ²)	14.3%
Lote residencial de ½ acre (2023.43m ²)	21.2%
Lote residencial de ¼ acre (1011.72m ²)	27.8%
Lote residencial de 1/8 acre (505.86m ²)	32.6%
Residência unifamiliar	40.9%
Edifício multifamiliar	44.4%
Edifício institucional	34.4%
Indústria leve	53.4%
Edifício comercial	72.2 %

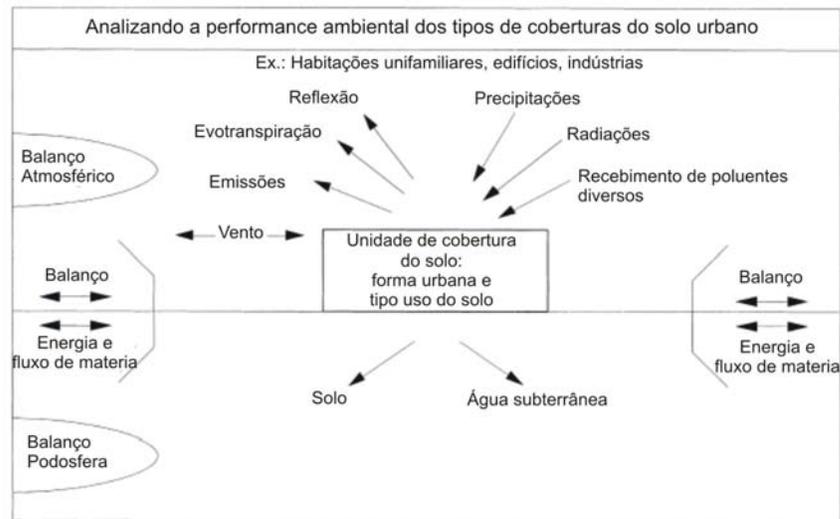


Figura 2.6 - A unidade de estudo da cobertura e as possíveis análises nesta escala (Adaptado de Pauleit e Duhme, 2000, p.3)

Desta forma, este estudo define 1028 unidades de análise, com uma superfície média de 1 km², submetidas a 24 tipos de classificações de ocupação conforme o tipo de cobertura e de uso, como áreas residenciais, parques, rodovias e plantações, por exemplo. A Figura 2.7 exemplifica as unidades de análise e a classificação da cobertura. Uma explicação sobre a metodologia deste estudo será feita no item 2.4, pois ele utiliza princípios de geoprocessamento relevantes para a construção da metodologia desta dissertação.

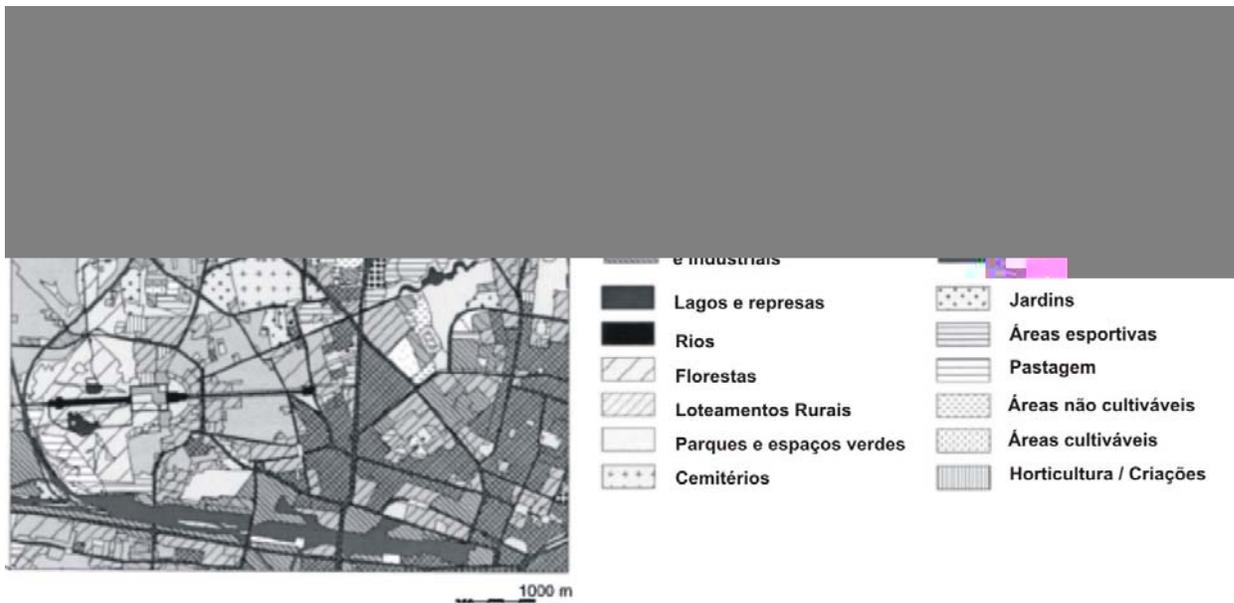


Figura 2.7 - Padrões de ocupação urbana na área de estudo – Munique (Alemanha) (Adaptado de Pauleit e Duhme, 2000, p.4)

Portanto, o artigo de Pauleit e Duhme defende o uso da escala de análise no nível de ocupação do solo para melhor subsidiar estratégias de planejamento urbano, pois consegue utilizar uma interface comum, neste caso o tipo de ocupação, para promover uma interdisciplinaridade na tomada de decisões, ou seja, para permitir uma integração e um melhor entendimento entre a área técnica (relativa aos estudos de ecologia urbana e sustentabilidade), a legislação municipal e os usuários (neste caso, os cidadãos). Por fim, o trabalho apresenta uma aplicabilidade desta escala de análise no estudo do equilíbrio hidrológico urbano, quantificando a produção de escoamento pluvial, conforme os níveis de impermeabilidade encontrados para cada tipo de uso do solo.

O estudo de Pauleit e Duhme conclui que, apesar da grande variabilidade dos dados coletados, impossibilitando uma análise estatística, há uma forte relação entre o tipo de ocupação do solo e níveis de impermeabilidade. Logo, verifica-se que áreas comerciais e industriais detêm a maior porcentagem de cobertura impermeável, com exceção de áreas comerciais que dispõem de amplos espaços verdes, onde este problema é minimizado. No caso de áreas residenciais, a quantificação mostra uma maior cobertura impermeável nas áreas verticalizadas do que nas áreas com baixa densidade. Porém, quando estabelece uma proporção entre área impermeável e número de habitantes, o estudo conclui que em baixas densidades demográficas os habitantes estão vinculados a uma maior área impermeável (esta que pode ser traduzida por sistema viário e área edificada, por exemplo) do que em locais com maior densidade demográfica. Os valores publicados neste artigo serão posteriormente, no capítulo sobre a análise de dados, comparados com os valores obtidos por esta investigação.

Já o segundo trabalho, desenvolvido por Stone Jr. (2004), apresenta um estudo em uma área residencial em Madison – Wisconsin (EUA), onde relaciona áreas impermeáveis com o uso do solo residencial. Porém, neste estudo, o autor defende a utilização do lote como unidade de análise. De qualquer forma, o estudo também não recomenda o uso da bacia hidrográfica como unidade de análise para estratégias de planejamento e legislação urbanas, justificando que as bacias hidrográficas, por sua ampla área, comportam diferentes usos do solo e diferentes índices urbanísticos, não possibilitando identificar quais são as medidas legislativas que estão sendo realmente eficazes na mitigação da excessiva impermeabilização das áreas ocupadas.

Analisando aproximadamente 40.000 residências unifamiliares, Stone Jr. avaliou o impacto das legislações sobre o parcelamento do solo, considerando a área e a testada do lote, o recuo

de jardim, a largura da via, a capacidade de cada edificação residencial (expressa pelo número de quartos por edificação) e o traçado da malha viária do loteamento, sendo que os dados foram vinculados à cada unidade de análise, ilustrado esquematicamente na Figura 2.8. A metodologia aplicada neste estudo será melhor abordada no item 2.4 deste capítulo.

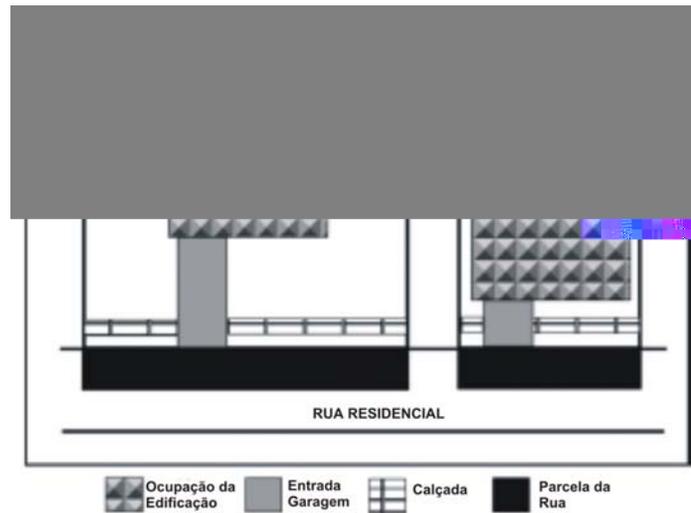


Figura 2.8 - Componentes de impermeabilização da unidade de análise (Stone Jr., 2004, p.104)

O resultado deste estudo conclui que, semelhante ao estudo de Pauleit e Duhme (2000), os padrões de ocupação de baixa densidade estão associados com uma maior área de impermeabilização por habitante do que áreas com padrões de ocupação de alta densidade. Através de uma análise de regressão dos dados, observa-se que quanto maior o tamanho e a testada do lote, menor o nível de impermeabilização. Também conclui-se que o traçado ortogonal, que possui um menor número de interseções viárias, apresenta um menor nível de impermeabilização do que traçados não-ortogonais. O artigo conclui ressaltando a importância de regulações de uso e ocupação do solo para a redução da impermeabilização em áreas residenciais, contribuindo com a qualidade ambiental do meio urbano. Recomenda a aplicação de medidas que possam otimizar a forma do lote, buscando um formato mais retangular, para restringir a ocupação e promover uma verticalização, além de cogitar o uso de pavimentos permeáveis nos pátios e calçadas. Estas recomendações são importantes sugestões e são consideradas no desenvolvimento desta dissertação, sobretudo para elaborar os cenários alternativos para testar medidas para mitigação de áreas impermeáveis.

Finalmente, o terceiro trabalho foi desenvolvido recentemente na cidade de Ribeirão Preto (SP), que procurou investigar a impermeabilização dos lotes verticalizados, caracterizando os

impactos hidrológicos na área urbana. Garotti e Barbassa (2005) utilizam como unidade de análise o lote e mensuram a porcentagem de impermeabilização, vinculando informações relativas ao tipo de uso e de ocupação. A partir dos dados de impermeabilidade, foram quantificados os impactos hidrológicos, expressos por meio de valores de vazão pré-urbanização e pós-urbanização, relacionados com índices urbanísticos, como taxa de ocupação (TO), taxa de ocupação e impermeabilização (TOI), área do lote, área construída e número de pavimentos. Os resultados indicam, dentre outras constatações, que lotes menores possuem uma maior taxa de impermeabilização do que lotes com maior área, de acordo com o que foi constatado por Stone Jr. (2004). O trabalho conclui que a importância deste tipo de investigação é fornecer dados relativos à impermeabilidade dos lotes para futuras decisões de planejamento e gestão da infra-estrutura de drenagem urbana.

Portanto, as referências citadas neste item procuraram esclarecer a vinculação entre os elementos da forma urbana, estes que determinam a configuração da cidade, e os impactos ambientais conseqüentes desta configuração, principalmente com relação à geração de áreas impermeáveis. Estes esclarecimentos são importantes para definir os critérios de análise dos dados desta pesquisa com relação à forma urbana e a impermeabilidade. Por fim, destaca-se que a abordagem de estudos utilizando como escala de análise elementos da forma urbana em vez da delimitação da bacia hidrográfica serve para justificar a adoção desta unidade de análise para esta dissertação, cujos objetivos centralizam-se na relação entre os parâmetros da ocupação urbana (forma urbana e uso do solo) com a impermeabilidade, e não para inviabilizar o uso das delimitações da bacia hidrográfica em estudos urbanos. Desta forma, as referências bibliográficas mostram as diferenças entre as escalas de análise, explicitando que cada escala possui suas vantagens e desvantagens, sendo apropriadas para suprir determinados objetivos e análises de investigação.

2.4 Densidades urbanas e uso do solo

Fundamentalmente, a densidade urbana é encarada como a relação entre número de habitantes ou o número de habitações e uma determinada área urbana considerada. O controle das densidade urbanas pela gestão municipal, através do zoneamento do uso do solo e dos índices urbanísticos, é importante para determinar a adequada distribuição dos equipamentos e infra-estrutura urbanos (Bortoluzzi; Hochheim, 2004).

Desta forma, é estabelecida a definição de densidade demográfica, expressa em número de habitantes por hectare (hab/ha) e a de densidade habitacional, expressa em número de unidades habitacionais, ou seja, economias, por hectare (eco/ha), conceitos usuais nos estudos de planejamento urbano. No caso desta dissertação de mestrado, o fato de possuir apenas a delimitação da ocupação da edificação, que é fundamental para o estudo da impermeabilidade urbana, porém sem possuir dados precisos do número de economias presente em cada edificação, a densidade habitacional foi substituída pela utilização da densidade de edificação, ou seja, a razão entre o número de edificações, com uso residencial ou não residencial, e a área urbana considerada, expressa pelo número de edificações por hectare (edif/ha). Para fins de análise da relação da densidade com a impermeabilidade, esta substituição não acarreta prejuízos para a investigação neste escopo, pois o importante para o estudo da impermeabilidade urbana é a determinação da superfície ocupada pela edificação e sua relação com o espaço urbano.

Entretanto, é interessante fazer emergir a discussão sobre a relação entre densidade e forma urbana, esta que implica, além de questões técnicas e econômicas, aspectos étnicos e sociais. A configuração da forma urbana, através das dimensões dos seus elementos fundamentais (rua, quadra e lote), e a configuração das edificações, por meio da sua volumetria e ocupação no lote, são os aspectos mais visíveis da densidade urbana. Segundo Acioly e Davidson (1998, p. 58), os assentamentos com altas densidades (mais de 200 hab/ha) tendem à verticalização e grande concentração de atividades, acabando por elevar a pressão por mais áreas de estacionamento e circulação, gerando a necessidade de solucionar o problema devido ao aumento da superfície impermeabilizada, através de uma rede de drenagem eficiente. Por outro lado, baixas densidades (entre 20 a 10 hab/ha) resultam tanto em baixos padrões de infraestrutura quanto altos custos financeiros, além de altos custos ambientais (Acioly e Davidson, 1998, p. 64). A Figura 2.9 mostra um quadro exemplificando as vantagens e desvantagens da cada nível de densidade urbana.

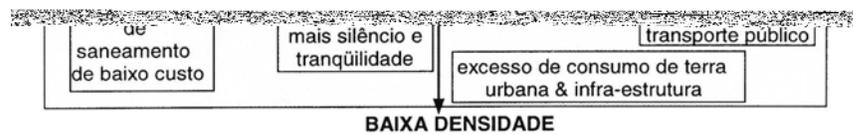


Figura 2.9 - Quadro comparativo da baixa e alta densidade (Acioly; Davidson, 1998, p.17)

Apesar dos aspectos culturais e econômicos de cada sociedade encarar de forma distinta os padrões de densidade urbana, é possível delimitar como: (i) baixas densidades: uma relação de 10 a 20 hab/ha, presentes, por exemplo, nos loteamentos de alta renda em Brasília/DF (Acioly, Davidson, 1998, p.39-40); (ii) médias densidades: concentram-se entre 50 a 80 hab/ha, presentes, por exemplo, nos loteamentos residenciais de Curitiba/PR, (iii) altas densidades: valores entre 200, 300 até 600 hab/ha, presentes em assentamentos informais em Natal / RN (350 hab/ha), cidades na Holanda (452 hab/ha) e no México (de 300 a 600 hab/ha) (Acioly e Davidson, 1998, p. 29, 32, 50, 55).

Enfim, no plano diretor de Porto Alegre, os índices urbanísticos relativos à densificação determinam áreas de ocupação intensiva (áreas comerciais e residenciais), com densidades entre 140 hab/ha a 525hab/ha, e áreas com ocupação rarefeita (áreas residenciais agrícolas, de proteção ambiental ou de uso industrial), com densidades entre 2 a 10 hab/ha.

Sendo assim, algumas referências de pesquisas que procuram relacionar os padrões de densidades com uso do solo e com impactos ambientais no meio urbano serão apresentadas a seguir. Da mesma forma que nos itens anteriores, estas pesquisas foram selecionadas por abordarem a questão da impermeabilidade e incremento do escoamento superficial nas áreas urbanizadas.

O primeiro estudo coloca a mudança de uso do solo urbano associada a determinados perfis de densidade demográfica e habitacional. Pauleit, Ennos e Golding (2005) investigaram mudanças na cobertura e no uso do solo de 11 áreas residenciais em Merseyside, Inglaterra, entre 1975 e 2000, relacionando estas mudanças com três importantes parâmetros ambientais: temperatura superficial, escoamento pluvial e diversidade de espaços verdes. Os resultados apontaram uma perda de áreas verdes em todos os 11 sítios estudados, porém em densidades demográficas mais baixas há uma maior perda da cobertura arbórea, devido à construção de grandes áreas de jardins privados. Entretanto, também há uma significativa perda de áreas verdes em áreas residenciais com altas densidades demográficas, devido ao adensamento de edificações. De qualquer maneira, o estudo concluiu que todos os loteamentos residenciais apresentavam um impacto negativo ao ambiente natural, sugerindo uma revisão dos conceitos sobre densificação de áreas e uma maior preservação dos espaços verdes urbanos, estes que caracterizam áreas permeáveis e promovem uma diminuição no escoamento superficial.

O segundo estudo é uma importante estimativa desenvolvida por Tucci e Campana em 1994 (IPH/DEP, 2002, p.166), com base em dados das cidades de Curitiba (PR), São Paulo (SP) e Porto Alegre (RS), relacionando a densidade populacional com áreas impermeáveis em uma bacia hidrográfica urbana, como mostra a Figura 2.10. Esta relação determina que a área impermeável aumenta conforme o aumento da densidade populacional, até chegar no valor de 150hab/ha, onde a estimativa estabiliza no valor de 60% de área impermeável na bacia hidrográfica. Entretanto, segundo Campana (1995), para utilizar esta relação, toma-se o cuidado de levar em consideração a seguinte limitação: aplicar esta relação em bacias hidrográficas urbanas maiores que 2 km², sem que haja distorções de relevo, pois, por exemplo, em áreas onde existem muitos morros, a tendência é de ter uma relação diferente, pois a população tende a ocupar o espaço com menor declividade. Portanto, estudos que consideram diferenças de tipo de uso do solo em áreas menores (+/- 1km², por exemplo), isto é, numa microescala de análise, são necessários para diminuir estas limitações e margens de erros, estabelecendo uma relação mais estreita com a ocupação, densidade e áreas impermeáveis.

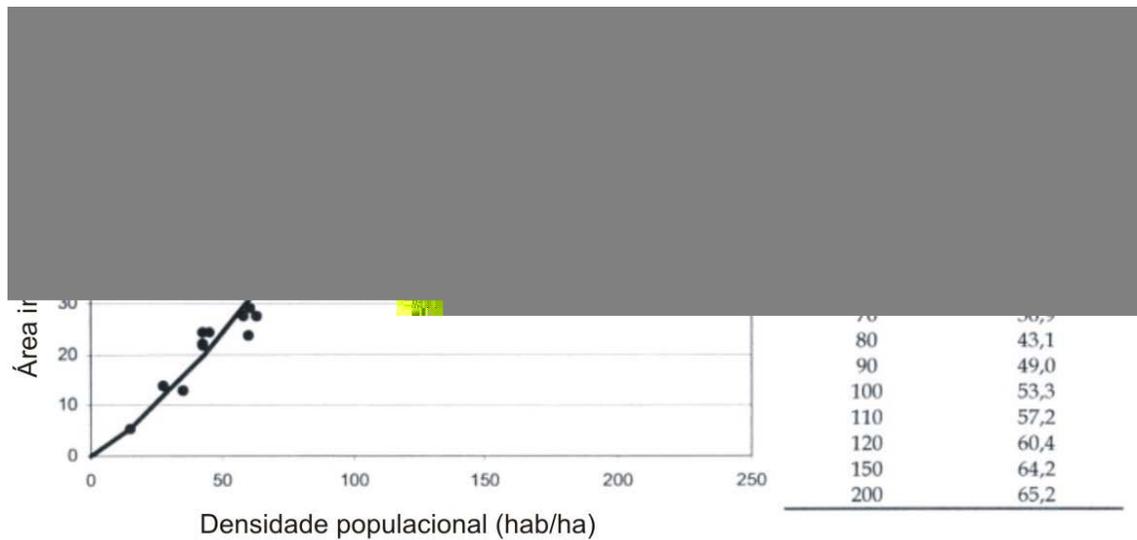


Figura 2.10 - Relação entre a densidade populacional e área impermeável (IPH/DEP, 2002, p.166)

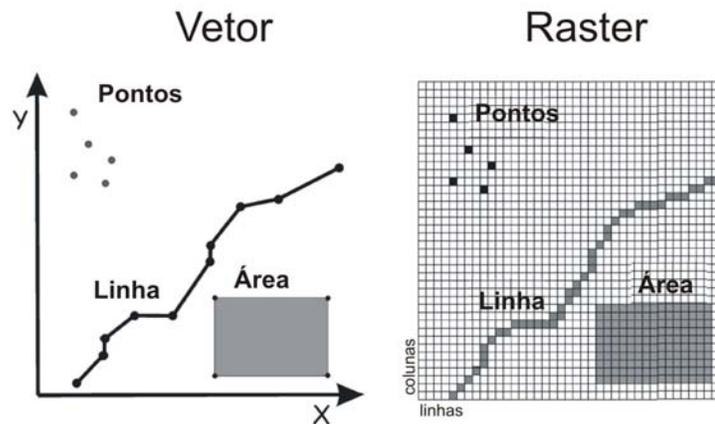
Finalmente, o terceiro estudo, Fagundes (2002), elabora a construção de um índice ambiental urbano – IAU – considerando valores de densidade demográfica e de impermeabilidade. Tendo como objetivo associar impactos decorrentes da urbanização com a drenagem de uma bacia hidrográfica urbana, o IAU indica como diversos graus de impermeabilização presentes na ocupação urbana, associados com dados de densidades populacionais espacializados através do levantamento censitário, podem influenciar no comportamento hidrológico nas áreas jusantes da bacia. Este índice mostra os locais onde a relação densidade, impermeabilidade e topografia potencializa a ocorrência de enchentes, afetando a integridade das áreas drenadas. O estudo exprime o esforço em aprimorar as relações entre densidade e impermeabilização, estas já utilizadas em outras estimativas de áreas impermeáveis, como é o caso do estudo feito por Campana e Tucci (IPH/DEP, 2002,p.165).

Concluindo, a relação entre os padrões de densidade urbana e impactos ambientais, sobretudo hidrológicos, são constantes temas de pesquisas científicas, pois, como foi visto nesta breve explanação, envolvem questões interdisciplinares e, sendo assim, a interpretação de uma forma global ainda é uma busca para os cientistas urbanos. Portanto, nesta dissertação, a questão das densidades urbanas será relacionada também com outros fatores, como o perfil socioeconômico e a forma urbana que caracterizam as unidades de análise desta pesquisa.

2.5 O geoprocessamento e o uso de sistemas de informações geográficas (SIG) em estudos urbanos

O geoprocessamento representa qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados, através de tecnologias que envolvem a coleta e tratamento das informações espaciais, buscando uma representação simplificada do mundo real e generalizando suas características e relações para um objetivo específico (Cirilo; Mendes, 2001). Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são programas computacionais que processam dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos), unindo a base espacial de referência (mapa) e as informações (banco de dados) em torno de objetos geograficamente representados no mapa. Desta forma, o SIG é o sistema que executa atividades que envolvem o geoprocessamento para cada aplicação, isto é, para cada interpretação da realidade (INPE/DPI, 2003).

Basicamente, o SIG pode ser utilizado como: (i) ferramenta para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real através de mapas (Burrough, 1986); (ii) como suporte para análise espacial de dados referenciados num ambiente de respostas a problemas (INPE/DPI, 2003); (iii) como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento, recuperação e manipulação de informação espacial (Aronoff, 1989). Neste trabalho de mestrado, o SIG foi usado como instrumento e ambiente de análise,



**Figura 2.11 - Representação dos dados no modo vetor e no modo raster
(Adaptado de fig2-8_raster_vector_model.gif, s.d.)**

Os SIG disponibilizam uma diversidade de operacionalidades para a manipulação de mapas individuais e/ou integrados, configurando-se como um rico ambiente para melhor compreensão de fenômenos que se dão sobre o espaço e para a solução de questões geográficas. Algumas destas operacionalidades serão descritas neste capítulo, pois são as que foram utilizadas na aplicação da metodologia de tratamento dos dados do levantamento e para a obtenção dos dados finais para a análise desta pesquisa: (i) georreferenciamento, (ii) mosaico de mapas raster, (iii) reclassificação de atributos e (iv) álgebra com mapas.

Para os arquivos raster foi necessário aplicar o georreferenciamento, ou seja, retificar as configurações do mapa raster, localizando o plano da matriz em um sistema de projeção e de coordenadas conhecido. Um conjunto de pontos que localizam geograficamente elementos do mundo real representados pelo raster, chamados “pontos de controle”, geralmente provenientes de um arquivo vetorial, são vinculados às feições da imagem, ajustando-a em um plano de coordenadas geográficas (Eastman, 1998). Desta forma, através do georreferenciamento, foi possível manusear os dois tipos de dados, o raster e o vetor, pois se encontravam em um mesmo sistema de coordenadas geográficas, o que permitiu sua sobreposição.

Outra operação com os mapas consistiu na construção de um mosaico de arquivos raster, ou seja, juntar o conjunto de mapas raster que fazem a cobertura de uma área de estudo em um único arquivo (ENVI, 2000). Desta forma, como as imagens já estão submetidas em um mesmo sistema de coordenadas, o SIG faz a fusão destas imagens já na posição correta. A Figura 2.12 e Figura 2.13 ilustram os processos de georreferenciamento e de mosaico de mapas raster.

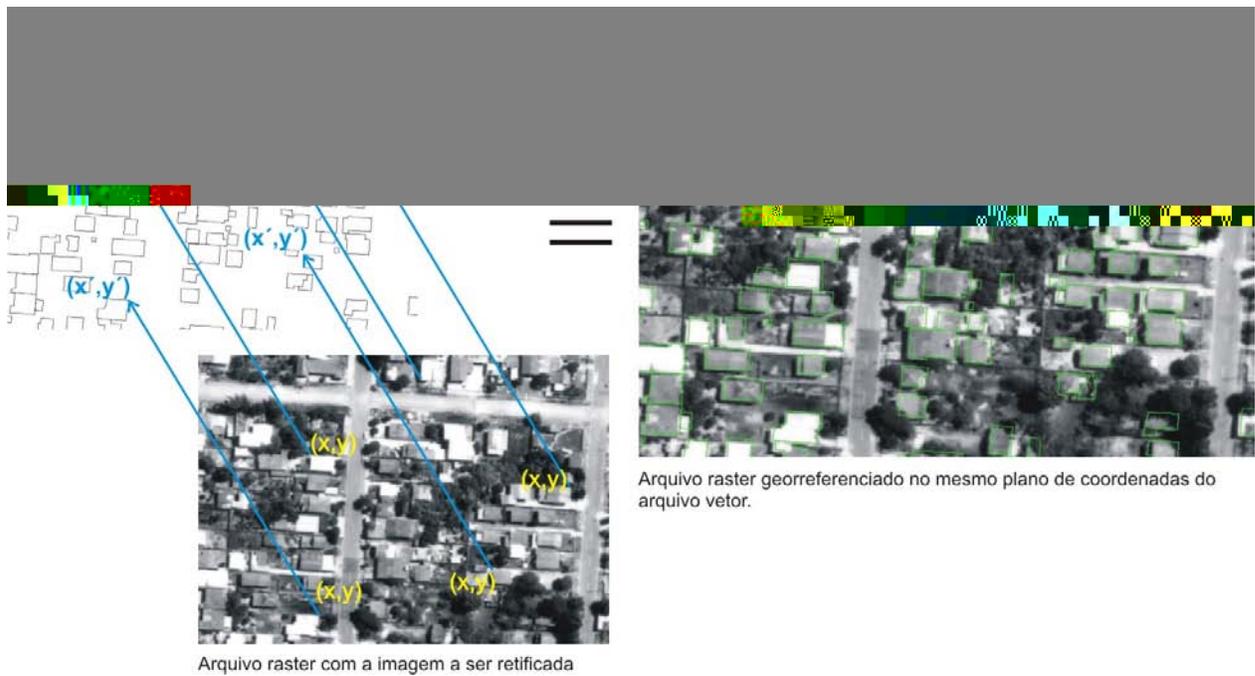


Figura 2.12 – Exemplo de georeferenciamento de um arquivo raster



Figura 2.13 - Exemplo de mosaico de mapas raster

Outra importante operação com arquivos raster é o processo de reclassificação de atributos, ou seja, a atribuição de novos valores às células de um determinado mapa raster (Eastman, 1998). De uma maneira geral, o SIG exige a especificação dos valores antigos (old values) e os valores novos (new values) que serão vinculados a eles, sendo que o dado de saída (output) deste processo é um novo mapa raster com os valores de células reclassificados. A Figura 2.14 exemplifica este processo de reclassificação de atributos de um mapa.



Figura 2.14 - Exemplo de reclassificação de uma imagem raster

Para finalizar, os SIG permitem uma série de operações algébricas com mapas, geralmente no modo raster, mas também possível no modo vetor. No software ArcView, por exemplo, a ferramenta “Map Calculator” manipula dados raster criando expressões envolvendo operadores aritméticos, booleanos e relacionais, sendo que o dado de saída (output) é um mapa raster

onde os valores de cada célula (pixel) expressam o resultado desta operação. Porém, quando são manipulados dados vetoriais, o software oferece a ferramenta “Geoprocessing”, que possibilita, a união, a interseção e o recorte de mapas vetoriais, sendo que o dado de saída destas operações permanece no modo vetorial (ESRI, 1998).

A necessidade da estimativa das áreas impermeáveis para os estudos que procuram relacionar a urbanização com os impactos no sistema hidrológico vem trazendo um uso cada vez mais intenso do geoprocessamento, principalmente na aplicação dos sistemas de informações geográficas e no sensoriamento remoto. A respeito de estudos de mapeamento de áreas impermeáveis através de dados do sensoriamento remoto se pode citar como referências os estudos desenvolvidos por Campana, Haertel e Tucci, (1992); Campana, (1995); Carlson e Arthur (2000) e Iwai (2003), estes que utilizam imagens dos sistemas Landsat TM (Thematic

as fotografias aéreas e a base cadastral, gerando como *output* o mapeamento da impermeabilidade das unidades de análise conforme o tipo de ocupação do solo.

O método utilizado por Stone Jr. (2004) é semelhante, também utilizando informações do cadastro imobiliário da cidade de Madison (Estados Unidos) e de fotografias aéreas das áreas de estudo, porém sua unidade de análise era o lote urbano. Desta forma, a maioria das informações manipuladas por este estudo já possuíam os dados vinculados ao nível de escala do lote, como área do lote, largura do lote, características da edificação e área ocupada pela edificação no lote. Porém, para os dados que não tinham esta informação associada ao lote, como largura das calçadas e número de interseções viárias, era aplicado um levantamento de dados amostrais, mensurados através das fotos aéreas, e feita uma estimativa do valor através de recursos estatísticos.

O estudo de Garotti e Barbassa (2005) utilizam tanto dados cadastrais do município de Ribeirão Preto (SP) e fotografias aéreas, como visitas a campo para estimar o nível de impermeabilidade dos lotes verticalizados. Neste caso, o trabalho contou com um planejamento amostral para estimar os dados de impermeabilização, sendo que o parâmetro comum para definir o número de amostras foi a taxa de ocupação, por se tratar de um índice urbanístico ligado à ocupação do lote.

Portanto, técnicas de geoprocessamento aplicadas a um SIG são cada vez mais utilizadas para estudos na área urbana, tanto no meio acadêmico quanto nos órgãos de planejamento urbano. O fato dos equipamentos e programas computacionais estarem cada vez mais acessíveis, além da difusão de métodos sistematizados de armazenamento de informações gráficas e alfanuméricas, pode ter contribuído de maneira decisiva para a consolidação desta ferramenta para a análise e tomada de decisões no planejamento urbano.

Para concluir este capítulo, a Tabela 2.2 apresenta o resumo dos tópicos abordados pela fundamentação teórica, juntamente com os estudos que serviram de referência e suas principais conclusões.

Tabela 2.2 - Resumo das informações contidas no Capítulo 2

Item	Assunto	Referências (pesquisas)	Principais Conclusões
2.1	Planejamento Urbano Plano Diretor Municipal Zoneamento Índices Urbanísticos Lei de parcelamento do solo	Cruz, Tucci e Turcknicz (2000) Ramos, Baptista e Nascimento (1997)	Importância de verificar o equilíbrio entre a legislação dos planos diretores e o meio ambiente Legislações municipais relativas à taxa de ocupação e à determinação de áreas verdes são as mais efetivas na mitigação de cheias urbanas
2.2	Conceitos higienista e ambientalista de Drenagem Urbana Enchentes e impactos Medidas estruturais e não estruturais de controle Áreas impermeáveis	Arnold e Gibbons (1996) Queiróz e Souza (1997)	Superfície Impermeável como indicador de impactos ambientais Redesenho da ocupação urbana, além do incentivo na criação de áreas verdes, pode diminuir impactos na geração de áreas impermeáveis.
2.3	Elementos básicos da forma urbana Traçado da malha viária Padrões no dimensionamento do sistema viário, da quadra e do lote	Ellis, 1995 Zieliski, 2002 Pauleit e Duhme (2000) Stone Jr.(2004) Garotti e Barbassa.(2005)	Estreita relação entre forma urbana e traçado da rede hidrográfica, promove uma segura drenagem de águas, além de extrair um suporte ecológico e um benefício estético Alternativa na escala de estudo, utilizando como base elementos da forma urbana. Escala apropriada para estudos que relacionam a legislação urbana e impactos ambientais. Baixas densidades populacionais possuem uma maior proporção de área impermeável por habitante do que áreas com altas densidades populacionais. Reformulação no sistema viário (n.º interseções e largura de rua) e na ocupação e tamanho do lote são medidas com maiores efeitos para a diminuição da impermeabilidade urbana
2.4	Densidade urbanas Densificação e dispersão da ocupação urbana Densidade e Impermeabilização	Pauleit, Ennos e Golding (2005) Tucci e Campana (IPH/DEP, 2002) Fagundes (2002)	A densificação de áreas juntamente com a diminuição dos espaços verdes é um forte determinante para o aumento das áreas impermeáveis urbanas Relação entre densidade habitacional e impermeabilidade cresce até 150 hab/ha. A partir deste ponto, o valor de impermeabilidade estabiliza na bacia hidrográfica.
2.5	Geoprocessamento Sistemas de Informações Geográficas (SIG) Tipos de representação de mapas Operações com SIG Aplicação do SIG em estudos ambientais urbanos, sobretudo quanto a identificação de áreas impermeáveis	Campana, Haertel e Tucci, (1992) Campana, (1995) Carlson e Arthur (2000); Iwai (2003) Goetz et al. (2003) Sawaya et al. (2003) Pauleit e Duhme (2000) Stone Jr.(2004) Garotti e Barbassa.(2005)	Recentes avanços nos programas computacionais e nos equipamentos direcionaram a utilização do Geoprocessamento e do SIG para estudos dos impactos ambientais. Além disto, a difusão de métodos sistematizados de armazenamento de informações gráficas e alfanuméricas são fatores que consolidaram a utilização destas ferramentas para análise e tomada de decisões no planejamento urbano. Os dados para estes estudos podem ser provenientes tanto do sensoriamento remoto (imagens de satélite e fotografias aéreas), quanto de bases cadastrais vetorizadas.

3 OBJETO DE ESTUDO – CANOAS / RS

O capítulo 3 desta dissertação apresenta, na primeira parte (item 3.1), o município de Canoas como objeto de estudo desta pesquisa, expondo as razões pelas quais esta área foi escolhida. Também coloca, de uma maneira geral, as características demográficas e sociais da cidade, juntamente com as características físicas da mesma, sobretudo quanto à hidrografia e ao sistema de drenagem implantado. Já na segunda parte (item 3.2), são definidas as áreas do município que serão as unidades de análise desta investigação, argumentando os critérios para seleção das mesmas. Portanto, o objetivo deste capítulo é esclarecer, caracterizar e delimitar o objeto de estudo e, sobretudo, as unidades de análise, pois serão nelas em que a metodologia será aplicada.

3.1 Delimitação do objeto empírico de estudo

O objeto de estudo desta pesquisa é a cidade de Canoas (RS) situada na Região Metropolitana de Porto Alegre. As justificativas que levaram à escolha deste objeto de estudo são fundamentalmente as seguintes: (i) O município situa-se numa área totalmente urbanizada, apresentando tipos de uso do solo, de configuração de forma urbana e de níveis de densidades demográfica e habitacional variados e, também, análogos aos padrões apresentados na maioria das cidades que compõem a Região Metropolitana de Porto Alegre; (ii) O território do município possui, quase em sua totalidade, uma topografia plana, não apresentando distorções de ocupação devido acidentes geográficos, possibilitando uma distribuição homogênea desta ocupação; (iii) Possui disponível informações gráficas e alfanuméricas atualizadas e de possível acesso para uso acadêmico, como uma base cartográfica digital georreferenciada (dados vetoriais) e fotografias do levantamento aerofotogramétrico, ambos com a data de 1999. Além disto, há a possível integração destes dados com as informações do censo demográfico de 2000, já que estes possuem uma distribuição espacial também sob uma base vetorial georreferenciada no mesmo sistema de coordenadas da base cartográfica.

3.1.1 Características demográficas e sociais do objeto de estudo

Neste subitem serão abordados resumidamente os aspectos sociodemográficos do objeto de estudo a fim de especificar o ambiente do qual ele faz parte e auxiliar na compreensão dos critérios de escolha das unidades de análise.

Segundo Fujimoto (2000, p.60-62), a Região Metropolitana de Porto Alegre, desde a década de 80, sofre um rápido crescimento populacional, tendo como principal problema social e ambiental a questão da habitação. A inexistência de uma política de uso e ocupação do solo provoca uma ocupação urbana em áreas impróprias ou inadequadas, tendo como consequência diversos problemas ao meio físico, à infra-estrutura e à própria população localizada nestas áreas.

O município de Canoas, inserido na Região Metropolitana de Porto Alegre, possui um território de 131,10 km² de área e uma população, no ano 2000, de 306 096 habitantes, apresentando uma densidade demográfica de 2 331hab/km², um crescimento populacional anual de 1.49% e uma taxa de urbanização de 100% do município (Brasil, 2003). A Figura 3.1 mostra a Microrregião de Porto Alegre, segundo a delimitação do Atlas de Desenvolvimento Humano do Brasil (Brasil, 2003), destacando a localização de Canoas.

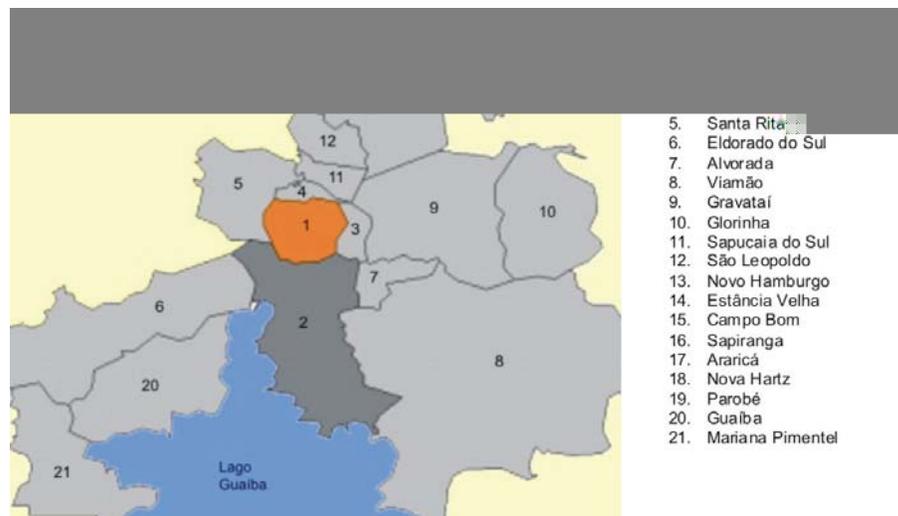


Figura 3.1 - Microrregião de Porto Alegre (Brasil, 2003)

Canoas situa-se no eixo Porto Alegre – Sapiranga, este que sofre um acentuado processo de conurbação metropolitana. Desta forma, as áreas urbanas registram densidades variadas, sendo que em densidades demográficas abaixo de 40 hab/ha verifica-se espaços intra-urbanos não totalmente ocupados. Por outro lado, as áreas com mais de 100hab/ha indicam ocupação integral e constituem-se em espaços reduzidos, entremeados nas zonas consideradas urbanizadas (Neves; Miranda; Corbetta, 2004). As áreas periféricas aos espaços urbanos apresentam baixas densidades, entre 0 - 8 hab/ha , indicando um processo de urbanização recente, como gênese de estrutura periférica deficiente de serviços urbanos.

Canoas possui todo o seu território classificado como legalmente urbano, fato que não se justifica face às respectivas baixas taxas de crescimento populacional e baixas densidades demográficas na região periférica do território municipal. Observando o mapa de densidades demográficas (ver Figura 3.2), verifica-se que grande parte destas áreas urbanas legais apresentam densidades idênticas às das zonas rurais (baixa densidade = 0-10 hab/ha), mostrando o alto custo social de transformá-las em urbanas de fato (Neves; Miranda; Corbetta, 2004). A avaliação deste mapa de densidades demográficas do objeto de estudo é importante para a posterior seleção das unidades de análise desta dissertação.



Figura 3.2 - Densidade demográfica – população por setor censitário (Neves; Miranda; Corbetta, 2004)

Canoas possui entre 3.0 a 3.5 pessoas por domicílio no eixo central do município, adjacente à BR 116, e na área periférica possui em média 3.5 a 6.3 pessoas por domicílio, com exceção na área nordeste, caracterizada por um uso industrial, que possui 2.5 a 3.0 pessoas por domicílio. Entretanto, no centro da cidade, onde o padrão urbano já está consolidado, encontramos setores com 2.5 a 3.0 pessoas por domicílio, e até mesmo valores abaixo de 2.5 pessoas por domicílio, situados no centro comercial da cidade. A Figura 3.3 mostra a média de pessoas por domicílio por setor censitário. Este dado, posteriormente, será utilizado para estipular a capacidade de habitação de cada edificação residencial, expressa em número de quartos, cálculo este descrito na metodologia desta pesquisa.

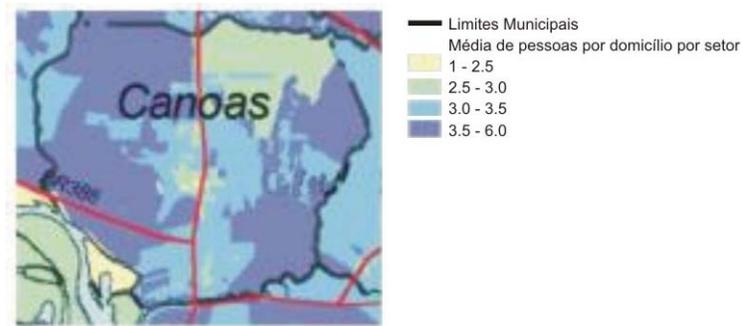


Figura 3.3 - Média de pessoas por domicílio (Neves; Miranda; Corbetta, 2004)

A verticalização é definida estatisticamente pela relação entre o número de domicílios em apartamentos e o total de domicílios. É nítida a tendência à verticalização nos centros urbanos, ao longo do eixo Porto Alegre – Novo Hamburgo, onde os apartamentos representam mais de 20% dos domicílios. Em Canoas a verticalização ocorre principalmente na área central, adjacente à BR 116, apresentando valores entre 20% a 100% de verticalização do setor censitário, muito superiores ao padrão regional que é de 5% do setor censitário. A Figura 3.4 mostra valores de taxa de verticalização vinculados aos setores censitários. Da mesma forma, a observação da tendência de verticalização das edificações no objeto de estudo assessorará na avaliação das unidades de análise.

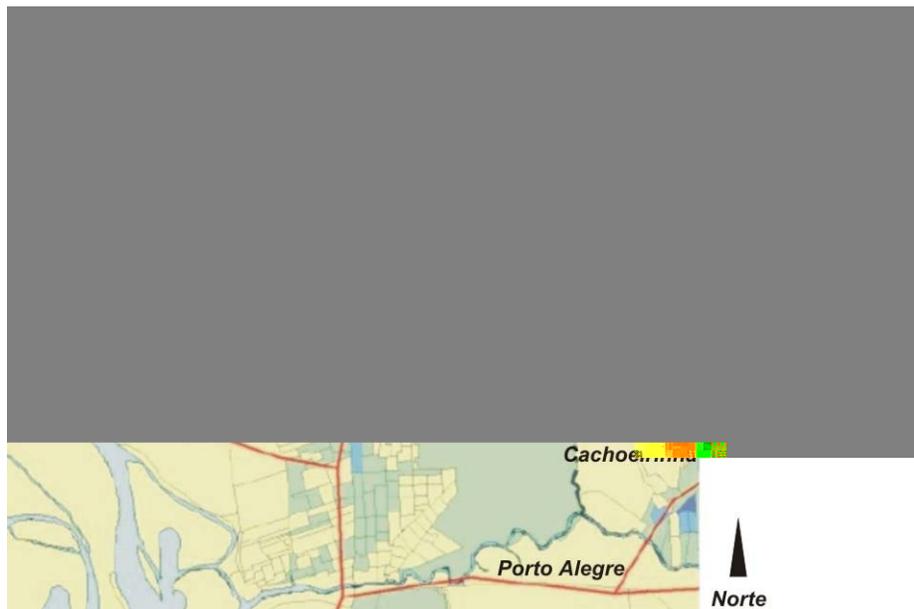


Figura 3.4 - Taxa de verticalização por setor censitário (Neves; Miranda; Corbetta, 2004)

3.1.2 Características físicas do objeto de estudo

O município de Canoas localiza-se no leste da Depressão Central do Rio Grande do Sul e no centro geográfico da Região Metropolitana, dentro das seguintes coordenadas geográficas: 29° 55' 07" de latitude Sul e 51° 10' 54" de longitude Oeste. Possui altitude média de 22 metros acima do nível do mar e tem limites ao norte com o município de Esteio, tendo como divisor o Arroio Sapucaia, ao leste com o município de Cachoeirinha, tendo o Arroio Brigadeira como divisor, ao sul com a capital Porto Alegre, tendo como divisor o Rio Gravataí e ao oeste Nova Santa Rita, tendo o Rio dos Sinos como divisor (Canoas, 2005).

Canoas tem em sua hidrografia rios que pertencem às bacias hidrográficas do Rio dos Sinos, do Rio Gravataí e do Lago Guaíba, todas estas integrantes da Região Hidrográfica do Guaíba. Podem ser definidos quatro importantes arroios em Canoas, constituindo as sub-bacias hidrográficas do município: Arroio Araçá, Arroio da Brigadeira, Arroio Sapucaia e Arroio Guajuviras. A Figura 3.5 mostra a localização destes arroios.



Figura 3.5 - Traçado viário de Canoas indicando os principais elementos da hidrografia.

Quanto às cheias, existem duas importantes áreas consideradas alagáveis em Canoas: (i) A *Várzea do Rio dos Sinos*: terras planas localizadas na porção oeste do município, atingindo cotas de até 7m devido ao extravasamento do Rio dos Sinos com a contribuição do Arroio Sapucaia; (ii) O *Banhado Grande*: localizado à sudoeste de Canoas, no Delta do Rio Jacuí, é

limitado pelos diques dos bairros Rio Branco e Mathias Velho à leste e pelos Arroio da Garça e Ilha da Garça à oeste (Canoas, 2003). Na Figura 3.6 é possível verificar as áreas alagáveis do município, com a localização da Várzea dos Sinos (a) e do Banhado Grande (b).

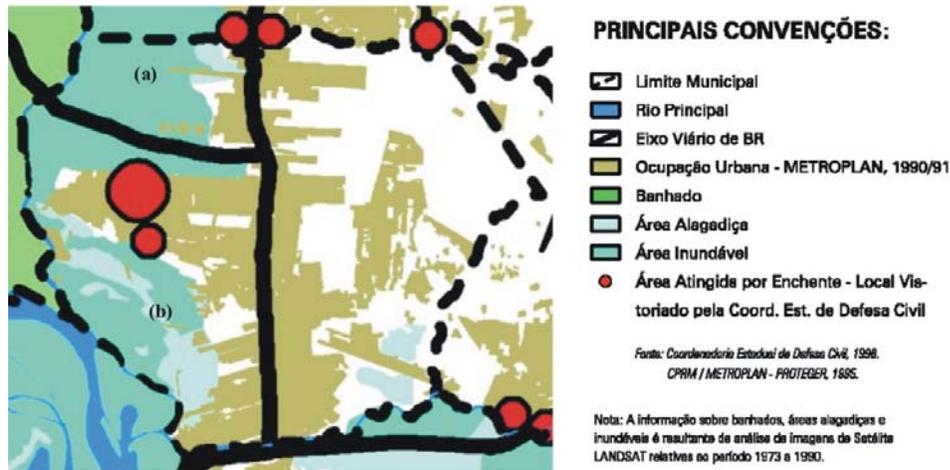


Figura 3.6 - Áreas alagáveis e ocupação urbana (METROPLAN, 1997)

Portanto, por situar-se em áreas com riscos de ocorrer inundações devido à baixa altitude e proximidade das margens de cursos fluviais, a cidade de Canoas conta com um sistema de proteção contra cheias composto basicamente por canalizações do sistema de drenagem pluvial, casas de bombas e diques. O sistema de drenagem é responsável pela retirada das águas pluviais das áreas do polder, através de valas e tubulações, conduzindo a água até casas de bombas, estas que levam a água para os drenos naturais, como os rios Gravataí e dos Sinos. Existem 3 polders no município: Niterói, Rio Branco e Araçá - Mathias Velho, cujas construções ainda não estão inteiramente concluídas. Entretanto, o sistema já sofre problemas devido ao esgoto doméstico e depósitos sólidos que chegam até o sistema, gerando problemas de operação devido às obstruções nas canalizações (Canoas, 2003). Para maiores informações o ANEXO A mostra a localização dos polders, diques e casa de bombas no município.

Consultando técnicos ligados à administração municipal, se pode obter algumas informações importantes acerca do objeto de estudo. Segundo Kauer⁵, as ocupações irregulares, ou de origem irregular, geralmente caracterizam-se por possuírem uma cota do terreno do lote mais baixa que a do nível da rua, favorecendo a inundação dentro do lote,

⁵ Informação concedida por Márcio Kauer, coordenador da Defesa Civil de Canoas, em dezembro de 2005.

situação esta piorada se estas ocupações estiverem localizadas em áreas de várzeas, pois estas recebem contribuições dos locais mais altos da cidade (informação verbal). Por outro lado, segundo Perrone⁶, a Secretaria Municipal de Obras Públicas, em conjunto com o Departamento de Esgoto Pluvial, tentam aplicar na prática os conceitos ambientalistas de drenagem urbana. Uma das medidas práticas é somente aprovar a construção de loteamentos que proponham um manejo próprio das águas pluviais, sem incrementar a vazão no sistema de drenagem municipal, fato este ocorrido na construção do Loteamento Igara III, zona norte na cidade (informação verbal).

Entretanto, Perrone também relata que há sérios problemas com a gestão do sistema de controle de cheias implantado na cidade, principalmente no que diz respeito aos custos de manutenção de equipamentos, ao trabalho constante de limpeza nos diques e nas valas e ao insucesso na implantação das bacias de contenção nos loteamentos (problemas com o mau cheiro devido à presença do esgoto misto). Enfim, Perrone acredita que o sistema poderia ser melhorado com um melhor manejo dos resíduos sólidos, com a conscientização da população, com o controle das ocupações irregulares e da impermeabilização das áreas e com a implantação de medidas não-estruturais de drenagem urbana (informação verbal). Enfim, é importante estabelecer o papel da Prefeitura

aspectos referentes às densidades urbanas e regulações urbanísticas. Sendo assim, a seleção das unidades de análise desta pesquisa utilizou critérios relativos às legislações urbanísticas, às características de uso do solo, à configuração da forma urbana e às características sociodemográficas destas ocupações.

Desta forma, foram selecionadas 13 áreas urbanas, representando diversos aspectos do zoneamento urbano, expressos pelo tipo de uso do solo permitido naquela área, pelos índices urbanísticos determinados para aquela zona e pela resultante configuração de forma urbana desta unidade de análise. Além disto, a seleção procurou delimitar áreas com até 1.5km² de superfície, tendo o cuidado de determinar uma variação máxima de altitude (variação entre o nível mais baixo e mais alto) de 20 metros, sendo que, na maioria das unidades selecionadas, esta variação não passa dos 10 metros. O traçado da limitação destas áreas é conforme ao traçado do zoneamento definido pelo Plano Diretor de Canoas (Canoas, 1996). A Figura 3.7 mostra a localização das unidades de análise no mapa municipal.



Figura 3.7 - Localização das unidades de análise

Ademais, foram definidos os principais critérios para a análise do problema com o intuito de direcionar a seleção e avaliação das unidades de análise. Portanto, para a questão do uso do solo, de acordo com a disponibilidade dos tipos de ocupações presentes no objeto de estudo e com o zoneamento urbanístico determinado pelo Plano Diretor (Canoas, 1996), foram definidas áreas com (i) uso residencial, (ii) comercial e (iii) misto (residencial e comercial), semelhante à classificação das áreas nos estudos de Pauleit e Duhme (2000) e Pauleit, Ennos e Golding (2005). Também através do zoneamento urbano, foram selecionadas unidades de análise conforme os índices urbanísticos: (i) TO = taxa de ocupação, (ii) IA = Índice de aproveitamento, (iii) CI = Cota Ideal. Estas características determinaram a numeração das áreas de estudo, sendo que, para cada número, há duas unidades de análise pertencentes ao mesmo condicionante de uso do solo. O tipo de uso do solo e os índices urbanísticos para cada unidade de análise estão expostos resumidamente na Tabela 3.1 e detalhadamente no APÊNDICE A. Ademais, fotografias que caracterizam as unidades de análise também estão contidas no APÊNDICE A.

Para a avaliação da forma urbana, os critérios foram definidos de acordo com os trabalhos desenvolvidos por Zielinsky (2002), Stone Jr. (2004) e Garotti e Barbassa (2005), resultando em quatro itens a serem mensurados nas unidades de análise, estes julgados apropriados para estabelecer as relações entre forma urbana e nível de impermeabilização para esta investigação. Estes itens são: (i) largura da caixa de rua (unidade em metros - "m"); (ii) área do lote (unidade em metros quadrados - "m²"); (iii) área da quadra (unidade em hectare - "ha"); (iv) densidade de interseções viárias (unidade em número de interseções por ha - "inter/ha"). Também serão mensurados valores médios de largura de rua e uma estimativa média de número de quartos por unidade habitacional, a fim de comparação com os dados fornecidos pelo estudo de Stone Jr. (2004).

Quanto ao sistema viário, foi escolhida a classificação de malha urbana conforme os conceitos presentes do trabalho de Mascaró (2003): (i) traçado ortogonal, onde a malha viária é configurada através de linha retas e de interseções ortogonais; (ii) traçado não-ortogonal, onde a malha viária é disposta através de linhas sinuosas (orgânicas) ou retas oblíquas, formando consequentemente interseções não-ortogonais.

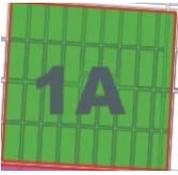
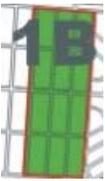
Já para a avaliação das densidades urbanas, os itens para a observação foram definidos conforme os conceitos determinados pelo trabalho de Acioly e Davidson (1998) e pelos estudos desenvolvidos por Pauleit, Ennos e Golding (2005) e Tucci e Campana (IPH/DEP, 2002, p.166).

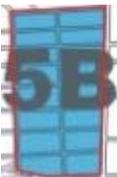
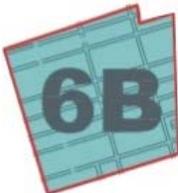
Desta forma, as medidas de densidade selecionadas para esta investigação foram a (i) densidade populacional, expressa em número de habitantes por hectare (hab/ha), e a (ii) densidade de edificação, expressa em número de edificações por hectare (edif/ha), conceitos estes já abordados no item 2.4, do capítulo 2 desta dissertação.

Por fim, a definição dos tipos de superfícies urbanas nas unidades de análise foram, fundamentalmente, conforme os estudos de Stone Jr. (2004) e Pauleit e Duhme (2000), e também sujeitos à disponibilidade prevista pela base de dados para o objeto de estudo e as características do mesmo. Desta forma, os tipos de coberturas urbanas utilizados para a análise do problema de pesquisa, sobretudo para o mapeamento dos níveis de impermeabilidade e dos tipos de ocupação, são: (i) edificação residencial, (ii) edificação não-residencial, (iii) vegetação, (iv) área intraquadras, (v) quadras esportivas, (vi) calçadas, (vii) via pavimentada, (viii) via não-pavimentada e (ix) água.

É importante ressaltar que cada unidade de análise desta pesquisa expressa a situação urbana e ambiental daquela determinada área analisada, permitindo a avaliação e a comparação dos resultados entre as demais unidades de análise. Portanto, não é o escopo deste trabalho permitir uma extrapolação de resultados para todo o território do município de Canoas, ou seja, as unidades de análise não foram encaradas como amostras da situação urbana do município, e sim como exemplos de situações de ocupação, de uso do solo e de configuração da forma urbana, promovendo uma análise acerca das implicações ambientais de cada situação.

Tabela 3.1 – Características das unidades de análise

Unidades de Análise (sem escala)	Área (km ²)	Zoneamento	CI (m ²)	IA	TO (%)	Características
	1.05	comercial residencial	150	0.6	60	<p>Uso predominantemente residencial</p> <p>Classe média - baixa</p> <p>Traçado: ortogonal</p>
	0.70					<p>Tendência à edificação residencial unifamiliar e multifamiliar</p> <p>Níveis altitude: 1A = 1 a 6 metros 1B = 1 a 6 metros</p>
	1.18	Residencial	150	0.6	60	<p>Uso residencial</p> <p>Classe baixa</p> <p>Ocupação irregular ou de origem irregular</p>
	2.02					<p>Tendência à edificação residencial unifamiliar</p> <p>2A – traçado ortogonal 2B – traçado não-ortogonal</p> <p>Níveis altitude: 2A = 1 a 5 metros 2B = 22 a 44 metros</p>
	0.32	Residencial	300	1	60	<p>Uso residencial</p> <p>Classe média-alta</p> <p>Traçado não-ortogonal</p>
	0.25					<p>Tendência edificação unifamiliar</p> <p>Níveis altitude: 3A = 16 a 30 metros 3B = 18 a 29 metros</p>
	0.51	Residencial	150	0.6	60	<p>Uso misto – residencial</p> <p>Classe média</p> <p>Traçado não-ortogonal</p> <p>Tendência edificação unifamiliar</p>
	0.42					<p>Níveis altitude: 4A = 9 a 29 metros 4B = 16 a 36 metros</p>

	0.56	Residencial	44	2.5	62.5	Uso misto - residencial Classe média Tendência edificação multifamiliar
	0.36					5A: traçado não-ortogonal; 5B: traçado ortogonal Níveis altitude 5A = 10 a 26 metros 5B = 8 a 27 metros
	0.62	Residencial	150	1.2	60	Uso misto - residencial Traçado ortogonal Tendência edificação unifamiliar Níveis altitude 6A = 3 a 5 metros 6B = 0 a 6 metros
	0.52					
	0.85	Comercial	22	6	75	Localizada no distrito comercial da cidade Traçado ortogonal Tendência a verticalização Níveis altitude 7A = 5 a 25 metros

4 METODOLOGIA

O Capítulo 4 detalha a abordagem metodológica desenvolvida para o tratamento do problema de pesquisa desta investigação. Inicialmente, a seção 4.1 apresenta uma visão geral e esquemática da seqüência de procedimentos metodológicos propostos, encadeando-os frente aos objetivos da pesquisa. Após, a seção 4.2 descreve a base de dados requerida e coletada para o desenvolvimento do estudo. Por fim, a seção 4.3 apresenta os métodos utilizados para o tratamento dos dados, sendo que cada subseção, da 4.3.1 a 4.3.4, descreve os procedimentos empregados em cada fase da seqüência metodológica, ou seja, a caracterização dos dados referentes à forma urbana, às densidades urbanas, à impermeabilidade urbana e, finalmente, a apresentação e especificação dos dados finais para a avaliação das unidades de análise.

4.1 Estrutura metodológica da pesquisa

As atividades que envolveram a metodologia desta investigação tiveram como objetivo principal a produção de informações, estas vinculadas às unidades de análise, acerca da forma urbana, das densidades urbanas e do regime urbanístico, para a posterior análise da relação destas informações com os níveis de impermeabilidade. A produção destes dados tiveram como principais condicionantes as informações disponibilizadas pelo banco de dados obtido pelo levantamento e os critérios que nortearam a seleção das unidades de análise, estes já descritos no capítulo anterior.

Portanto, o primeiro passo foi a quantificação dos dados que caracterizam a forma urbana e a densidade urbana de cada unidade. Após, foi feito o mapeamento dos tipos de coberturas nas unidades de análise. As diferentes coberturas nas áreas de estudo foram então classificadas em níveis de impermeabilidade. Finalmente, os resultados finais da aplicação da metodologia foram tabulados e organizados para cada unidade de análise, a fim de encaminhar a análise do problema de pesquisa. A Figura 4.1 descreve a estrutura geral e a seqüência de procedimentos metodológicos proposta e desenvolvida neste estudo.

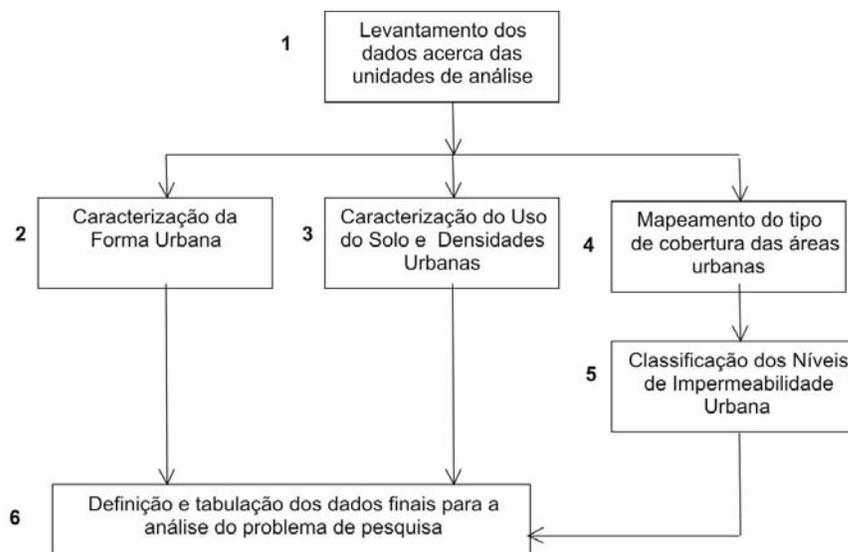


Figura 4.1 - Estrutura geral e seqüência de procedimentos metodológicos da pesquisa

4.2 Base de dados da pesquisa

Com o objetivo de caracterizar a forma urbana, as densidades urbanas e os tipos de cobertura do solo relacionados à impermeabilidade, quatro bases de dados foram utilizadas neste estudo: (i) Censo demográfico de 2000; (ii) Planta cadastral municipal; (iii) Fotografias aéreas; e (iv) Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano. As subseções a seguir descrevem cada base de dados e as informações obtidas a partir delas.

4.2.1 Censo demográfico de 2000

Os censos demográficos constituem uma importante fonte de informação sobre a situação de vida da população nos municípios e nas localidades, possuindo informações imprescindíveis para a definição do perfil socioeconômico da população. Além das características gerais da população (gênero e idade, por exemplo), os censos consideram os temas de educação, migração, nupcialidade, fecundidade, mortalidade, trabalho e características domiciliares.

A unidade espacial do levantamento do Censo é o setor censitário, onde estão contidas as informações demográficas daquela área avaliada. O setor censitário tem como definição uma área percorrida por um único entrevistador e uma unidade territorial usada para efeitos de amostragem. Sua delimitação é feita com base na quantidade de domicílios e área de abrangência (cerca de 300 domicílios em áreas urbanas e 150 domicílios em áreas rurais, com variações aceitáveis de +/- 50 domicílios) (IBGE, 2005). Desde o Censo de 2000 as

informações do Censo para municípios estão sendo disponibilizadas pelo IBGE em formato digital e relacionadas a uma base georreferenciada tendo como unidade espacial mínima o setor censitário. Nesta dissertação foram utilizadas informações do censo referentes ao município de Canoas/RS (IBGE, 2002).

Utilizando um sistema de informações geográficas, os dados de população em cada setor censitário permitem uma distribuição espacial desta população e, também, permitem a determinação da densidade populacional através da razão entre a população do setor censitário e a área de superfície cada setor. No presente estudo, este dado será importante para a caracterização da população e da densidade populacional em cada unidade de análise. Subseqüentemente será feita a avaliação da relação entre densidade populacional e geração de áreas impermeáveis.

4.2.2 Planta cadastral municipal digital

Uma planta cadastral municipal digital, também conhecida como base cartográfica digital, é uma carta planimétrica e/ou altimétrica obtida por processos computacionais com base em levantamentos aerofotogramétricos. A planimetria é a medição de todas as características do terreno, tais como a delimitação de quadras, lotes, edificações e vias. A altimetria, por sua vez, apresenta a medição da altura ou elevação da superfície terrestre, isto é, o conjunto formado pelas curvas de nível de uma carta ou mapa (ESTEIO, 2003).

Normalmente, estas cartas possuem a delimitação das curvas de nível, eqüidistantes em 1m, da hidrografia, das quadras, dos lotes, das edificações e das vias. Características de pavimentação das vias, assim como do tipo de atividade das edificações, tais como residencial, comercial, institucional ou industrial, entre outras informações, podem estar relacionados aos mapas digitais.

Nesta dissertação foi utilizada a planta cadastral do município de Canoas/RS (Engefoto, 1999). Esta base de dados forneceu diversas informações requeridas para o desenvolvimento do estudo relativas ao mapeamento dos elementos de cobertura do solo. Inicialmente, a delimitação das edificações serve para a identificação e mapeamento das áreas impermeáveis urbanas. De forma semelhante, a delimitação das vias e sua caracterização de pavimentação também é utilizada para caracterização da impermeabilidade na área urbana.

4.2.3 Fotografias aéreas

O levantamento aerofotogramétrico é definido por um conjunto de fotografias de determinada região, obtidas por meio de uma câmara fotogramétrica de precisão a bordo de uma aeronave (ESTEIO, 2003). Foi tomada como base de dados as fotografias aéreas resultantes do levantamento aerofotogramétrico para a elaboração das plantas cadastrais do município de Canoas/RS (Engefoto, 1998).

Neste estudo utilizou-se as fotografias aéreas para, através de operações de geoprocessamento, extrair informações referentes à vegetação nos loteamentos urbanos das unidades de análise da pesquisa. Por conseguinte, esta informação é relacionada ao nível de impermeabilidade urbana.

4.2.4 Plano diretor de desenvolvimento urbano

O plano diretor de desenvolvimento urbano visa organizar o espaço físico para a plena realização das funções urbanas, fazendo com que todos os planos e projetos de obras públicas e privadas fiquem sujeitos às diretrizes deste documento. O zoneamento urbano, definido no plano diretor, delimita a distribuição espacial desejada do tipo de uso do solo e os índices urbanísticos do lote, tais como a taxa de ocupação (TO), índice de aproveitamento (IA) e Cota Ideal (CI). No caso de Canoas/RS, o plano diretor de desenvolvimento urbano foi aprovado através da Lei 1.557 em 1972, e sofreu atualizações em 1996, através da Lei 4.075 (Canoas, 1996).

A delimitação das zonas urbanas de acordo com o plano diretor, assim como as características de tipo de uso do solo (áreas residenciais e comerciais) e índices urbanísticos são utilizados neste estudo para a definição das unidades de análise e para a caracterização da forma urbana de cada área.

4.3 Procedimentos metodológicos

4.3.1 Caracterização da forma urbana

Conforme os critérios estabelecidos para a seleção das unidades de análise, os principais elementos que foram mensurados para a caracterização da forma urbana são a largura da rua, a área do lote, a área da quadra e a densidade de interseções viárias. A planta cadastral municipal foi utilizada como base de dados para a mensuração de cada critério de

discriminação da forma urbana, atividade esta desenvolvida com o auxílio de um programa de computação gráfica (neste caso, o AutoCAD 2000). As medidas obtidas foram tabuladas em uma planilha eletrônica (neste caso, o Microsoft Excel). Para fins de comparação entre as unidades de análise, os critérios de forma urbana foram agregados através do cálculo de valores médios ou totais para cada unidade, cujos procedimentos de cálculo são detalhados a seguir. Estes cálculos também foram feitos através de ferramentas disponibilizadas pela planilha eletrônica.

Por fim, a unidade de análise “1A” é utilizada nesta seção para ilustrar os procedimentos metodológicos empregados e os resultados obtidos referentes à caracterização da forma urbana. As unidades de análise do estudo estão especificadas em maiores detalhes, em termos de seus critérios de forma urbana, nos APÊNDICE B.

- **Largura média de rua:**

Para a mensuração da largura média de rua foram colhidos, através da manipulação da base cartográfica digital, os valores de largura de todas as ruas que compõem a unidade de estudo, assim como o número total de ruas nesta unidade, e posteriormente, aplicando a Equação (4.1), calcula-se o valor médio da largura da rua em cada unidade de análise.

$$R_{\text{médio}} = \frac{\sum (L_{\text{rua}} \times n)}{n_{\text{total}}} \quad (4.1)$$

Onde:

$R_{\text{médio}}$ = Valor médio da largura da rua na unidade de análise (m)

L_{rua} = Largura de cada rua mensurada (m)

n = repetições do valor de “ L_{rua} ”

n_{total} = n.º total de repetições

A Figura 4.2 ilustra, na unidade 1A, os procedimentos necessários para obter o valor médio de largura de rua, demonstrando a importância de considerar o valor de “ n ” como um peso para a média ponderada, este que equilibra, na unidade de análise considerada, a representatividade das dimensões do elemento formal que está sendo mensurado para o cálculo da média. Assim, neste caso, é possível comparar os valores da média ponderada com o da média aritmética, esta que considera todas as medidas de largura de rua com o mesmo peso ($n=1$), tanto as vias

locais com 15 e 16 metros quanto a avenida central com 26 metros, resultando um valor médio superestimado em relação ao da média ponderada. A utilização de um ponderador em função da repetição das medidas do elemento formal mensurado estará presente no cálculo das demais médias que caracterização a forma urbana das unidades de análise desta investigação.

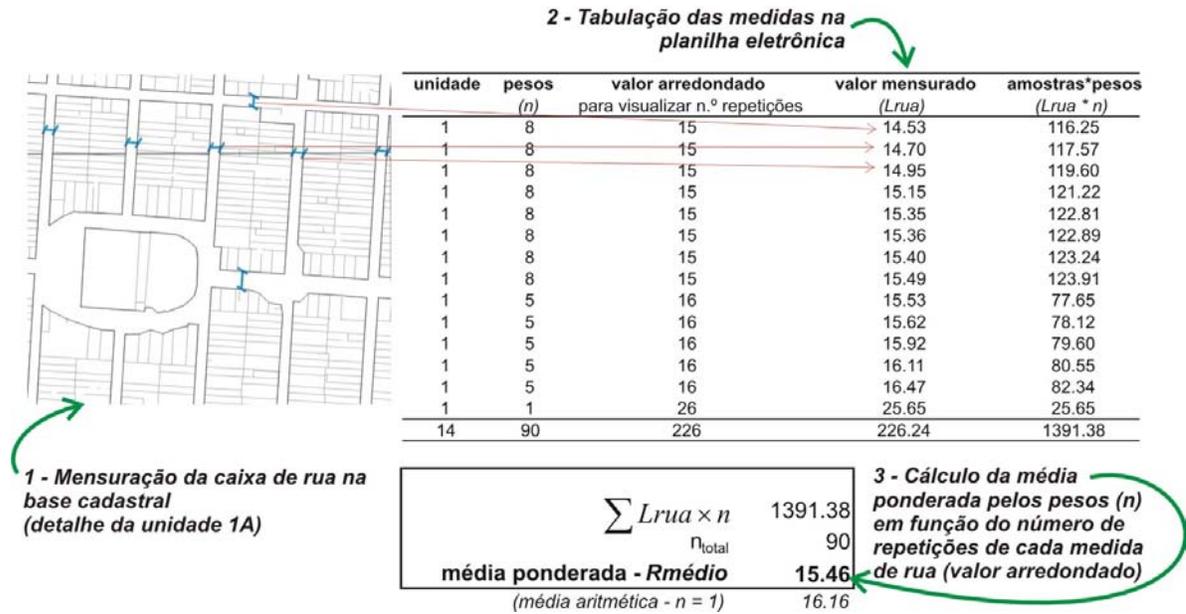


Figura 4.2 - Obtenção do valor médio de largura de rua para a unidade 1A

- **Área média do lote:**

Para a mensuração da área média do lote é contabilizado um valor de área para um lote característico de cada quadra que compõe a unidade de estudo e o total de lotes mensurados e posteriormente, aplicando a Equação (4.2) obtém-se o valor médio de área do lote em cada unidade de análise.

$$L_{\text{área}} = \frac{\sum (A_{\text{lote}} \times n)}{n_{\text{total}}} \quad (4.2)$$

Onde:

$L_{\text{área}}$ = Valor médio da área do lote na unidade de análise (m²)

A_{lote} = Área de cada lote mensurado (m²)

n = repetições do valor de “ A_{lote} ”

n_{total} = n.º total de repetições

A Figura 4.3 ilustra, na unidade 1A, os procedimentos necessários para obter o valor médio de área do lote.

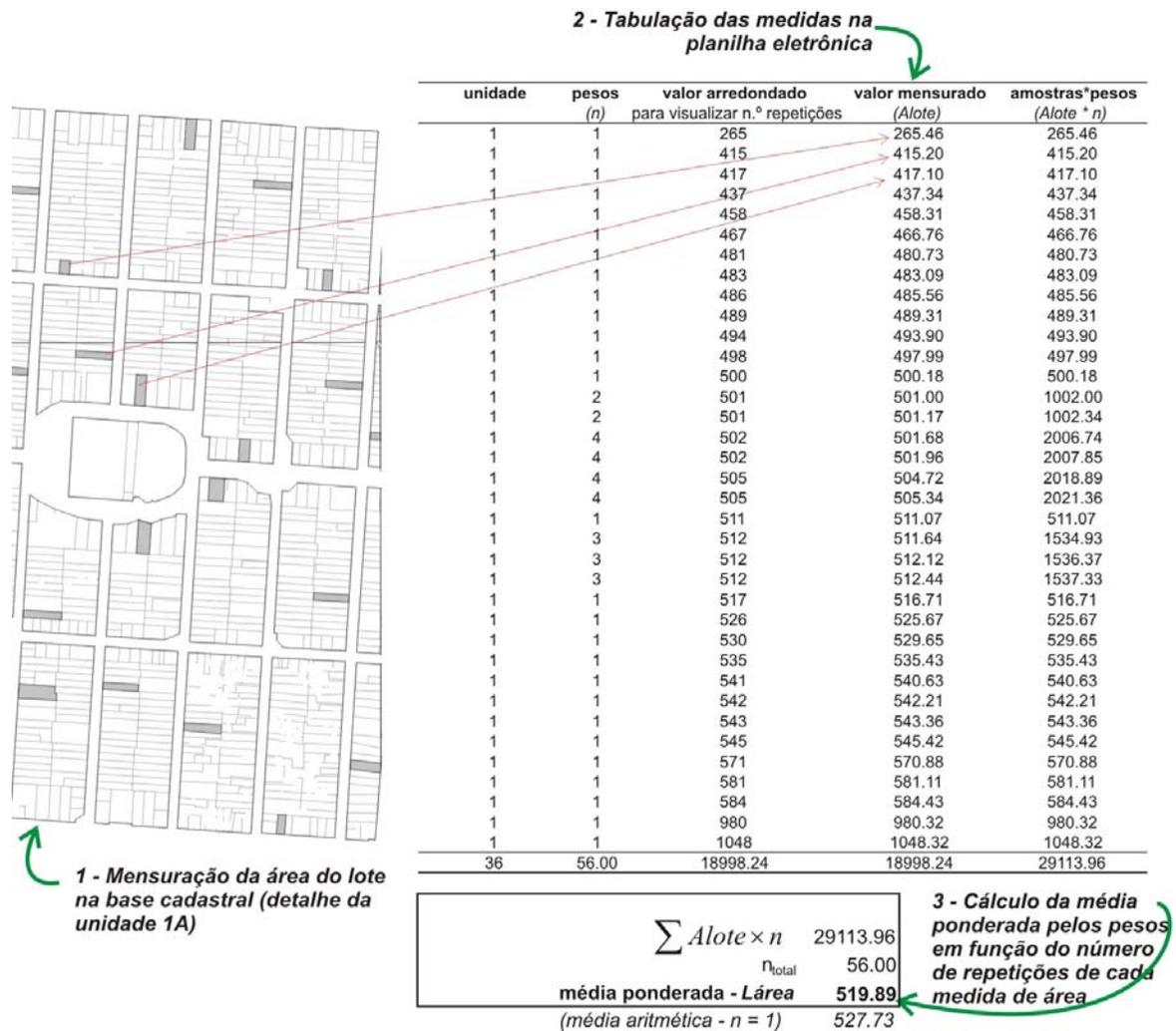


Figura 4.3 - Obtenção dos dados de área média do lote para a unidade 1A

- **Valor médio de testada do lote:**

Porém, de forma análoga, também foram mensuradas, nos lotes selecionados na etapa anterior, a largura das testadas dos lotes, ou seja, a face do lote lindeira ao logradouro, para obter um valor médio na unidade de análise. Este dado será relevante apenas para a comparação com as estimativas feitas no trabalho de Stone Jr. (2004). Desta forma, a média foi calculada conforme a Equação (4.3).

$$L_{testada} = \frac{\sum(Tlote \times n)}{n_{total}} \quad (4.3)$$

Onde:

$L_{testada}$ = Valor médio da largura da testada do lote na unidade de análise (m²)

$Tlote$ = Largura da testada do lote mensurado (m²)

n = repetições do valor de “ $Tlote$ ”

n_{total} = n.º total de repetições

A Figura 4.4 ilustra, na unidade 1A, os procedimentos necessários para obter o valor médio de testada do lote.

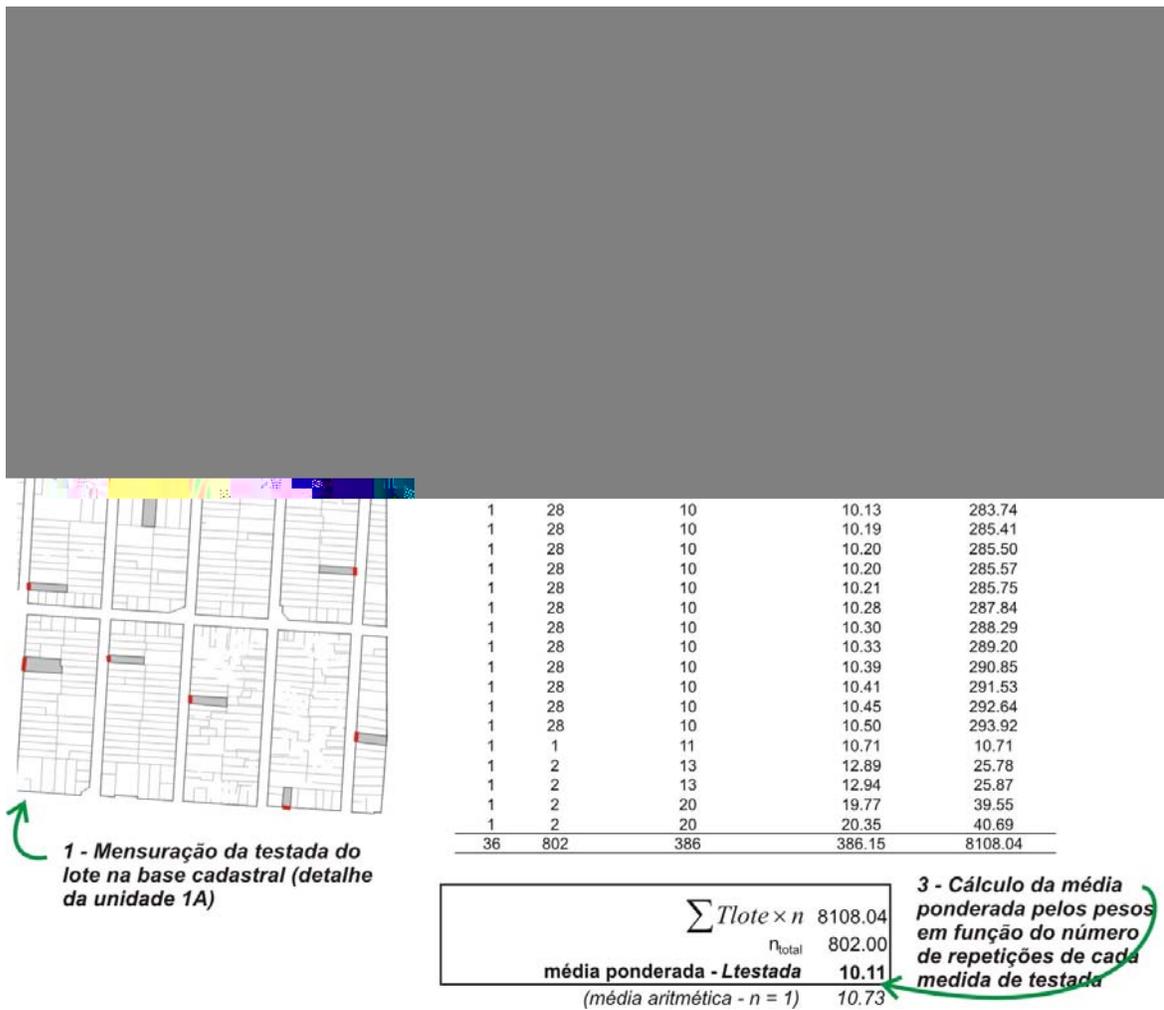


Figura 4.4 - Obtenção dos dados de valor médio da testada do lote para a unidade 1A

- **Área média da quadra:**

Para a mensuração do valor médio de área de quadra calcula-se o valor de área para todas as quadras que compõem a unidade de estudo e o número total de quadras e, aplicando a Equação (4.4), obtém-se o valor médio de área de quadra para cada unidade de análise.

$$Q_{\text{área}} = \frac{\sum (A_{\text{qua}} \times n)}{n_{\text{total}}} \quad (4.4)$$

Onde:

$Q_{\text{área}}$ = Valor médio da área da quadra na unidade de análise (ha)

A_{qua} = Área de cada quadra mensurada (ha)

n = repetições do valor de “ A_{qua} ”

n_{total} = n.º total de repetições

A Figura 4.5 ilustra, na unidade 1A, os procedimentos necessários para obter o valor médio de área da quadra.



Figura 4.5 - Obtenção do valor médio de área de quadra para a unidade 1A

- **Densidade de interseções viárias:**

Para calcular a densidade de interseções viárias em cada unidade de análise, soma-se os cruzamentos viários na unidade e divide-se pela área total da unidade (em km²), e, aplicando a Equação (4.5), calcula-se a densidade de interseções.

$$D_{\text{interseções}} = \frac{n_{\text{interseções}}}{A_{UE}} \quad (4.5)$$

Onde:

$D_{interseções}$ = Densidade de interseções na ($n.^o$ cruzamentos / Km^2)

$n_{interseções}$ = $n.^o$ total de cruzamentos

A_{UE} = Área de toda a unidade de análise (Km^2)

A Figura 4.6 ilustra, na unidade 1A, as ações necessárias para obter o valor de interseções viárias.



Figura 4.6 - Obtenção do valor de densidade de interseções viárias na unidade 1A

Finalizando a caracterização da forma urbana, foi atribuído às unidades de análise um valor de capacidade da edificação residencial, expresso em número de quartos por habitação. Semelhante à média da testada dos lotes, este valor apenas será utilizado para comparar com as estimativas elaboradas no trabalho de Stone Jr. (2004). Desta forma, através dos dados de densidade populacional nas habitações (ver Figura 3.3) e da observação no local em relação à tipologia das edificações e à tendência de verticalização (ver observações na Tabela 3.1), foram estipulados empiricamente valores médios de número de quartos por habitação nas unidades de análise. Basicamente, foi estimado 1 quarto por pessoa por domicílio das unidades de análise.

4.3.2 Caracterização das densidades urbanas

Conforme os critérios estabelecidos para a definição das unidades de análise, estes discutidos no capítulo anterior, foram definidos que as medidas de densidades urbanas que irão caracterizar as unidades são a densidade populacional, expressa em número de habitantes por hectare (hab/ha), e a densidade de edificação, expressa em número de edificações por hectare (edif/ha).

Desta forma, através da distribuição espacial dos dados do Censo Demográfico de 2000 (IBGE, 2002) em uma base cartográfica georreferenciada, foi possível calcular a densidade populacional de cada unidade de análise utilizando a informação vinculada a cada setor censitário.

Portanto, após o cálculo da densidade populacional nos setores censitários do município, o próximo passo foi estabelecer quais os setores censitários que são pertencentes a cada unidade de análise. Assim, foi feita uma interseção entre dois mapas, sendo que o primeiro



Figura 4.7 - Procedimentos para obtenção da densidade populacional de cada unidade

No caso do cálculo da densidade de edificações, foram utilizadas as informações contidas na base cartográfica do município. Assim, a razão entre o número de edificações, residenciais e não residenciais, pela área total da unidade de análise resulta no valor de densidade de edificação, conforme expresso na Equação (4.7).

$$DE = \frac{\sum E}{A_{UE}} \quad (4.7)$$

Onde:

DE = Densidade de Edificação (edificações/ha)

E = Número total de edificações

A_{UE} = Área total da unidade de análise

Para obter o número de edificações foi contabilizada a quantidade de entidades gráficas (polígonos fechados) presentes nos arquivos cartográficos (shapefiles) referentes à edificação residencial e não-residencial. Já para o valor de área da unidade de análise, foi mensurado o polígono que cobre a unidade na sua totalidade, obtendo assim a área em hectares (ha). Estes procedimentos foram executados em um sistema de informações geográficas (ArcView 3.2) e os dados finais tabulados em uma planilha eletrônica (Microsoft Excel), onde foram aplicadas as equações. A Figura 4.8 mostra um esquema gráfico contendo a seqüência de atividades para esta etapa.

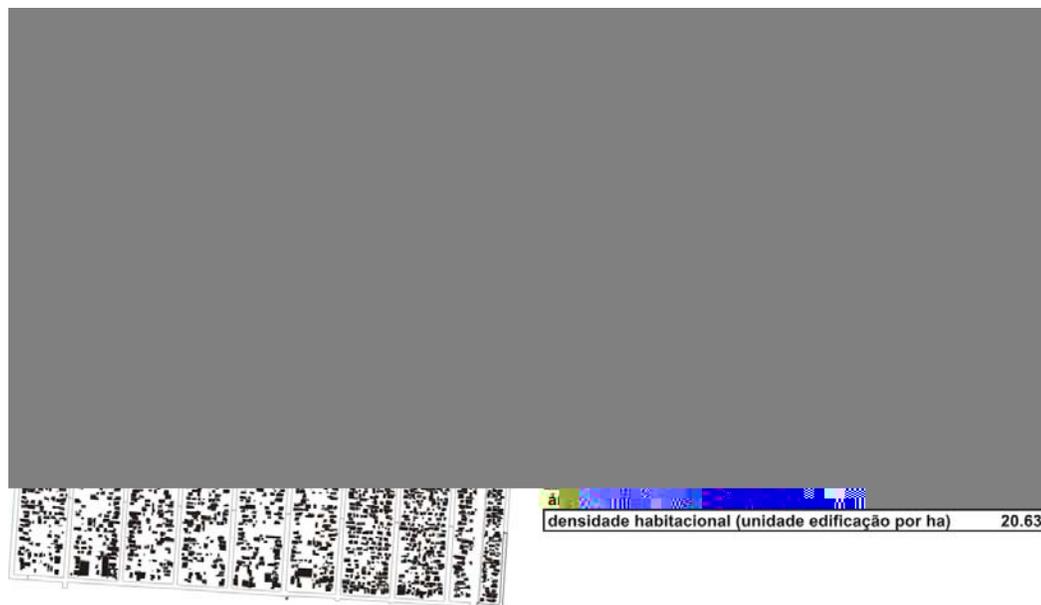


Figura 4.8 - Obtenção do valor de densidade de edificações para a unidade 1A

4.3.3 Caracterização da impermeabilidade urbana

A execução desta etapa da metodologia envolveu dois passos: (i) mapeamento dos tipos de coberturas nas unidades de análise, este obtido através da base cartográfica do município e das fotografias do levantamento aerofotogramétrico; (ii) classificação e atribuição do nível de impermeabilidade para cada tipo de superfície delimitada. Os detalhes destas atividades estão descritos nos subitens seguintes.

4.3.3.1 Mapeamento das áreas impermeáveis do objeto de estudo proveniente da base cartográfica

Considerando como áreas urbanas potencialmente impermeáveis as edificações, as calçadas e as vias, pode-se utilizar a delimitação da base cartográfica para mensurar a superfície impermeável para cada área urbana da unidade de análise. O conjunto de cartas cartográficas que cobrem cada unidade de análise está descrito no APÊNDICE C.

Em um primeiro momento, foram levantadas, através da base cartográfica, as delimitações das ocupações de vias, edificações, água e quadras esportivas, classificação esta já definida como critério para a seleção das unidades de análise desta pesquisa. Nesta etapa, as atividades envolveram a extração de informações contidas nas cartas, procedimento feito com o auxílio de um programa de computação gráfica (AutoCAD 2000), e a produção de dados cartográficos relativos à cada tipo de superfície, cuja atividade foi elaborada em um sistema de informações geográficas (ArcView 3.2). Após, este mapeamento foi utilizado no cálculo de impermeabilidade, procedimento que será descrito no subitem subsequente. As atividades envolvidas neste mapeamento estão descritas resumidamente na Figura 4.9, tomando como exemplo o mapeamento das edificações residenciais na unidade 1A. A atribuição das informações contidas na planta cadastral para cada classificação das superfícies está exposta na Tabela 4.1.



Figura 4.9 - Etapas para o mapeamento das edificações residenciais na unidade 1A, segundo as informações da planta cadastral

Tabela 4.1 - Atribuição das informações da planta cadastral para cada tipo de superfície

Tipo de cobertura mapeada	Informação (nome do layer)
via pavimentada	Ferrovia Rodovia pavimentada federal, estadual ou municipal Via pavimentada com meio fio Via pavimentada sem meio fio
via não pavimentada	Via não pavimentada sem meio fio
edificação residencial	Edificação residencial
edificação não residencial	Construção ruína Edificação Industrial Edificação Pública Edificação Comercial Escola Hospital e posto de saúde Igreja, templo ou capela Clubes e associações Estação do Metro
corpos d'água	Lago, lagoa ou açude perene Piscina Rio intermitente Rio perene
quadras esportivas	Quadra

Por outro lado, o mapeamento das calçadas envolveu procedimentos adicionais, pois a base cartográfica não possuía uma entidade gráfica referente à calçada, ou seja, tomando como exemplo a plataforma disponibilizada pelo AutoCAD 2000, a base de dados não possuía um polígono ou uma polilinha que pudesse desagregar esta informação através de um *layer* (camada de desenho). Entretanto, a área da calçada estava delimitada visualmente através do traçado da via e dos limites dos lotes, vetores estes possíveis de obter informação vinculada a entidades gráficas. Desta forma, através do programa de computação gráfica (AutoCAD 2000), trabalhando com apenas dois grupos de desenho, um contendo o traçado das vias e outro contendo os polígonos das áreas dos quarteirões delimitados pela testada dos lotes (neste caso, houve a necessidade de editar este polígono, traçando-o manualmente), foi possível obter o mapeamento da superfície da entidade gráfica da calçada, esta configurada por um polígono fechado. O arquivo vetorizado conseqüente desta ação foi importado para um sistema de informações geográficas (ArcView 3.2), onde foi transformado em dado cartográfico (shapefile), semelhante ao procedimento executado anteriormente para os outros tipos de superfície.

Para esclarecer melhor as atividades desta fase, a Figura 4.10 ilustra as etapas para obter o mapeamento da calçada.



Figura 4.10 - Procedimentos para o mapeamento das calçadas

4.3.3.2 – Mapeamento da vegetação e das áreas intraquadras através da fotografia aérea

Como a base cartográfica do município não contempla a delimitação da vegetação, foi necessário obter este dado por outras fontes. A alternativa viável encontrada por esta pesquisa foi adquirir esta demarcação através das fotografias aéreas do levantamento aerofotogramétrico que serviu de base para a elaboração da planta cadastral, método este semelhante ao que foi utilizado pelo estudo de Pauleit e Duhme (2000).

Para isto, foi necessário primeiramente digitalizar as imagens pertencentes a cada unidade de análise. No APÊNDICE D encontra-se as fotografias correspondentes à cada unidade. Após a digitalização, foi feito o georreferenciamento destes arquivos raster e, depois, a montagem das fotografias que fazem a cobertura de cada unidade de análise em um único mapa raster através da técnica do mosaico. Os arquivos vetorizados (shapefiles), produzidos pela planta cadastral, serviram de apoio para o georreferenciamento, fornecendo as coordenadas dos pontos de controle. Os princípios básicos destas técnicas de geoprocessamento disponibilizadas por sistemas de informações geográficas estão descritos no item 2.5 do capítulo 2 desta dissertação.

A etapa seguinte é a delimitação das áreas onde se indica a presença da vegetação. Entretanto, é importante lembrar que as fotografias aéreas são em tons de cinza, numa escala de 0 a 255 cores, sendo que o valor 0 (zero) corresponde à cor “preto” e o valor 255 corresponde à cor “branco”. Desta forma, observando o fato de que as áreas onde

potencialmente há uma formação vegetal possuem tons de cinza mais escuros, foi possível definir, através do histograma⁷ do raster, a partir de que valor de cinza seriam atribuídas as áreas de vegetação, configurando os valores para uma reclassificação dos atributos. A reclassificação é uma técnica disponibilizada pelos sistemas de informações geográficas e seus princípios básicos estão descritos no item 2.5 do capítulo 2 desta dissertação. A Figura 4.11 ilustra os processos envolvidos para a reclassificação dos atributos do mapa raster.



Figura 4.11 – Reclassificação dos atributos do mapa raster

Porém, os tons de cinza agregam não só a informação da presença da vegetação, mas também outros elementos urbanos como, por exemplo, alguns tipos de telhados e a pavimentação de asfalto nas vias. Desta forma, foi necessário a confecção de um arquivo matricial (*raster – grid*) onde agregasse as informações dos arquivos cartográficos, estes vetorizados (*shapefiles*), provenientes da base cartográfica. Este arquivo serviria para descartar do mapa da vegetação as áreas onde já estaria definida o tipo de superfície ocupada. Para uma posterior álgebra de mapas, o arquivo matricial (*raster-grid*) foi reclassificado, atribuindo o valor “2” para a área ocupada, ou seja, com a informação proveniente arquivos cartográficos, e valor “0” para a área sem informação.

⁷ “Histograma é a representação gráfica da distribuição da freqüência de níveis de cinza de uma imagem matricial de sensor remoto. Apresenta no eixo “x” a variação de níveis de cinza da imagem e no eixo “y” a freqüência de cada valor digital na mesma.” (ESTEIO, 2003)

Desta forma, foi feita uma operação algébrica de mapas, ou seja, uma soma entre o mapa das prováveis áreas com vegetação e o mapa das ocupações definidas pelos arquivos cartográficos (*shapefiles*). O resultado desta soma deu origem a um mapa raster que, além de fornecer o mapeamento das áreas com vegetação, também forneceu o mapeamento de áreas interiores aos quarteirões, estas que não possuem informação quanto ao tipo de superfície ocupada, ou seja, não pertencem nem ao mapa de prováveis áreas de vegetação, nem ao mapa de ocupações definidas pelo arquivo shapefile. Desta forma, estas áreas sem informação (valor “0”) foram denominadas áreas intraquadras. Portanto, o mapa final de vegetação e de áreas intraquadras é o resultado da reclassificação dos atributos do mapa raster derivado da operação algébrica entre mapas. Para concluir a explanação sobre mapeamento das superfícies impermeáveis, a Figura 4.12 apresenta o processo de álgebra com os mapas raster, ilustrando a seqüência de procedimentos desta etapa.



Figura 4.12 – Esquema do processo de álgebra com mapas

4.3.3.3 Classificação dos níveis de impermeabilidade dos tipos de superfície em cada unidade de análise

O nível de impermeabilidade de cada tipo de superfície foi classificado conforme a definição para o coeficiente “C” da tabela ASCE (ASCE, 1969 apud Tucci, 2000, p.542), utilizado pelo método racional de cálculo de vazão. O conteúdo integral desta tabela pode ser consultado no ANEXO B desta dissertação.

Entretanto, para as áreas intraquadras, ou seja, áreas onde não há uma informação precisa do tipo de superfície de cobertura, foi estabelecido o seguinte critério: como são áreas pertencentes aos lotes, foram definidas duas opções, (i) ser uma superfície não pavimentada, ou seja, de solo descoberto ou (ii) ser uma superfície pavimentada e, neste contexto, foi definido que o coeficiente de impermeabilidade seria equivalente à pavimentação por blocos de concreto.

A Tabela 4.2 lista os tipos de superfícies mapeadas nas unidades de análise e seu respectivo coeficiente de impermeabilidade.

Tabela 4.2 - Valores dos coeficientes de impermeabilidade para cada tipo de superfície (ASCE, 1969 apud Tucci, 2000)

Superfície	Impermeabilidade (C)
Água – rios, piscinas, corpos d’água	0
Edificação Residencial - superfície 100% ocupada	1
Edificação Não-Residencial - superfície 100% ocupada	1
Via Pavimentada - concreto/asfalto	0.95
Via Não-Pavimentada - solo compactado	0.20
Vegetação – médio e alto porte (arbórea)	0.10
Quadras esportivas – cobertura gramada	0.21
Quadras esportivas – cobertura pavimentada	0.95
Calçadas – cobertura pavimentada - bloco concreto	0.78
Calçadas – cobertura não pavimentada - solo compactado	0.20
Áreas intraquadras - solo descoberto (condição 1)	0.20
Área intraquadras - pavimentada (bloco concreto) (condição 2)	0.78

Com base nos mapeamentos de coberturas do solo descritos anteriormente, foram elaborados mapas de impermeabilidade de cada unidade de análise. Desta forma, as atividades envolvidas para a confecção destes mapas consistiram na incorporação dos níveis de

impermeabilidade de cada tipo de superfície ao banco de dados dos arquivos cartográficos (*shapefiles*), e na agregação destas informações em um só arquivo, juntando todos os dados de impermeabilidade referente a uma determinada unidade de análise. Após, houve a conversão deste arquivo para um formato matricial (*raster-grid*) para o posterior cálculo da média de impermeabilidade da unidade de análise.

Para executar este cálculo, foram utilizados operadores de análise espacial (Spatial Analysis) do sistema de informações geográficas (software ArcView 3.2). O cálculo da média consiste em uma razão entre o somatório dos valores de impermeabilidade das células (pixels) do arquivo matricial e o somatório das unidades de pixels de cada unidade de análise, conforme a equação (4.8).

$$I_{média} = \frac{\sum I_{pixel}}{N_{total}} \quad (4.8)$$

Onde:

$I_{média}$ = Impermeabilidade média da unidade de análise

I_{pixel} = Valor de impermeabilidade do pixel

N_{total} = Número total de pixels na imagem da unidade de análise

A Figura 4.13 ilustra graficamente os procedimentos envolvidos nesta etapa.

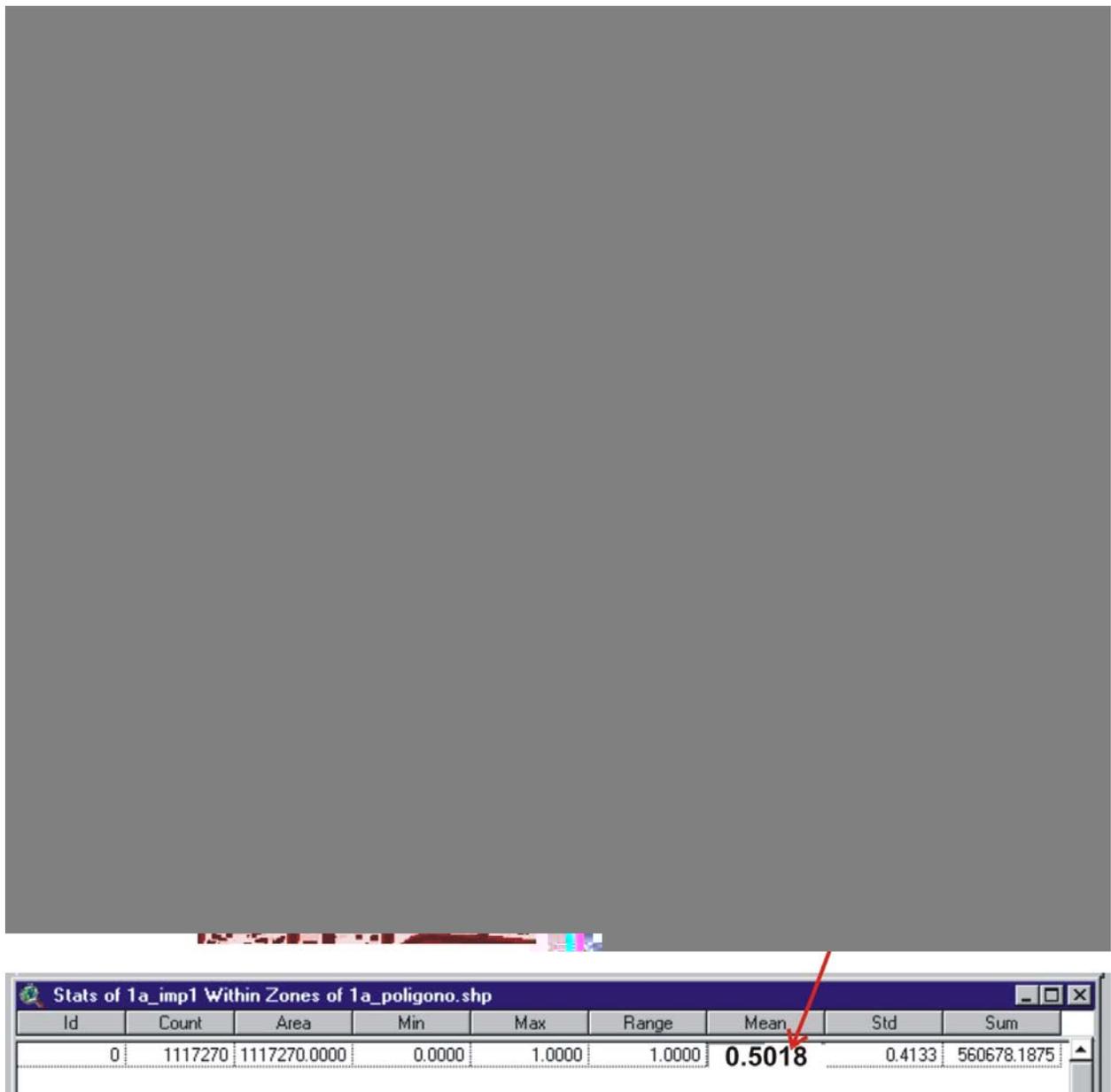


Figura 4.13 - Etapas da classificação da impermeabilidade na unidade 1A

Após a aplicação deste procedimento na condição 1 (área com solo descoberto – menor impermeabilização) e na condição 2 (área intraquadra com pavimento de concreto – maior impermeabilização), foi contabilizado um valor médio de impermeabilidade entre estes dois valores para ser atribuído nas unidades de análise. Portanto, a média entre o nível de impermeabilidade nas condições 1 e 2 é o valor que será utilizado para a análise de dados desta investigação.

O valor médio de impermeabilidade na unidade de análise também foi utilizado para estimar a quantidade de área impermeável por habitante na unidade de análise, dado este importante na análise da relação entre impermeabilidade urbana e densidades populacionais. Para calcular este dado, foi estimada a área impermeável na unidade de análise, conforme a taxa de impermeabilidade (IMPERMEA) e a estimativa de população na unidade de análise, de acordo com a densidade populacional média (DP). Logo, a estimativa de área impermeável por habitante foi computada a partir da Equação (4.9).

$$IMP / hab = \frac{A_{UE} \times (IMPERMEA \div 100)}{A_{UE} \times DP} \quad (4.9)$$

Onde:

IMP / hab = Área impermeável por habitante (ha/hab)

A_{UE} = Área total da unidade de análise (ha)

$IMPERMEA$ = Impermeabilidade média na unidade de análise (%)

DP = Densidade populacional (hab/ha)

Para finalizar esta etapa, também foi estimada a impermeabilização no lote devido à ocupação da edificação. Para isto, tomou-se como base os valores de área total ocupada pelas edificações residenciais e não residenciais, os valores médios de área do lote e a quantificação total de área ocupada pelas quadras. Desta forma, o cálculo da média de impermeabilidade no lote segue a aplicação das Equações (4.10), (4.11) e (4.12).

$$IMP_LOTE = \frac{(A_{edif_lote}) \times 100}{L_{\acute{a}rea}} \quad (4.10)$$

Onde:

IMP_LOTE = Impermeabilidade média no lote devido a ocupação da edificação (%)

A_{edif_lote} = Área ocupada pela edificação no lote (m²)

$L_{\acute{a}rea}$ = Valor médio de área do lote (m²)

$$A_{edif_lote} = \frac{A_{edif}}{N_{lotes}} \quad (4.11)$$

Onde:

A_{edif_lote} = Área ocupada pela edificação no lote (m²)

A_{edif} = Área total ocupada pela edificação na unidade de análise (m²)

N_{lotes} = Número de lotes na unidade de análise

$$N_{lotes} = \frac{\sum A_{qua}}{L_{area}} \quad (4.12)$$

Onde:

N_{lotes} = Número de lotes na unidade de análise

A_{qua} = Área de cada quadra mensurada na unidade de análise (m²)

L_{area} = Valor médio de área do lote (m²)

4.3.4 Caracterização e organização dos dados finais das unidades de análise.

Devido à grande quantidade de informações vinculadas a cada unidade de análise, foi necessário um armazenamento sistemático das informações dos dados de saída dos procedimentos aplicados nos dados do levantamento. Sendo assim, os valores obtidos pelos diversos formatos de arquivos foram tabulados em uma única planilha vinculada a cada unidade de análise.

Entretanto, já prevendo as futuras relações entre os dados finais obtidos, algumas unidades de análise tiveram seus dados computados com algumas modificações. Nas áreas 1 (1A e 1B) e 2 (2A e 2B) foram computados valores de impermeabilidade considerando todas as vias pavimentadas com asfalto, pois, apesar de possuírem alguns logradouros sem pavimentação, a tendência futura nessas áreas é a pavimentação, como ocorre com as demais ruas inseridas nestas unidades de análise. Além disto, as áreas 2B, 3A e 3B também foram mensuradas com modificações, sendo contabilizadas sem as áreas verdes, ou seja, somente considerando os quarteirões edificados, com a finalidade de comparar a contribuição destas áreas verdes na diminuição da impermeabilidade total do loteamento.

Portanto, para finalizar este capítulo, são apresentados a Tabela 4.3, contendo a caracterização dos dados finais de análise, o APÊNDICE E, contendo os dados finais das unidades de análise e o APÊNDICE F contendo os dados das unidades de análise modificadas, cujos valores subsidiarão o estudo de cenários alternativos que serão detalhados no próximo capítulo.

Tabela 4.3 - Caracterização dos dados finais das unidade de análise

	Dados	Caracterização	Unidade
Referentes à Densidade Urbanas	<i>DP</i> = Densidade Populacional	Número de habitantes por hectare	hab/ha
	<i>DE</i> = Densidade de Edificação	Número de edificações por hectare	edif/ha
Referentes à impermeabilidade	<i>IMPEDIF</i> = ocupação das edificações	Porcentagem de área ocupada por edificações em relação à área total da unidade de análise	%
	<i>IMPVIA</i> = ocupação das vias	Porcentagem de área ocupada pelas calçadas e vias (pavimentadas e não pavimentadas) em relação à área total da unidade de análise	%
	<i>IMPERMEA1</i> = Impermeabilização condição 1	Porcentagem de impermeabilidade da unidade de análise sob a condição 1, ou seja, supondo que a área intraquadra tenha impermeabilização equivalente a de um solo compactado	%
	<i>IMPERMEA2</i> = Impermeabilização condição 2	Porcentagem de impermeabilidade da unidade de análise sob a condição 2, ou seja, supondo que a área intraquadra tenha impermeabilização equivalente a de uma área pavimentada por blocos de concreto	%
	<i>IMPERMEA</i>	Impermeabilidade média nas unidades de análise	%
	<i>IMP / hab</i>	Área impermeável (hectare) por habitante	m ² /hab
	<i>IMP_LOTE</i>	Estimativa de impermeabilização no lote devido a ocupação da edificação	%
Referentes à forma urbana	<i>LRUA</i> = Largura da rua	Valor médio de largura de rua na unidade de análise	m
	<i>ALOTE</i> = Área do lote	Valor médio de área do lote na unidade de análise	m ²
	<i>AQUA</i> = Área da quadra	Valor médio de área da quadra na unidade de análise	ha
	<i>INTER</i> = Densidade de interseções viárias	Estimativa de interseções viárias por área da unidade de análise	Interseções por km ²
	<i>TRACADO</i> = Traçado viário	Qualidade do tipo de traçado viário na unidade de análise	Ortogonal não-ortogonal
	<i>L_testada</i> – Largura da testada do lote	Valor médio da testada dos lotes das unidades de análise	m
	<i>N_quartos</i> – nº de quartos	Capacidade da edificação expressa em número de quartos por habitação	Nºquartos/hab
Referentes ao zoneamento urbano	<i>IA</i> = Índice de Aproveitamento	Índice urbanístico que delimita o quanto o lote poderá ter de área construída.	Adimensional
	<i>TO</i> = Taxa de Ocupação	Índice urbanístico que delimita a ocupação da edificação no lote	% em relação ao total do lote
	<i>CI</i> = Cota Ideal	Índice urbanístico que limita a área mínima de cada economia (unidade habitacional).	m ²
	<i>USOSOLO</i> = Tipo de uso do solo	Qualidade do tipo de ocupação na unidade de análise	Residencial Comercial Mista

5 RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS

Neste capítulo estão dispostos os resultados e as análises dos dados obtidos pela aplicação da metodologia. Primeiramente, os resultados dos níveis de impermeabilização estão relacionados com quatro tópicos fundamentais, abordados nos subitens 5.1 a 5.4: forma urbana, densidades urbanas, zoneamento urbano e ocupação do solo. Já o item 5.5 trata das investigações acerca da implementação de soluções alternativas, examinando o efeito de 3 situações na geração de áreas impermeáveis no loteamento urbano: (i) a presença das áreas verdes nos loteamentos; (ii) atribuição da taxa de ocupação e impermeabilização no lote; (iii) configuração da pavimentação nos passeios.

5.1 Forma urbana e impermeabilização

Com o intuito de aferir a relação entre a forma urbana e a impermeabilização, em um primeiro momento as unidades de análise foram divididas em dois grupos de acordo com o tipo de traçado viário que apresentam: (i) traçado ortogonal; (ii) traçado não-ortogonal. Foram consideradas apenas as unidades com uso residencial, excluindo-se a unidade 7A, uso misto-comercial. Nestes grupos foram avaliados os demais elementos da forma urbana, os valores de impermeabilidade e de ocupação viária, sendo que o valor médio de cada item avaliado está indicado na Tabela 5.1. O APÊNDICE G mostra os valores de todas as unidades para o cálculo das médias.

Tabela 5.1 - Comparação dos valores médios obtidos pelas unidades de análise, segregadas por tipo de traçado viário.

Tipo de Traçado viário (TRACADO)	Ocupação sistema viário (%) (IMP_VIA)	Densidade Interseções (%) (INTER)	Área quadra - média (ha) (AQUA)	Área lote - média (m ²) (ALOTE)	Largura de caixa de rua - média (m) (LRUA)	Impermeabilização (%) (IMPERMEA)
Ortogonal	23.03	45.40	1.90	465.52	15.61	55.47
Não-ortogonal	26.14	76.10	1.10	411.83	15.44	58.09

Os dados mostram que as unidades de análise que apresentam um traçado ortogonal, resultam em um menor valor de ocupação do sistema viário, de densidade de interseções viárias e de impermeabilização total. Esta constatação também foi encontrada no estudo de Stone Jr. (2004, p.110), onde prevê a tendência de uma redução na impermeabilidade total do loteamento na medida em que o traçado tende a ser ortogonal. A justificativa para este

resultado é que malhas não-ortogonais, expressas por traçados oblíquos, resultam em maiores superfícies pavimentadas, pois implicam em uma maior quantidade de interseções viárias para acomodar as quadras, maiores extensões de vias e a presença de cruzamentos atípicos (Mascaró, 2003, p.37). Para ilustrar este fenômeno, a Figura 5.1 mostra um detalhe dos cruzamentos viários das unidades 6A e 4B, evidenciando estas diferenças entre os traçados viários e entre os valores de ocupação viária nas duas situações. Por outro lado, também é importante ressaltar que o traçado não-ortogonal favorece a integração da malha viária com a topografia do terreno, além de atenuar a velocidade do escoamento superficial nas sarjetas.

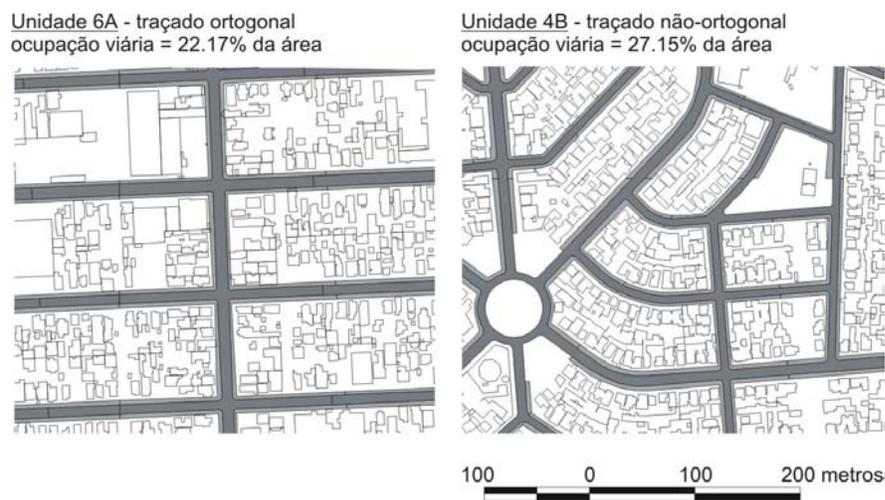


Figura 5.1 – Comparação entre os traçados viários das unidades 6A e 4B

Considerando as recomendações para um leiaute eficiente, publicadas no trabalho de Caminos e Goethert (1984), que propõe uma parcela de 15 a 20% da área do loteamento para vias públicas, pode-se interpretar que o traçado ortogonal observado nas unidades de análise é o que mais favorece esta qualidade no assentamento, pois os valores médios de ocupação aproximam-se do sugerido por esta referência. Também pode ser observado nas legislações sobre o parcelamento do solo (Porto Alegre, 1999; Canoas, 1995) a recomendação mínima de 35% de área do loteamento para uso público, reservando 10% para área verde e 5% para área institucional, resultando de 20% de ocupação viária. Entretanto, a parcela de 25% para o sistema viário é aceitável nos padrões de ocupação urbana, condição esta que pode ser observada no trabalho de Mascaró (2003, p.40), onde se mostra que a porcentagem da ocupação viária em loteamentos na cidade de São Paulo apresenta valores ao redor de 25%.

Portanto, os resultados obtidos na relação entre a impermeabilidade e malha viária mostram que o traçado não-ortogonal, apesar de ser um padrão de leiaute considerado promotor da integração entre os sistemas natural e construído, pode estar associado a um maior nível de impermeabilidade em comparação com unidades de análise com traçado ortogonal, devido à elevada porcentagem de ocupação viária no loteamento implantado. Assim, destaca-se a prudência em planejar um desenho de malha viária não-ortogonal que possa ao mesmo tempo viabilizar a locação das quadras e dos lotes sem comprometer a superfície com excessiva cobertura impermeável.

Quanto ao tamanho da quadra, observa-se que as unidades de análise com áreas médias de quadra entre 1.50ha a 2.50ha estão vinculadas a uma menor ocupação do sistema viário do que as unidades de análise com quadras ao redor de 1há. Para comprovar o que foi dito, a Figura 5.2 plota os valores de tamanho de quadra e ocupação do sistema viário, estes separados para unidades de análise com traçado ortogonal e não-ortogonal.

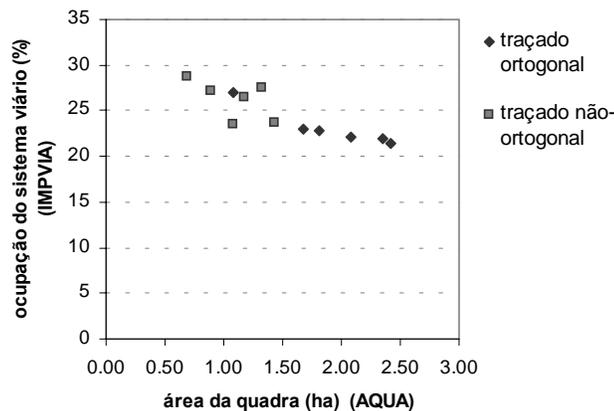


Figura 5.2 - Relação entre o tamanho da área da quadra e a ocupação viária

O fato de quadras com áreas maiores proporcionarem menor ocupação do sistema viário também é evidenciado no trabalho de Mascaró (2003, p.43), este que apresenta uma tendência de menor ocupação viária para quarteirões sem ruas de penetração (o que é a situação em todas as unidades de análise desta investigação) com tamanho do grão ao redor de 2ha.

As áreas dos lotes encontrados nas unidades de análise estão na faixa de 200 a 600 m². Quanto à relação entre a área do lote e impermeabilização no mesmo, esta determinada fundamentalmente pela ocupação da edificação, pode-se verificar que a tendência é diminuir a

porcentagem de ocupação da edificação na medida em que aumenta a área do lote. A Figura 5.3 ilustra esta constatação, plotando os valores obtidos nas unidades de análise.

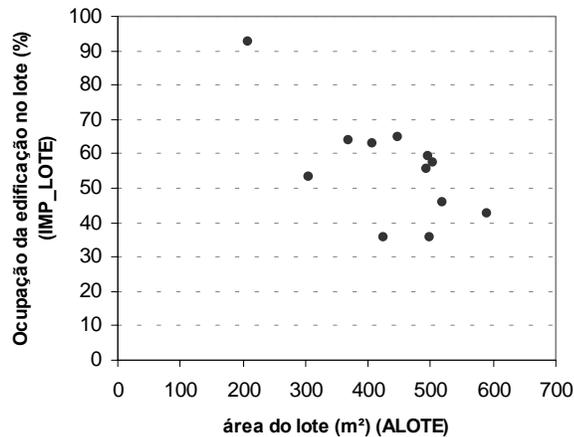


Figura 5.3 – Relação entre a área do lote e a ocupação da edificação no mesmo

No trabalho de Zielinski (2002, p.20), estudo norte-americano feito em bacias hidrográficas urbanas, observa-se uma estimativa de 40.13% de área impermeável em lotes residenciais com 1/8 acre (aproximadamente 500m²), sendo este valor semelhante ao que foi encontrado nas unidades de análise, cujo valor foi de 47.49%. Entretanto, é importante perceber a alteração das estimativas para áreas impermeáveis em contextos geográficos distintos e escalas de análise diferentes, ressaltando a cautela em utilizá-los como referência.

Para finalizar o estudo da forma urbana, os resultados obtidos nas unidades de análise foram comparados com as estimativas obtidas utilizando os resultados da análise de regressão feita por Stone Jr. (2004). Assim, foi aplicado o modelo proposto por este artigo, atribuindo valores das unidades de análise nas variáveis independentes (X), resultando a estimativa de área impermeável (Y). Os parâmetros e a formulação do modelo estão presentes no ANEXO C. No APÊNDICE H aparece a comparação das estimativas do modelo e do valor mensurado de todas as unidades de análise desta investigação. A Tabela 5.2 mostra as comparações dos resultados de impermeabilização das unidades de análise com os menores valores de resíduo, ou seja, menores diferenças entre o valor estimado e o valor obtido. Estas unidades representam loteamentos residenciais unifamiliares, sem tendência à verticalização, condizente com o perfil de assentamentos investigados por este artigo. Por outro lado, o modelo torna-se inválido quando o aplica-se na unidade 7A, que representa uma área mista-comercial, subestimando os valores de impermeabilidade no lote.

Tabela 5.2 - Comparação entre os resultados obtidos nas unidades de análise e a estimativa do modelo de regressão (Stone Jr., 2004)

Parâmetros da análise de regressão (Stone Jr, 2004)	1A	2B	3B	4B	6A	6B	7A
	valores (X)						
X1 - área lote (m) - (<i>ALOTE</i>)	519.89	208.81	589.68	305.56	504.60	406.51	894.61
X2 - testada lote (m) (<i>L_testada</i>)	10.11	10.00	14.86	10.19	11.06	10.52	17.85
X3 - recuo (m) (<i>recuo de jardim - lei zoneamento</i>)	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	0.00
X4 - largura rua (m) (<i>LRUA</i>)	15.46	14.18	13.47	15.86	17.16	15.54	15.20
X5 - densidade interseção (inter/km ²) (<i>INTER</i>)	30.98	98.46	77.50	93.67	36.89	42.17	36.88
X6 - numero quartos (<i>N_quartos</i>)	3.00	5.00	5.00	3.00	4.00	3.00	2.00
(Y) valor estimado - impermeabilidade no lote (%)	46.37	86.02	42.48	52.55	54.01	55.75	29.44
(Y') valor obtido - impermeabilidade no lote (%) (<i>IMP_LOTE</i>)	45.91	82.71	42.72	53.45	57.44	62.84	77.69
resíduos	0.46	3.31	0.25	0.90	3.44	3.44	48.25

Assim, avaliando a Tabela 5.2, pode-se observar estimativas de áreas impermeáveis maiores para lotes com menor área (aproximadamente 200m²), fato este que pode ser justificado pela tendência de maior ocupação da edificação em lotes menores para acomodar a unidade habitacional, condição esta que promove maior impermeabilização no lote e, conseqüentemente, maior impermeabilização total no loteamento.

Portanto, concluindo este subitem, a Tabela 5.3 mostra o resumo das principais conclusões vistas nesta análise.

Tabela 5.3 - Principais conclusões da relação entre a forma urbana e a impermeabilidade

Item analisado	Conclusões
Impermeabilidade total	traçado ortogonal < traçado não-ortogonal
Densidade de interseção	traçado ortogonal < traçado não-ortogonal
Área da quadra	traçado ortogonal > traçado não-ortogonal
Largura da rua	traçado ortogonal \cong traçado não-ortogonal
Impermeabilidade do lote	Tende a ser maior quanto menor for a área do lote

5.2 Densidades urbanas e impermeabilização

Para avaliar os dados referentes à este tópico, as unidades de análise foram divididas em dois grupos conforme a densidade populacional: (i) grupo 1: áreas com densidade populacional de 40 a 70hab/ha, caracterizando baixas densidades, (ii) grupo 2: áreas com densidade populacional de 70 a 115hab/ha, caracterizando médias densidades. As unidades 3A, 3B e 7A, por possuírem, além de características de zoneamento distintas, algumas particularidades nos resultados, foram excluídas da formação dos grupos e serão analisadas posteriormente. Na Tabela 5.4 encontra-se os valores e as médias nos dois grupos.

Tabela 5.4 –Relações entre os dados nos grupos separados conforme os valores de densidade populacional (DP)

Grupos	Unidades	Dens. pop. (DP) (hab/ha)	Dens. de edif. (DE) (edif/ha)	Ocupação da edificação (IMPEDIF) (%)	Área impermeável por habitante (IMP/hab) (m ² / habitante)
<i>grupo 1</i>	4A	44.87	27.85	29.13	137.49
<i>densidade populacional de 40 a 70hab/ha</i>	5B	55.39	33.88	30.38	106.53
	4B	58.76	17.85	29.84	110.17
	6A	59.22	23.16	30.96	103.04
	5A	61.23	30.29	26.05	94.77
	6B	68.53	34.56	29.51	88.89
<i>média</i>		<i>60.62</i>	<i>27.95</i>	<i>29.35</i>	<i>106.81</i>
<i>grupo 2</i>	1B	78.36	32.52	26.18	70.94
<i>densidade populacional de 70 a 115hab/ha</i>	1A	79.73	31.22	24.46	62.15
	2B	114.84	30.11	23.33	38.08
	2A	115.59	39.52	28.59	48.70
<i>média</i>		<i>97.13</i>	<i>33.34</i>	<i>25.64</i>	<i>54.97</i>

Observando a Tabela 5.4, pode-se notar que as áreas que exibem os maiores valores de densidades populacional, ou seja, o grupo 2, estão associadas a um valor menor de impermeabilização por habitante, sendo que, se forem comparados os valores médios dos dois grupos, a taxa de impermeabilização por habitante reduz pela metade na medida em que a densidade populacional aumenta 50% aproximadamente. Esta realidade também está presente nas conclusões obtidas pelo estudo de Stone Jr. (2004, p.110), onde relata que áreas residenciais com moderada a alta densidade populacional estão vinculadas a uma menor área impermeável por habitante.

Entretanto, as justificativas para este fato não coincidem com os relatados em Stone Jr. (2004), cujo motivo de redução da impermeabilidade está baseado na tendência de uma verticalização em alguns lotes considerados no cálculo da impermeabilidade, o que permite a concentração de população residente e a disponibilidade de uma infra-estrutura para um maior número de habitantes. Já o perfil observado nas unidades de análise do grupo 2 é de uma ocupação residencial unifamiliar, habitada por uma classe social baixa, sem tendência a uma verticalização das edificações, sobretudo nos índices urbanísticos, pois a Cota Ideal (CI) estipula 150m² para habitação nessas áreas. Porém, pode-se justificar este resultado através dos seguintes motivos: (i) de acordo com os dados do censo (IBGE, 2002; Neves, Miranda, Corbetta, 2004), estas áreas possuem uma estimativa de 3.5 a 6 pessoas por domicílio, incrementando a população residente; (ii) a existência de vias não pavimentadas nestas unidade de análise pode ter diminuído o valor de área impermeável por habitante, pois foi reduzido o valor total de impermeabilidade no loteamento. Entretanto, mesmo cogitando a

pavimentação de todas as vias, os valores de impermeabilização apresentam-se ainda menores do os que foram encontrados no primeiro grupo, como pode ser observado na Figura 5.4.

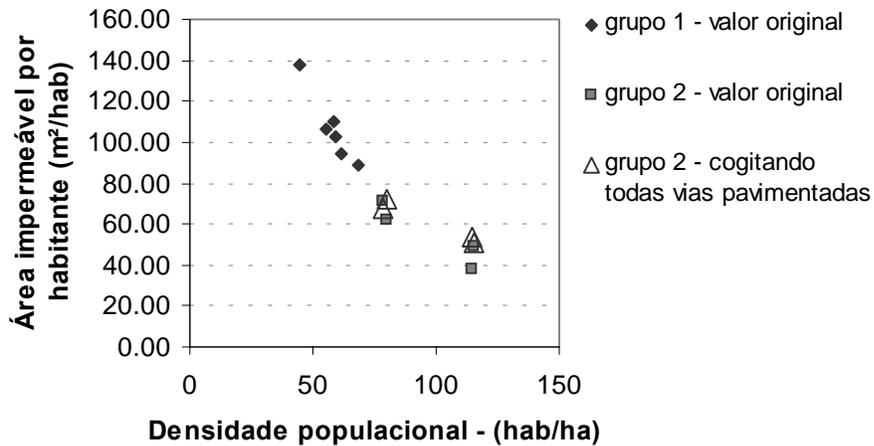


Figura 5.4 – Relação entre densidade populacional e área impermeável por habitante

De fato, os resultados das unidades de análise mostram uma otimização da relação entre a ocupação urbana e o usuário (residente) em áreas com densidade populacional ao redor de 115 hab/ha, evidenciado pela baixa área impermeável por habitante. Como parâmetro, pode-se destacar as recomendações do Plano Diretor de Porto Alegre quanto à densificação de áreas (Porto Alegre, 1999), que define as densidades populacionais para áreas de ocupação intensiva com uso predominantemente residencial a partir de 150hab/ha.

Por conseguinte, é importante observar os resultados obtidos nas áreas 3A, 3B e 7A, comparando-os com as médias dos grupos. A área 3A e 3B caracterizam-se como loteamentos de baixa densidade, com habitações unifamiliares e com população de médio a alto nível socioeconômico, apresentando uma baixa densidade populacional e de edificação. Porém, apesar da presença de áreas verdes nas unidades, estas unidades apresentam uma taxa de impermeabilização por habitante muito superior ao encontrado no grupo 1 (áreas com baixas densidades), devido principalmente à área ocupada pelo sistema viário, esta que chega a ser maior que a área ocupada pela edificação e superior até mesmo da ocupação viária da área 7A, esta caracterizada como área mista-comercial (centro da cidade). Desta forma, pode-se considerar que as unidades de análise 3A e 3B, por possuírem densidades populacionais muito baixas, apresentam uma tendência a maiores áreas impermeabilizadas por habitante, justificado pelo oferecimento de uma infra-estrutura viária não condizente com o número reduzido de usuários (residentes) que necessitam utilizá-la. Esta constatação também é encontrada no

artigo de Stone Jr. (2004), que verifica este mesmo fenômeno nos loteamentos residenciais com baixas densidades populacionais.

Por conseguinte, este fato emerge a discussão da real necessidade de disponibilizar, para loteamentos de baixa densidade, uma área para infra-estrutura viária ao redor de 25% do loteamento, valor este equivalente ao disponibilizado em áreas residenciais com maiores densidades populacionais. Assim, é viável a possibilidade de investigar, em áreas com baixa densidade, uma menor impermeabilização da pavimentação ou até mesmo um redesenho das dimensões mínimas para a infra-estrutura viária, buscando um equilíbrio entre a área disponível para o sistema viário, as habitações e usuários. Esta situação também é evidenciada no trabalho de Acioly e Davidson (1998, p.64), onde se explica que baixas densidades resultam tanto baixos padrões de infra-estrutura quanto altos custos financeiros e ambientais. A Figura 5.5 mostra um recorte de 2 unidades de análise, uma com moderada e outra com baixa densidade urbana, com o intuito de comparar as diferenças na ocupação e na distribuição das edificações nestas áreas.

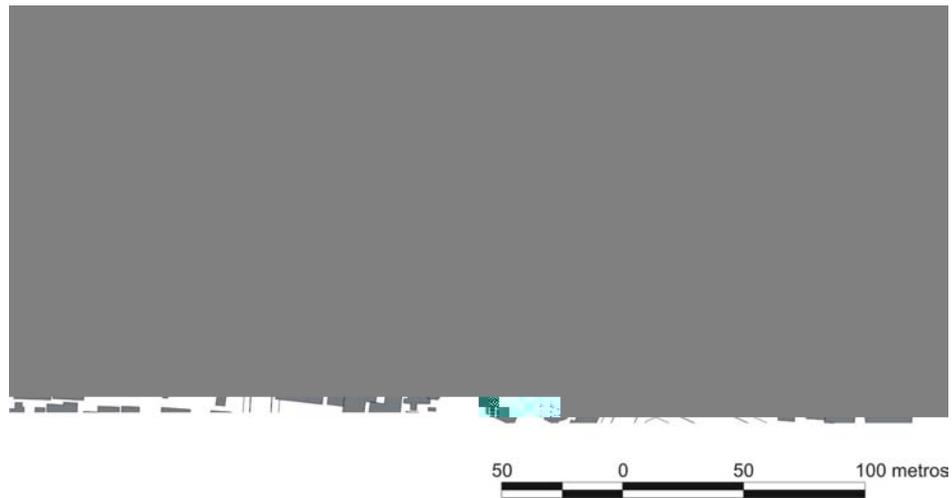


Figura 5.5 – Detalhe das áreas 1A (média densidade) e 3B (baixa densidade)

Já a área 7A, que se caracteriza como uma área mista com forte uso comercial, apresenta um alto valor de taxa de impermeabilização devido principalmente ao alto percentual de área edificada e alta densidade de edificação. Observa-se que a densidade populacional é menor que os demais grupos analisados e o valor de ocupação viária é equivalente aos valores médios dos grupos. A Figura 5.6 mostra os valores médios para a comparação dos dados de densidades urbanas, de ocupação e de impermeabilidade.

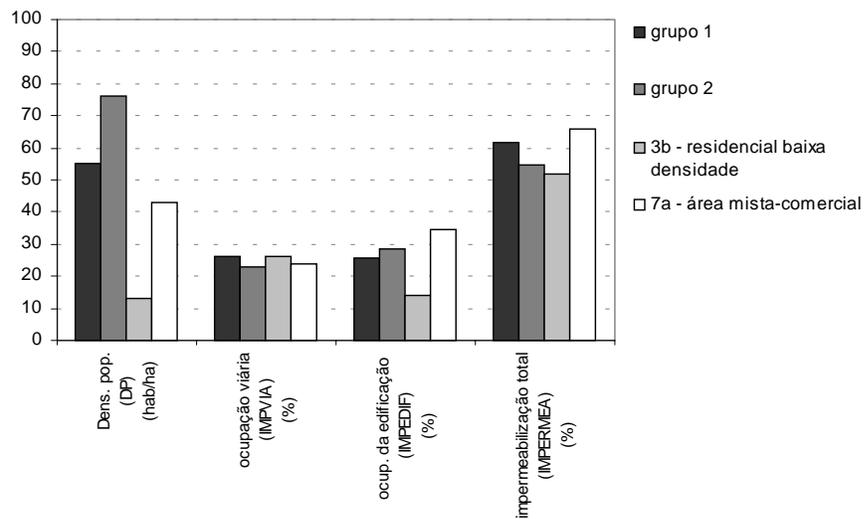


Figura 5.6 - Gráfico comparativo dos valores médios de densidades urbanas entre os grupos e unidades de análises 3A, 3B e 7A.

Entretanto, estas conclusões divergem dos resultados obtidos nos estudos de Tucci e Campana (IPH/DEP, 2002, p.166) e Pauleit, Ennos e Golding (2005), estes que apoiam o fato do aumento da impermeabilidade conforme o aumento das densidades populacionais e habitacionais. Estas deduções podem ser observadas tanto nos valores obtidos quanto nos textos das conclusões destes artigos, porém esta investigação encontrou dificuldades em comparar os dados destas referências bibliográficas com os obtidos por esta pesquisa. No caso do trabalho de Pauleit, Ennos e Golding (2005), que também utiliza o zoneamento urbano como unidade de análise, não são explicitados valores de densidade populacional que serviram para segregar em dois grupos as áreas de estudo, impossibilitando a comparação com os resultados obtidos nesta investigação.

Já no trabalho de Tucci e Campana (IPH/DEP, 2002), que utiliza a bacia hidrográfica como escala, englobando vários perfis de zoneamento urbano dentro da bacia, acaba subestimando os valores de impermeabilidade com relação às densidades populacionais. Portanto, é interessante destacar o fato de que o nível de simplificação no estudo de Tucci e Campana, em grandes áreas urbanas, com dados altamente agregados em termos espaciais, proporciona relações entre a densidade urbana e a impermeabilidade diferentes quando considera-se uma microescala, ou seja, em nível do zoneamento e da ocupação urbana, como foi considerada neste dissertação. Nesta última, a relação entre as densidades urbanas e a impermeabilidade mostra ser fortemente condicionada pelas configurações de forma urbana e tipos do solo

urbano, necessitando a avaliação integrada destes parâmetros (densidade, forma urbana e uso do solo) para estabelecer uma relação com a impermeabilidade. A Figura 5.7 plota os valores obtidos nas unidade de análise (a) e os estimados pelo trabalho de Tucci e Campana (b), evidenciando as diferenças da relação entre a densidade populacional e impermeabilização nas distintas escalas de análise dos dois estudos.

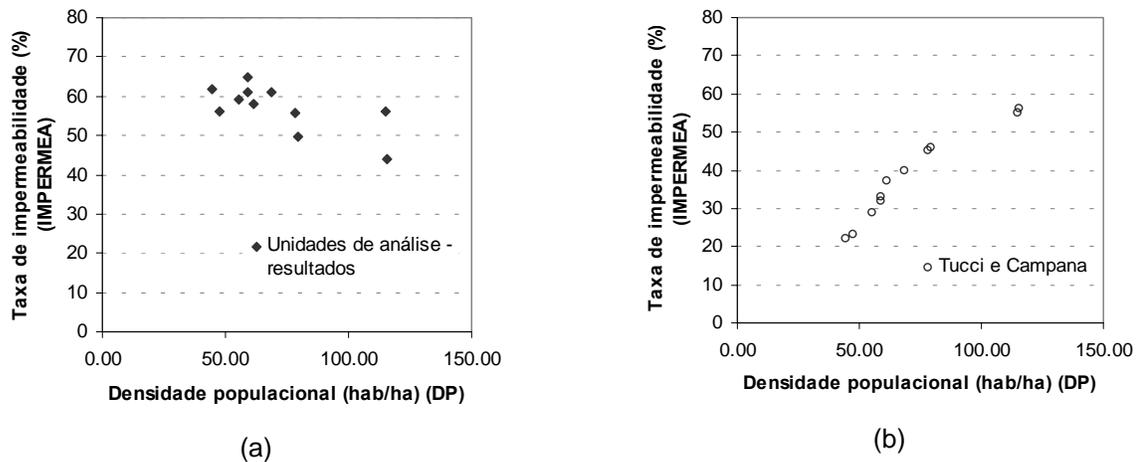


Figura 5.7 Relação entre a densidade populacional e taxa de impermeabilização

Todavia, apesar dos aspectos contraditórios que envolvem a discussão da relação entre densidades urbanas e áreas impermeáveis, pode-se finalizar com o parecer de que, nas unidades de análise desta investigação, os valores mais altos de áreas impermeáveis por habitante estão associados aos valores de baixas densidades populacionais e de edificação, devido principalmente a um desequilíbrio entre a infra-estrutura viária disponibilizada e o número de usuários.

5.3 Zoneamento urbano e impermeabilidade.

Para desenvolver esta análise das unidades de estudo, relacionando os valores de impermeabilidade com os dados referentes ao zoneamento urbano, foi necessário dividir a investigação em dois tópicos: (i) considerando o tipo de uso do solo; (ii) considerando o tipo de regime urbanístico. Estes temas serão abordados nos subitens a seguir.

5.3.1 Tipo de uso do solo e impermeabilização

A seleção das unidades de análise deste estudo teve como condicionante escolher áreas distribuídas em três tipos de uso do solo permitidos pelo zoneamento do plano diretor: (i) uma ocupação predominantemente residencial, (ii) uma ocupação mista, ou seja, residencial e

comercial, (iii) uma ocupação predominantemente comercial. Entretanto, a maioria das áreas analisadas tiveram como resultado uma ocupação predominantemente residencial, exceto a área 7A, que configura o distrito comercial da cidade.

Entretanto, pode-se comparar a média de impermeabilidade destas áreas com ocupação residencial com os valores obtidos pela área do distrito comercial (área mista-residencial). Simultaneamente, pode-se também equiparar os valores obtidos nesta pesquisa com os que constam no estudo de Pauleit e Duhme (2000, p.8), tomando os dados referentes às unidades de cobertura equivalente às áreas residenciais (*detached / terraced houses*) e às áreas mistas (*mixed uses*). A Tabela 5.5 mostra a comparação entre os dados obtidos nesta pesquisa e na bibliografia. Já o APÊNDICE I mostra os valores das unidades de análise que foram contabilizados para o cálculo das médias finais que constam na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Uso do solo e impermeabilização: comparação entre os valores obtidos e os valores constados em Pauleit e Duhme (2000).

item investigado	valor obtido	Pauleit e Duhme (2000)	unidade
impermeabilização total (IMPERMEA)			
área mista (residencial e comercial)	65.84	-	% em relação à área total
área residencial	56.55	-	
ocupação das vias e calçadas (sealed surfaces) (IMPVIA)			
área mista (residencial e comercial)	23.68	22.00	% em relação à área total
área residencial	24.59	22.15	
ocupação das edificações (build up) (IMPEDIF)			
área mista (residencial e comercial)	34.60	38.45	% em relação à área total
área residencial	25.96	36.70	
ocupação da vegetação (vegetation)			
área mista (residencial e comercial)	26.00	59.10	% em relação à área total
área residencial	33.44	59.65	

Observando a comparação dos dados, pode-se deduzir uma similaridade nos valores apanhados nos dois estudos nos itens referentes à ocupação de vias e calçadas e de edificações. Os resultados desta pesquisa e os resultados obtidos por este artigo mostram valores de ocupação das vias e das calçadas semelhantes tanto nas áreas residenciais quanto nas áreas comerciais, além de valores de ocupação da edificação também semelhantes nos dois tipos de uso do solo, porém tendo um estimativa menor para o valor das unidades de análise residenciais neste estudo.

Entretanto, as diferenças entre os tipos de uso do solo estão na contabilização da impermeabilização total, tendo valores superiores nas áreas mistas comerciais. Este valor é condizente com o que pode ser observado, de modo empírico, nas áreas comerciais, onde são encontrados grandes parcelas de superfícies pavimentadas, como áreas para estacionamento,

por exemplo, restringindo a existência de coberturas permeáveis. Logo, para finalizar este subitem, a Tabela 5.6 resume esquematicamente as principais conclusões deduzidas com a observação dos dados das unidades de análise quanto às características de impermeabilidade nas áreas residenciais e na área mista analisadas.

Tabela 5.6 - Resumo das conclusões das análise do uso do solo e da impermeabilidade urbana

Item analisado	Conclusão		
Impermeabilidade total	Área mista	>	Área residencial
Ocupação do sistema viário	Área mista	≅	Área residencial
Ocupação da edificação	Área mista	>	Área residencial
Ocupação da vegetação	Área mista	<	Área residencial

5.3.2 Regime urbanístico e impermeabilidade

Para estruturar a análise da relação entre o regime urbanístico e a impermeabilidade urbana, as unidades de análise foram divididas em grupos de acordo com os condicionantes do zoneamento urbano, ou seja, os valores de Índice de Aproveitamento (IA), de Taxa de Ocupação (TO) e Cota Ideal (CI). A Tabela 5.7 mostra as unidades de análise agrupadas de acordo com os índices urbanísticos e os valores médios de impermeabilidade no lote, estes referentes à ocupação da edificação.

Tabela 5.7 –Impermeabilidade no lote das unidades de análise conforme o zoneamento urbano

Grupos	Unidade	IA	TO (%)	CI (m ²)	Dens. pop. DP (hab/ha)	Imperm. no lote (%) (IMP_LOTE) (%)
<i>grupo 1</i>	1A	0.60	60.00	150.00	79.73	45.91
	1B	0.60	60.00	150.00	78.36	35.83
	<i>média</i>				79.73	40.87
<i>grupo 2</i>	4A	0.60	60.00	150.00	44.87	35.87
	4B	0.60	60.00	150.00	58.76	53.45
	<i>média</i>				51.82	44.66
<i>grupo 3</i>	3A	1.00	60.00	300.00	47.76	64.88
	3B	1.00	60.00	300.00	13.31	42.72
	<i>média</i>				30.54	53.80
<i>grupo 4</i>	5A	2.50	62.50	44.00	61.23	59.31
	5B	2.50	62.50	44.00	55.39	55.54
	<i>média</i>				58.31	57.42
<i>grupo 5</i>	6A	1.20	60.00	150.00	59.22	57.44
	6B	1.20	60.00	150.00	68.53	62.83
	<i>média</i>				63.87	60.14
<i>área comercial</i>	7A	6.00	75.00	22.00	43.13	77.69

Observando os resultados de impermeabilidade no lote, pode-se constatar que os grupos 1 e 2 apresentam menores valores se comparados com o grupo 5, este que possui os mesmos condicionantes de Taxa de Ocupação (TO) e Cota Ideal (CI), mas apresenta um Índice de Aproveitamento (IA) duas vezes maior do que nos primeiros grupos. Este maior índice de aproveitamento do lote e, conseqüentemente, uma maior área construída, pode ter permitido também uma maior ocupação da edificação no lote.

Outra observação é o fato de que as unidades com menor Cota Ideal (CI) e um maior valor de Índice de Aproveitamento (IA), indicando uma tendência a verticalização das construções, apresentam maiores níveis de impermeabilização no lote, como pode ser visto no grupo 4 e na área mista-comercial 7A.

Sendo assim, pode-se identificar na Tabela 5.7 que, para as unidades de análise de uso residencial desta investigação, a combinação de um índice de aproveitamento de 0.60, uma taxa de ocupação do lote de 60% e um cota ideal de unidade habitacional de 150m² apresenta uma menor geração de áreas impermeáveis no lote devido à ocupação da edificação. Por outro lado, é necessário destacar a grande variabilidade dos dados nos grupos 2 e 3, cujos motivos devem ser alheios ao zoneamento pelo qual estão submetidos. Ou seja, os índices urbanísticos incentivam um determinado padrão de urbanização, porém este nem sempre atinge o perfil estipulado, fazendo com que, na questão da impermeabilidade urbana, seja difícil estabelecer uma relação avaliando estes índices isoladamente, sem considerar os outros fatores que influenciam a urbanização resultante, como forma urbana, tipos de ocupação, densidades e padrões culturais e socioeconômicos.

Entretanto, a avaliação dos valores obtidos nesta pesquisa indica que as unidades de análise que apresentam uma menor cota ideal (CI) e um maior índice de aproveitamento do lote (IA), apontando uma tendência à verticalização nas edificações, parecem favorecer uma maior impermeabilização no lote. Este fenômeno também é encontrado no trabalho de Garotti e Barbassa (2005), este que apresenta, para lotes verticalizados, valores médios de taxa de ocupação pela edificação de 54.64%, próximos aos encontrados nas unidades de análise do grupo 4 deste estudo.

5.4 Ocupação do solo e impermeabilização

Conforme a abordagem no capítulo 2, o planejamento da ocupação do solo urbano procura obedecer uma proporcionalidade entre o caráter de utilização destes espaços, ou seja, uma

distribuição eficiente das áreas públicas, privadas e semi-públicas. A Figura 5.8 mostra os valores médios da distribuição das áreas nas unidades de análise estudadas. De acordo com as especificações presentes na fundamentação teórica (Canoas, 1995; Porto Alegre, 1999; Caminos e Goetherd, 1984 ; Mascaró, 2003), pode-se considerar que os valores médios apresentados nos loteamentos estudados mostram-se inseridos nos padrões de urbanização definidos pelas normas e legislações. Apesar de Caminos e Goetherd (1984, p.15) sugerir no mínimo 15% do loteamento para áreas semi-públicas, os demais valores médios ajustam-se nas ocupações sugeridas nas demais referências bibliográficas. O APÊNDICE J mostra os valores para o cálculo dos valores médios presentes na Figura 5.8.

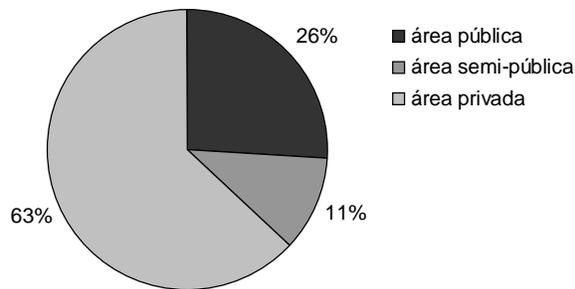


Figura 5.8 – Valores médios de distribuição das áreas nas unidades de análise

Ademais, através do mapeamento das superfícies, foi possível estabelecer porcentagens médias de ocupação de cada tipo de cobertura classificada nas unidades da análise. Esta análise é importante para entender como o espaço urbano destinado ao loteamento é apropriado pelos diversos tipos de cobertura, e, neste caso, pelos diversos níveis de impermeabilidade. Desta forma, a Figura 5.9 mostra os valores médios de porcentagem de ocupação observados nas unidades de análise. O APÊNDICE J traz os valores de ocupação das superfícies para todas as unidades de análise.

Valores médios de ocupação de cada tipo de superfície

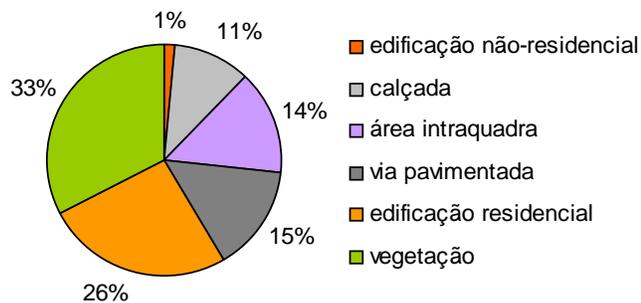


Figura 5.9 – Valor médio de porcentagem de cada tipo de cobertura nas unidades de análise

De acordo com os valores obtidos, pode-se observar uma média superior de ocupação da vegetação urbana nos loteamentos avaliados, representando 33% de ocupação em relação à área total considerada. Por outro lado, estes valores são menores do que os encontrados nas áreas residenciais (*detached / terraced houses*) no estudo de Pauleit e Duhme (2000, p. 6), este que verifica um valor de 60% de vegetação de alto e médio porte. Na Figura 5.10 pode-se observar a porcentagem de ocupação da vegetação em cada unidade de análise. Na Tabela 5.5 há uma comparação entre os valores de ocupação da vegetação entre esta investigação e a referência bibliográfica.

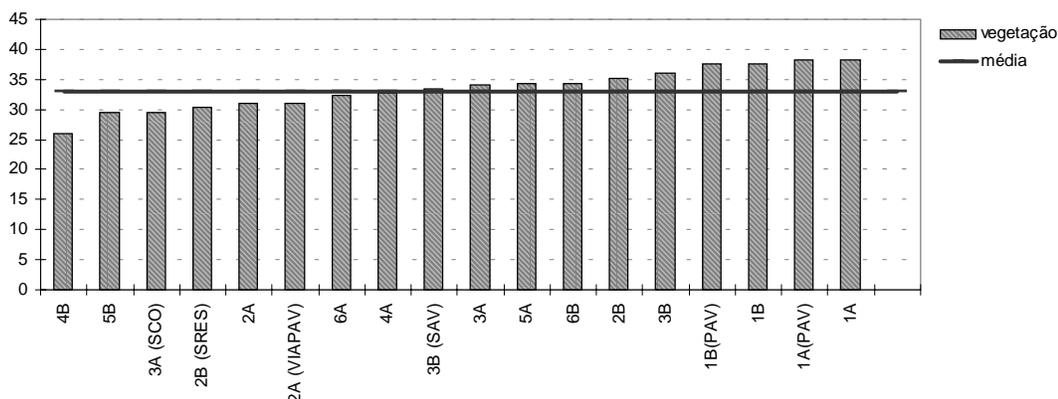


Figura 5.10 - Porcentagem da ocupação da vegetação nas unidade de análise

É importante notar o resultado de 3 unidades em particular: a unidade 2A, 3A e 3B, onde este estudo estipula também a mensuração dos dados das unidades sem as áreas verdes pertencentes a estas unidades, expressas por 2B (SRES), ou seja, sem a reserva, por 3A (SCO), ou seja, sem a área do centro olímpico municipal e por 3B (SAV), sem a área verde do loteamento. Isto foi feito com o objetivo de investigar a contribuição das áreas verdes no nível

Quanto às edificações foi encontrada uma ocupação predominante da edificação residencial, esta que representa em média 26% da área dos loteamentos estudados, apesar de alguns zoneamentos das unidades de análise permitirem uma ocupação mista. Até mesmo na área central (7A), que caracteriza o distrito comercial do município, a quantidade de edificações residenciais é maior do que aquele atribuído às edificações não-residenciais, porém é um valor menor do que o encontrado nas outras áreas de estudo. Portanto, mesmo submetidas a zoneamentos diferentes, as unidades de análise deste estudo possuem um uso do solo predominantemente residencial. A Figura 5.12 ilustra a porcentagem de ocupação das edificações residenciais e não-residenciais nas unidades de análise.

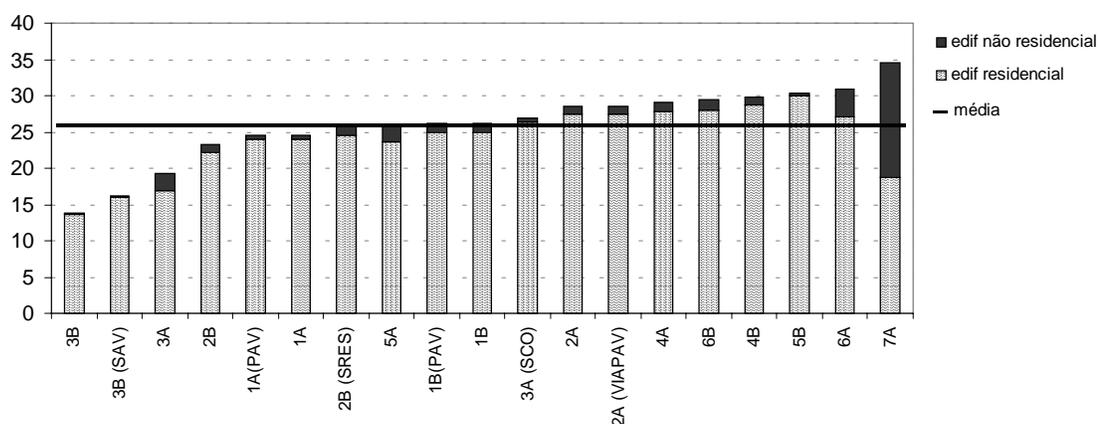


Figura 5.12 - Porcentagem de ocupação das edificações nas unidades de análise

Foi constatada uma expressiva ocupação do solo devido à infra-estrutura viária, que é responsável, em média, por 26% da área dos loteamentos estudados, equivalente à área ocupada pelas edificações. Destes 26%, a área destinada às calçadas ocupa em média 11% e a área para as vias ocupa 15%, valores estes em relação à área total da unidade. Para ilustrar esta situação, a Figura 5.13 mostra a porcentagem de ocupação das calçadas e das vias pavimentadas em cada unidade de análise.

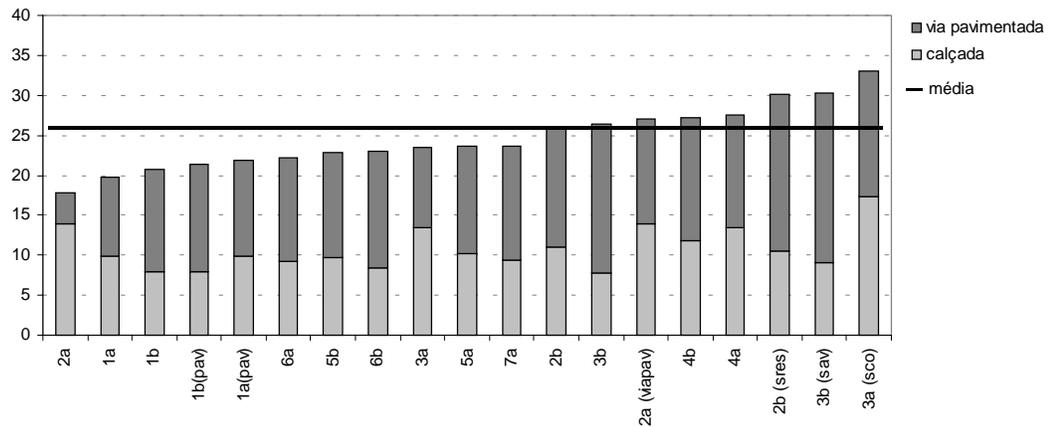


Figura 5.13 - Valores de ocupação do sistema viário - vias e calçadas - nas unidades de análise

Entretanto, apesar de ser um tipo de ocupação que permite um elevado nível de impermeabilização, é importante lembrar que as áreas ocupadas pelo sistema viário, ao menos as ocupadas pelas calçadas, podem ser trabalhadas com pavimentos permeáveis ou com áreas gramadas, diminuindo o nível de impermeabilidade urbana. Portanto, este é um ponto a ser investigado posteriormente pelo trabalho, testando a redução da impermeabilidade na unidade de análise e comparando estes valores com aqueles obtidos inicialmente.

Já as áreas pertencentes ao quarteirão, estas denominadas áreas intraquadras, onde não foi possível definir uma classificação exata do tipo de cobertura devido à ausência de informação, também constituem uma parcela significativa no loteamento, ocupando em média 14%, valor este semelhante ao ocupado pelas vias. A Figura 5.14 mostra a ocupação das áreas intraquadras em cada unidade de análise.

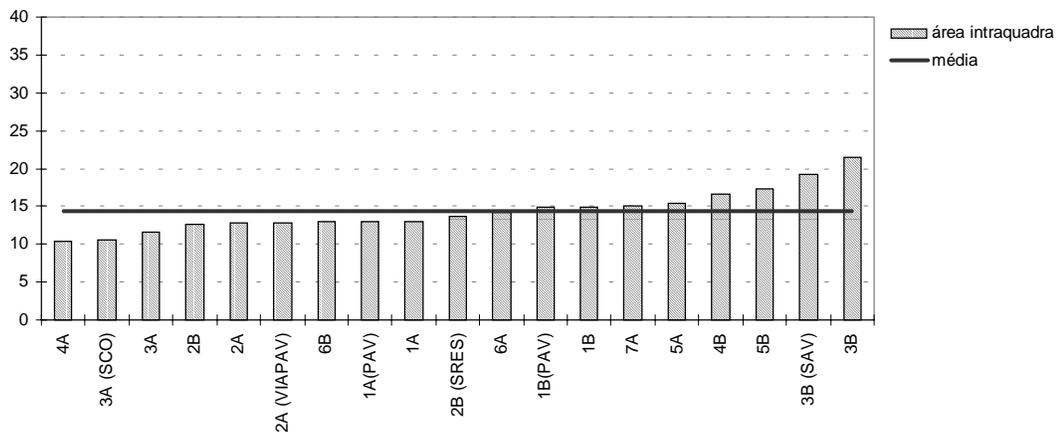


Figura 5.14 - Porcentagem de ocupação das áreas intraquadras nas unidade de análise

Todavia, a legislação do plano diretor de Canoas determina apenas a ocupação máxima da edificação no lote, não determinando o tipo de cobertura na área não edificada, ou seja, podendo permitir uma impermeabilização total do lote através da pavimentação da área não ocupada pela edificação. Assim, a pesquisa considerou testar a implantação de uma restrição de impermeabilização no lote, semelhante ao que ocorre em demais cidades brasileiras através de uma taxa de ocupação e impermeabilização (Niterói, 1995; Belo Horizonte, 1996; Cascavel, 1996; São José dos Campos, 1997) e verificar como esta condição reflete no valor de impermeabilidade nas unidades de análise. Desta forma, esta investigação elabora a simulação e a comparação dos níveis de impermeabilidade na área intraquadra, cogitando um nível alto e outro baixo de impermeabilidade, representados, respectivamente, por pavimentações de blocos de concreto e por solo compactado, porém mantendo os valores de vegetação arbórea já encontrados nas unidades.

Portanto, verificando as particularidades da ocupação de cada tipo de superfície na área urbana, é possível estipular 3 medidas mitigadoras da geração de áreas impermeáveis a serem testadas: (i) influência das áreas verdes na redução do nível de impermeabilidade total de determinadas unidades de análise deste estudo; (ii) influência no valor de impermeabilização total da unidade de análise com a atribuição de uma faixa permeável nas calçadas; e, por fim, (iii) influência dos níveis de impermeabilização nas áreas intraquadras no valor da impermeabilização total e nos lotes das unidades de análise. Estas análises serão apresentadas no subitem 5.5.

5.5 Análise de cenários alternativos

Procurando uma diminuição da taxa de impermeabilização dos loteamentos urbanos, foram investigadas reconfigurações do espaço construído que pudessem influenciar a diminuição da impermeabilidade. Desta forma, foram feitas 3 investigações, estas envolvendo a influência das áreas verdes no loteamento, da pavimentação do sistema viário e da impermeabilidade nas áreas intraquadras, presentes dos nos subitens seguintes. Os dados dos cenários alternativos das unidades de análise estão presentes no APÊNDICE F.

5.5.1 Presença de áreas verdes nos loteamentos

A cobertura vegetal e arbórea presente nas áreas verdes e nas reservas florestais urbanas possui um baixo índice de impermeabilidade, possibilitando a infiltração e a retenção do volume de água escoado em eventos chuvosos. As legislações municipais de parcelamento do solo

urbano (Porto Alegre, 1999; Canoas, 1995) determinam o mínimo de 10% do loteamento destinado às áreas verdes de lazer e recreação, ou seja, “espaço destinado às atividades sociais, cívicas, esportivas, culturais e contemplativas da população, tais como: bosques, parques, praças e jardins” (Canoas, 1995, p.176). Portanto, são espaços onde é possível reservar uma cobertura permeável, contribuindo na redução dos níveis de impermeabilidade no loteamento.

Desta forma, foram analisados a taxa de impermeabilização dos loteamentos: (i) unidade 2B, esta que possui uma reserva florestal; (ii) unidade 3A, onde está presente o centro olímpico municipal, juntamente com uma área gramada e arborizada; (iii) unidade 3B, que trata de um loteamento de baixa densidade com uma ampla área de lazer. Assim, foram extraídas as áreas verdes desses loteamentos e recalculados os níveis de impermeabilização total destas unidades. A Figura 5.15 localiza as áreas verdes nas unidades de análise consideradas. A Tabela 5.8 mostra os valores obtidos desta simulação, comparando-os com os valores originais. Já a Figura 5.16 ilustra a influência da presença das áreas verdes na impermeabilização total nestas unidades avaliadas, plotando os resultados obtidos.



Figura 5.15 – Localização das áreas verdes nas unidades analisadas

Tabela 5.8 – Comparação dos dados dos loteamentos com e sem a presença das áreas verdes.

Unidades	% de ocupação da vegetação na área verde	% de área verde em relação ao loteamento	Impermeabilização total		Redução - % (em relação a s/av)
			sem área verde (s/av)	com área verde (c/av)	
3A	44.35	33.41	63.74	56.30	-11.69
3B	22.36	16.16	56.22	51.85	-7.76
2B	22.02	8.04	59.99	55.93	-6.77
médias	29.58	19.20	59.98	54.69	-8.74

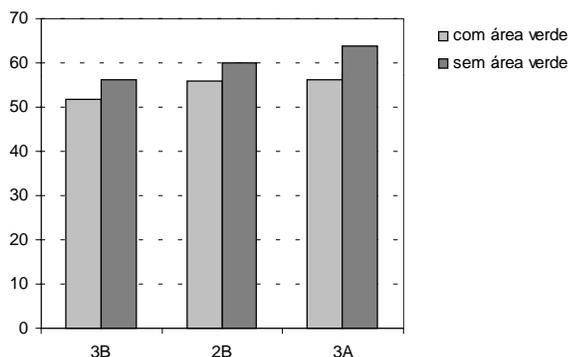


Figura 5.16 – Influência da ocupação da área verde na impermeabilização total das unidades de análise

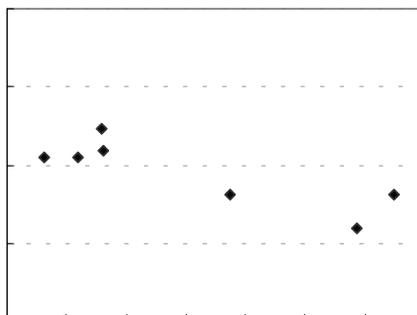
Examinando os valores médios obtidos, pode-se constatar uma diminuição de 8.74% da impermeabilidade devido a existência de 19.20% (aproximadamente 20%) de áreas verdes nestes loteamentos. Este resultado indica o auxílio das áreas verdes na redução da impermeabilidade de áreas urbanas, fato este também constatado nos trabalhos de Ramos, Baptista e Nascimento (1997), Pauleit e Duhme, (2000) e Pauleit; Ennos; Golding (2005).

Avaliando a porcentagem de áreas verdes no loteamento pode-se perceber que nas áreas 2B e 3B, que possuem 8% e 16% respectivamente, os valores de redução de impermeabilidade permanecem semelhantes, 6.77% e 7.76%, ambos concentrando aproximadamente 22% da ocupação da vegetação nesta área. O maior valor de redução de impermeabilidade (11.69%) está na área 3A, que possui 33% de área verde na unidade de análise considerada, concentrando 44% da ocupação da vegetação do presente no loteamento.

Por outro lado, avaliando o gráfico (Figura 5.16), são verificado menores valores de impermeabilidade na unidade 3B, esta que possui 16.16% de área verde. Examinando a porcentagem de áreas semi-públicas nas unidades de análise, estas que incluem áreas verdes e áreas institucionais, é possível perceber que a partir de 20% de área semi-pública há uma redução na impermeabilização total das unidades consideradas. A Tabela 5.9 e a Figura 5.17 mostram a relação entre a porcentagem de áreas semi-públicas e a impermeabilização total nas unidades avaliadas.

Tabela 5.9 – Áreas semi-públicas e a impermeabilização total nas unidades de análise

Unidade	área semi-pública (%)	impermeabilização total (%)
6B	3.08	60.92
6A	5.91	61.02
4B	7.97	64.74
2A	8.06	61.94
2B	18.65	56.30
3B	29.34	51.85
3A	32.43	56.30



5.5.2 Atribuição da taxa de ocupação e impermeabilização no lote

A determinação de limites máximos da impermeabilização no lote é uma medida não estrutural de controle da impermeabilidade urbana que vem sendo agregada às legislações municipais, sobretudo nas leis de zoneamento urbano (Niterói, 1995; Cascavel, 1996; Belo Horizonte, 1996; São José dos Campos, 1997; Vidal, Araújo, 1999;). Desta forma, o outro tópico investigado neste subitem foi a atribuição de dois diferentes níveis de impermeabilização nas áreas intraquadras, ou seja, nas áreas das unidades de análise que não possuem um precisa informação sobre o tipo de superfície e, de acordo com a sua localização, pertencem ao interior das quadras e, conseqüentemente, à área dos lotes, possibilitando a simulação de duas situações de ocupação e impermeabilização na escala do lote.

Desta forma, foram cogitados dois níveis de impermeabilização nestas áreas, de acordo com os valores de “C” da Tabela ASCE (ASCE, 1969 apud Tucci, 2000, p.542): (i) um nível baixo, com 20% de impermeabilização, simulando uma superfície não pavimentada, ou seja, de um solo compactado; (ii) um nível alto, com 78% de impermeabilização, equivalente a de uma pavimentação de blocos de concreto. Desta forma, foram recalculadas as taxas de impermeabilização total nestas duas situações, sendo que as áreas de superfície de vegetação foram mantidas na simulação. Também foram estimados a taxa de ocupação e impermeabilização no lote, somando os valores de impermeabilização devido à ocupação da edificação e à área intraquadra. Os valores obtidos estão presentes na Tabela 5.10 e plotados na Figura 5.18.

Tabela 5.10 – Comparação dos valores de taxa de ocupação no lote e impermeabilidade na unidade de análise, atribuindo diferentes tipos de cobertura nas áreas intraquadras.

Unidades	Escala: LOTE			Escala: Unidade de análise		
	Ocupação lote (somente edificação)	Ocupação lote (ocup. Edif + intraquadra (1))	Ocupação lote (ocup. Edif + intraquadra (2))	Impermeabilização total (1) - % (C intraquadra = 0.20)	Impermeabilização total (2) - % (C intraquadra = 0.78)	Redução - % (em relação a imp2)
1B	35.83	40.12	51.78	51.39	59.78	-14.03
4A	35.87	38.55	45.84	58.72	64.67	-9.20
3B	42.72	56.62	94.35	45.73	57.97	-21.11
1A	45.91	51.04	64.96	45.92	53.18	-13.65
4B	53.45	59.69	76.63	59.96	69.51	-13.74
5B	55.54	62.20	80.27	56.61	66.89	-15.37
6B	57.44	62.96	77.92	56.92	65.11	-12.58
5A	59.31	66.68	86.70	53.61	62.44	-14.14
6B	62.83	68.64	84.40	56.09	65.74	-14.68
2A	63.84	69.88	86.24	40.32	47.72	-15.51
3A	64.88	73.09	95.37	52.75	59.84	-11.85
2B	82.71	92.11	100.00	52.64	59.22	-11.11
médias	55.03	61.80	78.71	52.56	61.01	-13.91

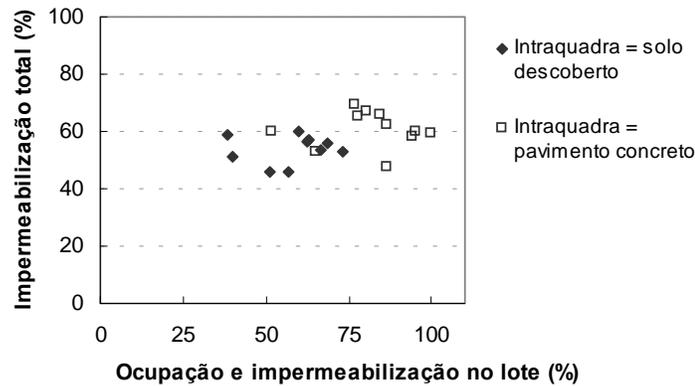


Figura 5.18 - Relação entre ocupação e impermeabilização no lote com a impermeabilização total das unidades de análise.

Portanto, pode-se observar que, nas unidades de análise, foi obtida uma redução média de 13.91% da impermeabilidade total através da atribuição de um baixo nível de impermeabilidade, nas áreas intraquadradas vinculadas à área do lote. Nesta simulação, o baixo nível de impermeabilização foi equivalente o de um solo descoberto, mas poderia ser atribuído o de uma pavimentação com piso permeável, pois estudos já verificam um nível de impermeabilidade nestes pisos tão baixo quanto ao atribuído ao solo descoberto (Araújo, Tucci e Goldenfum, 2000). Por meio deste resultado, é possível deduzir que medidas de controle da impermeabilidade no lote, em conjunto com o controle da ocupação no mesmo, podem trazer benefícios expressivos na diminuição da taxa de impermeabilidade urbana, conclusão esta também obtida no trabalho de Garotti e Barbassa (2005).

Em nível do lote, pode-se observar um valor médio de ocupação e impermeabilização no lote de 63% e de 80%, na menor e na maior taxa de impermeabilização na área intraquadra, cobertura de solo descoberto e de pavimentação de concreto, respectivamente. Já a média de ocupação da edificação no lote é de 55%, cujo valor está dentro do limite máximo de taxa de ocupação na maioria das áreas residenciais estudadas, que é de 60% do lote.

Portanto, através dos resultados obtidos nesta simulação e das determinações contidas em artigos e legislações relativas à impermeabilidade do lote (Cascavel, 1996; Vidal, Araújo, 1999; Niterói, 1995), a análise desta simulação conclui com a seguinte sugestão para a ocupação do lote: em loteamentos residenciais continuar mantendo os 60% de ocupação, porém agregar nesta taxa, além da ocupação devido à edificação, também o nível de impermeabilização no lote, pois, em média a ocupação da edificação permanece inferior ao limite máximo, permitindo ainda 5% de área pavimentada impermeável.

Desta forma, para um melhor entendimento, é estipulado como exemplo um lote de 300m², de dimensões de 10m x 30m, onde 162.5m² é ocupado pela edificação, cuja área está conforme à cota ideal (CI) de 150m², e 10m² de piso impermeável (área de 2.5m x 6m com bloco de concreto ou pavimento de basalto para acesso à garagem, por exemplo), totalizando aproximadamente 60% de área impermeável no lote. Os restantes 40% do lote são de pavimentação permeável ou cobertura vegetal, ocupando os recuos obrigatórios frontais e laterais. A Figura 5.19 ilustra, em um lote residencial, esta proposta de ocupação e impermeabilização.



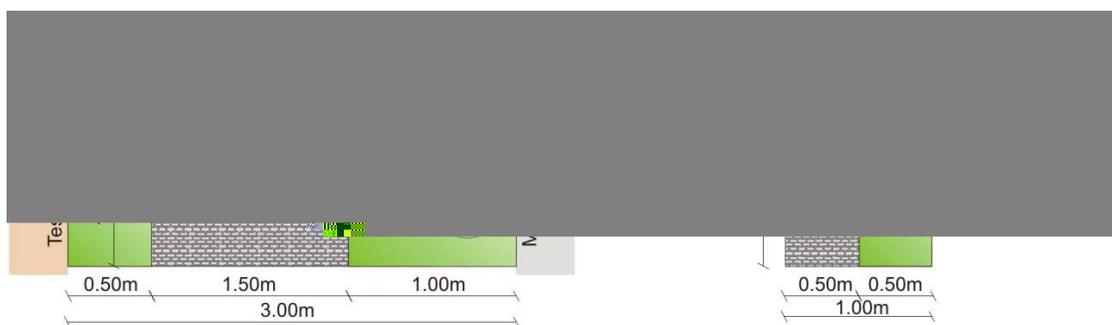
Figura 5.19 – Exemplo de ocupação e impermeabilização de um lote residencial de 300m²

5.5.3 Configuração da pavimentação dos passeios

Como já foi visto nas análises anteriores, a área para uso público, ocupada pelo sistema viário, é responsável, em média, por 26% do espaço destinado ao loteamento, geralmente vinculada a altas taxas de impermeabilidade devido à pavimentação, dando origem a sugestões para o projeto dos passeios públicos com o objetivo de aliar uma boa qualidade de circulação

com a promoção da permeabilidade (Mascaró, 2003, p.89 e 90). Assim sendo, legislações procuram reconfigurar o desenho do sistema viário, sobretudo nas calçadas, a fim de aumentar a permeabilidade neste locais. Como exemplo, pode-se observa o decreto nº.12.714 de Porto Alegre/RS que dispõe sobre a pavimentação dos passeio públicos (Porto Alegre, 2000).

Com base nas determinações para calçadas em áreas residenciais, presentes neste decreto, foi testada a diminuição da impermeabilização dos passeios, simulando a reformulação do desenho da calçada, mesclando faixas pavimentadas e faixas gramadas. Assim, cogitando uma largura de 3m de calçada, esta que é largura média dos passeios em ruas coletoras e de acesso local, determinada pela lei de parcelamento do solo de Canoas (Canoas, 1995), estipulou-se 1.00m de faixa gramada junto ao meio-fio, 1.50m de largura de faixa pavimentada com blocos de concreto e 0.50m de faixa gramada junto ao alinhamento do lote, cujas taxas de impermeabilidade são de 78% para a área pavimentada e 21% para área gramada. Por fim, foi calculado um valor proporcional de impermeabilidade em 1m² de área, valor este correspondente à área da célula (pixel) dos arquivos raster utilizados no cálculo da impermeabilidade, resultando um valor médio de 50% de impermeabilidade na calçada. A Figura 5.20 mostra o processo de atribuição de um novo valor de impermeabilidade nas calçadas. A Tabela 5.11 compara os valores obtidos na situação original e no cenário simulado. Já a Figura 5.21 mostra um gráfico relacionando valores de ocupação da calçada e redução da impermeabilização total das unidades de análise, estas que estão separadas de acordo com o traçado viário que apresentam.



3) Atribuir níveis de impermeabilização (valor C) e calcular a média ponderada pela área de cobertura

4) Inserir o novo valor de impermeabilidade da calçada e recalcular a impermeabilidade total da unidade de análise

área (m ²)	valor C	área * C
0.50	0.78	0.39
0.50	0.21	0.11
total		0.50

Figura 5.20 – Sequência de procedimentos para o cálculo da impermeabilidade da calçada

Tabela 5.11 – Comparação entre os valores de impermeabilidade total original e com a reconfiguração da calçada

unidade	Impermeabilização total - (%) valor original (IMPEMEA_1)	Impermeabilização total - (%) com permeabilidade na calçada	Redução (%)	Ocupação das calçadas (%)
2B	59.49	52.07	-12.47	11.01
3A	52.75	49.02	-7.07	13.49
2A	58.24	54.32	-6.73	13.96
4A	58.72	54.93	-6.45	13.42
4B	59.96	56.60	-5.60	11.89
1A	50.18	47.42	-5.50	9.90
5A	53.61	50.73	-5.37	10.20
5B	56.61	54.02	-4.58	9.74
1B	52.12	49.83	-4.39	8.00
3B	45.43	43.52	-4.20	7.83
6B	56.09	53.75	-4.17	8.49
6A	65.11	62.53	-3.96	9.24
7A	61.41	59.17	-3.65	9.42
média	56.13	52.92	-5.70	10.51

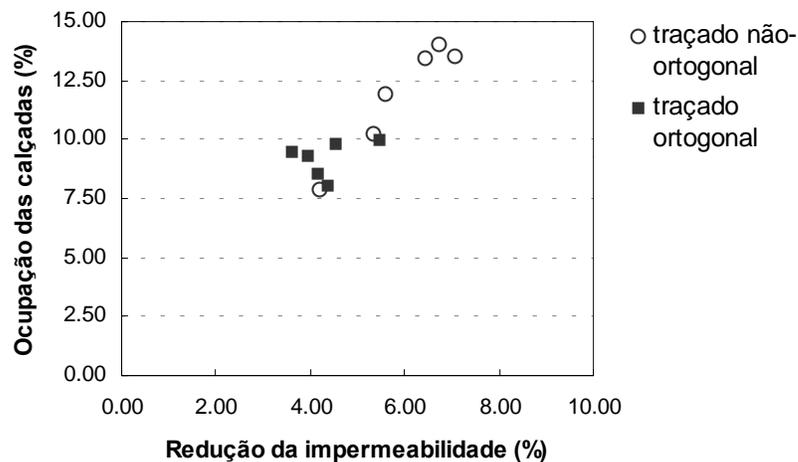


Figura 5.21 – Relação entre ocupação das calçadas e redução da impermeabilidade total nos loteamentos devido à reconfiguração das calçadas, estes segregados de acordo com o traçado viário

Observando os resultados médios obtidos por esta simulação, é possível detectar uma redução de 5.70% da impermeabilidade total das unidades de análise, chegando a valores próximos a 7% de redução da impermeabilidade, estes que mostram ser equivalentes aos obtidos com a presença das áreas verdes nos loteamentos. Já considerando o tipo de traçado viário e as ocupações das calçadas nas unidades, é verificado que nos loteamentos com traçado não-ortogonal esta redução da impermeabilização total é maior, pois há uma maior ocupação dos passeios neste tipo de traçado.

Desta forma, esta proposta de pavimentação das calçadas mostra-se eficiente na redução da impermeabilidade no loteamento, sobretudo em áreas residenciais com traçados não-ortogonais, pois, como já foi discutido anteriormente no item 5.1, são padrões de ocupação viária que proporcionam cruzamentos atípicos, necessitando maior área pavimentada e, por conseguinte, apresentam uma maior ocupação do sistema viário em relação aos loteamentos com traçado ortogonal.

Portanto, considerando as conclusões acerca dos itens avaliados, as relações entre os resultados obtidos, as simulações feitas nos cenários alternativos e as determinações expostas por outros estudos neste âmbito, este capítulo finaliza a análise sugerindo, na Tabela 5.12, alguns parâmetros para projetos de loteamentos residenciais em áreas urbanas, buscando um menor nível de impermeabilização na sua implantação. Entretanto, é importante esclarecer que estas determinações objetivam primordialmente colocar de maneira pragmática as constatações obtidas pela análise de dados, servindo como ponto de partida para futuras discussões acerca da impermeabilidade urbana nos padrões de urbanização aplicados nos loteamentos.

Tabela 5.12 – Orientações para projetos de loteamentos residenciais

Parâmetros	Orientações para projeto de loteamentos residenciais
Quanto aos elementos da Forma Urbana	Tendência para um traçado ortogonal do sistema viário Densidade de interseções viárias – 30 a 40 interseções por km ² Área da quadra – entre 1.50ha a 2.00ha Área do lote – entre 300m ² a 400m ² para habitações unifamiliares; 500m ² a 600m ² para habitações multifamiliares Pavimentação dos passeios – reservar 50% para cobertura permeável – faixas com pisos permeável e vegetação
Quanto às densidades urbanas	Densidade populacional – 80 a 120hab/ha Densidade de edificação – entre 20 a 30 edificações/ha
Quanto às ocupações	Área pública – sistema viário – 20% do loteamento Área semi-pública – área verde e área institucional – 20% do loteamento Área privada – quadras e lotes – 60% do loteamento <i>(obs: estes valores reiteram os padrões de urbanização contidos em Caminos e Goethert, 1984)</i>
Quanto aos índices urbanísticos	Implantar uma taxa máxima de ocupação e impermeabilização do lote (TOI) de 60%

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O capítulo 6 desta dissertação tem como escopo concluir esta investigação, apresentando um fechamento estruturado em 3 partes. Na primeira parte, item 6.1, o texto traz, de forma resumida, as etapas que envolveram o desenvolvimento desta pesquisa. Na segunda parte, item 6.2, é discutida a validação das hipóteses da pesquisa, finalizando-a com um parecer acerca dos resultados e das possíveis contribuições deste trabalho. Por fim, na terceira parte, item 6.3, são propostas recomendações para trabalhos futuros.

6.1 Síntese do trabalho

Este trabalho teve como objetivo investigar a forma urbana e o tipo de uso do solo como fatores que caracterizam os impactos hidrológicos, considerando que estes são condicionantes que determinam o surgimento de áreas urbanas impermeabilizadas.

O problema de pesquisa emerge do fato de que a urbanização, através da ocupação dos assentamentos humanos e da crescente impermeabilização das superfícies, traduz um significativo aumento de eventos de enchentes. Desta forma, a investigação focalizou o conceito da superfície impermeável como indicador de impacto ambiental, este que expressa a transformação de áreas anteriormente permeáveis em áreas impermeabilizadas através de pavimentações ou através da própria ocupação da edificação, induzindo a um desequilíbrio no ciclo hidrológico.

As principais conclusões obtidas pelos estudos abordados na fundamentação teórica deste trabalho mostraram que: (i) as legislações urbanísticas relativas à taxa de ocupação e à determinação de áreas verdes são as que produzem maiores efeitos na impermeabilização; (ii) as áreas destinadas ao sistema viário são responsáveis por grande parte da impermeabilização; (iii) a escala de análise definida através do zoneamento urbano é a mais adequada para estudos envolvendo o tipo de coberturas em áreas urbanas; (iv) baixas densidades populacionais com usos residenciais estão vinculadas a um maior nível de impermeabilização por habitante; (v) ferramentas que envolvem geoprocessamento, como os sistemas de informações geográficas, são instrumentos eficazes para o estudo da impermeabilidade urbana.

Para realizar esta pesquisa, foi tomado como objeto de estudo a cidade de Canoas (RS), fato justificado por: (i) ser um município pertencente à uma conurbação metropolitana e que

possui toda extensão do seu território classificado como área urbana; (ii) apresentar uma topografia plana, não favorecendo distorções de ocupação devido à acidentes geográficos, (iii) por possuir informações gráficas e alfanuméricas atualizadas e de possível acesso para uso acadêmico. Desta forma, foram selecionadas 13 áreas urbanas pertencentes ao município, conforme o zoneamento urbano estabelecido pelo plano diretor municipal, representando diversos tipos de ocupação e de uso do solo, de densidades e de configuração da forma urbana.

Os processos que envolveram a metodologia desta investigação tiveram como objetivo principal a produção de informações, estas vinculadas às unidades de análise, acerca da forma urbana, das densidades urbanas e do tipo de ocupação do solo, para a posterior análise da relação destas informações com os níveis de impermeabilidade. A produção destes dados tiveram como principais condicionantes as informações disponibilizadas pelo banco de dados obtido pelo levantamento e os critérios que nortearam a seleção das unidades de análise. Sistemas de informações Geográficas (SIG) foram utilizados como ambiente e instrumentos de análise, sobretudo na integração de dados geográficos e alfanuméricos do levantamento de dados do objeto de estudo.

Após a elaboração das informações que caracterizaram o uso e a ocupação do solo, a forma urbana e as densidades urbanas das unidades de análise, foram analisadas as relações entre estes fatores e o nível de impermeabilidade, além de uma comparação entre os resultados obtidos neste investigação com as constatações oferecidas pelos estudos e legislações presentes na fundamentação teórica. Logo, através das deduções obtidas por estas relações, foram apresentados cenários alternativos das unidades de análise com o objetivo de testar medidas mitigadoras da geração de impermeabilidade, estas associadas à presença de áreas verdes nos loteamentos, ao controle da impermeabilização no lote e à reconfiguração da pavimentação das calçadas.

Por fim, considerando as conclusões acerca dos itens avaliados, as relações entre os resultados obtidos, as simulações feitas nos cenários alternativos e as determinações expostas por outros estudos neste âmbito, a dissertação finalizou sugerindo parâmetros para projetos de loteamentos residenciais em áreas urbanas, com o objetivo de buscar um menor nível de impermeabilização na sua implantação.

6.2 Validação das hipóteses e contribuições do trabalho

Por meio das etapas que envolveram a metodologia deste trabalho, dos resultados obtidos e da análise dos dados, é possível a discussão da validação das hipóteses que foram definidas como ponto de partida para esta investigação.

Portanto, este trabalho conclui com os seguintes pareceres:

- (1) Considerando estritamente a avaliação das unidades de análise, a hipótese de que a legislação urbanística determina a configuração da forma urbana não pôde ser comprovada, pois unidades de análise submetidas aos mesmos índices urbanísticos e ao mesmo zoneamento apresentaram diversas configurações espaciais. De modo empírico, pode-se constatar que este fato ocorreu devido à grande flexibilidade oferecida pelo zoneamento e pelos índices urbanísticos, não restringindo a conformação dos elementos da forma urbana. Contudo, foi possível fazer algumas relações entre o regime urbanístico e a taxa de impermeabilização,.
- (2) A validade da hipótese 2, que estabelece que o nível de impermeabilidade é dependente simultaneamente da configuração urbana, das densidades e do tipo de uso do solo pôde ser evidenciada em determinadas unidades de análise desta pesquisa, como: (i) a unidade 3B, que apresenta um loteamento residencial com baixas densidades e uma ampla área verde, porém com uma excessiva área destinada ao sistema viário, fato que resulta em uma alta taxa de impermeabilização; (ii) a unidade 7A, uma área comercial (por conseguinte, apresenta uma baixa densidade habitacional), com um valor de área ocupada pelo sistema viário semelhante ao que ocorre nas áreas residenciais, mas apresentando uma excessiva impermeabilidade e ocupação no lote e uma redução da ocupação da vegetação, condição esta que favorece o aumento da taxa de impermeabilização nesta unidade; (iii) as unidades 5A e 5B, que apresentam altas densidades habitacionais e tendência à verticalização, porém estão vinculadas a menores taxas de impermeabilização do que as áreas com baixa densidade, expressas por 3A e 3B. De modo empírico, pode-se deduzir que isto ocorre devido a uma ocupação moderada da vegetação urbana e à ocorrência de lotes com tamanhos maiores que, como já foi dito anteriormente, tendem a ter menores taxas de impermeabilização do que lotes menores.

- (3) Com a análise das relações entre a impermeabilidade urbana, a forma urbana e o uso do solo, foi possível o desenvolvimento de cenários alternativos, onde buscou-se minimizar o surgimento de áreas impermeáveis. Desta forma a hipótese 3 deste trabalho pôde ser validada, pois foram testadas simulações nas unidades de análise envolvendo configurações da forma urbana e diferentes níveis de impermeabilidade no lote, estas que puderam servir de subsídios para estabelecer critérios de planejamento de loteamentos que visam um menor impacto hidrológico.

Ao finalizar este subitem, pode-se reconhecer, através do desenvolvimento e dos resultados obtidos, que a investigação conseguiu atingir os objetivos previstos e responder às hipóteses elaboradas a partir do problema de pesquisa. Os resultados da pesquisa trazem informações sobre a geração de áreas impermeáveis nas unidades de análise que podem subsidiar o planejamento da forma e da ocupação do solo pelos assentamentos humanos de modo a minimizar o impacto hidrológico que estes provocam. Além disto, a investigação oferece dados para uma reformulação nos índices urbanísticos estabelecidos nas áreas urbanas, que podem ser refletidos não só da cidade de Canoas, mas também em toda a extensão da Região Metropolitana de Porto Alegre, pois as cidades que a formam são submetidas a regimes urbanísticos semelhantes. Entretanto, algumas restrições no trabalho podem ser apontadas, como, por exemplo, a falta de referências bibliográficas condizentes com a realidade brasileira e a indisponibilidade de dados geográficos ainda mais atualizados para uso acadêmico, estes que poderiam fornecer resultados mais próximos da realidade observada presentemente.

6.3 Recomendações para trabalhos futuros

Durante a construção deste trabalho de pesquisa, muitos outros estudos envolvendo a impermeabilidade urbana foram consultados, porém não incorporados à fundamentação teórica desta dissertação, pois não se encaixavam exatamente no problema de pesquisa. Entretanto, estes podem ser tomados como referência para o desenvolvimento de investigações futuras, dando uma continuidade ao estudo da geração de áreas impermeáveis.

Assim, o estudo da localização das áreas impermeáveis no ambiente urbano, considerando a topografia do terreno e o aumento da vazão de escoamento, tanto nas canalizações da rede de drenagem quanto na superfície, mostra-se um importante tema a ser investigado para subsidiar decisões de planejamento urbano. Os estudos de Niehoff, Fritsch e Bronstert (2002) e Garotti e Barbassa (2005) são exemplos de trabalhos recentes que estudam o aumento da

vazão de escoamento devido à urbanização, considerando a influência das áreas impermeáveis e tipos de uso do solo.

Também com relação ao escoamento superficial, pode ser sugerido o estudo da poluição difusa em áreas urbanas em função da impermeabilidade urbana, tema ainda não explorado no cenário brasileiro, mas amplamente investigado no cenário internacional. Os trabalhos de Trauth e Xanthopoulos (1997) e Mitchell (2005) são exemplos de estudos da poluição difusa relacionada aos tipos de uso do solo urbano.

Ademais, o uso de modelos urbanos para investigar a tendência do surgimento de superfícies impermeáveis em função das mudanças do uso do solo pode ser explorado para dar continuidade ao estudo da impermeabilidade urbana. Estudos como os de Veldkamp e Fresco (1996) e Antrop, (2004) servem de exemplos para este tema.

Outro importante aspecto vinculado às superfícies impermeáveis é a possibilidade de relacioná-las a outros estudos associados à ecologia urbana. Alterações no balanço hídrico de uma área urbana, no clima urbano e na fauna e flora de uma região urbanizada ocorrem devido às transformações da superfície, provocando a diminuição da evapotranspiração, inversões térmicas, ilhas de calor, fragmentação das áreas de vegetação e desequilíbrios nos ecossistemas (Iverson; Cook, 2000; Pauleit; Duhme, 2000; Rodgers; Stone Jr, 2001; Stone Jr, 2004; Conway; Lathrop, 2005, Pauleit; Ennos; Golding, 2005)

Quanto aos dados para o mapeamento dos tipos de superfície urbana, a utilização de imagens de alta resolução obtidas por sensoriamento remoto mostram ser a alternativa ideal para este estudo. As imagens do satélite IKONOS e do satélite Quickbird oferecem o necessário detalhamento para investigações acerca das superfícies urbanas na escala do uso do solo. Os trabalhos de Goetz *et al.* (2003), Sawaya *et al.*, (2003), Wu e Murray (2003), Yang *et al.* (2003) e Yang e Liu (2005), podem ser consultados como referências para o uso de imagens de alta resolução no estudo da impermeabilidade urbana. Entretanto, até o presente momento, estas imagens possuem um custo elevado e dificilmente são disponibilizadas para o uso acadêmico.

Finalmente, é importante salientar o fato de que as sugestões para os estudos futuros citados neste subitem, sobretudo as que envolvem o estudo da poluição difusa e imagens de sensoriamento remoto com alta resolução, dependem da disponibilidade dos dados geográficos e alfanuméricos para viabilização de uma investigação neste escopo, estes que apresentam,

atualmente, dificuldades para o acesso, ou por restrições ao uso acadêmico, ou, até mesmo, pela inexistência de dados referentes aos centros urbanos brasileiros. Por fim, o impacto ambiental devido à urbanização é um tema cada vez mais investigado na produção científica mundial, tornando iminente no Brasil o desenvolvimento de estudos mais complexos envolvendo a questão da impermeabilidade urbana.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACIOLY, C.; DAVIDSON, F. **Densidade Urbana – Um instrumento de planejamento e gestão urbana**. Rio de Janeiro: Mauad, 1998. 104p.
- ANTROP, M. Landscape change and the urbanization process in Europe. **Landscape and Urban Planning**, v. 67, p.9–26, 2004.
- ARAÚJO, P.R.; TUCCI, C.E.M.; GOLDENFUM, J.A. Análise da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial. In: TUCCI, C.E.M., MARQUES, D. da M. (orgs) **Avaliação e Controle da Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade - UFRGS, 2000. v.1. p.351-362.
- ARNOLD Jr., C.L.; GIBBONS, C.J. Impervious surface coverage: the emergency of a key environmental indicator. **Journal of American Planning Association**, Chicago, v.62, n.2, p.243-258, spring 1996.
- ARONOFF, S. **Geographic Information Systems: A Management Perspective**. Ottawa: WDL Publications, 1989.
- BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; RAMOS, M.; CHAMPS, J. Aspectos da evolução da urbanização e dos problemas de inundações em Belo Horizonte. In: **Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Vitória: ABRH, 1997, v.3, p.197-204.
- BAPTISTA, M.B.; NASCIMENTO, N. de O. Aspectos Institucionais e de Financiamento dos Sistemas de Drenagem Urbana. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.7, n.1, p.29-49, jan.-mar. 2002.
- BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal. **Consolidação da lei de parcelamento, ocupação e uso do solo do município de Belo Horizonte – Lei 7166/96**. Belo Horizonte: Prefeitura Municipal, Secretaria Municipal de Políticas Urbanas, 1996. Disponível em: <http://portal1.pbh.gov.br/pbh/index.html?id_conteudo=4220&id_nivel1=-1&ver_servico=N> Acesso em 15 jul. 2006.

- BENATTI, J. H. Ordenamento Territorial e Proteção Ambiental. Aspectos legais e constitucionais do zoneamento ecológico econômico. In: BENATTI, José Heder. **Direito de propriedade e proteção ambiental no Brasil: apropriação e o uso dos recursos naturais no imóvel rural**. 2003. 344 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido - PDTU, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém. Disponível em: <http://www.esmpu.gov.br/publicacoes/meioambiente/pdf/Jose_Heder_Benatti_Ordenamento_territorial_e_protecao.pdf> Acesso em: 15 abr. 2005.
- BORTOLUZZI, S.D.; HOCHHEIM, N. O Geoprocessamento para a Caracterização dos Padrões de Densidade Populacional do Centro de Florianópolis (SC). In: **COBRAC 2004 - Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**, Florianópolis, 10 a 14 out. 2004. Disponível em <http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/cobrac_2004/119.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2005.
- BRAGA, R.; CARVALHO, P. F. Instrumentos urbanísticos e gestão de resíduos: comentários sobre sua aplicação. In: CAMPOS, J. O.; BRAGA, R.; CARVALHO, P. F. **Manejo de Resíduos: pressuposto para a gestão ambiental**. Rio Claro: LPM/UNESP, 2002. Disponível em: <www.rc.unesp.br/igce/planejamento/publicacoes/TextosPDF/RBraga05.pdf> Acesso em: 22 abr. 2006.
- BRASIL. Lei Federal n.º 6.766 – Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. 19 dez. 1979. Disponível em <<http://www.antt.gov.br/legislacao/Concessoes/Rodoviaria/Lei6766-79.pdf>> Acesso em: 20 maio 2006.
- _____. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1998. 292p. Disponível em: <<http://www.presidencia.gov.br/CCIVIL/Constituicao/Constitui%C3%A7ao.htm>> Acesso em: 22 abr. 2006.

____. **Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil.** Software - versão 1.0.1. 8.20 MB.

- CARLSON, T.N.; ARTHUR, T. The impact of land use — land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: a satellite perspective. **Global and Planetary Change**, v. 25, p. 49–65, 2000.
- CASCAVEL. Prefeitura Municipal. **Lei 2.589/96 - Zoneamento e Uso do Solo Urbano do Distrito Sede**. Cascavel: Prefeitura Municipal, 1996.
- CASTRO, C.R.A.; NASCIMENTO Jr., A.F. A estrutura morfológica da cidade e suas transformações. **Revista Assentamentos Humanos**, Marília, v.5, n.1, p.33-51, 2003.
- CHOAY, F. **O Urbanismo**. São Paulo: Perspectiva, 1998. 350p.
- CIRILO, J.A.; MENDES, C.A.B. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2001.
- CONWAY, T. M., LATHROP, R. G. Alternative land use regulations and environmental impacts: assessing future land use in an urbanizing watershed. **Landscape and Urban Planning**, v.71, issue 1, p.1-15, 28 feb. 2005.
- CRUZ, M.; TUCCI, C.; TURCKNICZ, B. Análise da Influência dos Instrumentos Reguladores de Ocupação no escoamento Urbano. In: TUCCI, C.E.M., MARQUES, D. da M. (orgs) **Avaliação e Controle da Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade - UFRGS, 2000. v.2. p. 487-498.
- EASTMAN, J.R. **IDRISI for Windows: Introdução e Exercícios tutoriais**. Editores da versão em português: Hasenack, H.; Weber, E. Porto Alegre: UFRGS – Centro de Recursos Idrisi, 1998. 240p. Disponível em: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/cridrisi/tutorial.pdf>> . Acesso em: 22 abr. 2006.
- ELLIS, J.B. Integrated approaches for achieving sustainable development of urban storm drainage. **Water Science and Technology**. v. 32, n.1, p.1-6, 1995.
- ENGEFOTO - Engenharia e Aerolevantamento S.A. **Levantamento Aerofotogramétrico. Canoas-RS**, Dezembro de 1998. Fotografias aéreas. P&B, 23cm x 23cm. Fx 04, n. 019, 020; Fx 05, n. 009, 010, 011, 013, 014, 015, 018, 019; Fx 06, n. 007, 008, 009, 010,015, 014; Fx 07, n. 013, 014; Fx 08, n. 015, 016, 017; Fx 09, n. 013; Fx 10, n. 012. Projeto n.º437/98. Câmara Wild RC-10. Distância focal calibrada: 153,741m. Autorização (ENFA) 003/99.

- ____. **Restituição do levantamento aerofotogramétrico - Planta cadastral**. Canoas: Prefeitura Municipal – Secretaria Municipal de Planejamento Urbano, 1999. Formato DWG. 1 CD-ROM.
- ENVI - Environment for Visualizing Images. **ENVI Online Help**. Ajuda do software ENVI 4.0. 2000.
- ESRI, Inc. **Help ArcView 3.3**. Ajuda do software ArcView 3.3.1998.
- ESTEIO - Engenharia e Aerolevantamento S.A. **Glossário dos termos usados em cartografia e geoprocessamento**. 2003. Disponível em <<http://www.esteio.com.br/glossario/gloss-B.htm>>. Acesso em 10 abril 2006.
- FAGUNDES, L. **Elaboração de índice ambiental urbano através da análise de densidade populacional e superfície impermeável em bacias hidrográficas**. 2002 Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional). Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional – PROPUR, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre.
- FCTH – Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica / PMSP – Prefeitura Municipal de São Paulo. **Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo**. Reedição eletrônica, abr. 1999. Disponível em: <http://www.usp.br/fau/docentes/deptechnologia/r_toledo/3textos/07drenag/dren-sp.pdf> Acesso em: 22 abr. 2006.
- FESTI, A. V. Os Critérios de Área Verde e Sistema de Lazer no Planejamento Urbano. In: **COBRAC 2004 - Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**, Florianópolis, 10 a 14 out. 2004. Disponível em <http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/cobrac_2004/011.pdf>. Acesso em 10 jul. 2006
- FIG2-8_RASTER_VECTOR_MODEL.GIF. [s.d.] Altura: 790 pixels. Largura: 544 pixels. 43Kb. Formato GIF. Disponível em: <http://www.geography.hunter.cuny.edu/~abala/gis2/lectures/Lecture2/fig2-8_raster_vector_model.gif> Acesso em: 15 jul. 2006.
- FUJIMOTO, N.S.M. A urbanização brasileira e a qualidade ambiental. In: SUERTEGARAY, D. M. A. et al. (orgs). **Ambiente e lugar urbano: a Grande Porto Alegre**. Porto Alegre: Editora da Universidade – UFRGS, 2000. p.47-63.

- GAROTTI, L. M.; BARBASSA, A. P. Caracterização do uso do solo urbano e impactos hidrológicos e urbanísticos de lotes verticalizados em Ribeirão Preto – SP. In: **Anais do 1º Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável - PLURIS**. São Carlos, 28 a 30 set. 2005. 1 CD-ROM.
- GDF – Portal Oficial do Governo do Distrito Federal. **Glossário – Termos usados em urbanismo**. Disponível em: <http://www.taguatinga.df.gov.br/003/00318005.asp?ttCD_CHAVE=21003> Acesso em: 15 abr. 2005.
- GOETZ, S.J.; WRIGHT, R.K.; SMITH, A.J.; ZINECK, E.; SCHAU, E. IKONOS imagery for resource management: Tree cover, impervious surfaces, and riparian buffer analyses in the Mid-Atlantic Region. **Remote Sensing of Environment**, v.88, p.195–208. 2003.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base de Informações por Setor Censitário: Censo Demográfico 2000: Resultados do Universo** – Município de Canoas/RS. IBGE, 2002. 1 CD ROM.
- _____. **A importância do Censo 2000**. 2005. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/censo/importancia.shtm>>. Acesso em 20 abril 2006.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / DPI – Divisão de Processamento de Imagens. **Sistema de ajuda on-line do SPRING 4.0**. Informações Conceituais – Introdução ao Geoprocessamento. Última atualização: ago. 2003. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/geoproc.htm>>. Acesso em: 22 abr. 2006.
- IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul / DEP – Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura Municipal de Porto Alegre. **Plano Diretor de Drenagem Urbana – Fundamentos**. Porto Alegre: UFRGS, maio. 2000, v.1.
- _____. **Plano Diretor de Drenagem Urbana – Manual de Drenagem Urbana**. Porto Alegre: UFRGS, mar. 2002, v.2.
- IVERSON, L. R., COOK, E. A. Urban forest cover of the Chicago region and its relation to household density and income. **Urban Ecosystems**, v.4, p.105–124, 2000.

- IWAI, O. K. **Mapeamento do uso do solo urbano de São Bernardo do Campo, através de imagens de satélites**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-03022004-152010/>>. Acesso em: 20 jul. 2005
- MASCARÓ, J. **Loteamentos Urbanos**. Porto Alegre: L. Mascaró, 2003.
- METROPLAN – Fundação de Planejamento Metropolitano e Regional. Dados Cartográficos sobre a situação ambiental da Região Metropolitana de Porto Alegre In: **Levantamento do Quadro Ambiental da Região Metropolitana de Porto Alegre**. Porto Alegre: Governo do Estado do Rio Grande do Sul – Secretaria da Coordenação e Planejamento, jun. 1997. 17.286KB. Formato .PDF. Disponível em: <<http://www.metroplan.rs.gov.br/publicacoes/ipea.zip?offset=30&id=3>>. Acesso em: 22 abr. 2006.
- MITCHELL, G. Mapping hazard from urban non-point pollution: a screening model to support sustainable urban drainage planning. **Journal of Environmental Management**, v.74, issue 1, p.1-9, jan 2005.
- NEVES, G.R.; MIRANDA, L.G.; CORBETTA, E. (orgs.). **Atlas Social da Região Metropolitana de Porto Alegre**. Porto Alegre: METROPLAN – Fundação de Planejamento Metropolitano e Regional, 2004. 370MB. Arquivo compactado – Formato .ZIP. Disponível em: <<http://www.metroplan.rs.gov.br/publicacoes/atlas.zip?id=44>>. Acesso em: 22 abr. 2006.
- NIEHOFF, D.; FRITSCHA, U.; BRONSTERT, A. Land-use impacts on storm-runoff generation: scenarios of land-use change and simulation of hydrological response in a meso-scale catchment in SW-Germany. **Journal of Hydrology**, v.267, p. 80-93, 2002.
- NITERÓI. Prefeitura Municipal. **Lei Municipal 1470/95 - Lei de Uso e de Ocupação do Solo**. Niterói: Prefeitura Municipal, 1995.
- PAULEIT, S.; DUHME, F. Assessing the environment performance of land cover types for urban planning. **Landscape and Urban Planning**, v. 52, issue 1, p. 1-20, 5 nov. 2000.
- PAULEIT S.; ENNOS R., GOLDING, Y. Modeling the environmental impacts of urban land use and land cover change—a study in Merseyside, UK. **Landscape and Urban Planning**, v.71, issue 2-4, p.295-310, 28 mar. 2005.

POMPÊO, C.A. Drenagem Urbana Sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre: ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, v.5, n.1, p.15-23, 2000.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. Secretaria do Planejamento Municipal. **Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental - 2. PDDUA : lei complementar nº 434/99**. Porto Alegre: PMPA, 1999. 165 p. Disponível em: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/spm/usu_doc/pddua_com_alteracoes_de_2005.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2006.

____. **Decreto n.º. 12.714. Dispõe sobre a pavimentação de passeios públicos e dá outras providências**. Porto Alegre: SPM, 23 mar 2000. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/spm/default.php?reg=46&p_secao=61>. Acesso em 10 jul. 2006.

PORTO, M. Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. In: TUCCI, C.; PORTO, R.; BARROS, M. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH/ Editora da Universidade/ UFRGS, 1995. p.387-428.

QUEIROZ, E. A.; SOUZA, M.P. Simulação de medidas mitigadoras dos efeitos da urbanização sobre a drenagem urbana na bacia do córrego do Gregório, São Carlos – SP, utilizando sistema de informações geográficas. In: **Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Recife: ABRH, p.23 – 28, 1997.

RAMOS, M.; BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N. Impacto das alterações da lei de uso e ocupação do solo em Belo Horizonte no cálculo de hidrogramas de projeto. In: **Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Vitória: ABRH, 1997, v.3, p.221-227.

RIO GRANDE DO SUL. Lei Estadual N° 11.520, de 03 de agosto de 2000. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências. **Diário Oficial do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <http://www.pick-upau.org.br/sos/downloads/politicas_estaduais_meio_ambiente_lei_11.520_00.zip>. Acesso em: 22 abr. 2006.

RODGERS, B; STONE Jr, B. Thermal Efficiency – How the Design of Cities influences the Urban Heat Island Effect. **American Planning Association Journal**, v.67, n.2, spring 2001

- SAWAYA, K.E.; OLMANSON, L.G.; HEINERT, N.J.; BREZONIK, P.L.; BAUER, M.E. Extending satellite remote sensing to local scales: land and water resource monitoring using high-resolution imagery. **Remote Sensing of Environment**, v.88, p. 144–156, 2003.
- SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. Prefeitura Municipal. **Lei Complementar 165/97 – Dispõe sobre a ordenação do território mediante controle do parcelamento, do uso e da ocupação do solo no Município de São José dos Campos**. São José dos Campos: Prefeitura Municipal, 1997. Disponível em <<http://www.sjc.sp.gov.br/downloads/legislacao/LC193.pdf>>. Acesso em 10 jul. 2006.
- SCHUELER, T. The Importance of Imperviousness. **Watershed Protection Techniques**, v.1, n.3, p.100-111, 1994.
- SILVEIRA, A. L. L. Hidrologia Urbana no Brasil. In: TUCCI, C.E.M., MARQUES, D. da M. (orgs) **Avaliação e Controle da Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade - UFRGS, 2000, v.1. p.511-525.
- STONE Jr, B. Paving over paradise: how land use regulations promote residential imperviousness. **Landscape and Urban Planning**, v.69, p.101–113, 2004.
- TRAUTH, R.; XANTHOPOULOS, C. Non-Point Pollution of Groundwater in Urban Areas. **Water Research**, v.31, n.1, p 2711-2718, 1997.
- TUCCI, C. Inundações Urbanas. In: TUCCI, C.; PORTO, R.; BARROS, M. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH/ Editora da Universidade/ UFRGS, 1995. p.15-36.
- _____. (org.). **Hidrologia – Ciência e Aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: Ed.Universidade/ UFRGS/ ABRH, 2000.
- _____. Águas Urbanas. In: TUCCI, C.; BERTONNI, J. (orgs). **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: ABRH, 2003. p.11-44.
- VELDKAMP, L.; FRESCO, O. CLUE: a conceptual model to study the Conversion of Land Use and its Effects. **Ecological Modelling**, v.85, p. 253-270, 1996.

- VIDAL, R. D. M.; ARAÚJO, V. M. D. **Proposta de Recuos e Taxa de Impermeabilização para Revisão do Plano Diretor de Natal**. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Departamento de Arquitetura, 1999. Disponível em: <http://www.ufrn.br/sites/producao_ct/sec8_3.html>. Acesso em 20 jun. 2006.
- WORKSHOP EM DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL NO BRASIL. 1, 2003, Goiânia. **Relatório**. Goiânia, 7 mai. 2003. Disponível em: < www.ana.gov.br/Eventos/docs/0139-WorkshopFolder-final.PDF> Acesso em: 22 abr. 2006.
- WU, C.; MURRAY, A.T. Estimating impervious surface distribution by spectral mixture analysis. **Remote Sensing of Environment**, v.84, p. 493–505, 2003.
- YANG, L.; HUANG, C.; HOMER, C.G.; WYLIE, B.K.; COAN, M.J. An approach for mapping large-area impervious surfaces: synergistic use of Landsat-7 ETM+ and high spatial resolution imagery. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 29, n.2, p.230-240, 2003.
- YANG, X.; LIU, Z. Use of satellite-derived landscape imperviousness index to characterize urban spatial growth. **Environment and Urban Systems**, v. 29, p. 524–540, 2005.
- ZIELINSKI, J. **Watershed Vulnerability Analysis**. Ellicott City: Center for Watershed Protection, 2002. Disponível em: < www.cwp.org/Vulnerability_Analysis.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2006.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Descrição das unidades de análise

Conforme mencionado no item 3.2 do capítulo 3 desta dissertação, este Apêndice propõe fornecer informações das unidades de análise acerca do zoneamento no Plano Diretor pertencente a estas áreas e ilustrar os tipos de superfícies em que estas unidades são cobertas, cuja metodologia de mapeamento está descrita em detalhes no capítulo 4.

Desta forma, a seguir, para cada unidade de estudo, estão apresentados tabelas descrevendo os condicionantes legais previstos pela lei de zoneamento nestas áreas e mapas com a especificação de cada tipo de cobertura. Informações sobre o significado dos tipos de usos previstos no zoneamento estão presentes no ANEXO D.

Área 1 – unidades 1A e 1B

Tabela A.1 - Zoneamento da área 1

Zona	Uso		IA		TO		CI		Recuo
	Conforme	Proibido	Conforme	Perm.	Conforme	Perm.	Conforme	Perm.	
ZR3	Residências	Indústrias III e IV	1.2	0.6	60%	60%	150m ²	-	Frontal: 4m Laterais: 1/20 da alt. Mínimo: 2.50m
	Comércio de Abastecimento	Comércio varejista e atacadista	1.5		50%				
	Instituições culturais	Transportadoras	(mais de 2.500m ²)		(mais de 2.500m ²)				
	Templos								
	Clubes recreativos								
	Garagens comerciais								
ZC3	Comércio Varejista	Indústria II, III e IV	3	2.5	75%	62.5%	-	44m ²	Marquise obrigatória = h=3.00m / L = 2.00m
	Instituições culturais	Transportadoras							
	Escritórios	Depósitos							
	Bancos	Quartéis							
	Templos								
	Equipamento de bairro								

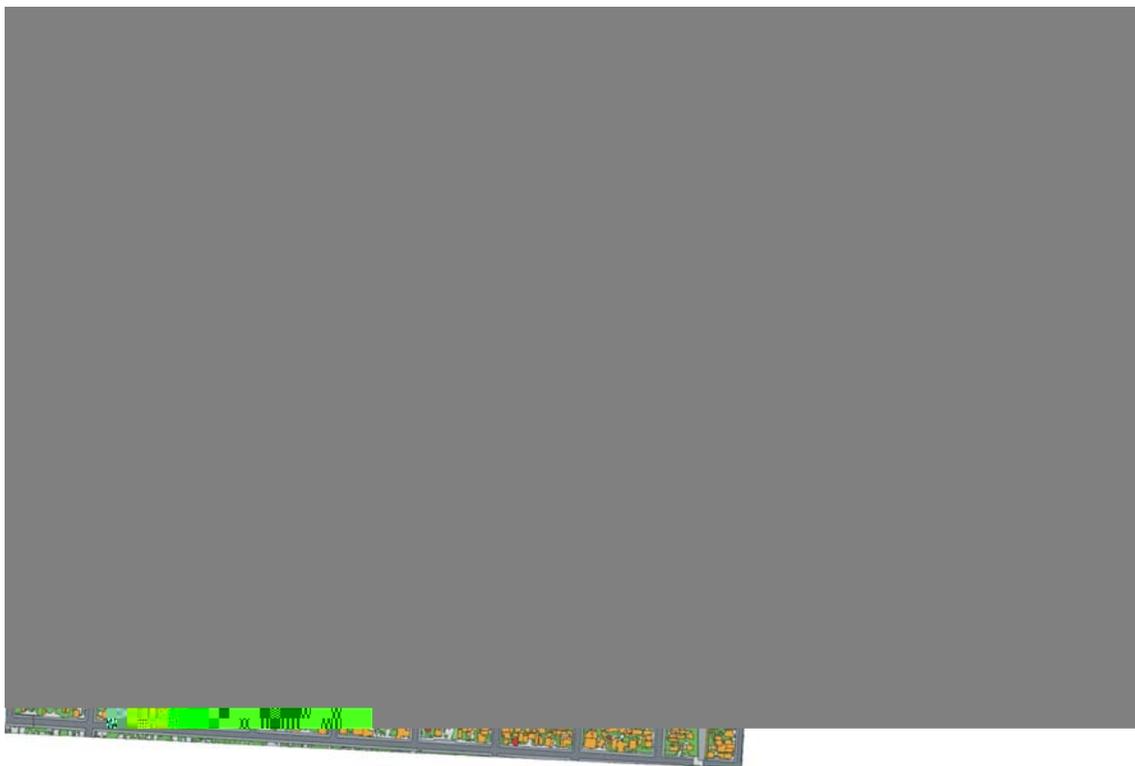


Figura A.1 - Mapa do tipo de cobertura – unidade 1A

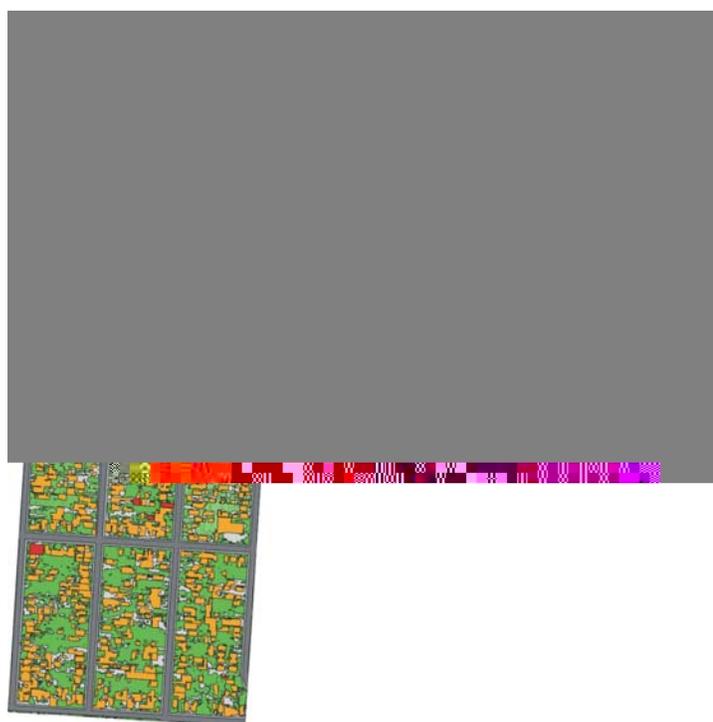


Figura A.2 - Mapa do tipo de cobertura – unidade 1B



Figura A.4 – Imagens das unidades 1A (a,b) e 1B (c,d), inseridas no bairro Mathias Velho – (e) e (f) mostram o viaduto da Av. Boqueirão - principal acesso ao bairro.

Área 2 – unidades 2A e 2B

Tabela A.2 - Zoneamento das áreas 2

Zona	Uso		IA		TO		CI		Recuo
	Conforme	Proibido	Conforme	Perm.	Conforme	Perm.	Conforme	Perm.	
ZR3	Residências Comércio de Abastecimento Instituições culturais Templos Clubes recreativos Garagens comerciais	Indústrias III e IV Comércio varejista e atacadista Transportadoras	1.2 1.5 (mais de 2.500m ²)	0.6	60% 50% (mais de 2.500m ²)	60%	150m ²	-	Frontal: 4m Laterais: 1/20 da alt. Mínimo: 2.50m

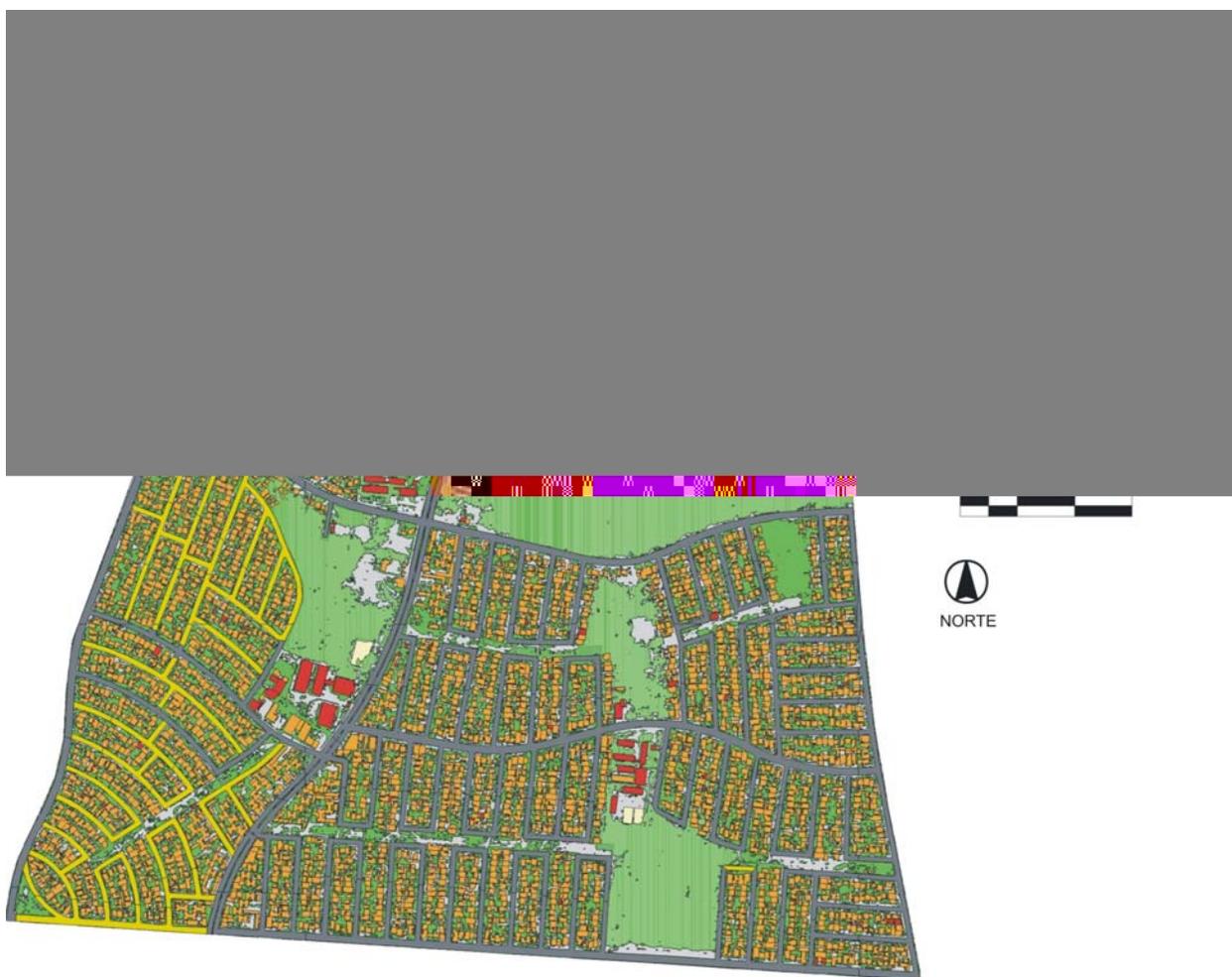


Figura A.5 - Mapa do tipo de cobertura - unidade 2B

Figura A.6 - Mapa do tipo de cobertura - unidade 2A

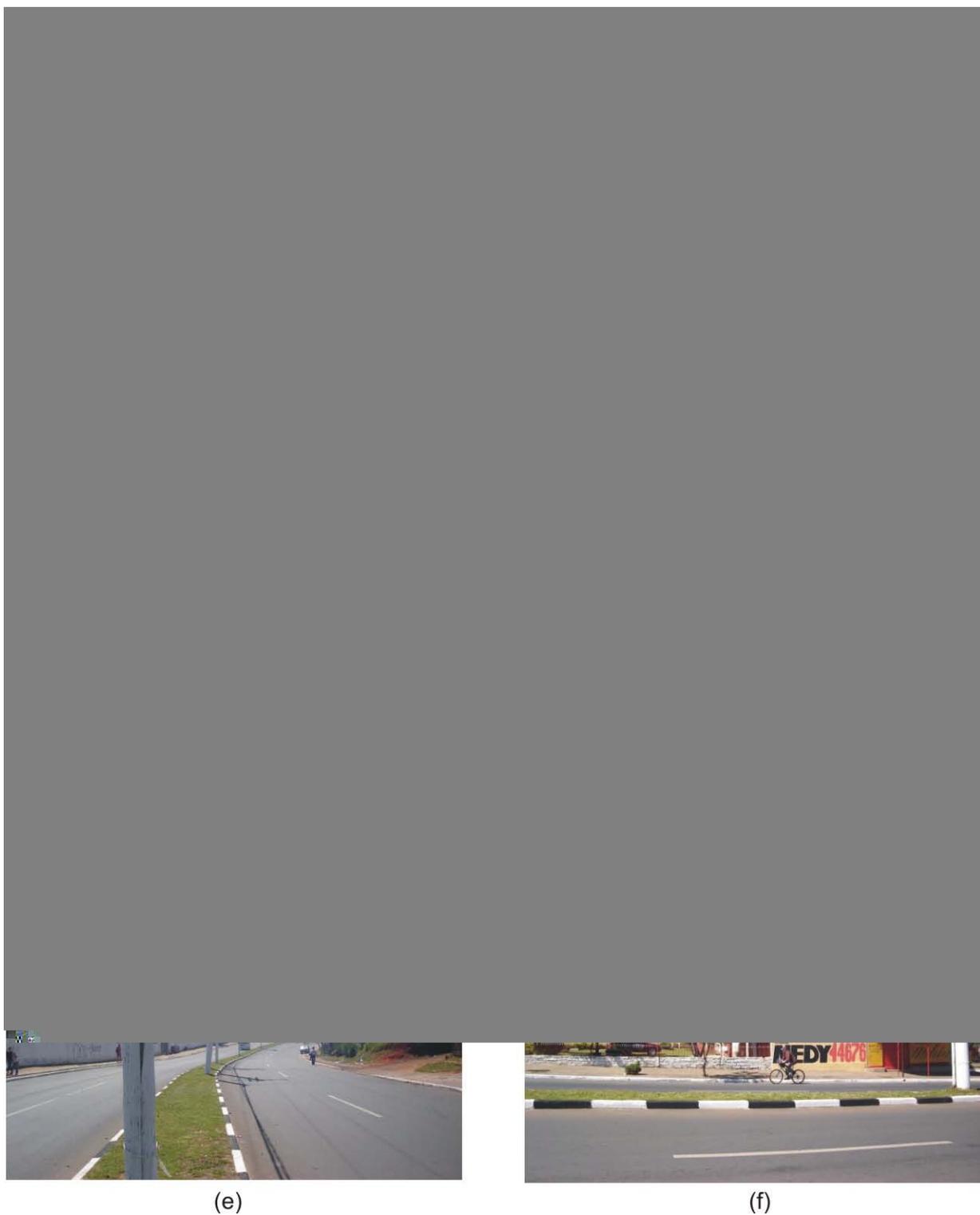


Figura A.7 – Imagens da unidade de análise 2A (a, b), inserida na Vila Santo Operário – Bairro Harmonia, e 2B (c, d, e, f), inserida no bairro Guajuviras.

Área 3 – unidades 3A e 3B

Tabela A.3 - Zoneamento das áreas 3

Zona	Uso		IA		TO		CI		Recuo
	Conforme	Proibido	Conforme	Perm.	Conforme	Perm.	Conforme	Perm.	
ZR1	Residências	Indústrias	1	1	60%	60%	300m ²	-	Frontal: 4m Lateral – ¼ altura (mínimo 2.5)
	Comércio de	Transportadoras	1.5		40%		150m ²		
	Abastecimento	Oficinas mecânicas	(mais de		(mais de		(mais de		
	Instituições	Comércio varejista	4.500m ²)		4.500m ²)		4.500m ²)		
	Culturais	Comércio varejista							
	Templos	e atacadista							
Clubes	Depósito								
recreativos									

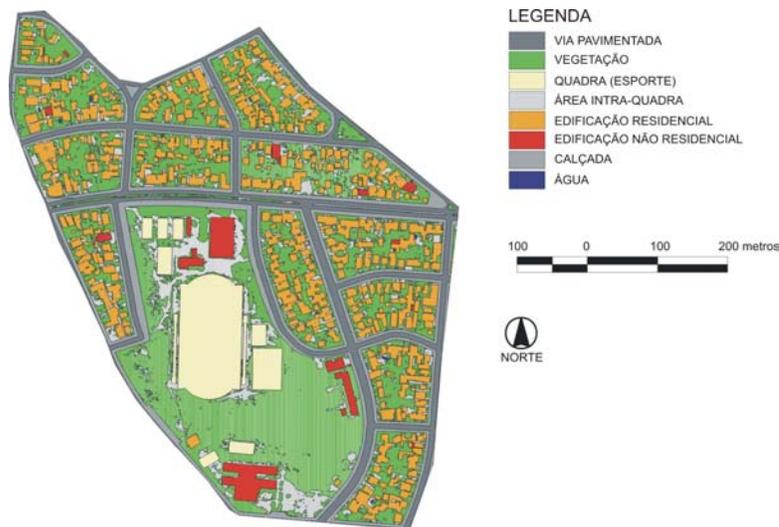


Figura A.8 - Mapa do tipo de cobertura - unidade 3A

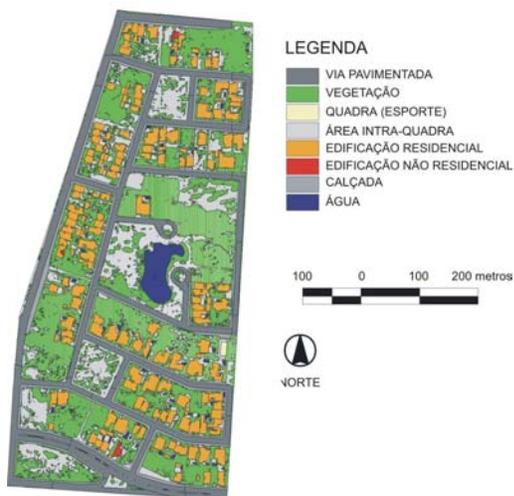


Figura A.9 - Mapa do tipo de cobertura - unidade 3B

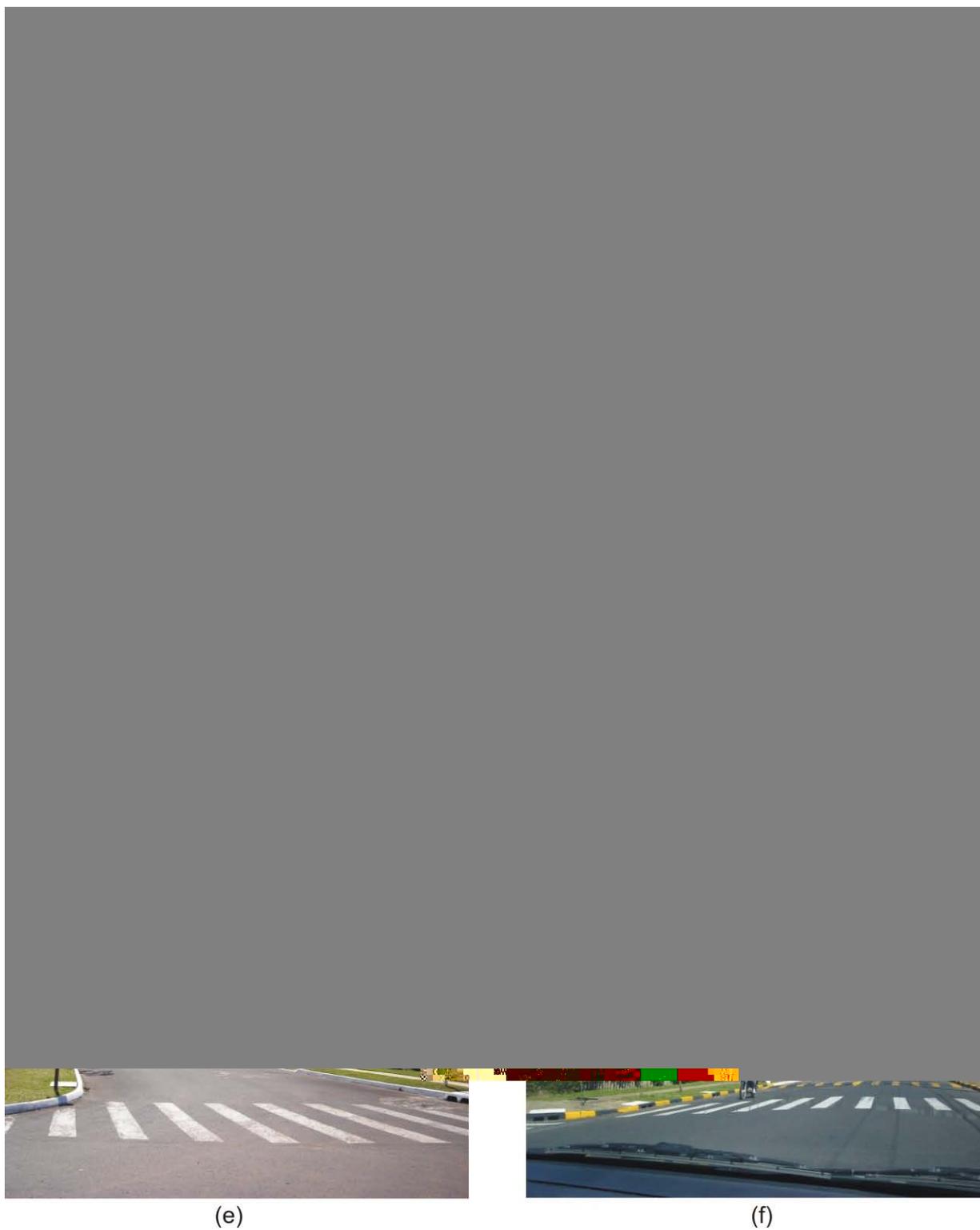


Figura A.10 – Imagens da unidade de análise 3A (a, b, c), inserida no bairro Igara, e da unidade de análise 3B (d, e, f), inserida no loteamento Jardim do Lago – bairro Marechal Rondon.

Área 4 – unidades 4A e 4B

Tabela A.4 - Zoneamento da área 4

Zona	Uso		IA		TO		CI		Recuo
	Conforme	Proibido	Conforme	Perm.	Conforme	Perm.	Conforme	Perm.	
ZR3	Residências Comércio de Abastecimento Instituições culturais Templos Clubes recreativos Garagens comerciais	Indústrias III e IV Comércio varejista e atacadista Transportadoras	1.2 1.5 (mais de 2.500m ²)	0.6	60% 50% (mais de 2.500m ²)	60%	150m ²	-	Frontal: 4m Laterais: 1/20 da alt. Mínimo: 2.50m



Figura A.11 - Mapa do tipo de cobertura - unidade 4A

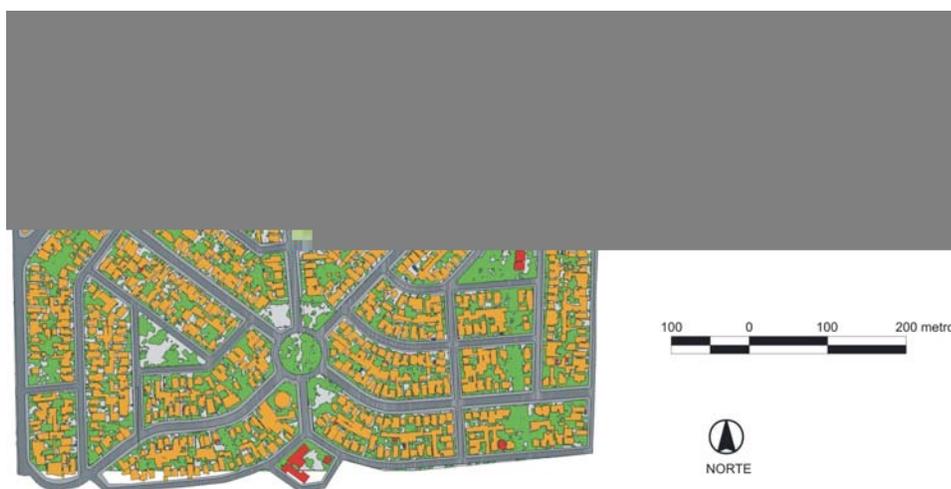


Figura A.12 - Mapa do tipo de cobertura da unidade 4B

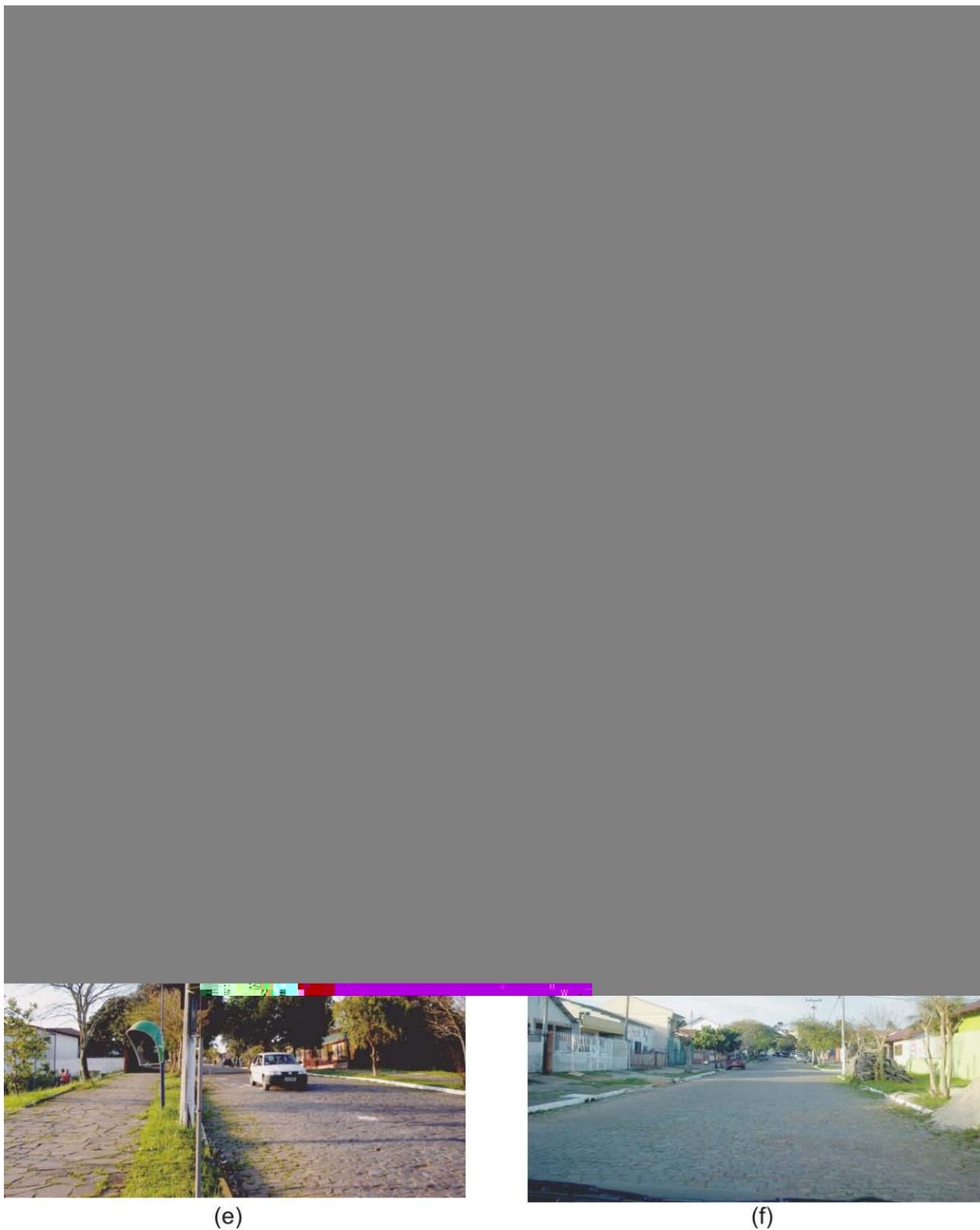


Figura A.13 – Imagens da unidade de análise 4A (a, b, c), inserida no bairro Igara, e da unidade de análise 4B (d, e, f), inserida na Vila Ideal – bairro Nossa Senhora das Graças.

Área 5 – unidades 5A e 5B

Tabela A.5 - Zoneamento da área 5

Zona	Uso		IA		TO		CI		Recuo
	Conforme	Proibido	Conforme	Perm.	Conforme	Perm.	Conforme	Perm.	
ZR2	Residências Comércio de abastecimento Instituições culturais Templos Clubes recreativos Garagens comerciais	Indústrias II, III e IV Transportadoras Oficinas mecânicas Comércio varejista e atacadista Depósito	2.5 3 (mais de 2.500m²)	0.8	62.50% 50% (mais de 2.500m²)	80%	44m² 40m² (mais de 2.500m²)	-	Frontal: 4m Laterais: 1/20 da alt. Mínimo 2.5m



Figura A.14 - Mapa do tipo de cobertura da unidade 5A

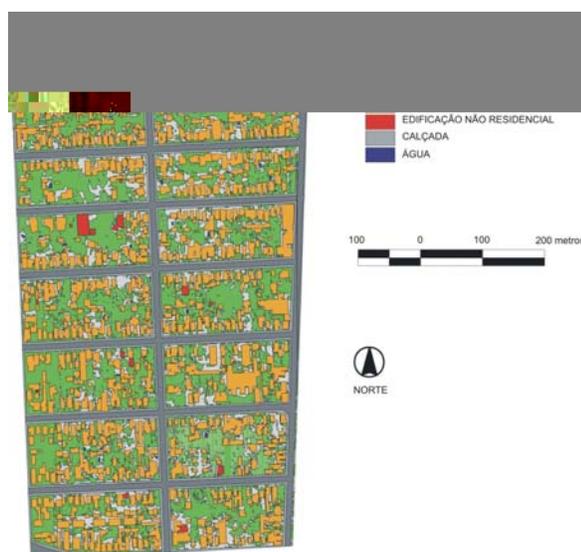


Figura A.15 - Mapa do tipo de cobertura da unidade 5B

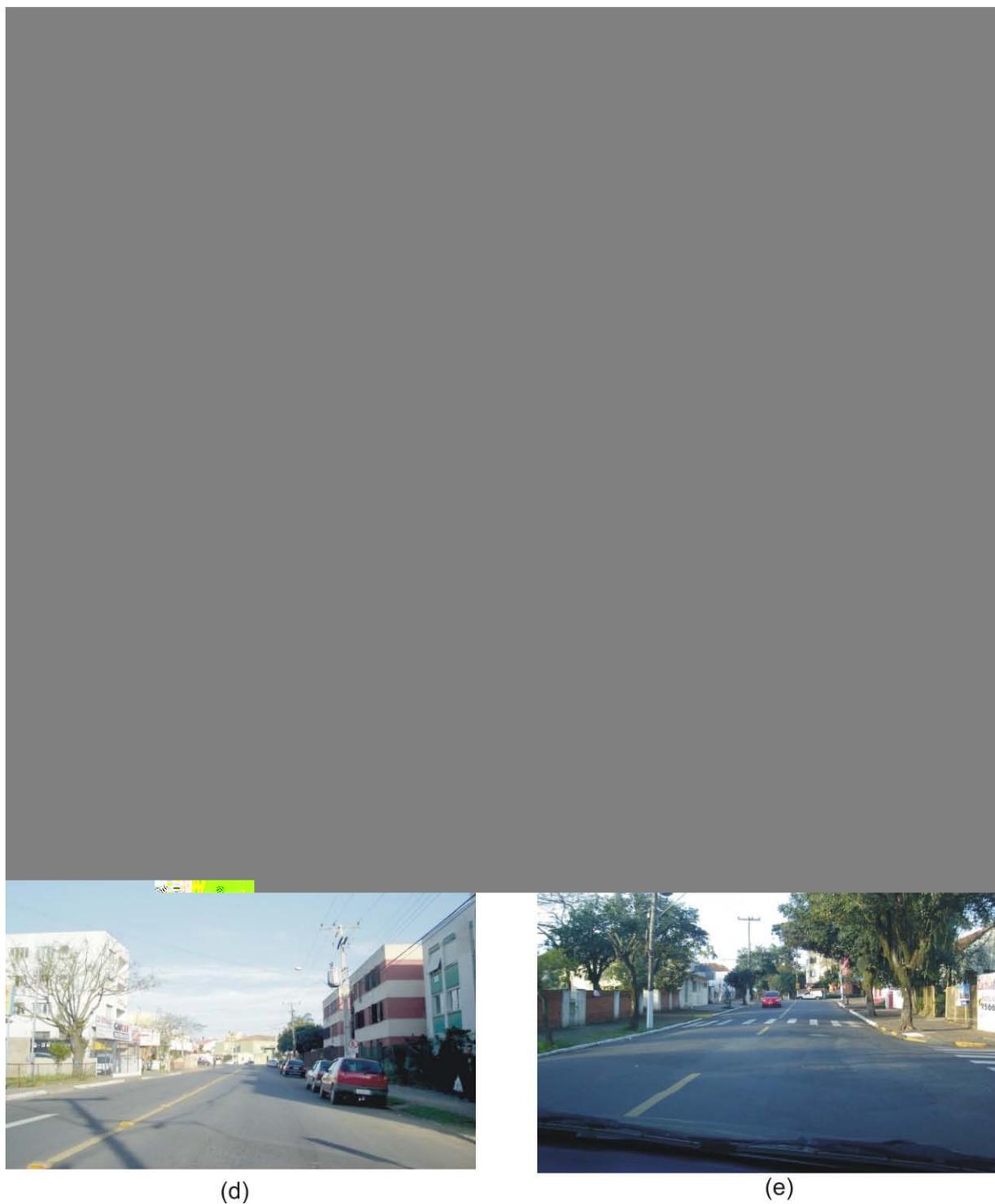


Figura A.16 – Imagens da unidade de análise 5A (a, b, c) e da unidade de análise 5B (d, e), ambas inseridas no bairro Marechal Rondon.

Área 6 – unidades 6A e 6B

Tabela A.6 - Zoneamento da área 6

Zona	Uso		IA		TO		CI		Recuo
	Conforme	Proibido	Conforme	Perm.	Conforme	Perm.	Conforme	Perm.	
ZR4	Residências; Comércio de Abastecimento; Instituições Cultuais; Templos; Clubes Recreativos; Garagens Comerciais.	Indústrias IV Comércio Varejista Hospitais Transportadoras	1.2 1.5 (mais de 2.500m ²)	0.6	60% 50% (mais de 2.500m ²)	60%	150m ²	-	Frontal:4m Lateral: 1/20 da altura – mínimo: 2.50m



Figura A.17 - Mapa do tipo de cobertura da unidade 6A

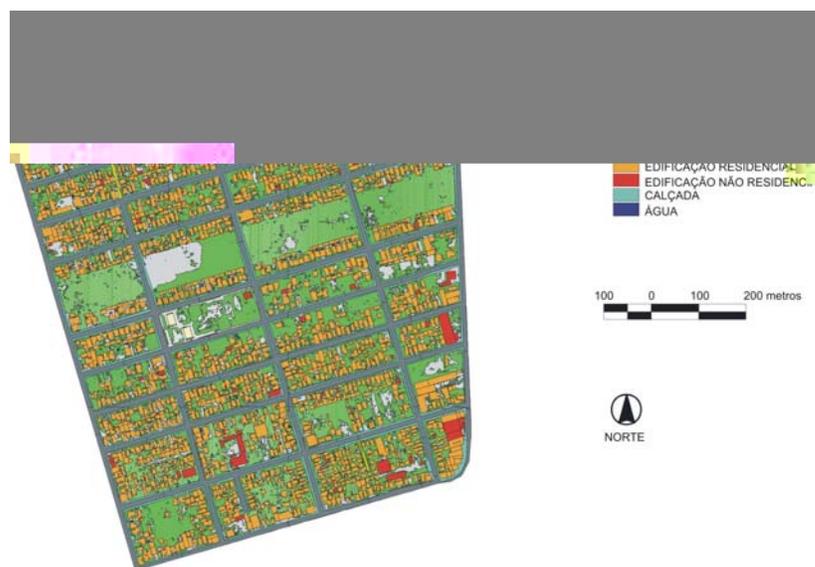


Figura A.18 - Mapa do tipo de cobertura da unidade 6B



Figura A.19 – Imagens da unidade de análise 6A (a, b, c), inserida no bairro Fátima, e da unidade de análise 6B (d, e, f), inserida no bairro Niterói.

Área 7 – unidades 7A

Tabela A.7 - Zoneamento da área 7

Zona	conforme	Uso	IA		TO		CI		Recuo
			Conforme	Perm.	Conforme	Perm.	Conforme	Perm.	
ZC1	Comércio varejista Instituições financeiras Escritórios Bancos Rádio e televisão Hotéis	Proibido Quartéis Indústrias II, III, IV Transportadoras	6	5	75%	62.5%	-	22m ²	Marquise obrigatória = h=3.00m / L = 2.00m
DC	Comércio varejista Órgãos Públicos Instituições culturais Escritórios Bancos Rádio e Televisão Hotéis	Indústrias Transportadoras Oficinas comerciais Comércio atacadista Depósitos Residências unifamiliares Bombas de gasolina Quartéis Hospitais	6	5	75% / 100% (térreo – sobreloja)	62.5%	-	22m ²	Marquise obrigatória = h=3.00m / L = 2.00m

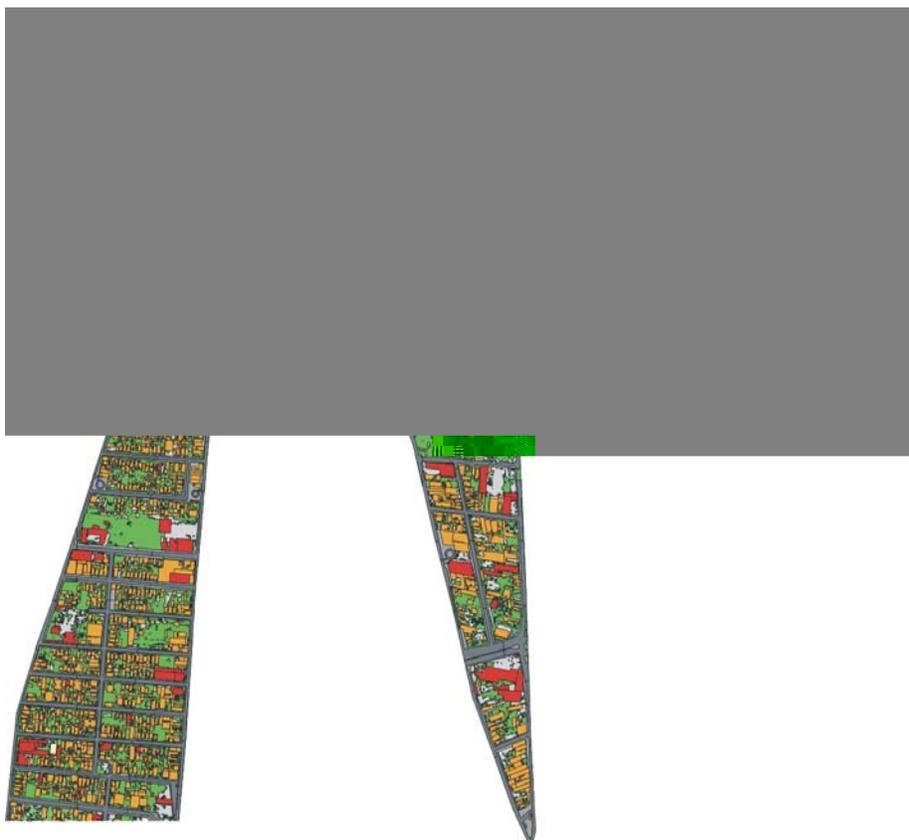


Figura A.20 - Mapa do tipo de cobertura da unidade 7A



Figura A.21 – Imagens da unidade de análise 7A – centro comercial de Canoas

APÊNDICE B – Quantificação dos elementos da forma urbana

Conforme mencionado no item 4.3.1 do capítulo 4 desta dissertação, este Apêndice propõe fornecer informações das unidades de análise acerca dos critérios de forma urbana, especificando os elementos que foram mensurados para a sua caracterização.

Desta forma, a seguir, para cada unidade de estudo, estão apresentados mapas de cada unidade com a especificação dos elementos da forma urbana que foram mensurados.

Figura B.1 – Elementos da forma urbana da unidade 1A

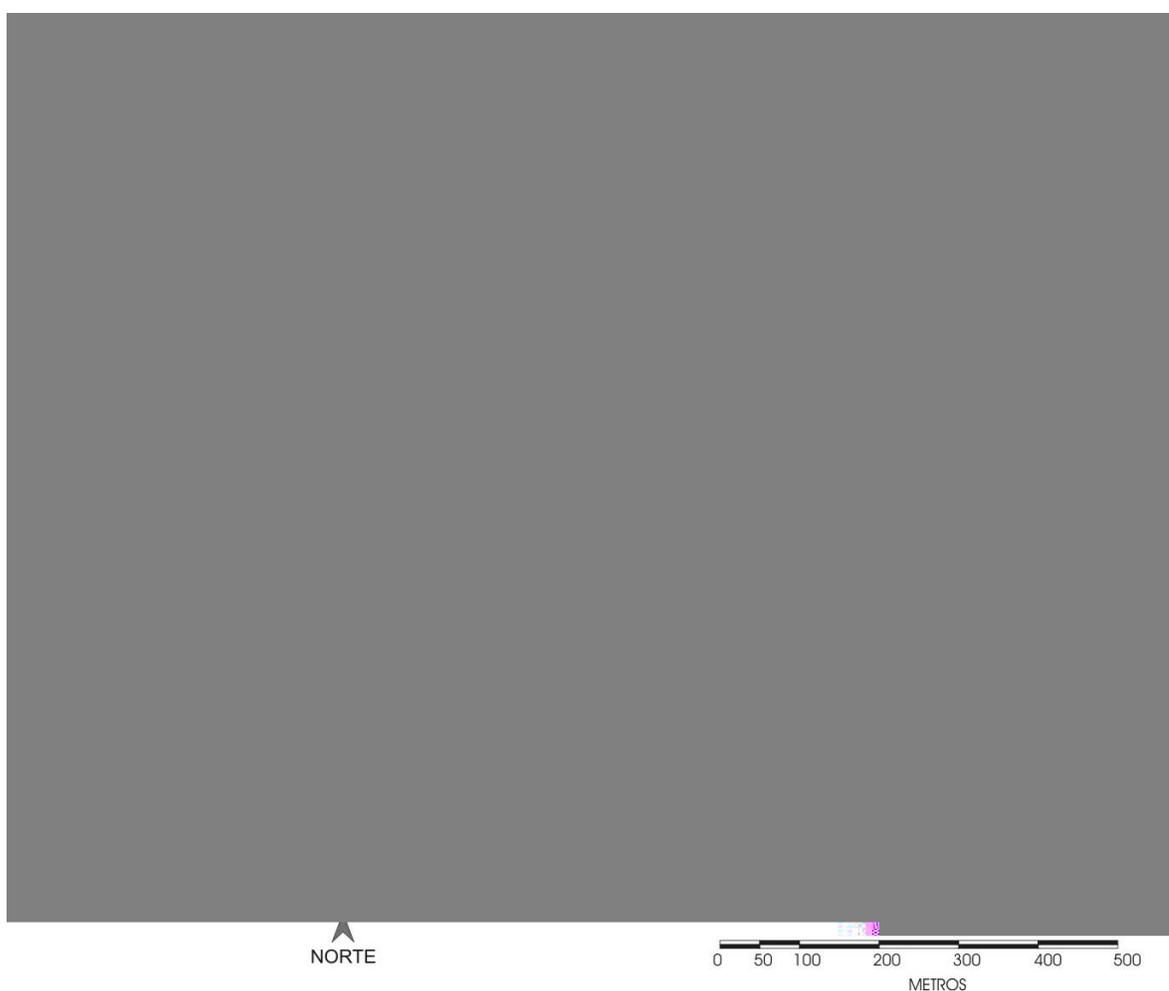


Figura B.2 – Elementos da forma urbana da unidade 1B



Figura B.3 – Elementos da forma urbana da unidade 2A

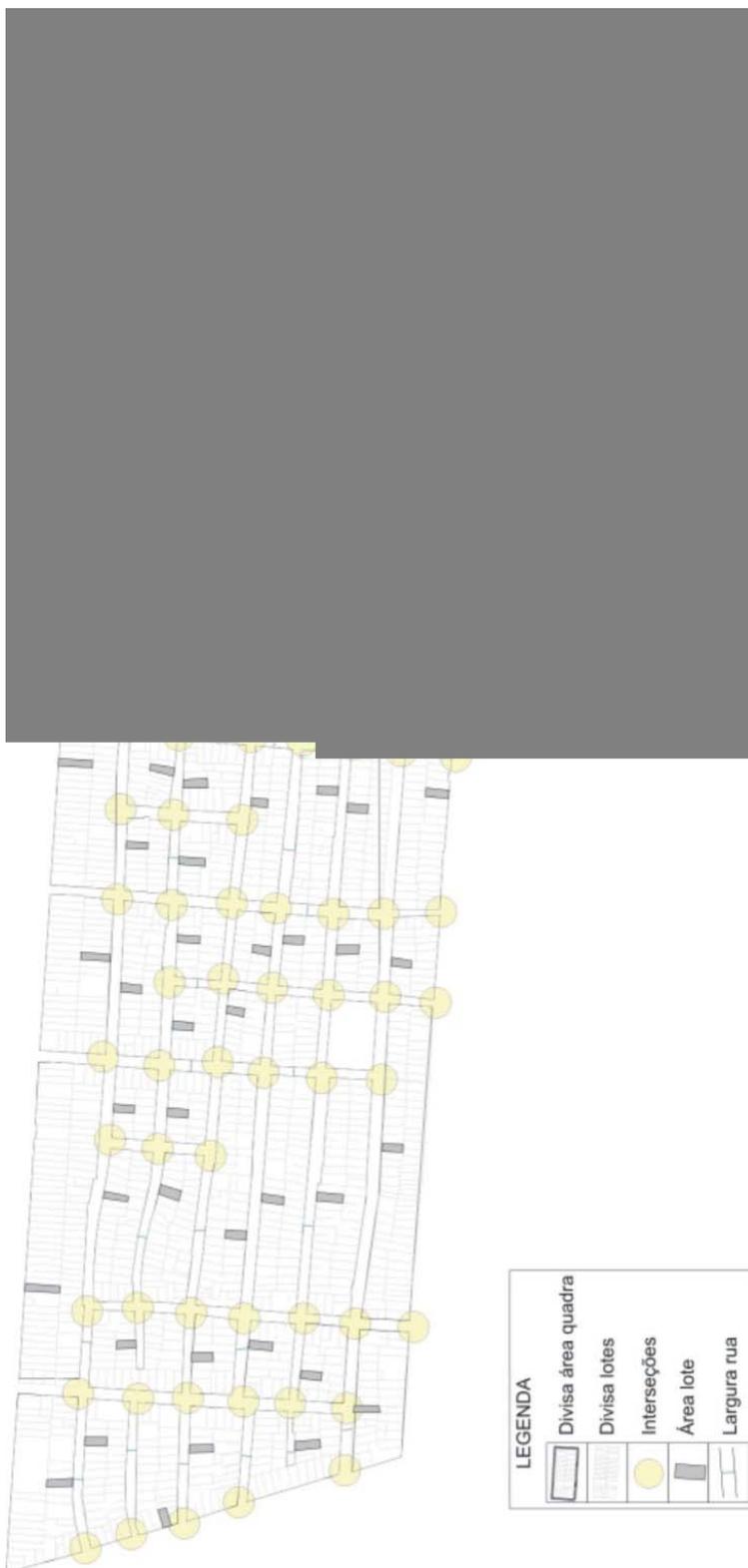


Figura B.4 – Elementos da forma urbana da unidade 2B

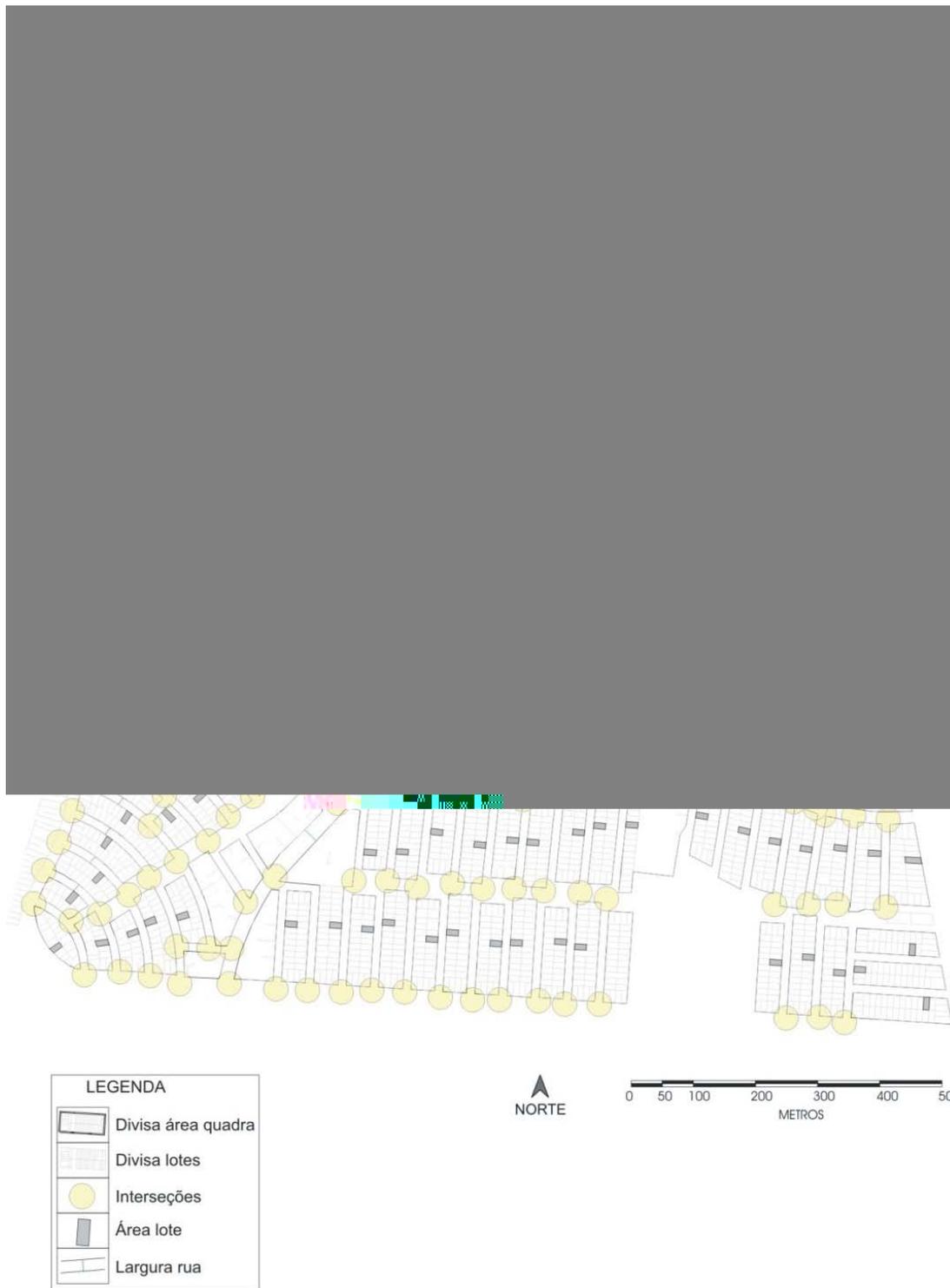


Figura B.5 – Elementos da forma urbana da unidade 3A

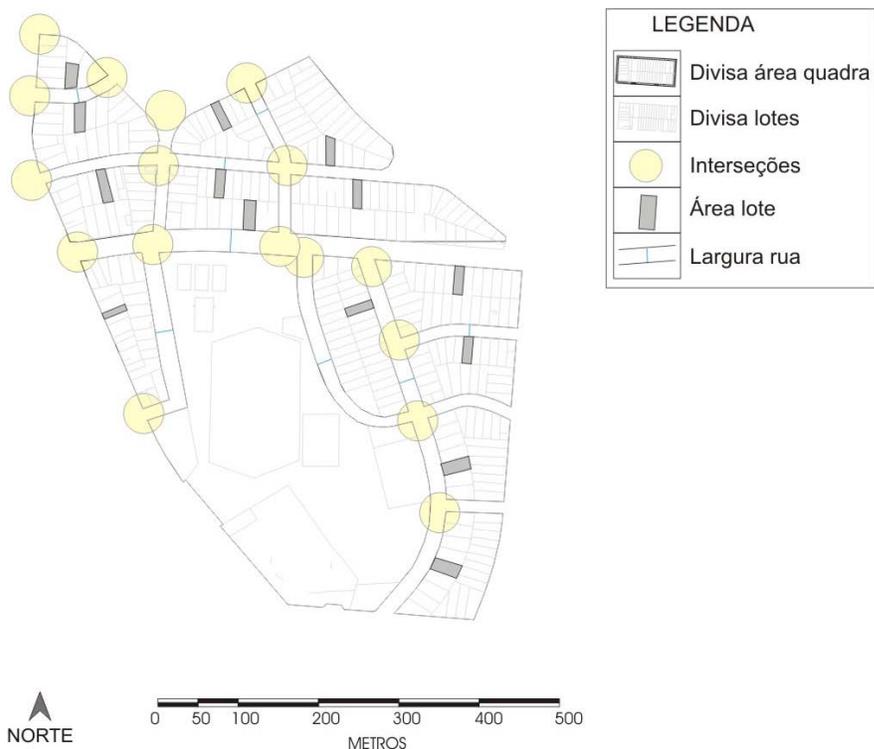


Figura B.6 – Elementos da forma urbana da unidade 3B

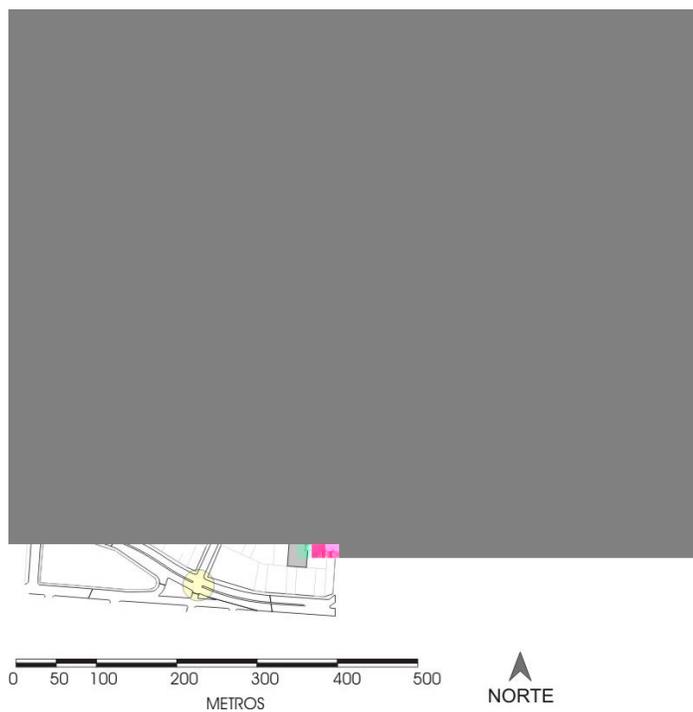


Figura B.7 – Elementos da forma urbana da unidade 4A

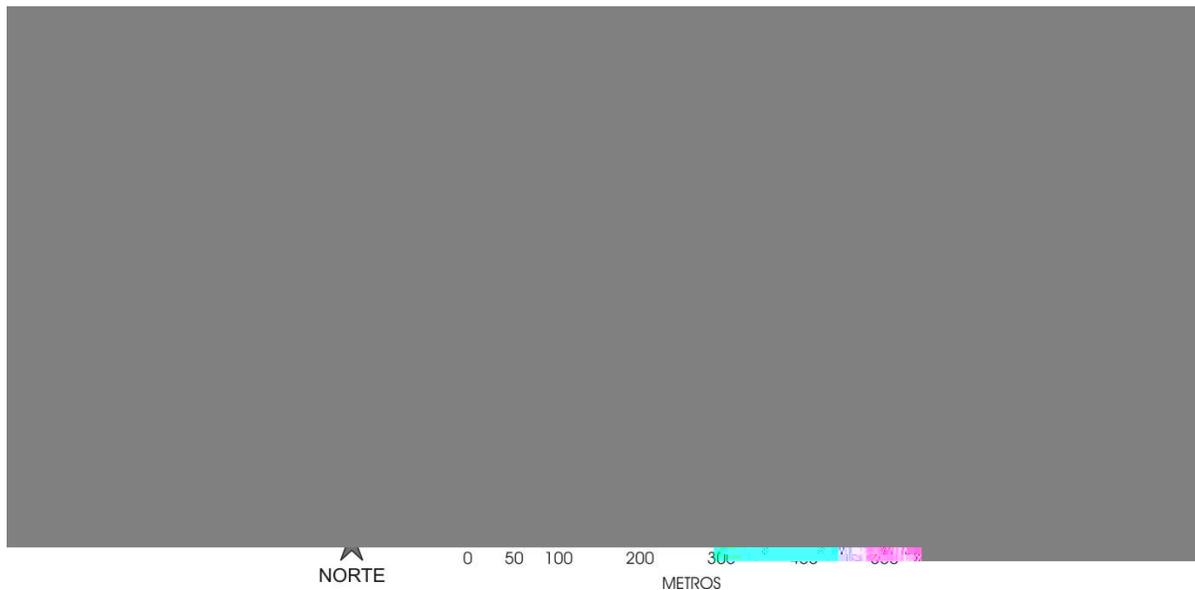


Figura B.8 – Elementos da forma urbana da unidade 4B

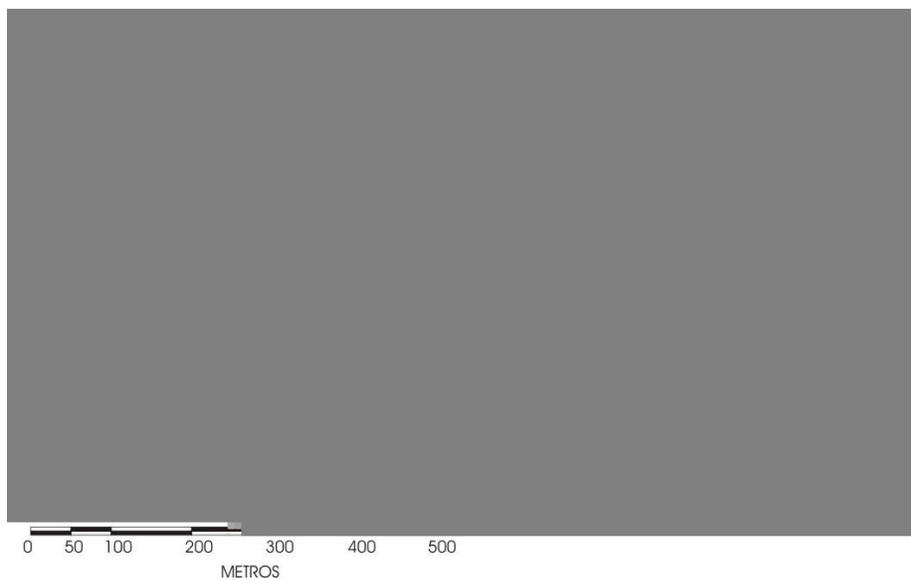


Figura B.9 – Elementos da forma urbana da unidade 5A



Figura B.10 – Elementos da forma urbana da unidade 5B

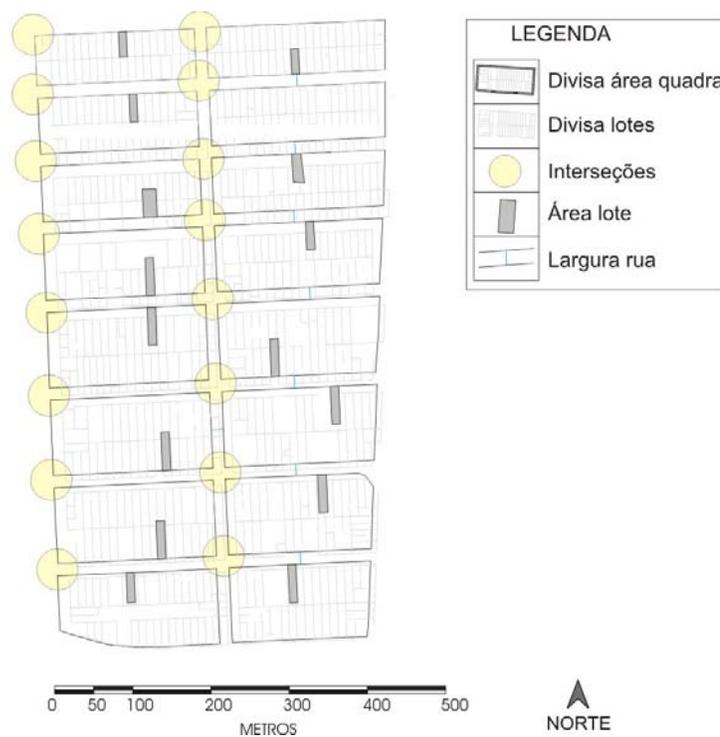


Figura B.11 – Elementos da forma urbana da unidade 6A



Figura B.12 – Elementos da forma urbana da unidade 6B

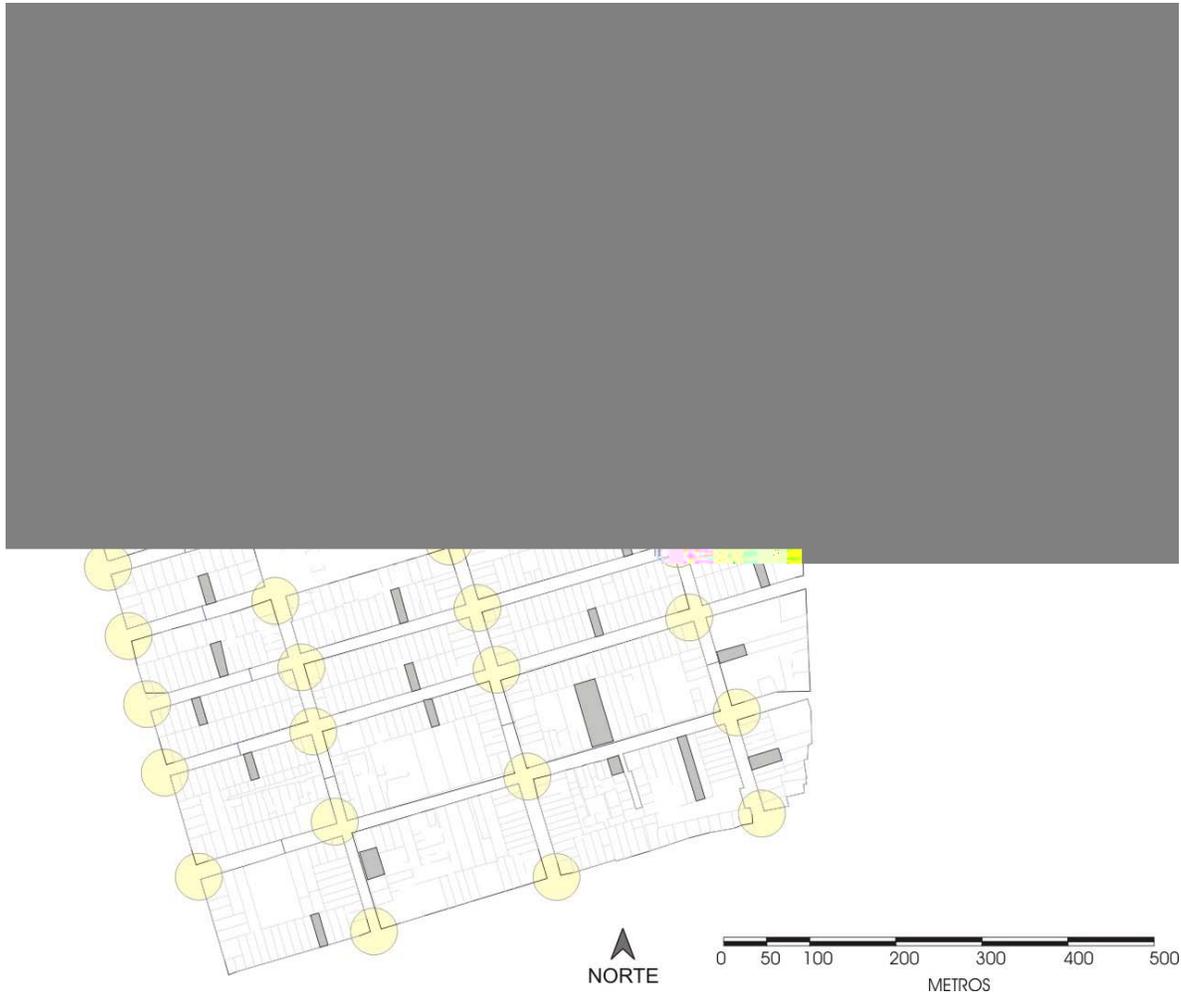


Figura B.13 – Elementos da forma urbana da unidade 7A



APÊNDICE C - Conjunto de cartas da base cartográfica que cobrem o objeto de estudo e as unidades de análise

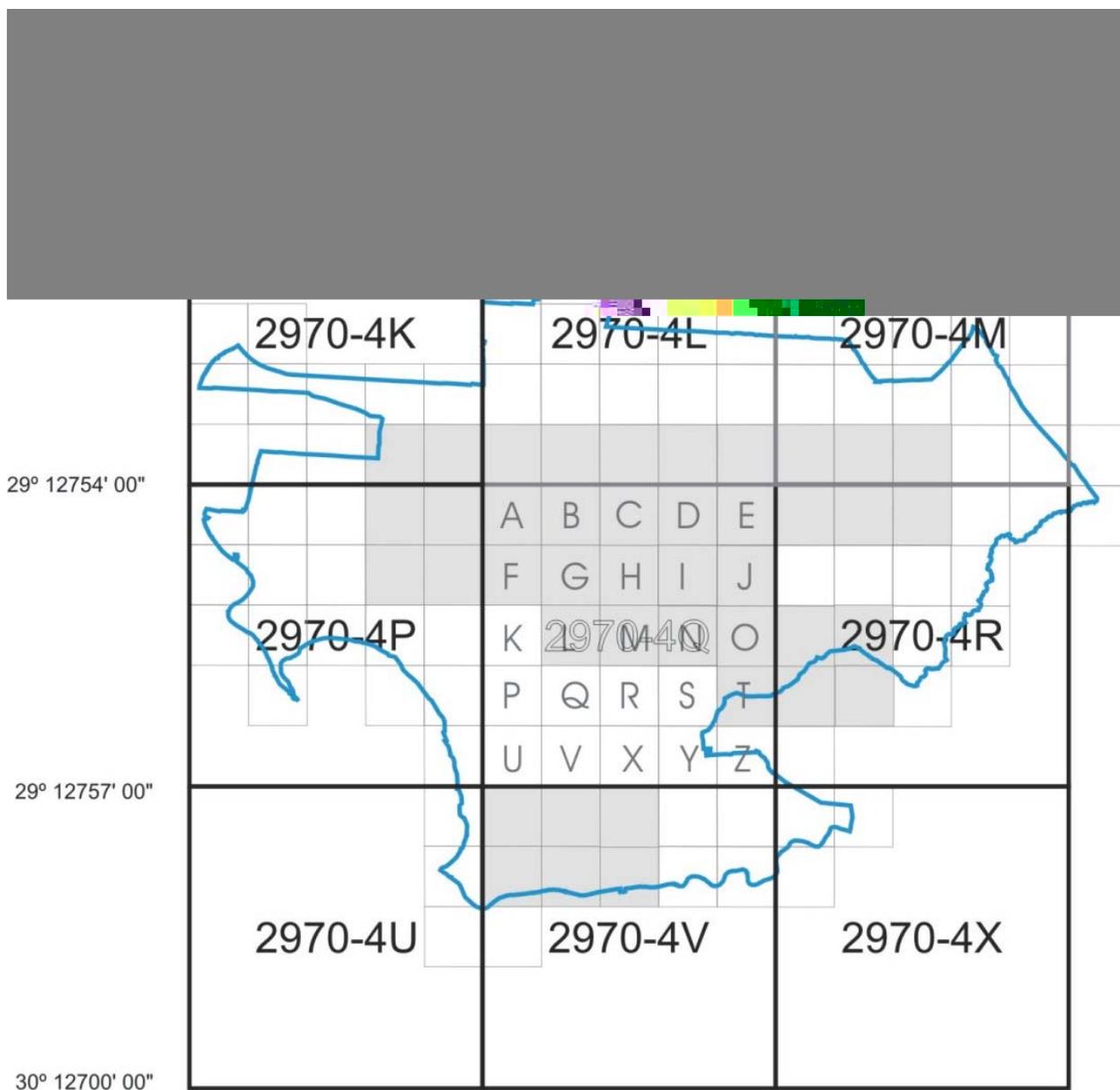


Figura C.1 - Distribuição das cartas da base cartográfica no território do Município de Canoas (as cartas hachuradas representam as que foram usadas).

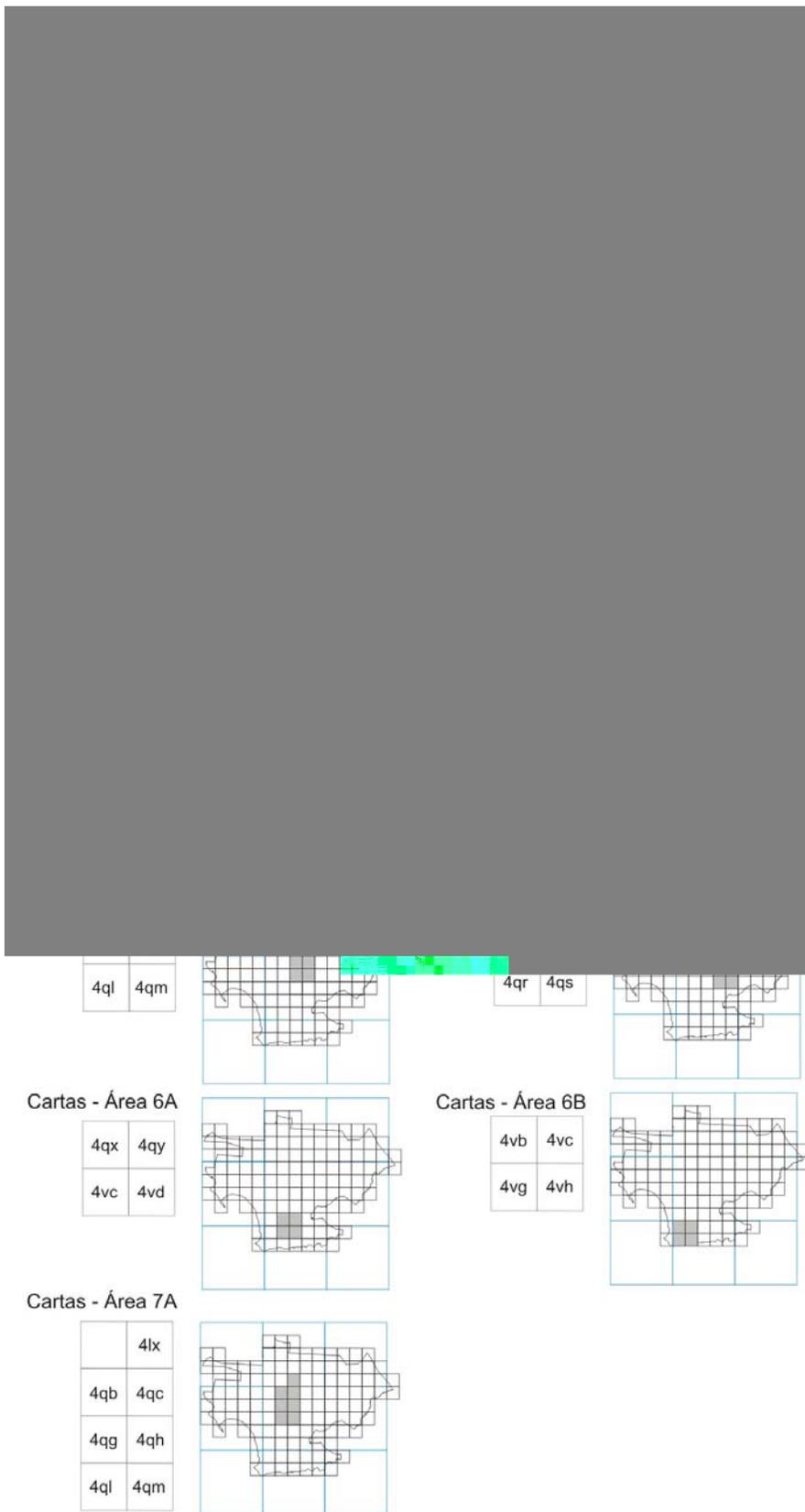


Figura C.2 - Conjunto de cartas cartográficas que cobrem cada unidade de análise

APÊNDICE D - Fotografias correspondentes à cada unidade

Unidade de Análise	ÁREA 1A	
--------------------	---------	--







U	ÁREA	
[Redacted Content]		

Unidade de Análise	Fo
ÁREA 4b	FX FX FX FX FX
	

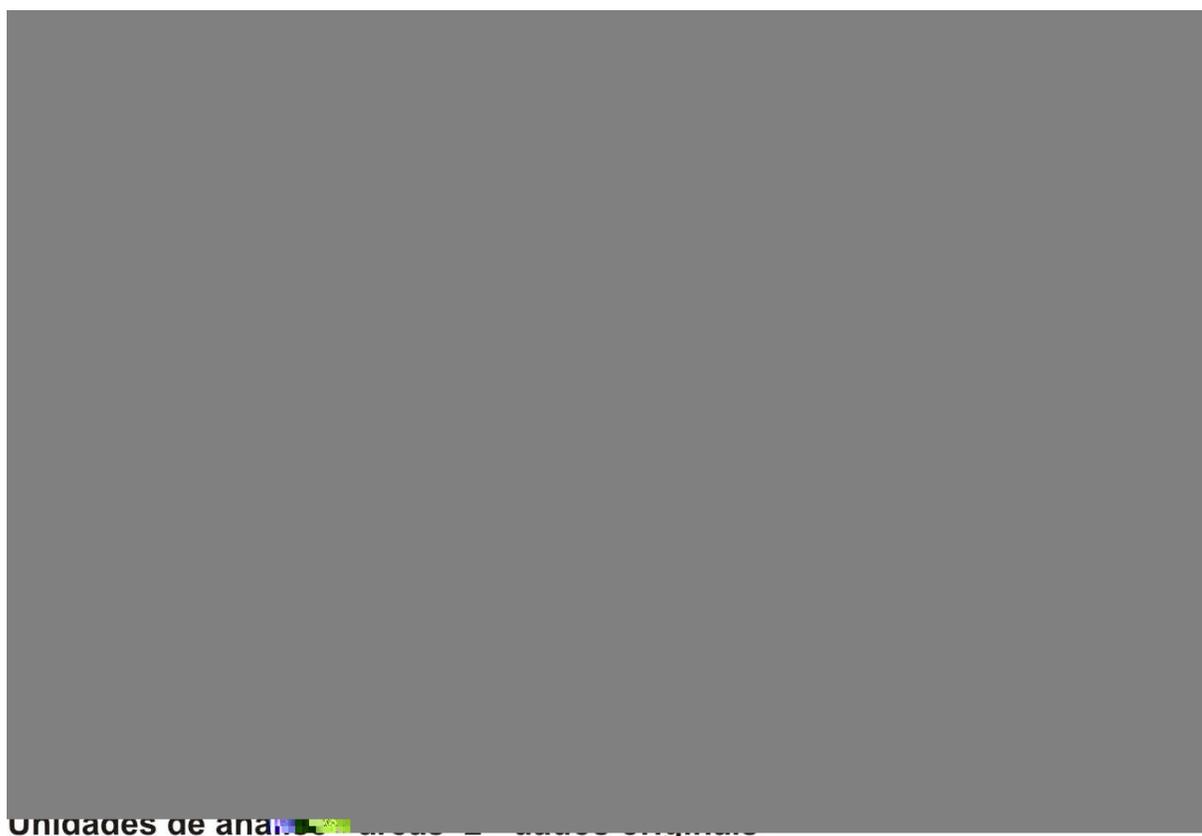
Unidade de Análise	Fotografias aéreas que fazem a cobertura
ÁREA 6a	Fx08_016 Fx08_017 Fx09_013 Fx09_014 Fx09_015



ÁREA	
------	--



APÊNDICE E - Dados finais das unidades de análise



ÁREA 2A - dados originais

dado	valor	unidade
DP	115.59	(hab/ha)
DE	39.52	(edif/ha)
IMPEDIF	28.59	(%) rel total
IMPVIA	27.05	(%) rel total
IMPERMEA1	40.32	(%) rel total
IMPERMEA2	47.72	(%) rel total
IMPERMEA	44.02	(%) rel total
IMP_LOTE	63.84	(%) rel lote
IMP_HAB	38.08	m ² por habitante
LRUA	14.26	m
ALOTE	369.49	m ²
AQUA	1.09	ha
INTER	77.03	inter/km ²
L_testada	11.73	m
N_quartos	3.00	nº/hab
IA	0.6	(índice)
TO	60	%
CI	150	m ²
TRACADO	ortogonal	
USOSOLO	residencial	

ÁREA 2B - dados originais

dado	valor	unidade
DP	114.84	(hab/ha)
DE	30.11	(edif/ha)
IMPEDIF	23.33	(%) rel total
IMPVIA	28.70	(%) rel total
IMPERMEA1	52.64	(%) rel total
IMPERMEA2	59.22	(%) rel total
IMPERMEA	55.93	(%) rel total
IMP_LOTE	82.71	(%) rel lote
IMP_HAB	48.70	m ² por habitante
LRUA	14.18	m
ALOTE	208.81	m ²
AQUA	0.69	ha
INTER	98.46	inter/km ²
L_testada	10.00	m
N_quartos	5.00	nº/hab
IA	0.6	(índice)
TO	60	%
CI	150	m ²
TRACADO	não ortogonal	
USOSOLO	residencial	



<i>N_quartos</i>	3.0%	m²
<i>IA</i>	0.6	(índice)
<i>TO</i>	60	%
<i>CI</i>	150	m²
<i>TRACADO</i>	não ortogonal	
<i>USOSOLO</i>	misto	

<i>N_quartos</i>	3.0%	m²
<i>IA</i>	0.6	(índice)
<i>TO</i>	60	%
<i>CI</i>	150	m²
<i>TRACADO</i>	não ortogonal	
<i>USOSOLO</i>	misto	



TRATADO
USOSOLO

Ortes
misto

USOSOLO

misto

<i>DP</i>	43.13	(hab. /
<i>DE</i>	20.63	(edif/ha)
<i>IMPEDIF</i>	34.60	(%) rel total
<i>IMPVIA</i>	23.68	(%) rel total
<i>IMPERMEA1</i>	61.41	(%) rel total
<i>IMPERMEA2</i>	70.27	(%) rel total
<i>IMPERMEA</i>	65.84	(%) rel total
<i>IMP_LOTE</i>	77.69	(%) rel lote
<i>IMP_HAB</i>	152.65	m ² por habitante
<i>LRUA</i>	15.20	m
<i>ALOTE</i>	894.61	m ²
<i>AQUA</i>	1.33	ha
<i>INTER</i>	36.88	inter/km ²
<i>L_testada</i>	17.85	m
<i>N_quartos</i>	2.00	n ^o /hab
<i>IA</i>	6.00	(índice)
<i>TO</i>	75.00	%
<i>CI</i>	22.00	m ²
<i>TRACADO</i>	ortogonal	
<i>USOSOLO</i>	comercial	

APÊNDICE F - Dados de finais nas unidades de análise – cenários alternativos



<i>N. quartos</i>	0,60	N. hab.	1		
IA	0.6	(índice)	IA	0.6	(índice)
TO	60	%	TO	60	%
CI	150	m ²	CI	150	m ²
TRACADO	ortogonal		TRACADO	não ortogonal	
USOSOLO	residencial		USOSOLO	residencial	



<i>INTER</i>	81.51	inter/km ²	<i>INTER</i>	77.50	inter/km ²
<i>L_testada</i>	11.89	m	<i>L_testada</i>	14.86	m
<i>N_quartos</i>	3.00	nº/hab	<i>N_quartos</i>	5.00	nº/hab
<i>IA</i>	1	(índice)	<i>IA</i>	1	(índice)
<i>TO</i>	60	%	<i>TO</i>	60	%
<i>CI</i>	300	m ²	<i>CI</i>	300	m ²
<i>TRACADO</i>	não ortogonal		<i>TRACADO</i>	não ortogonal	
<i>USOSOLO</i>	residencial		<i>USOSOLO</i>	residencial	

APÊNDICE G - Comparação dos valores obtidos pelas unidades de análise, estas segregadas por tipo de traçado

tipo de traçado viário	ocupação sistema viário IMPVIA - (%)	densidade de interseções INTER - (inter/km ²)	área quadra AQUA - (ha)	área lote ALOTE - (m ²)	largura rua LRUA - (m)	impermeabilidade
<i>ortogonal</i>						
1A	21.89	30.98	2.35	519.89	15.46	
1B	21.35	42.90	2.42	497.86	15.56	
2A	27.05	77.03	1.09	369.49	14.26	
5B	22.77	42.42	1.81	494.79	16.11	
6A	22.17	36.89	2.08	504.60	17.16	
6B	22.94	42.17	1.68	406.51	15.54	
<i>média</i>	<i>23.03</i>	<i>45.40</i>	<i>1.90</i>	<i>465.52</i>	<i>15.68</i>	
<i>não ortogonal</i>						
2B	28.70	98.46	0.69	208.81	14.18	
3A	23.53	53.70	1.09	446.78	19.09	
3B	26.39	77.50	1.18	589.68	13.47	
4A	27.49	82.75	1.33	424.44	14.85	
4B	27.15	93.67	0.89	305.56	15.86	
5A	23.61	50.54	1.43	495.72	15.19	
<i>média</i>	<i>26.14</i>	<i>76.10</i>	<i>1.10</i>	<i>411.83</i>	<i>15.44</i>	

APÊNDICE H - Relação entre os parâmetros da forma urbana e a taxa de impermeabilização no lote comparando resultados obtidos nas unidades de análise e a estimativa do modelo de regressão (Stone Jr., 2004)

Parâmetros da análise de regressão (Stone Jr, 2004)	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B	5A	5B	6
X1 - área lote (m) - (ALOTE)	519.89	497.86	369.49	208.81	446.78	589.68	424.44	305.56	495.72	494.79	504.60
X2 - testada lote (m) (L_testada)	10.11	10.94	11.73	10.00	11.89	14.86	11.93	10.19	11.13	11.70	11.70
X3 - recuo (m) (recuo de jardim - lei zoneamento)	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
X4 - largura rua (m) (LRUA)	15.46	15.56	14.26	14.18	19.09	13.47	14.85	15.86	15.19	16.11	16.11
X5 - densidade interseção (inter/km ²) (INTER)	30.98	42.90	77.03	98.46	53.70	77.50	82.75	93.67	50.54	42.42	42.42
X6 - número quartos (N_quartos)	3.00	3.00	3.00	5.00	3.00	5.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
(Y) valor estimado - impermeabilidade no lote (%) (Stone Jr., 2004)	46.37	47.04	50.00	86.02	55.06	42.48	44.16	52.55	45.25	49.11	49.11
(Y') valor obtido - impermeabilidade no lote (%) (IMP_LOTE) (valor encontrado nas unidades de análise)	45.91	35.83	63.84	82.71	64.88	42.72	35.87	53.45	59.31	55.54	55.54
resíduos	0.46	11.21	13.84	3.31	9.82	0.25	8.29	0.90	14.05	6.43	6.43



tipo de
do solo
residenc

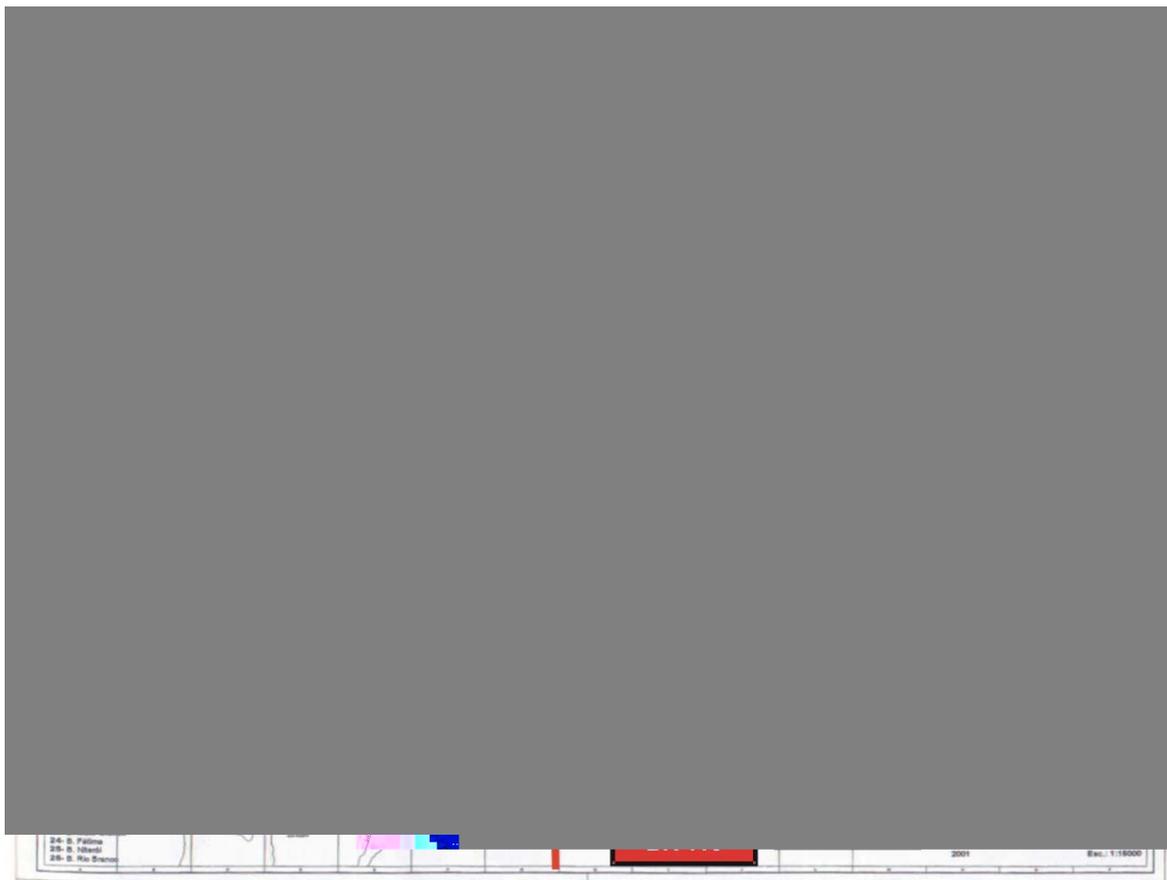
misfo

UNIDA

- 1A
- 1B
- 2A
- 2B
- 2B (SR
- 3A
- 3A (SC
- 3B
- 3B (SA)
- 4A
- 4B
- 5A
- 5B
- 6A
- 6B
- 7A
- média

ANEXOS

ANEXO A - Mapa de localização dos diques, polders e casa de bombas (CB). O asterisco (*) indica que a construção da casa de bombas não está ainda concluída.



Fonte:

PROJETO DESMISTIFICANDO RISCOS, 9 jul. 2003, Auditório Unilasalle - Canoas-RS. **Palestra.** Canoas: Prefeitura Municipal de Canoas (PMCA); Secretaria Municipal de Obras Públicas (SMOP); Departamento de Esgotos Pluviais (DEP); Comissão Municipal de Defesa Civil (CMDCC), 09 julho de 2003. 1 CD-ROM. 59.749KB. Apresentação em slides do Microsoft PowerPoint – Formato PPT.

ANEXO B - Tabela de valores do coeficiente C (ASCE, 1969 apud Tucci, 2000)

Superfície	C	
	Intervalo	Valor esperado
<i>Pavimento</i>		
Asfalto	0.70 – 0.95	0.83
Concreto	0.80 – 0.95	0.88
Calçadas	0.75 – 0.85	0.80
Telhado	0.75 – 0.95	0.85
<i>Cobertura: grama solo arenoso</i>		
Plano (2%)	0.05 – 0.10	0.08
Médio (2 a 7%)	0.10 – 0.15	0.13
Alta (7%)	0.15 – 0.20	0,18
<i>Grama, solo pesado</i>		
Plano (2%)	0.13 – 0.17	0,15
Médio (2 a 7%)	0.18 – 0.22	0.20
Alta (7%)	0,25 – 0,35	0.30

ANEXO C – Relação entre a forma urbana e a impermeabilização do lote: Parâmetros e resultados da análise de regressão (Adaptado de Stone Jr, 2004, p.109)

Tabela C.1 - Relação dos parâmetros do modelo de regressão

Parâmetro	Descrição	Unidade de medida
Y	Impermeabilidade total do lote	% em relação ao lote
X1	Área do lote	m ²
X2	Testado do lote	m
X3	Recuo de jardim	m
X4	Largura da rua	m
X5	Densidade de Interseções	Interseções / km ²
X6	Número de quartos	Unidades/residência

Tabela C.2 - Resultado da análise de Regressão

Parâmetro	B-coeficiente (β)	Coefficiente padronizado	Significância
Área do lote	0.059	0.235	<0.001
Testado do lote	6.85	0.495	<0.001
Recuo de jardim	6.43	0.205	<0.001
Largura da rua	5.90	0.140	<0.001
Densidade de Interseções	-1.16	-1.20	<0.001
Número de quartos	20.70	0.128	<0.001
Resumo estatístico	R – quadrado 0.765	F – tabelado 20.997	F de significação <0.001

•Fórmula resultante

Usando os parâmetros:

$$Y = (X1 \times \beta) + (X2 \times \beta) + (X3 \times \beta) + (X4 \times \beta) + (X5 \times \beta) + (X6 \times \beta)$$

Substituindo pelos valores dos coeficientes (β):

$$Y = (X1 \times 0.059) + (X2 \times 6.85) + (X3 \times 6.43) + (X4 \times 5.90) + [X5 \times (-1.16)] + (X6 \times 20.70)$$

ANEXO D – Plano Diretor de Canoas – Seção II – do zoneamento (Canoas, 1996)

Este anexo apresenta parte do texto da lei 1.447/72, que aprova o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Canoas / RS, com as alterações previstas da Lei 4.075/96. A parte extraída pertence à Seção II e refere-se ao zoneamento urbano do município, com informações sobre os tipos de usos previstos na área urbana contemplada pelo plano diretor.

Lei n.º 1.447, de 26 de dezembro de 1972, com alterações dos dispositivos previstos na Lei n.º 4.075, de 15 de fevereiro de 1996.

APROVA O PLANO DIRETOR DE DESENVOLVIMENTO DE CANOAS E DÁ
OUTRAS PROVIDÊNCIAS

(...)

Seção II – DO ZONEAMENTO

Art. 6.º A área territorial do Município compreende a área de uso urbano e área de expansão urbana.

§ 1.º (...)

§ 2.º (...)

Art. 7.º As zonas serão delimitadas por vias, logradouros públicos, fundos de lotes e outros traçados em planta.

Parágrafo único: (...)

Art. 8.º Em cada zona ficam estabelecidas usos conformes e proibidos, sendo permissíveis quaisquer outros usos.

§1.º Por **uso conforme** entende-se o uso que deverá predominar na zona, dando-lhe a característica

§ 2.º Por **uso proibido** entende-se aquele que não é permitido, por não estar conforme com as características da zona.

§ 3.º Por **uso permissível** entende-se o uso capaz de se desenvolver na zona sem comprometer as suas características.

Art. 9.º (...)

§1.º Para efeito desta Lei, considera-se

- I **Comércio varejista:** o comércio de venda direta de bens e gêneros ao consumidor
- II **Comércio atacadista:** os depósitos ou armazéns gerais ou congêneres par fins de estocagem.
- III **Comércio de abastecimento:** o comércio de venda direta ao consumidor de gêneros alimentícios, tais como bares, restaurantes, supermercados, cafés e congêneres.
- IV **Indústria I:** é a indústria cuja instalação não exceda a duzentos (200) metros quadrados de área construída; que não prejudique a segurança, o sossego e a saúde da vizinhança; que não ocasione o movimento excessivo de pessoas e veículos e que não elimine gases fétidos, poeiras e trepidações.
- V **Indústria II:** é a indústria que com área construída superior a duzentos (200) metros quadrados, apresente as características da Indústria I
- VI **Indústria III:** é a indústria que apresenta instalações de até 600 (seiscentos) metros quadrados mas que, por suas características, apresenta demasiado movimento de veículos e pessoas, e prejudica a segurança e o sossego da vizinhança.
- VII **Indústria IV:** é a indústria com mais de seiscentos (600) metros quadrados de área construída, que apresenta as características de Indústria III, ou a Indústria de qualquer área construída que contribua para a poluição do ar, compreendendo-se como a tal eliminação de poeiras, gases fétidos e fumaças.

§ 2.º (...)

§ 3.º (...)

(...)

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)