

Universidade Federal de São Carlos
Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais

Análise de padrões e processos no uso do solo, vegetação,
crescimento e adensamento urbano.
Estudo de caso: Município de Luiz Antônio (SP)

Carlos Henke de Oliveira

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Ciências (Área de Concentração: Ecologia e Recursos Naturais)
--

São Carlos
Março/2001

**Ficha Catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária/UFSCar**

H512ap	<p>Henke-Oliveira, Carlos. Análise de padrões e processos no uso do solo, vegetação, crescimento e adensamento urbano. Estudo de caso: município de Luiz Antônio (SP) / Carlos Henke-Oliveira. -- São Carlos : UFSCar, 2001. 101 p.</p> <p>Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2001.</p> <p>1. Ecologia urbana. 2. Planejamento urbano. 3. Cobertura vegetal. 4. Áreas verdes. 5. Geoprocessamento. 6. Fotografia aérea. I. Título.</p> <p>CDD: 574.5268 (20ª)</p>
--------	--

Orientador

Prof. Dr. José Eduardo dos Santos

*Dedico esta tese aos que praticam
e aos que gostam da música*

Agradecimentos

Agradeço inicialmente a todos aqueles que colaboraram nas diversas etapas deste doutorado, mesmo tratando-se das questões alheias ao tema central da tese. É difícil enumerar todos, pois são muitos e a memória falha. Além disso, as relações concomitantes de interação profissional, amizade, afinidades ideológicas, afetividade e coincidências na escolha dos *hobbies*, fazem com que seja difícil agradecer a *alguém* por *algo*. Mas, enfim, tentarei:

Ao PPG-ERN e seus alunos, funcionários e professores. Especial atenção à Renata, Roseli, Prof. Verani, Graça, Bete, João e Dú. Os funcionários da Pró-PG, sempre prestativos, também merecem um agradecimento muito especial.

Ao Prof. Dr. José Eduardo dos Santos, um orientador crítico, cuja orientação foi além da tese. Colaborou e incentivou em alguns aspectos e foi contrário em outros. Mesmo nas eventuais discordâncias houve respeito de ambas as partes, fazendo com que estes episódios ficassem na lembrança como coisas engraçadas porque refletem a própria personalidade e a forma com que nos comportamos diante das circunstâncias. Todas estas coisas acabam configuradas como apoio, pelo qual agradeço imensamente.

Também agradeço à Banca, formada pelos doutores: João Carlos Nucci, Marcus Pollete, José Eduardo dos Santos, Reinaldo Lorandi, Felisberto Cavalheiro, com os quais tenho e continuarei a ter o máximo prazer de discutir esta tese e assuntos relacionados.

Aos colegas do LAPA/UFSCar (Laboratório de Análise e Planejamento Ambiental): Adriana Paese, Adriana Pires, Alfredo Pereira, Ana Lícia Filiciano, Ana T. Obara, José Eduardo Mantovani, Paulo Sérgio Maroti, Rogério Hartung Toppa, Rogério Nora Lima, Suely Melo da Costa, Tânia Tonial, Eloir Missio, Fernanda Maria Neri, Maria Elisa C. Almeida, Paulo Sérgio R. Mattos, Elisabete Maria Zanin, Fátima Marcomin, Sidnei Dornelles, Sonia Elizabete Rampazzo, Michèle Sato, Andréia de Fiori, Cassio J. Figueira, Roberta Hehl Cintra, Didier David Pozza e Fúlvio Cesar Garcia Severino. Em especial, agradeço a Rogério Hartung Toppa, pelo auxílio na tomada de fotografias aéreas e pela companhia durante tantas etapas que fico impossibilitado de citar todas. Também vai um destaque para o Teó (Paulo Sérgio Maroti) pelos desenhos e pelas idéias e iluminações. O Dr. José Salatiel Rodrigues Pires não pode estar ausente, pelas colaborações em discussões acadêmicas, amizade, apoio, idéias, etc. A Suely e o Marcelo foram muito importantes, suas participações foram fundamentais em tantas etapas que fico impossibilitado de descrever.

À Prefeitura Municipal de Luiz Antônio, pelo fornecimento de informações fundamentais para a realização da tese.

Eu faço questão de esclarecer que não gosto do Presidente Fernando Henrique Cardoso, nem de sua política e nem de seus partidários. Mesmo assim, agradeço a CAPES pela bolsa de doutorado, esperando dela um maior apoio à ciência e tecnologia brasileira.

À APG (Associação dos Pós-Graduandos-UFSCar) pela política proporcionada. Mais especificamente a Robson, Rodrigo, Cebolão, Xebolinha, Danilo, Carlos, Harumi, Luiz, dentre outros que cederam aos interesses coletivos, mesmo sabendo prejudicar outros aspectos de suas vidas. A essas pessoas, agradeço pela demonstração de coragem.

Ao Danilo, Alê, Samantha, Toppa, Teó e Paulinho pelas lutas e discussões junto à CEMA/UFSCar (Coordenadoria Especial de Meio Ambiente).

Aos amigos/colegas/afetos Olavo Ayres, Ana Thé, Marlon, Tião, Marcelosauro, André, Mariano, Tércio, Luiz Mestre, Zezé, Musa, Márcia, Christina, João Zafalão Gilberto e tanto outros. À Alessandra Delazari, figura tanto especial quanto singular.

Ao "Paralelos do Ritmo", nas suas diversas configurações, que continuam a proporcionar agradáveis momentos musicais: Roberto, Toppa, Teó, Alessandra, Dana, Graveto, Renata, Fernando, Danielzinho, Thiago e Paulinho, Beltran, Márcio, Sandra, etc...

À astronomia, por meio das pessoas que a estudam e praticam, responsável por inserir uma nova dimensão no meu entendimento de ciência. Ao radiomodelismo e às pessoas à ele relacionadas por mostrar elos entre o lazer e pesquisa. Mais especificamente agradeço ao Maurício Caetano Machado, amigo cuja cabeça fervilha idéias bem originais.

Ao meu Irmão, Galileu, por fazer umas perguntas difíceis e que demandam respostas estratégicas. À papai e mamãe, pelo zelo que têm pelo filho.

A Laura, *mi flor de la pampa*, por proporcionar muchos momentos maravillosos.

Resumo

Este estudo buscou a identificação de padrões e processos relacionados ao uso do solo, vegetação, crescimento e adensamento urbano da cidade de Luiz Antônio (SP). Foram utilizadas Fotografias Aéreas de Pequeno Formato (FAPF) e técnica de classificação supervisionada, incorporando o conhecimento do pesquisador, possibilitando integrar alguns princípios de foto-interpretação no processamento digital de imagens. A metodologia também empregou operadores contextuais, permitindo gerar uma carta de Uso do Solo detalhada, com a possibilidade para análises baseadas nas geometrias euclidiana e fractal. Dados oriundos dos satélites *Landsat* e *Spot* também foram integradas nesta investigação. Os resultados mostraram que o INDV-Landsat (Índice Normalizado das Diferenças na Vegetação) mostrou-se bem relacionado ao uso do solo, tornando-se uma alternativa atrativa para a rápida avaliação da qualidade de unidades da paisagem de dimensão acima de 0,5 ha. Evidenciou-se, pela geometria fractal, uma associação entre o desenho urbano e a quantidade e tipologia da vegetação, com possíveis implicações na qualidade ambiental e de vida. Luiz Antônio é uma cidade deficitária em vegetação particular e viária. Embora as áreas residenciais contribuam com a maior parte da cobertura vegetal na área urbanizada, a proporção do componente arbóreo/arbustivo é de apenas 5,1%. As áreas verdes públicas, contudo, apresentam 54,4% de cobertura arbórea/arbustiva e são responsáveis por aproximadamente 25% da cobertura arbórea/arbustiva total da área de estudo. O IAV (Índice de Áreas Verdes) obtido foi de 14,9 m²/habitante. A disponibilidade de área edificada per capita é de 37,8 m²/habitante e não há indícios de superlotação habitacional. O maior desafio, contudo, parece estar no equacionamento de um modelo de adensamento urbano que modere a taxa de impermeabilização do solo. A análise conjunta de muitos descritores da qualidade urbana mostrou padrões e processos relativos à *densificação das estruturas urbanas*, ao *desenvolvimento da vegetação e do desenho urbano* e a um *gradiente natural/rural/urbano*. Este estudo permitiu finalmente a análise das possibilidades e limitações para a expansão urbana da cidade de Luiz Antônio.

Resumen

Análisis de padrones y procesos en el uso del suelo, vegetación, crecimiento y adensamiento urbano. Estudio de caso: Município de Luiz Antônio (São Paulo, Brasil)

Este estudio buscó la identificación de padrones y procesos relacionados con el uso del suelo, vegetación, crecimiento y adensamiento urbano en la ciudad de Luiz Antônio (SP-Brasil). Se usaron fotografías aéreas de pequeño formato (FAPF) y técnicas de clasificación supervisadas, que agregados al conocimiento del investigador, posibilitaron la integración de algunos principios de fotointerpretación en la digitación de imágenes. La metodología incluyó también el uso de operadores contextuales que permitieron generar una detallada carta del uso del suelo, posibilitando el análisis basado en las geometrías euclidianas y fractal. También fueron integrados a la investigación, datos provenientes de los satélites Landsat y Spot. Fue demostrado en los resultados que el Índice de Normalizado de las Diferencias en la Vegetación (INDV-Landsat), estuvo altamente relacionado con el uso del suelo, siendo entonces una alternativa para una rápida evaluación de la calidad de las unidades de paisaje con dimensiones de 0,5 ha. A través de la geometría fractal, fue evidente una asociación entre el diseño urbano y la cantidad y tipología de la vegetación, con posibles implicaciones en la calidad ambiental y calidad de vida. Luiz Antônio es una ciudad con déficit en relación tanto a la vegetación de propiedades particulares, como a la vegetación viaria. Aunque las áreas residenciales son las que contribuyen con la mayor parte de la cobertura vegetal en el área urbanizada, la proporción del componente arbóreo/arbustivo, es apenas de 5%. Por otro lado, las áreas públicas verdes, presentan 54,4% de la cobertura arbórea/arbustiva, y son las responsables por aproximadamente 25% de la cobertura arbórea/arbustiva del total del área de estudio. Se obtuvo un Índice de Áreas Verdes (IAV) de 14,9 m²/habitante. La disponibilidad de área edificada por capita es de 37,8 m²/habitante, y no hay indicios de superlotación de habitación. Pero el mayor desafío parece estar relacionado con el ecuacionamiento de un modelo de adensamiento que modere la tasa de impermeabilización del suelo. El análisis conjunto de muchos descriptores de la calidad urbana, mostró padrones y procesos relativos *a la densificación de las estructuras urbanas, al desarrollo de la vegetación y al diseño urbano, y a un gradiente natural/rural/urbano*. Finalmente, este estudio permitió el análisis de las posibilidades y limitaciones para la expansión urbana de la ciudad de Luiz Antônio.

Abstract

Analysis of patterns and processes in land use, vegetation, growth and urban density. The case of Luiz Antônio City (São Paulo State, Brazil)

This study aims at the identification of patterns and processes associated to land use, vegetation abundance and urban growth and density in Luiz Antônio City (São Paulo State, Brazil). We used Small Format Aerial Photographs (SFAP) and supervised classification technique that incorporated the researcher's knowledge. It was possible to integrate photo-interpretation principles in the digital image processing. This methodology used contextual operators and allowed us to generate a detailed land use map, creating the possibility of analysis based on euclidean and fractal geometries. Landsat and Spot data were also integrated in this investigation. NDVI-Landsat (Normalized Differential Vegetation Index) showed good relation to land use, becoming an attractive alternative for rapid quality evaluation of landscape units above 0,5 hectares. Fractal geometry evidenced an association between the urban morphologies and the amount and typology of the vegetation, with possible implications to the environmental and life quality. Luiz Antônio City is deficient in private and street vegetation. Although residential areas contribute with most of vegetation cover in the urbanized area, the proportion of trees and shrub is of only 5,1%. Public green areas however, present tree and shrub cover about 54,4% and are responsible for approximately 25% of the total trees and shrub cover of the study area. The Green Area Ratio was about 14,9 m²/person. The availability of residential built-up area is 37,8 m²/person and there is no indication of habitation crowd. However, the greatest challenge seems to be the establishment of a density model that moderates the land imperviousness rate. The integrated analysis of many descriptors of urban quality showed patterns and processes relative to *density of the urban structures, development of the vegetation and of the urban design* and a *natural/rural/urban gradient*. Additionally, this study allowed the analysis of possibilities and limitations for urban growth for Luiz Antônio City.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 POLUIÇÃO E CLIMA NAS CIDADES	1
1.2 A BIOTA NAS CIDADES	2
1.3 OS SERVIÇOS DAS ÁREAS NATURAIS NO ESPAÇO URBANO	4
1.4 GEOPROCESSAMENTO EM ESTUDOS AMBIENTAIS URBANOS	5
1.5 AS FOTOGRAFIAS AÉREAS DE PEQUENO FORMATO (FAPF) NO PLANEJAMENTO AMBIENTAL	7
1.6 OBJETIVOS	8
1.6.1 <i>Objetivo geral</i>	8
1.6.2 <i>Objetivos específicos</i>	9
2 METODOLOGIA	10
2.1 ÁREA DE ESTUDO	10
2.2 TERMINOLOGIA EMPREGADA	12
2.3 RECURSOS COMPUTACIONAIS	14
2.4 AQUISIÇÃO DE DADOS	14
2.4.1 <i>Incorporação das bases municipais</i>	14
2.4.2 <i>Sensoriamento remoto</i>	15
2.4.2.1 <i>Fotografias aéreas ortogonais</i>	15
2.5 TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS E MODELAGEM GEOGRÁFICA	18
2.5.1 <i>Fotomosaico e decomposição espectral</i>	18
2.5.2 <i>Correção radiométrica</i>	18
2.5.3 <i>Fotointerpretação e atividades de campo</i>	19
2.5.4 <i>Unidades da Paisagem e delimitação das Unidades de Estudo (UEs)</i>	20
2.5.5 <i>Classificação supervisionada</i>	20
2.5.6 <i>Emprego de modelos probabilísticos, friccionais e contextuais na classificação do uso do solo</i>	21
2.5.6.1 <i>Incorporação do conhecimento ou convicção do pesquisador no processo classificatório</i>	21
2.5.6.2 <i>Incorporação de aspectos contextuais e modelos friccionais no processo classificatório</i>	24
2.5.6.3 <i>Procedimentos pós-classificatórios e montagem de bancos de dados</i>	26
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
3.1 FOTOMOSAICO DA CIDADE DE LUIZ ANTÔNIO	29
3.2 CARACTERIZAÇÃO DE UNIDADES DE ESTUDO (UES)	31
3.3 CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS SOBRE O PROCESSAMENTO DIGITAL DE FOTOGRAFIAS AÉREAS	35
3.3.1 <i>Avaliação da classificação supervisionada e perspectivas metodológicas</i>	37
3.4 USO DO SOLO EM LUIZ ANTÔNIO	40
3.4.1 <i>Aspectos gerais</i>	40
3.4.2 <i>A vegetação e a permeabilidade do solo urbano</i>	44
3.4.2.1 <i>A cobertura arbórea/arbustiva e as áreas permeáveis frente à forma de ocupação do solo urbano</i>	47
3.4.2.2 <i>As manchas de vegetação arbórea/arbustiva</i>	50
3.4.2.3 <i>INDV (índice normalizado das diferenças na vegetação) e o Uso do Solo</i>	52
3.4.3 <i>Habitacões, edificações e impermeabilização do solo</i>	54
3.4.4 <i>Dimensão fractal</i>	57
3.5 QUALIDADE DO AMBIENTE E DE VIDA	60
3.5.1 <i>Aspectos demográficos e densidades</i>	61
3.5.2 <i>Indicadores de qualidade</i>	64
3.6 PADRÕES E PROCESSOS NA URBANIZAÇÃO	70
3.7 PERSPECTIVAS PARA O ADENSAMENTO E À EXPANSÃO URBANA	76
3.7.1 <i>Os loteamentos populares e o adensamento urbano</i>	76
3.7.2 <i>Expansão urbana</i>	81
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
6 ANEXOS	100

Lista de Equações, Quadros, Tabelas e Figuras

Equação 1: Correção radiométrica baseada na equalização de histogramas	19
Equação 2: Curva sigmoidal proposta para cálculo de probabilidades a priori	24
Quadro I: Informações de sensores remotos utilizadas na análise de padrões e processos em Luiz Antônio, suas características básicas e finalidades.	16
Quadro II: Princípios utilizados na foto-interpretação e exemplos aplicáveis	22
Quadro III: Confusões espectrais entre classes de Uso do Solo e os critérios e modelos utilizados na resolução dos conflitos.....	23
Quadro IV: Tipologia de biótopos empregada em Luiz Antônio.....	32
Quadro V: Síntese das principais características a serem avaliadas visando subsidiar a expansão urbana em Luiz Antônio.....	85
Tabela I: Análise da exatidão da classificação supervisionada com a incorporação de aspectos contextuais e conhecimento/convicção do pesquisador.....	37
Tabela II: Ocupação, permeabilidade e cobertura arbórea obtidos para Luiz Antônio comparados a valores de 67 cidades no mundo.	48
Tabela III: Distribuição das manchas de vegetação arbórea/arbustiva segundo a sua tipologia.....	50
Tabela IV: Valores de densidade populacional para algumas cidades brasileiras	63
Tabela V: Parâmetros relacionados à qualidade ambiental e de vida para Luiz Antônio.	66
Figura 1: Localização do município e área urbana de Luiz Antônio no Estado de São Paulo	11
Figura 2: Evolução demográfica do Município de Luiz Antônio.....	12
Figura 3: Categorização adotada para as estruturas e os espaços urbanos em Luiz Antônio.....	13
Figura 4: Equipamento utilizado na tomada de fotografias aéreas ortogonais.....	17
Figura 5: Exemplos de curvas sigmoidais para cálculo de probabilidades	24
Figura 6: As análises das vizinhanças dos pixels são conhecidas como Operações de Contexto ou Contextuais e são realizadas pela delimitação de uma janela de tamanho definido (geralmente 3x3, 5x5 ou 7x7 pixels) que se move ao longo de toda a imagem.	25
Figura 7: Representação do procedimento classificatório utilizado.....	25
Figura 8: Fotomosaico da cidade de Luiz Antônio e toponímias.....	30
Figura 9: Caracterização das Unidades de Estudo (UEs) em função da tipologia de biótopos empregada	33
Figura 10: Distribuição da área e do número de Unidades de Estudo (UEs) em relação à tipologia de biótopos empregada	34
Figura 11: Carta de Uso do Solo da cidade de Luiz Antônio	41
Figura 12: Distribuição percentual das Classes de Usos do solo por Unidade de Estudo (UE).....	42
Figura 13: Percentual de área ocupado pelas classes de Uso do Solo para toda a área de estudo (a) e somente para as áreas tipicamente residenciais (b)	43
Figura 14: Caracterização das Unidades de Estudo com base na cobertura vegetal, impermeabilização e INDV (Índice Normalizado das Diferenças na Vegetação)	45
Figura 15: Caracterização das Unidades de Estudo com base na tipologia da vegetação arbórea/arbustiva	46

Figura 16: Resposta do INDV-Landsat (Índice Normalizado das Diferenças na Vegetação) em função do Uso do Solo para as Unidades de Estudo (UEs)	53
Figura 17: Caracterização das Unidades de Estudo com base nas áreas edificadas e na impermeabilização das áreas livres.....	55
Figura 18: Dimensão fractal (D) para classes de uso do solo em Luiz Antônio	59
Figura 19: Ilustração do efeito da complexidade da forma sobre a dimensão fractal (D) para algumas classes de uso do solo numa mesma região de Luiz Antônio.....	59
Figura 20: Análise de Componentes Principais (PCA) para as Unidades de Estudo (UE).....	72
Figura 21: Padrões e processos no uso do solo obtidos para Luiz Antônio segundo o gradiente de urbanização. 74	
Figura 22: Drenagem, hipsometria, clinografia das Unidades de Estudo e representações tridimensionais do terreno	78
Figura 23: Taxas de evapotranspiração, escoamento superficial e infiltração da água pluvial para diferentes intensidades de impermeabilização do solo.	80
Figura 24: Degradação de um fragmento de vegetação natural nas proximidades do núcleo urbano de Luiz Antônio.....	82
Figura 25: Recursos naturais no entorno de Luiz Antônio e limites ao crescimento urbano; o fotomosaico foi sobreposto à uma imagem pancromática do satélite Spot do ano de 1995	83

Lista de Símbolos

BH:	Bacia hidrográfica
CIR:	Fotografia infravermelha colorida (colour infrared)
D:	Dimensão fractal
DH:	Densidade Habitacional
DP:	Densidade Populacional
FAPF:	Fotografia aérea de pequeno formato
ha:	Hectare(s), equivalente a 0,01 Km ² ou 10.000 m ²
hab:	Habitantes
HH:	Habitantes por Habitação
IAE:	Índice de Área Edificada
IAV:	Índice de Áreas Verdes
ICV:	Índice de Cobertura Vegetal Arbórea/Arbustiva
IF:	Índice de Forma
II:	Índice de impermeabilização
km:	Quilômetros
m:	Metros
INDV:	Índice normalizado das diferenças na vegetação (Normalized Differential Vegetation Index)
PAE:	Percentual de Áreas Edificadas
PAV:	Percentual de Áreas Verdes
PCA:	Análise de componentes principais
PCV:	Percentual de Cobertura Vegetal Arbórea Arbustiva
PDUR:	Percentual destinado ao uso residencial
PEAI:	Percentual de Edificação das Áreas Impermeáveis
PI:	Percentual de Impermeabilização
PIAL:	Percentual de Impermeabilização das Áreas Livres
SIG:	Sistema de Informações Geográficas
TMH:	Tamanho Médio da Habitação
UE:	Unidade de Estudo

1 Introdução

De acordo com as Nações Unidas, em 1990 37% da população mundial residia em áreas urbanas, com um prognóstico de elevação para 61% até o ano de 2025 (IDB, 1997). No Brasil, a taxa de urbanização já atingiu 75% na década passada (IBGE, 1991) e os dados preliminares do censo 2000 indicam que 81,2% dos brasileiros residem em áreas urbanas (IBGE, 2000).

Os processos de crescimento e adensamento populacional urbano, geralmente associados à industrialização, são considerados como sinônimos do desenvolvimento. Contudo, BRANCO (1984), ao considerar que o desenvolvimento é "*um processo que tem por objetivo final e insofismável elevar o grau de felicidade comum*", observa a existência de quatro facetas integrantes do desenvolvimento: econômica, ambiental, social e cultural. Mais recentemente, o termo *desenvolvimento sustentável* ganhou lugar na mídia popular e científica, estando relacionado à formulação de estratégias que aliem as demandas da sociedade aos objetivos de perpetuidade das estruturas, processos e diversidade natural. Contudo, mesmo para muitos tomadores de decisão, os quais fazem largo emprego do termo *desenvolvimento sustentável*, a falta de concepção sobre sustentabilidade ainda é uma constante (LEAL FILHO, 2000).

Uma concepção de desenvolvimento justo, aceitável e sólido em termos sociais, éticos, econômicos e ecológicos se defronta ainda com o fato de que a sustentabilidade somente pode ser avaliada mediante maiores escalas de tempo e espaço. Neste contexto, a sustentabilidade representa um conceito de difícil aplicação para áreas urbanas, dada a elevada dinâmica e a dependência de recursos externos. Assim, torna-se fundamental a análise da cidade no seu contexto geográfico, tanto quanto o estudo das estruturas tipicamente urbanas, visando o estabelecimento de formas de crescimento e adensamento compatíveis com as metas de desenvolvimento sustentável numa escala espacial mais ampla.

1.1 Poluição e clima nas cidades

A cidade é um sistema heterotrófico com elevadas taxas metabólicas e intensamente modificado e está submetida a alterações climáticas que a distinguem do ambiente natural e rural. O homem urbano requer elevadas quantidades de energia, alimento, água e ar, além de inúmeros bens e serviços oriundos dos ecossistemas naturais e rurais. Em contrapartida, as saídas urbanas são tóxicas e ricas em gases como o CO₂, CO, SO_x, NO_x HC_x, além de

materiais particulados das mais variadas origens. O efluente industrial e sanitário também é rico em fósforo, nitrogênio e metais pesados. Outras fontes de poluição têm sua origem nos intensos processos erosivos que resultam no assoreamento de corpos d'água e na perda de recursos hídricos (NEWMAN, 1999; ODUM, 1985). O desgaste das construções, automóveis e diversos materiais propicia o desenvolvimento de um solo com características singulares; as elevadas concentrações de boro, cobre, chumbo e zinco no solo (GILBERT, 1991, LIND & KARRO 1995), a alcalinidade decorrente da lixiviação do calcário das construções (CAVALHEIRO, 1991; McDONNEL & PICKETT, 1990) mesclam-se aos fatores físicos, tais como hidrofobia e compactação do solo e determinam aspectos pedológicos distintos do meio rural circundante.

As elevadas taxas de impermeabilização do solo são uma constante na nossa cultura latina e têm seus efeitos sobre o regime hidrológico, determinando a redução nas taxas de evapotranspiração e na umidade do ar, além de favorecer os eventos de inundações. A prática da canalização dos cursos d'água e a impermeabilização dos fundos de vale potencializa os riscos de inundação, promove alterações geomorfológicas profundas e afeta a capacidade autodepurativa dos rios (HUPP, 1992).

O sistema de transporte urbano, muitas vezes conjugado a um desenho de vias marginais, estoca grande quantidade de materiais gerados no desgaste físico dos automóveis; este quadro é agravado pelo uso de herbicidas de amplo espectro e queimadas junto às estradas e pela emissão de poluentes gerados durante a combustão e nos postos de serviços (vazamento de tanques de combustível, lavagem de automóveis, etc.).

As condições insalubres que perpetuam em áreas urbanas altamente adensadas estão relacionadas a muitas doenças e sintomas, como pneumonia, bronquite, asma aguda e crônica, câncer, doenças ósseas, dores de cabeça, cansaço, palpitações, vertigens, diminuição dos reflexos, irritação nos olhos e nariz, problemas no sistema nervoso central e endemias diversas.

1.2 A biota nas cidades

A Teoria de Biogeografia de Ilhas (MacARTHUR & WILSON, 1967) e, mais recentemente, a Ecologia da Paisagem, (FORMAN & GODRON, 1981; 1986) fornecem importantes conceitos para a compreensão da estrutura e dinâmica biológica no ambiente urbano. A arborização viária como corredores biológicos e a insularidade dos parques urbanos são temas

de diversos estudos. A concepção de um gradiente urbano-rural (McDONNELL & PICKETT, 1990) tem sido utilizada no estudo de diversos grupos. Davis (1979) *apud* (GILBERT, 1991) detectou um gradiente segundo o qual o número de espécies de artrópodes aumenta em relação à distância do centro da cidade de Londres. O gradiente também é evidenciado na estrutura florística, com efeitos sobre o percentual de cobertura vegetal, a riqueza de plantas vasculares, exóticas e espécies raras (GILBERT, 1991).

De forma geral, a urbanização atua sobre diversos parâmetros da fauna e flora nativas, tais como tamanho, estrutura, sucessão, taxas de crescimento e deriva genética das populações e comunidades, mortalidade, longevidade e alterações fenológicas e comportamentais dos organismos (McDONNELL & PICKETT, 1990; FORMAN & GODRON, 1986). A urbanização implica na criação de novos nichos e permite o desenvolvimento de organismos que se adaptaram a viver perto do homem, bem como daquelas espécies tolerantes aos distúrbios e com elevadas amplitudes ecológicas. Os líquens são organismos sensíveis à poluição e sua distribuição apresenta estreita relação com a intensidade da urbanização, constituindo um grupo extremamente atrativo para fins de bioindicação (TROPPEMAIR, 1988). A adaptação comportamental para o ambiente urbano inclui a diminuição do "home-range" (área de vida) dos organismos, geralmente omnívoros e com hábito noturno ou crepuscular. Emergem também novas propriedades ecológicas em função da não existência de inimigos naturais para determinados grupos biológicos (GILBERT 1991).

As populações de anfíbios são severamente comprometidas pela poluição dos recursos hídricos. Organismos terrestres são igualmente afetados na urbanização e o sucesso de algumas espécies, como os ratos e baratas, está diretamente vinculado à utilização das redes subterrâneas nos processos migratórios. As aves representam o grupo de vertebrados mais eficiente na ocupação dos espaços urbanos; sua maior mobilidade permite atingir facilmente áreas de alimentação, repouso, nidificação e abrigo, mesmo fora do ambiente urbano. Processo semelhante ocorre com os morcegos, que juntamente com os ratos, podem representar até 50% do número total de mamíferos urbanos (ADAMS & DOVE, 1989; GILBERT 1991).

Os insetos necessitam de ambiente diversificado em função das várias fases do desenvolvimento ontogenético. Esta diversidade é encontrada nos vasos de flores, pneus e vasilhas com água acumulada, áreas verdes, jardins, interior de casas, rede de esgoto, lagos,

etc. Nos parques urbanos a diversidade de insetos é relacionada à idade e do tamanho dos espaços verdes (GILBERT 1991).

1.3 Os serviços das áreas naturais no espaço urbano

A relação entre a urbanização e os aspectos climáticos e atmosféricos, como a concentração de particulados no ar, a formação de ilhas de calor, inversão térmica, alterações da umidade relativa do ar, ventos, pluviosidade, radiação e chuvas ácidas, tem sido tema de diversos estudos. O efeito dos parques urbanos sobre estas variáveis também é foco de pesquisas que mostram que as áreas arborizadas de grandes extensões são responsáveis por uma atenuação térmica geralmente não inferior a 2 e 3° C, podendo atingir valores próximos a 6-8° C. Medidas de temperatura do ar em um parque urbano com menos de 1 ha, em São Carlos, SP (HENKE-OLIVEIRA & SANTOS, não publicado) mostraram que o efeito de redução térmica local em relação ao entorno atinge 2,3°C no inverno. Diferentes estudos mostram ainda que o efeito dos parques sobre as variáveis climáticas propaga-se pelas áreas circundantes, podendo ser observado até distâncias entre centenas de metros até 2 quilômetros a partir da borda do parque (GILBERT, 1991; GOMEZ *et al.*, 1998; HONJO & TAKAKURA, 1991; JAUREGUI, 1991; KLIASS, 1990; LANDSBERG, 1970; MIZUNO *et al.*, 1991; SAITO *et al.* 1991; UPMANIS *et al.*, 1998; USDA, 2001).

BOLUND & HUNHAMMAR (1999) discriminam os ecossistemas urbanos em árvores de rua, gramados e parques, florestas urbanas, terras cultivadas, áreas alagáveis, córregos, lagos / mar, os quais são responsáveis pela geração de serviços locais e diretos relacionados à filtração do ar, regulação micro climática, redução do ruído, drenagem da água pluvial, tratamento de efluentes, recreação e valores culturais. Em vários casos, estes serviços são traduzidos em termos de conforto térmico, lúmnico e acústico. Recentemente tem sido dada muita atenção na valoração econômica das funções ecológicas do meio urbano, sobretudo em relação à amenização climática, redução do consumo de energia para refrigeração e seqüestro de CO₂ atmosférico. Os benefícios diretos do sombreamento de 11 milhões de árvores plantadas em Los Angeles (EUA) deverão resultar numa redução anual de 50 US\$ milhões nas tarifas de energia. Estes benefícios equivalem a uma economia de 4,55 US\$ por árvore (Rosenfeld, 1996 *apud* USDA, 2001). Considerando-se adicionalmente outros serviços diretos e assumindo-se 20 anos de serviços contínuos, o valor presente para cada árvore é de US\$ 211.

Para Sacramento (EUA) estimou-se uma economia de aproximadamente 12% na energia despendida em condicionamento de ar em função do sombreamento e da refrigeração promovidos pelas árvores; a relação benefício/custo calculada é de 2,2 (Simpson & McPherson, 1995, 1996 *apud* USDA, 2001). Para Los Angeles, incluindo-se vários serviços, a relação benefício/custo chega a atingir 6,0 (Rosenfeld 1996 *apud* USDA, 2001).

Os benefícios da vegetação urbana também se estendem ao mercado imobiliário; TYRVÄINEN (1997) demonstrou os efeitos da distância entre as áreas residenciais e os cursos d'água e áreas de recreação sobre o valor dos apartamentos. Imóveis próximos às áreas verdes têm um valor agregado 5-15% superior que em áreas desprovidas de arborização (KIELBASO, 1994).

1.4 Geoprocessamento em estudos ambientais urbanos

Uma grande parte da bibliografia voltada aos aspectos metodológicos empregados nesta pesquisa pode ser considerada bastante recente. Os artigos que versam sobre métodos sofisticados no processamento digital de imagens, e mais especificamente sobre as Fotografias Aéreas de Pequeno Formato (FAPF) e suas aplicações, são, na sua maioria, posteriores a 1997. Estas considerações justificam inserções de comentários metodológicos em vários pontos deste. No entanto, não propõe-se a discussão metodológica aprofundada, mas apenas ênfase nos aspectos mais relevantes e fundamentais para a adequada compreensão da metodologia e das informações oriundas de sua aplicação.

As técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto têm sido amplamente empregadas em estudos urbanos. Uma grande parte dos mapeamentos detalhados está orientada à atualização cadastral imobiliária, tendo prioritariamente uma finalidade tributária. Os estudos de arborização urbana são, na maioria, voltados ao cadastro e manejo da arborização de ruas e contemplam os interesses específicos das empresas de distribuição de eletricidade e serviços municipais de abastecimento de água e esgoto, sobretudo em relação aos conflitos entre a arborização urbana e os sistemas de redes aérea (eletricidade, telefone, etc.) e subterrânea (tubulações). As investigações acerca das áreas verdes urbanas são geralmente orientadas aos espaços públicos; poucos são os estudos que contemplam o componente arbóreo das áreas particulares, como os fundos de quintal, vegetação de fachada e chácaras.

Mais raros ainda são os estudos que apresentam uma abordagem ecológica voltada ao detalhamento e entendimento dos padrões e processos no uso do solo. A baixa resolução dos

sensores orbitais dos satélites Landsat (30 m) e Spot (10 - 20 m) limitam o seu emprego em muitas aplicações e tornam o mapeamento urbano dispendioso frente ao elevado custo para realização de levantamento aerofotogramétrico.

Dentre os mapeamentos sistemáticos do uso do solo disponíveis, uma abordagem comparativa enfrenta adicionalmente a dificuldade de que a escala de mapeamento difere de acordo com o tamanho das cidades. Aqueles estudos que utilizam escalas compatíveis com o estudo aqui realizado, geralmente não abordam a urbe na sua totalidade; ao contrário, freqüentemente retratam o uso do solo de apenas uma pequena área, quando não de apenas algumas fotografias aéreas, com finalidade de desenvolvimento e teste metodológico. Numa análise comparativa entre diferentes paisagens urbanas, tais dificuldades são também potencializadas pela ampla diversificação nos modelos de desenvolvimento urbano em escala global, regional ou local. Aspectos históricos, naturais, culturais, sócio-econômicos, religiosos e legais, tanto quanto a elevada dinâmica das cidades, influenciam enormemente os desenhos urbanos e criam cenários cuja qualificação torna-se complexa sob o ponto de vista científico.

A elevada complexidade de formas, típica para muitos elementos urbanos, dificulta ou inviabiliza a classificação manual de fotografias aéreas. A digitalização em tela, com uso de "mouse", somente é viável para elementos isolados e com formas menos complexas, como edificações e ruas. O tempo de digitalização é elevado para elementos que apresentam borda complexa, como jardins e áreas de solo exposto e superfícies diversas. Tal limitação tende a elevar-se à medida em que amplia-se o número de classes, pois a existência de elementos adjacentes ou contíguos e de classes distintas, exige a utilização de procedimentos mais complexos e onerosos de digitalização. Os custos estimados para a Europa Ocidental envolvendo somente a etapa de digitalização de fotografias aéreas é de aproximadamente 35 US\$ por hectare (FRANKHOUSER, 1999). No Brasil o custo do mapeamento urbano, incluindo a realização de levantamento aéreo varia entre 22 e 180 R\$ por hectare, dependendo da escala do levantamento (FATOR GIS, 2001).

Somente nos últimos anos puderam ser utilizadas técnicas digitais de tratamento de imagens com elevado detalhamento espacial, principalmente em função da indisponibilidade de algoritmos apropriados e das limitações de capacidade de armazenamento de dados e processamento dos computadores mais antigos. Mesmo diante da disponibilidade de fotografias coloridas e imagens de sensores multi-espectrais aerotransportados, os métodos

convencionais de classificação supervisionada apresentam eficácia duvidosa em função das confusões espectrais entre diferentes usos do solo.

1.5 As Fotografias Aéreas de Pequeno Formato (FAPF) no planejamento ambiental

Desde sua origem, com finalidades exclusivamente bélicas, as fotografias aéreas passaram por uma série de melhorias proporcionadas pelo desenvolvimento de câmaras fotográficas sofisticadas e dotadas de uma refinada tecnologia óptica. Filmes especiais e técnicas de restituição cartográfica permitem o seu emprego atualmente em praticamente todas as atividades de mapeamento para diferentes escalas cartográficas. Nos últimos anos, o uso de fotografias infravermelhas coloridas (*CIR - colour infrared*), videografia, dentre outras tecnologias, surgiram como alternativas ao emprego de fotografias aéreas convencionais coloridas e pancromáticas (preto e branco). Computadores portáteis, combinados às câmaras digitais e a tecnologia GPS diferencial em tempo real (RDGPS), tem sido empregados com sucesso e agilidade na aquisição de dados com a vantagem adicional de já dispor as informações no formato digital, facilitando assim a mosaicagem (HIPPI *et al.*, 2001). Em 1999 iniciou-se a comercialização das imagens do satélite *IKONOS*, com resolução de 1 e 4 metros para imagens pancromáticas e multi-espectrais, respectivamente. No entanto, as informações de sensores orbitais e digitais aerotransportados ainda não atingiram um padrão de qualidade e acessibilidade que resultasse no desuso das fotografias aéreas convencionais. As fotografias aéreas ainda constituem o material mais adequado para fins de mapeamento urbano.

As Fotografias Aéreas de Pequeno Formato (FAPF) são registros obtidos com câmaras para filmes de 35 x 24 mm, diferindo das câmaras aerofotogramétricas convencionais (230 x 230 mm). Um dos maiores problemas no uso das FAPF tem sido saber o real valor do material gerado em relação à exatidão e precisão das informações derivadas diante da diversidade de aplicações requeridas. Alguns estudos apontam algumas vantagens e desvantagens do uso das FAPF (ARAUJO *et al.* 1999; CÔRTEZ, 1999; HAM, 1996 HENKE-OLIVEIRA, *et al.* 1998).

WARNER *et al.* (1996) realizaram uma revisão sobre métodos, equipamentos e propriedades das FAPF, destacando que o baixo custo deste tipo de levantamento não implica na simplicidade de sua realização. RIVELLA (1999) destaca que as principais facilidades em operar com FAPF são a acessibilidade às câmaras, a sua portabilidade, ampla opção de filmes

e químicos, altas velocidades do obturador, manejo simples e custos reduzidos, destacando ainda que as FAPF estão ao alcance de qualquer pequena empresa ou profissional independente. Adicionalmente a realização de levantamentos com FAPF tem sido estimulada pelo aparecimento da tecnologia GPS (*Geographic Positioning System*), visto que a navegação deve ser mais precisa em decorrência das propriedades intrínsecas dos equipamentos fotográficos empregados. De uma forma geral, quanto maior for o ângulo de visão da câmara, maior será a distorção geométrica. Isto abre dois caminhos possíveis para um levantamento com emprego de FAPF para uma dada escala cartográfica: trabalhar com baixos ângulos de abertura e estar submetido a maiores restrições relativas à navegação; ou trabalhar com maiores ângulos de visão, sem grandes problemas de navegação, contudo, estando submetido a elevadas distorções geométricas. As FAPF apresentam uma limitação com relação à realização de ampliações para distintas escalas; dependendo do filme empregado, ampliações fotográficas acima de 20 x 30 cm implicam na granulação da fotografia, impossibilitando o seu uso para alguns fins que requerem a análise de objetos de pequenas dimensões. Estes problemas não são enfrentados com câmaras métricas profissionais, as quais trabalham geralmente com maiores ângulos de abertura, mas devido ao refinamento da ótica empregada, não apresentam as típicas distorções das FAPFs. Desta forma, o vôo com câmaras métricas é realizado em menores altitudes, facilitando navegação visual; a diminuição do efeito dos erros de posicionamento por deriva por ventos ou pequenos desvios de orientação não justificam a obrigatoriedade do uso de GPS. Os negativos podem ser utilizados para ampliações fotográficas, permitindo a obtenção de fotografias em escalas altamente detalhadas sem perda de detalhamento.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo geral

Este estudo visa a identificação de padrões e processos relacionados ao uso do solo, à vegetação e ao crescimento e adensamento urbanos, enquanto contribuição para o entendimento da estrutura e dinâmica das cidades numa perspectiva ecológica, bem como para o fornecimento de subsídios ao planejamento urbano do Município de Luiz Antônio (SP).

1.6.2 Objetivos específicos

- Realizar um levantamento fotográfico aéreo ortogonal com fotografias aéreas de pequeno formato (FAPF) mediante algumas adaptações metodológicas e avaliar a viabilidade e o potencial de emprego deste material no estudo de padrões e processos ecológicos em escalas detalhadas;
- Integrar os recursos já disponibilizados nos SIGs (Sistemas de Informação Geográfica) para o desenvolvimento, aplicação e avaliação de técnicas de classificação automática de imagens digitais (fotografias aéreas escanizadas) no mapeamento do uso do solo urbano.
- Inferir sobre o uso do solo e indicadores derivados relacionados à arborização, impermeabilização do solo e habitação para 3 escalas distintas: urbana, ocupacional e por unidades de biótopos.
- Avaliar a arborização em suas diversas tipologias (viária, de fachada, interior de quadra, parques públicos e rural), categorias (arbórea/arbustiva e herbácea/gramados/pastagens), geometrias e distribuição.
- Avaliar o potencial de emprego do TM-Landsat e outros sensores de baixa resolução geométrica na indicação da qualidade de biótopos urbanos pela análise conjunta das informações derivadas de sensores orbitais e aerotransportados.
- Fomentar a discussão sobre o adensamento urbano, nas suas diferentes formas, intensidades e contextos sociais, e sua influência nos aspectos ambientais, populacionais e habitacionais, contribuindo assim para subsidiar a adoção de modelos de crescimento e adensamento, à médio e longo prazos, e que estejam orientados à qualidade de vida e do ambiente em Luiz Antônio.

2 Metodologia

2.1 Área de estudo

A área selecionada para o presente estudo compreende a Cidade de Luiz Antônio, incluindo a área urbanizada, em urbanização e entorno imediato. Localizada em território pertencente a São Simão e entre as coordenadas 21°20' e 21°55' de latitude sul e 47°35' e 47°55' de longitude oeste (Figura 1), teve sua origem em 1892 quando o farmacêutico Carlos Loyola montou uma venda com artigos de primeira necessidade. A Vila Jatay, como era conhecida, passou em 1937 à categoria de distrito, sendo então denominada de Luiz Antônio, em homenagem a Luiz Antônio Junqueira, um fazendeiro e líder político local (BARBATANA, 2000; EPTV, 2000). O desenvolvimento alcooleiro da região durante a década de 80 foi acompanhado pelo surgimento da cultura de cana-de-açúcar. Mais recentemente, a implantação da CELPAV (Celulose e Papel Votorantin) promoveu o desenvolvimento de extensas áreas de silvicultura, representadas principalmente pelo plantio de *Eucalyptus spp.*

Segundo projeções censitárias, Luiz Antônio contava com uma população total de 7.075 habitantes em 1997, ano no qual o presente estudo está referenciado. Deste total 6.439 eram de assentamento urbano (SEADE, 2000). Até a década de 80 a população urbana era inferior à rural, a partir de então a taxa de urbanização sofreu uma inversão (Figura 2).

Em 1985, o setor industrial ocupava 4% da população, o comércio 1% e o de serviços apenas 0,5% (IBGE, 1991). Este quadro foi alterado significativamente nos últimos anos, sendo observado um elevado crescimento urbano, causado, dentre outros fatores, pelo desenvolvimento industrial no município. Atualmente a economia do município é baseada na agricultura altamente tecnificada da cana-de-açúcar e citricultura. O setor secundário é relativamente fraco, limitando-se a pequenas instalações de comércio e serviços. No setor terciário destacam-se duas indústrias, Celulose e Papel Votorantim (CELPAV) e Usina de Álcool e Açúcar Moreno (PIRES, 1995).

O núcleo urbano ocupa 141,4 ha. Se computada a área de chácaras, pequenas propriedades rurais e loteamentos em fase de implantação ao redor da cidade, tem-se uma superfície total de 358,3 ha. A cidade está localizada sobre latossolo vermelho escuro e latossolo roxo, nas proximidades das cabeceiras da microbacia hidrográfica do Ribeirão da Onça, a qual ocupa 12.820 ha (21,5%) do município (PIRES, 1995).

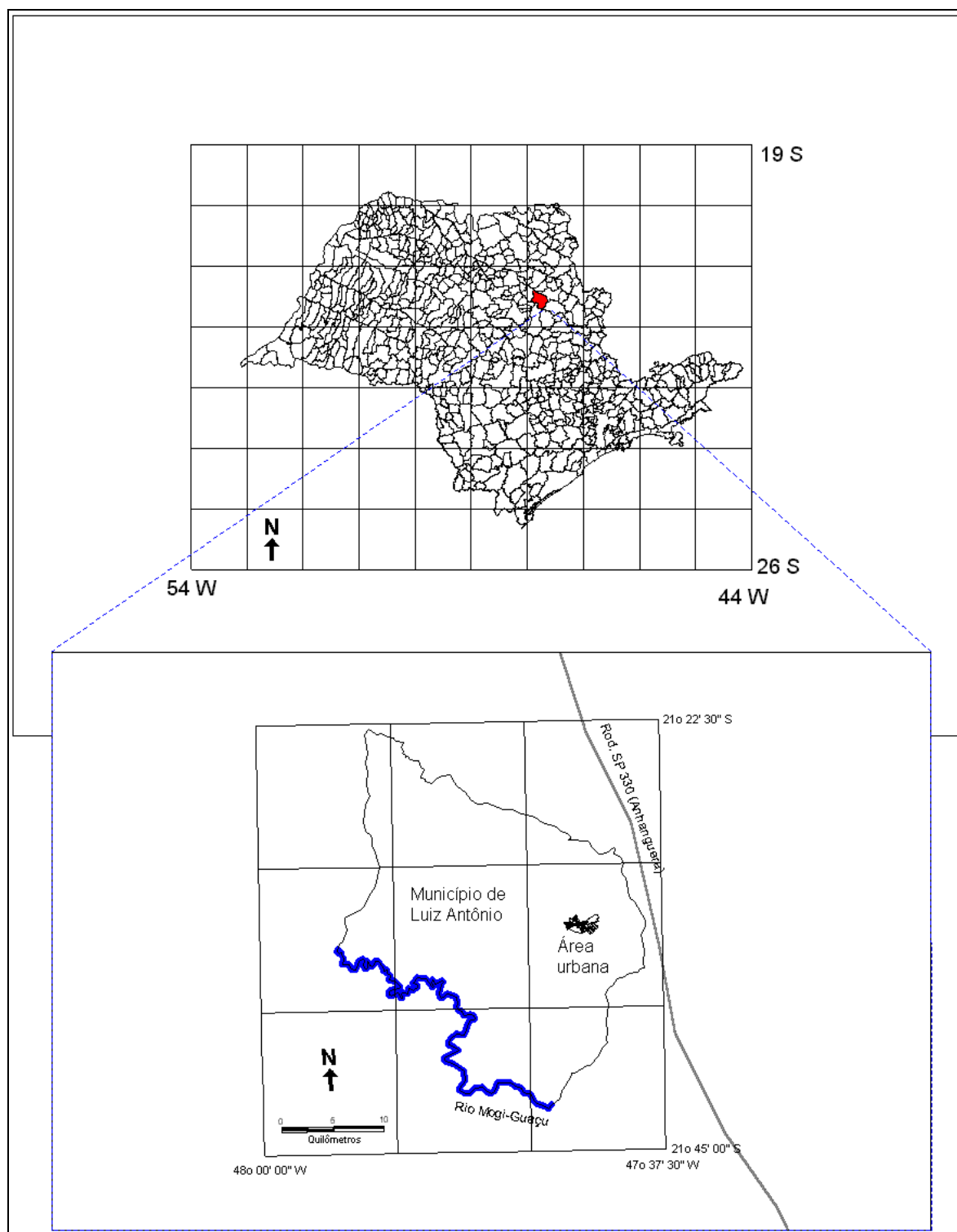


Figura 1: Localização do município e área urbana de Luiz Antônio no Estado de São Paulo. Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

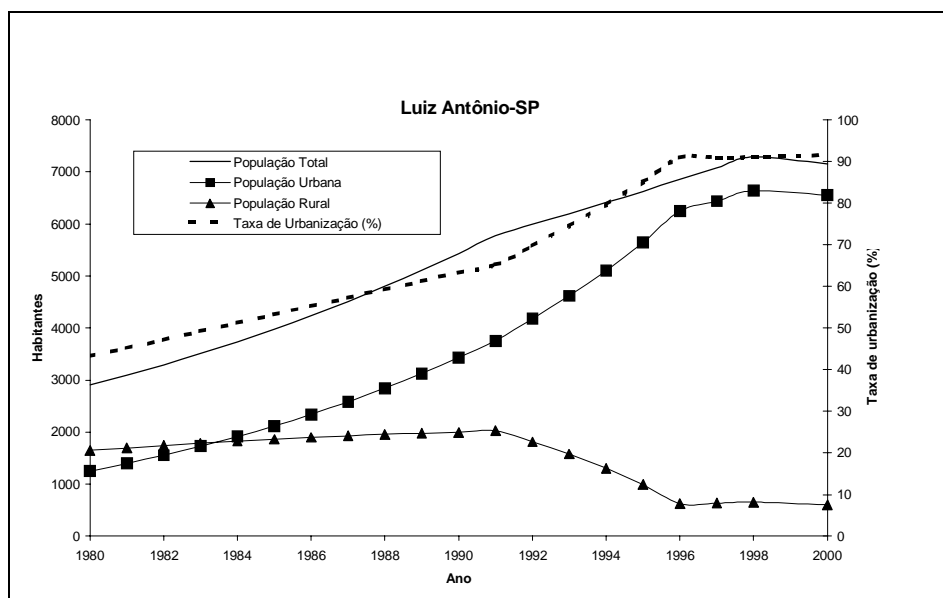


Figura 2: Evolução demográfica do Município de Luiz Antônio. Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001) a partir das informações censitárias (SEADE, 2000; IBGE 2000).

O clima é classificado como AW (SETZER, 1966), ou como Tropical de Brasil Central (NIMER, 1977), com verão chuvoso e inverno seco. As temperaturas médias na região são de 21,7°C, com médias máximas de 28,6° C e médias mínimas de 16,4° C. Predominam os ventos de S-SE-E, com 50% da frequência anual, seguidos por ventos de N-NO, com 25% de frequência. A frequência da calmarias é de 14%. Segundo dados do INMET (7° Distrito de Meteorologia - Estação São Simão) a pluviosidade média anual é de 1.433 mm (PIRES, 1995).

As áreas naturais, incluindo vegetação ripária, áreas alagáveis e úmidas, vegetação de encosta e cerrado, ocupam 31,6% da área do município, com especial destaque para a Estação Ecológica do Jataí, com 4.532,18 ha (PIRES, 1995; SANTOS, 2001).

2.2 Terminologia empregada

Em virtude da falta de definições amplamente aceitas sobre a terminologia empregada no presente estudo e visando o melhor entendimento dos dados aqui apresentados e seus significados, foi elaborada uma lista de convenções baseadas na Figura 3, como segue:

Vegetação arbórea/arbustiva: Em levantamentos fitossociológicos a diferenciação entre vegetação arbórea e arbustiva é geralmente realizada pela CAP (circunferência a altura do peito) ou pelo DAP (diâmetro a altura do peito), medidos a partir de um ou mais fustes a cerca

de 1,30 m da base do caule. No presente estudo, considera-se vegetação arbórea/arbustiva toda a vegetação que apresente copa isolada ou fusão de copas com diâmetro acima de 2,5 metros e apresente sombra projetada sobre o solo, indicando tratar-se de vegetação de altura mínima de 2 metros;

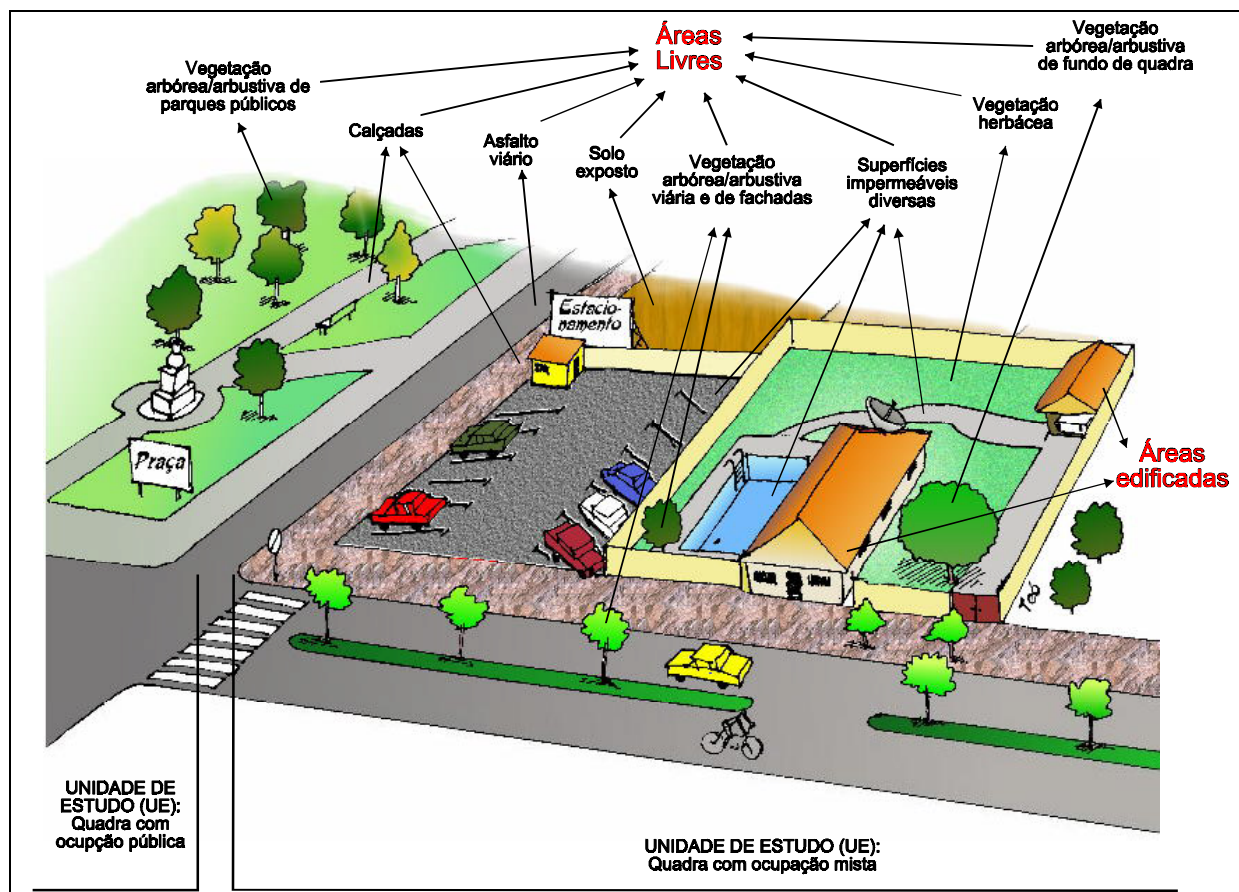


Figura 3: Categorização adotada para as estruturas e os espaços urbanos em Luiz Antônio. Desenho: Paulo Sérgio Maroti. Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

Vegetação herbácea/gramados/pastagens: Vegetação de baixo porte, geralmente bem representada por gramíneas, com sombra projetada praticamente ausente e com textura homogênea e coloração geralmente mais clara que a vegetação de porte arbóreo e arbustivo;

Áreas edificadas: Áreas representadas por casas, instalações comerciais e de serviços, galpões, garagens, marquises e coberturas, não incluindo as áreas adjacentes não cobertas por telhado, como calçadas e quintais;

Área livre: Toda área não edificada, seja pública ou privada, representando tanto as áreas pavimentadas (calçadas, asfalto viário, etc.) como as superfícies permeáveis (solo exposto, corpos de água e vegetação em suas diferentes formas);

Área impermeável: Toda área de calçada, edificada ou asfaltada;

Superfícies diversas: Todas as áreas impermeáveis, excluindo-se as áreas edificadas;

Solos: A terminologia "solos", utilizada isoladamente, refere-se às áreas de solo exposto, desprovido de cobertura vegetal ou pavimentação;

Unidades de Estudo (UE): Também denominadas por "Unidades da Paisagem", são subdivisões dos biótopos, representadas por áreas homogêneas (quadras, chácaras, terrenos baldios, etc.) delimitadas geralmente por infra-estrutura viária (ruas e estradas).

2.3 Recursos computacionais

O geoprocessamento teve suporte computacional dos Sistemas de Informações Geográficas IDRISI versões 2 e 32, CARTALINX 1.2 e MAPINFO 4.1. As análises estatísticas foram realizadas com o SYSTAT 5.0 e com o *add-in* XLSTAT para o Microsoft Excel. O *hardware* foi composto por um microcomputador Pentium 233 MHz, mesa digitalizadora VanGogh (93 x 63 cm de área útil), *ploter* HP HI-7100, *Zipdrive*, gravador de CD e impressora a jato de tinta. Nas atividades de campos foi empregado um receptor GPS (*Global Positioning System*) Garmin GPS40.

2.4 Aquisição de dados

2.4.1 Incorporação das bases municipais

As informações cartográficas relativas ao núcleo urbano e disponíveis junto à Prefeitura Municipal de Luiz Antônio foram submetidas a uma avaliação prévia e incorporadas num banco de dados inicial. Integraram tais informações, a hipsometria (base cartográfica IGC, 1:10.000), arruamentos, toponímias e projetos de loteamentos. Também foram anexadas as informações de PIRES (1995), relativas à hipsometria e à hidrografia municipal na base cartográfica do IBGE em escala 1:50.000. Sempre que possível, as informações censitárias incorporadas foram relativas às projeções para o ano de 1997, ano de aquisição das fotografias

aéreas empregadas neste estudo. Apesar do uso de informações do censo, os "setores censitários" não foram utilizados como unidades de estudo.

2.4.2 Sensoriamento remoto

Informações de sensoriamento remoto foram utilizadas segundo o Quadro I. A maior parte do trabalho foi realizado com dados derivados das fotografias aéreas. As imagens do satélite Spot foram apenas utilizadas na análise do entorno do núcleo urbano, nas atividades voltadas ao fornecimento de subsídio ao processo de expansão urbana por meio do mapeamento dos recursos naturais, riscos e limitações ao crescimento. Uma imagem do satélite Landsat foi empregada em testes voltados à adequação de técnicas alternativas para diagnóstico ambiental em regiões urbanas por meio do INDV¹ (Índice Normalizado das Diferenças na Vegetação).

2.4.2.1 Fotografias aéreas ortogonais

As fotografias aéreas compreendem o material mais adequado para o estudo detalhado do ambiente urbano. Sua resolução varia com as características do levantamento aéreo e das ampliações fotográficas. No presente estudo, foi realizado um levantamento aerofotográfico (Quadro I) com câmara fotográfica de pequeno formato (35 mm), segundo os ensaios realizados anteriormente (HENKE-OLIVEIRA *et al.*, 1998).

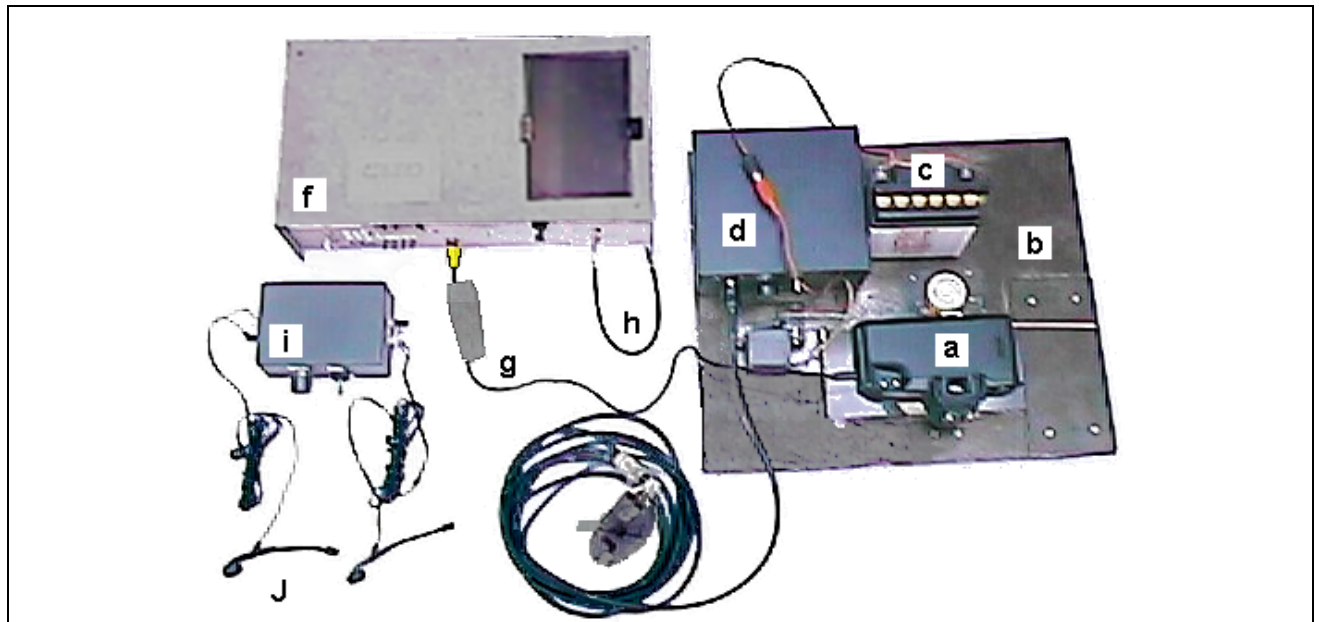
A plataforma utilizada foi um avião monomotor EMB 712 - Tupi (Embraer) com uma abertura na parte inferior e adaptado para o equipamento fotográfico (câmara Canon EOS-500) e controladores (Figura 4). A plataforma niveladora, equipamento conectado ao horizonte artificial do avião, foi montada para prevenir desvios oriundos de inclinações laterais da aeronave, garantindo-se a ortogonalidade das fotografias. O intervalômetro é o dispositivo responsável pelos disparos fotográficos em intervalos de tempo previamente programados.

$$^1 \text{ INDV} = \frac{\text{NIR} - \text{R}}{\text{NIR} + \text{R}}$$

NIR = banda TM-4 (infravermelho próximo), R = banda TM-3 (vermelho)
(EASTMAN, 1997)

Quadro I: Informações de sensores remotos utilizadas na análise de padrões e processos em Luiz Antônio, suas características básicas e finalidades. Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

Origem da informação	Ano	Resolução geométrica (tamanho do <i>pixel</i>)	Resolução espectral e composições	Escala cartográfica máxima apropriada para análise	Informações derivadas	Metas
Satélite Spot 4	1990 1995	10 m	<ul style="list-style-type: none"> • Pancromática 	1:25.000	Recursos naturais, riscos e limitações ao processo de crescimento urbano	<p>Avaliar as possibilidades para a expansão urbana em Luiz Antônio</p> <p>Avaliar o risco de perda de recursos naturais e a necessidade de adoção de políticas conservacionistas visando assegurar um crescimento urbano e local adequado</p>
Satélite Landsat 5	1997	30 m	<ul style="list-style-type: none"> • Banda TM3 (vermelho) • Banda TM4 (infravermelho próximo) • Banda TM5 (infravermelho distante) • Composição colorida (falsa cor R3G4B5) 	1:50.000	INDV (Índice Normalizado das Diferenças na Vegetação)	Avaliar a aplicabilidade em áreas urbanas das informações multi-espectrais e derivadas (INDV) do sensor TM (Thematic Mapper) do satélite Landsat
Fotografias aéreas ortogonais	1997	0,5 m (aqui, a resolução é expressa como o tamanho do menor objeto perceptível a olho desarmado)	<ul style="list-style-type: none"> • Fotografias coloridas (cor natural) 	1:4.000 p/ ampliação 20 x 30 cm 1:8.000 p/ ampliação 10x 15 cm	Fotointerpretação (arborização, áreas edificadas e impermeabilizadas, arruamentos e formas de ocupação urbana)	<p>Delineamento de modelos computacionais para a classificação de Usos do Solo e análises subsequentes</p> <p>Avaliar as possibilidades para a expansão urbana em Luiz Antônio</p>
Fotomosaico digital	1997	0,5 m	<ul style="list-style-type: none"> • Red (vermelho) • Green (verde) • Blue (azul) • Lightness (luminosidade) • Composição colorida (RGB) 	1:4.000	Carta de Uso do Solo Cadastro da vegetação urbana	Gerar cartas temáticas que contribuam com o entendimento dos sistemas urbanos e com o processo de urbanização numa perspectiva ecológica



Equipamento de bordo

a: câmara fotográfica
 b: bandeja niveladora
 c: bateria elétrica
 d: circuito eletrônico do controle da bandeja
 e: adaptador para o horizonte artificial da aeronave

f: intervalômetro digital
 g: cabo para câmara com disparo eletrônico
 h: cabo para câmara com disparo mecânico
 i: interfone
 j: fones de ouvidos



Detalhe do intervalômetro digital



Avião Embraer -712 Tupi



Montagem do equipamento no interior da aeronave

Figura 4: Equipamento utilizado na tomada de fotografias aéreas ortogonais. Projeto, construção e organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

2.5 Tratamento e análise dos dados e modelagem geográfica

2.5.1 Fotomosaico e decomposição espectral

14 fotografias coloridas foram escaneizadas e registradas dentro da base cartográfica utilizada (IGC - Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo, em escala 1:10.000, folhas número 43/88, 44/88, 43/89 e 44/89). O registro cartográfico, baseado no procedimento de reamostragem, é uma das principais etapas do tratamento digital das fotografias, pois permite dispor as informações dentro de um espaço geográfico definido. Na prática, compreende um processo onde os *pixels* são reagrupados e as fotografias são rotacionadas, estiradas e distorcidas, de forma a ocupar uma posição geográfica definida na base cartográfica empregada, fazendo com que as feições terrestres assumam suas dimensões reais, possibilitando cálculo de distâncias, dimensões e áreas com elevada precisão.

O registro das 14 fotografias foi feito com base em 261 pontos de apoio terrestre. Arquivos de correspondência, contendo pontos de apoio selecionados, foram montados separadamente para cada fotografia. O registro cartográfico propriamente dito foi realizado com o módulo RESAMPLE do IDRISI e seguiu o modelo quadrático, que mostrou ser a melhor alternativa diante do material disponível. Após o registro de todas as fotografias, foi realizada a sobreposição (*overlay*) destas, resultando no fotomosaico.

As fotografias não registradas foram decompostas nas cores primárias (canais vermelho/RED, verde/GREEN e azul/BLUE) (FRANKHAUSER, 1999). Também foi isolado o canal LIGHTNESS (iluminação), que é a representação aproximada de uma fotografia pancromática, o qual foi utilizado em etapa posterior.

2.5.2 Correção radiométrica

O processo de montagem de mosaico das bandas espectrais demanda maiores cuidados que a montagem de mosaico de fotografias coloridas, o qual tem apenas a função de visualização. O problema está no fato de que fotografias adjacentes não apresentam necessariamente a mesma resposta de cores. Este fenômeno decorre de diferentes fatores: revelação dos negativos e ampliação fotográfica, imprecisões do dispositivo digitalizador (*scanner*), sombreamento diferenciado dos elementos e eixo de projeção da fotografia, que são função da diferença de posicionamento da aeronave e do sol no momento da tomada das fotografias.

A correção radiométrica visa contornar este problema pela identificação de uma fotografia padrão (imagem referência), a partir da qual serão corrigidas as demais fotografias adjacentes. Do ponto de vista estatístico, o processo baseia-se numa "equalização de histograma". A correção implica em redistribuir os valores de reflectância de uma imagem (mestre, ou não corrigida), de acordo com as distintas bandas espectrais, gerando uma nova imagem (escrava, ou corrigida), com média e desvio padrão de reflectância similares à imagem de referência (UM & WRIGHT, 1998; RIVELLA, 1999). O método empregado, expresso pela Equação 1, foi aplicado para os canais RED, GREEN, BLUE e LIGTNNESS separadamente. A montagem do fotomosaico das bandas seguiu o mesmo procedimento descrito anteriormente.

Equação 1: Correção radiométrica baseada na equalização de histogramas

$$c_{i,j} = \left(\frac{x_{i,j} - \bar{x}_i}{\sigma_{x_i}} \right) \times \sigma_{r_i} + \bar{r}_i$$

Onde :

$c_{i,j}$ = Reflectância CORRIGIDA para a banda i, no *pixel* j

$x_{i,j}$ = Reflectância NÃO CORRIGIDA na banda i, no *pixel* j

\bar{x}_i = Média dos valores de reflectância NÃO CORRIGIDA, na banda i

\bar{r}_i = Média dos valores de reflectância REFERÊNCIA na banda i

σ_{x_i} = Desvio Padrão dos valores de reflectância NÃO CORRIGIDA, na banda i

σ_{r_i} = Desvio Padrão dos valores de reflectância REFERÊNCIA, na banda i

Os valores de média e desvio padrão são referentes à amostra radiométrica para as áreas de sobreposição das fotografias, não para toda a fotografia.

Apesar dos processos de reamostragem, correção radiométrica e montagem de fotomosaico serem extremamente complexos, são igualmente repetitivos e, portanto, equacionáveis. Assim, todas estas etapas foram realizadas com o auxílio de macros (programação de comandos) no IDRISI. A execução das macros demandou menor tempo de processamento contínuo em computador, tornando o trabalho mais preciso e veloz.

2.5.3 Fotointerpretação e atividades de campo

A fotointerpretação foi realizada com auxílio de um estereoscópio de bolso. As feições em solo foram analisadas segundo sua cor/tonalidade, forma, tamanho, associação, sombra, padrão e textura, de acordo com PAINÉ & LUBA (1980). A fotointerpretação permeou todas as atividades da pesquisa, desde a primeira etapa, visando avaliar as propriedades do material fotográfico em visitas ao campo, até a última etapa, voltada à avaliação dos modelos computacionais desenvolvidos.

2.5.4 Unidades da Paisagem e delimitação das Unidades de Estudo (UEs)

A fotointerpretação, em conjunto com a análise das bases municipais, permitiu a delimitação e categorização sistemática de biótopos. Os biótopos foram entendidos como unidades homogêneas em termos estruturais, fundiários e funcionais, normalmente delimitados por fronteiras marcantes, como ruas, rodovias, estradas e mudanças abruptas de uso do solo. Na prática constituem, em grande parte, quadras, pastagens e fragmentos de vegetação nativa. BEDÊ *et al.* (1997) sugerem que somente a rede de transporte representada pelas vias expressas e rodovias sejam incluídas em biótopos específicos e separados das áreas quadras. Não sendo este o caso, optou-se por utilizar o centro do leito das ruas como limites entre biótopos.

2.5.5 Classificação supervisionada

A classificação supervisionada é uma técnica de classificação de uso do solo baseada na resposta espectral e radiométrica dos alvos terrestres. Geralmente é empregada na classificação de imagens de satélite e radares, contudo também tem sido utilizada na classificação de fotografias aéreas coloridas e infravermelhas e videografia (COURSIN & IHSE, 1998; FRANKHAUSER, 1999; KADMON & HARARA-KREMER, 1999; UM & WRIGHT, 1998). O termo "supervisionada" refere-se ao fato de que as classes são previamente definidas pelo usuário, de acordo com seus interesses e necessidades. O processo inicia-se com a digitalização em tela de polígonos (áreas de treinamento) que circunscrevem classes específicas de uso do solo. As áreas de treinamento não representam a imagem toda, mas apenas amostras onde o usuário tem certeza sobre a classe de uso do solo para cada polígono. Numa segunda etapa, são criadas assinaturas multi-espectrais para cada classe. As assinaturas compreendem um grupo de dados que descrevem média, desvio padrão e valores máximos e mínimos de reflectância para cada banda espectral, segundo as classes. Na última etapa, a classificação propriamente dita, todas as bandas espectrais são analisadas sistematicamente e os valores de reflectância são comparados às assinaturas multi-espectrais. Cada *pixel* receberá o valor da classe que lhe for mais adequado, segundo o algoritmo utilizado.

Uma estratégia particularmente importante na classificação supervisionada é a criação de subclasses visando a diminuição das variâncias radiométricas intra-classe. No presente estudo, vegetação, telhados e superfícies impermeáveis foram separados em várias classes (ou subclasses) segundo a coloração diferencial dos alvos, no sentido de prevenir a criação de

assinaturas espectrais com alta variância, o que geralmente implica na elevada confusão entre classes e na perda da eficiência da classificação final. Assim, a classificação considerou um total de 11 classes de uso do solo, representadas por áreas de vegetação arbórea/arbustiva iluminada pelo sol e escurecidas pela sombra; áreas de vegetação herbácea densa e esparsa; solo exposto de diferentes texturas e cores, além de várias categorias de áreas edificadas e impermeáveis, como asfalto, telhados e superfícies diversas, etc. O método de classificação empregado foi o MAXLIKE (Classificação por Máxima Verossimilhança) (EASTMAN, 1997).

2.5.6 Emprego de modelos probabilísticos, friccionais e contextuais na classificação do uso do solo

A classificação supervisionada, como descrita anteriormente, incorpora apenas informações espectrais. Em muitos casos, ocorre similaridade na resposta espectral entre diferentes classes, por exemplo, "vegetação arbórea X gramados", ambos de coloração verde, ou "telhados X solos", ambos de coloração avermelhada. Estes fenômenos resultam numa classificação pouco precisa pelo elevado grau de confusão entre classes.

Diferentes adaptações tem sido realizadas buscando tornar mais precisa a interpretação de imagens. Os métodos estão baseados na forma dos objetos, seu contexto e na estrutura interna dos padrões espectrais (MULLER, 1996; RAGHU & YEGNANARAYANA, 1997; STUCKENS *et al.*, 2000; UM & WRIGHT, 1997). O presente estudo buscou incorporar o conhecimento ou convicção do pesquisador no processo de classificação. O pesquisador pode ter certeza ou evidência da existência de uma árvore num dado local especificado, seja por atividades de campo com auxílio de GPS, seja por foto-interpretação, incorporação de dados históricos e/ou secundários, etc.

2.5.6.1 Incorporação do conhecimento ou convicção do pesquisador no processo classificatório

Aspectos importantes na foto-interpretação, tais como descritos no Quadro II, são de difícil incorporação no processamento digital de imagens. Uma das soluções consiste na técnica pré-classificatória fundamentada no Teorema da Bayes, que é baseada na criação de superfícies de probabilidades para algumas ou todas as classes de uso do solo (EASTMAN, 1997). Por este princípio, o conhecimento prévio é incorporado como um valor de probabilidade da existência de cada classe considerada. Optou-se pela utilização de um modelo onde a probabilidade para

cada classe segue um padrão contagioso. Por exemplo, em áreas muito próximas à uma copa de árvore (reconhecida como tal pelo pesquisador por um ponto com coordenada geográfica), há elevada probabilidade de ocorrência de vegetação arbórea/arbustiva. À medida em que aumenta a distância com relação a este ponto, a probabilidade tende a diminuir. Desta forma, teremos elevada probabilidade para a classe vegetação arbórea/arbustiva em áreas onde for reconhecida a existência da mesma e baixa probabilidade para áreas de desertos de árvores. Trabalhamos adicionalmente com a hipótese de que uma fração considerável dos erros de classificação, pode ser solucionada com a criação de *superfícies de probabilidades inversas* para as classes conflitantes. Desta forma podemos desenhar modelos que descrevam maior probabilidade para classe "solo" onde há menor probabilidade para "telhados", e vice-versa, resolvendo uma parcela elevada do conflito entre estas duas classes (Quadro III). Naturalmente estes modelos devem ser desenhados após uma exaustiva análise dos conflitos, do grau de exatidão do conhecimento prévio e dos diferentes modelos probabilísticos a serem adotados. Optou-se pela curva sigmoïdal (Equação 2, Figura 5), pelos seguintes motivos:

- Facilidade na definição matemática e no entendimento do significado prático dos parâmetros da curva;
- Facilidade na definição de curvas inversas, visando a resolução das confusões espectrais;
- Existência de regiões da curva onde a probabilidade assume valores praticamente constantes, representando patamares em áreas próximas às duas assíntotas horizontais.

Quadro II: Princípios utilizados na foto-interpretação e exemplos aplicáveis (adaptado de PAINE & LUBA, 1980). Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

Princípios de foto-interpretação	Exemplo de aplicação
Cor/tonalidade	Vegetação tem coloração verde, diferindo de piscinas (azuis) e do asfalto (cinza escuro)
Forma	A forma dos muros é linear, diferindo do aspecto globoso dos jardins e copas de árvores.
Tamanho (relativo ou absoluto)	Sabendo-se a escala de uma fotografia podemos saber o tamanho absoluto dos objetos e inferir sobre sua origem e categorização. O tamanho relativo pode ser usado para distinguir um caminhão de um veículo de passeio.
Associação	Pátios com grande quantidade de carros provavelmente representam áreas de estacionamento ou manutenção de veículos
Textura	Áreas de gramados e pastagens diferem em textura daquelas ocupadas por vegetação arbórea e/ou arbustiva, com textura tipicamente rugosa.
Padrão	Padrões de distribuição homogênea das árvores devem estar associados com presença de pomares comerciais ou arborização de rua. Vegetação de áreas verdes públicas e particulares tem padrão de distribuição agregada ou irregular.
Profundidade / Altura	O uso de estereoscópio permite perceber diferença na altura e profundidade dos elementos
Sombra	Superfícies como calçadas não apresentam sombra própria ou projetada, diferindo de objetos tridimensionais, como árvores, muros e casas.

Quadro III: Confusões espectrais entre classes de Uso do Solo e os critérios e modelos utilizados na resolução dos conflitos. Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

Classe	Subclasses integrantes	Classes e subclasses com as quais ocorrem confusões espectrais	Critério adotado para solucionar as confusões na classificação	Significado prático do emprego do critério	Função utilizada no cálculo das imagens de probabilidades (Equação 2)
Vegetação arbórea/arbustiva	-	Vegetação herbácea/gramados	Relação inversa com a distância das copas de árvores ¹	Havendo-se resposta espectral adequada, uma área próxima às copas das árvores apresenta maior probabilidade de ser vegetação arbórea/arbustiva e menor probabilidade de ser vegetação herbácea	
Vegetação herbácea/gramados/ pastagens	-	Vegetação arbórea/arbustiva	Relação direta com a distância das copas de árvores	À medida em que a distância eleva-se, as probabilidades tendem a inverter	
Solo exposto	-	Telhado avermelhado	Relação direta com a distância das áreas cobertas ²	Havendo-se resposta espectral adequada, uma área próxima às áreas cobertas apresenta maior probabilidade de ser telhado e menor probabilidade de ser solo exposto.	
Telhado	Avermelhado	Solo exposto	Relação inversa com a distância das áreas cobertas	À medida em que a distância eleva-se, as probabilidades tendem a inverter	
	Acinzentado	Superfície branca, acinzentada			
	Branco	Superfície branca			
Superfície impermeável	Branca	Telhado branco	Relação direta com a distância do leito das vias asfaltadas ³	Havendo-se resposta espectral adequada, uma área próxima aos leitos das vias asfaltadas apresenta maior probabilidade de ser asfalto viário e menor probabilidade de ser superfície impermeável.	
	Acinzentada	Telhado acinzentado			
Asfalto viário	-	Sombra, Superfície acinzentada	Relação inversa com a distância do leito das vias asfaltadas	À medida em que a distância eleva-se, as probabilidades tendem a inverter	
Sombra	-	Vegetação arbórea	Relação inversa com a distância dos objetos tridimensionais ⁴ (áreas cobertas e copas de árvores)	Havendo-se resposta espectral adequada, uma área próxima aos objetos tridimensionais apresenta maior probabilidade de ser sombra.	

¹ Copa de árvore é representada por digitalização em tela de ponto(s) onde sabe-se da existência de uma árvore, isolada ou formando maciços de copas.

² Área coberta é representada por digitalização em tela de polígono(s) onde sabe-se haver telhados isolados ou geminados, independentemente de seu padrão de coloração

³ Leito de via asfaltada é representado por digitalização em tela de linha(s) ao longo do centro das ruas cobertas por pavimento asfáltico.

⁴ Objeto tridimensional é representado por qualquer copa de árvore (ponto) ou área coberta (polígono).

$$p = \frac{P_m}{1 + e^{a \times (D - D_r)}}$$

Onde:

P: Probabilidade para a uma dada classe

D: Distância entre a área analisada e o ponto (ou região) mais próximo de ocorrência de elemento sinalizado (conhecimento ou convicção do pesquisador)

Dr: Distância de referência, onde a curva sigmoidal atinge sua máxima inclinação, representando também o ponto do eixo de simetria inversa da curva sigmoidal.

a: Inclinação da curva. A curva torna-se uma reta para valor zero, uma sigmoidal decrescente para valores acima de zero e, sigmoidal crescente para valores menores que zero.

Equação 2: Curva sigmoidal proposta para cálculo de probabilidades a priori

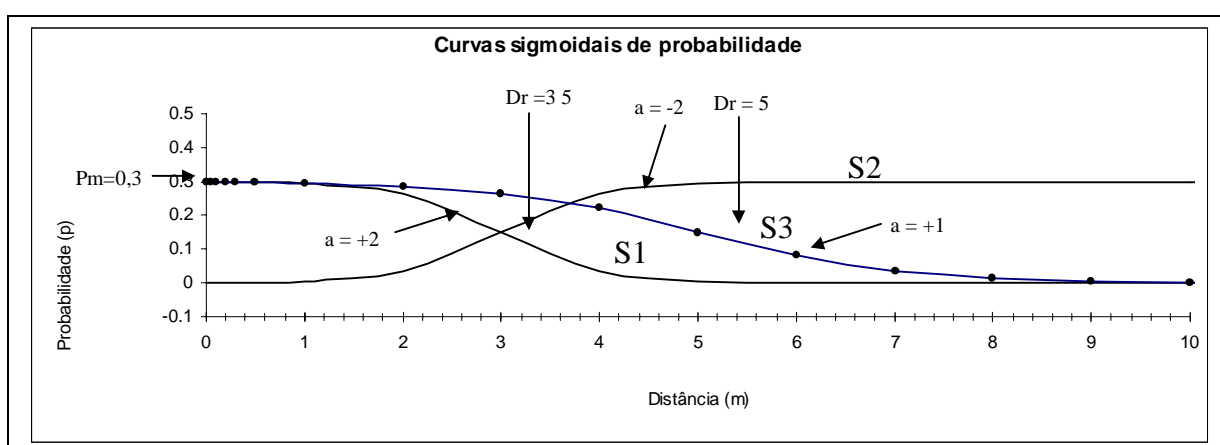


Figura 5: Exemplos de curvas sigmoidais para cálculo de probabilidades. Todas as curvas possuem o mesmo valor de Probabilidade Máxima ($P_m=0,3$), as curvas S1 e S2 apresentam valores inversos para o Coeficiente de Inclinação ($a=+2$ e $a=-2$, respectivamente). A curva S3 apresenta $a=1$, representando um decaimento mais suavizado em relação às demais curvas. Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

2.5.6.2 Incorporação de aspectos contextuais e modelos friccionais no processo classificatório

Na interpretação de fotografias aéreas e de imagens orbitais, utilizando-se propriedades de cor/tonalidade (Quadro II), foi possível identificar as fronteiras de cada uso do solo. Como exemplo, numa fotografia aérea, onde há uma árvore de rua, pode-se ter noção exata do limite de sua copa pela mudança da coloração esverdeada para uma coloração acinzentada (asfalto) ou branca (calçada). Esta propriedade não está incorporada na classificação supervisionada clássica, como descrita anteriormente.

No geoprocessamento, as relações de vizinhança são conhecidas como operadores de contexto (Figura 6). No presente estudo, optou-se pelo uso da análise contextual de dissimilaridade, ou seja, a aplicação de um filtro que realce *pixels* cuja vizinhança seja heterogênea (ou dissimilar), representando principalmente áreas de mudança de classe, ou fronteiras (Figura

7c). O "Filtro de Sobel" (EASTMAN, 1997) aplicado à imagem do fotomosaico de luminosidade (Quadro I) representou a melhor opção por resultar numa imagem cuja fronteira entre diferentes classes mostrou-se mais nítida.

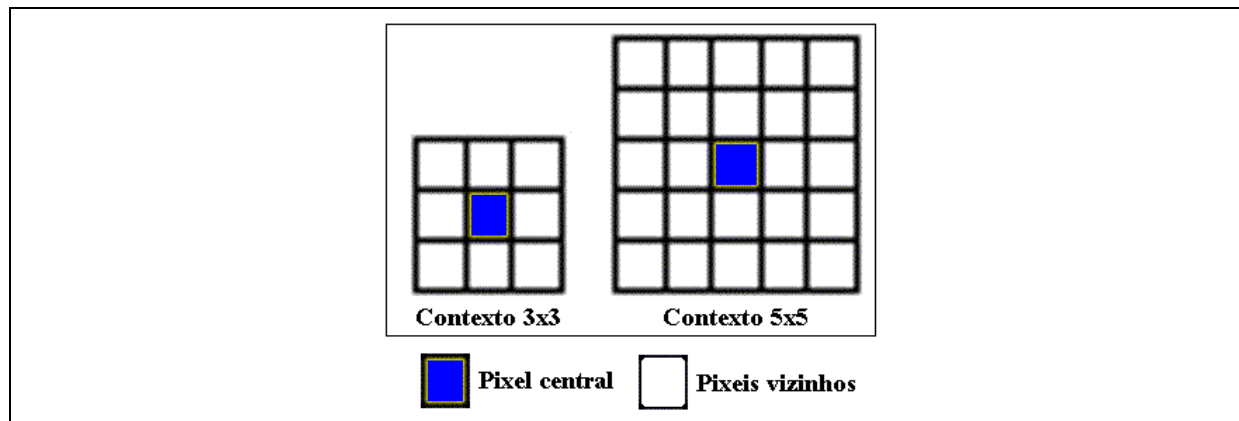


Figura 6: As análises das vizinhanças dos *pixels* são conhecidas como Operações de Contexto ou Contextuais e são realizadas pela delimitação de uma janela de tamanho definido (geralmente 3x3, 5x5 ou 7x7 *pixels*) que se move ao longo de toda a imagem. As informações contextuais são atribuídas ao *pixel* central com base em cálculos derivados dos *pixels* contidos na janela. As informações contextuais mais importantes compreendem medidas estatísticas de tendência central (média, mediana, etc.), medidas de dissimilaridade, similaridade ou realce de borda (desvio padrão, filtro passa-alta, sobel, etc.) ou análise de maioria (moda). Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

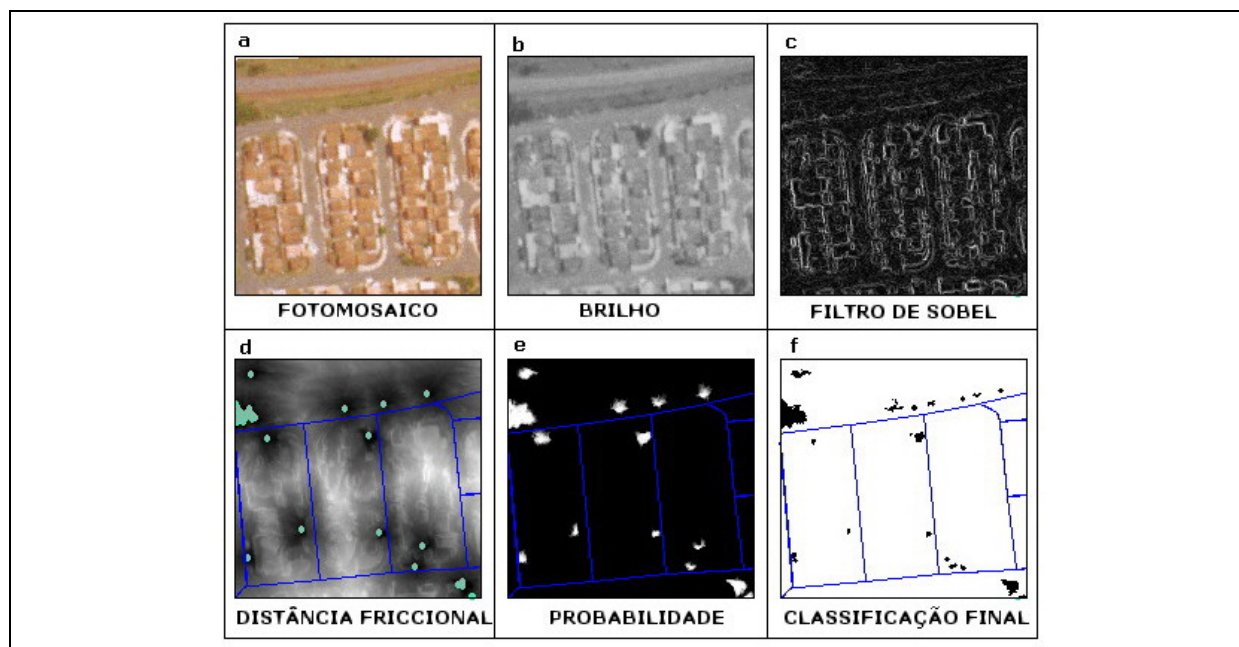


Figura 7: Representação do procedimento classificatório utilizado. As imagens "a-c" são comuns para todas as classes de uso do solo; as imagens "d-f" ilustram apenas as etapas para a classificação de vegetação arbórea/arbustiva; os pontos sobre a imagem "c" representam as copas de árvores, digitalizados de acordo com o conhecimento prévio ou convicção do pesquisador, enquanto a imagem "c" representa a incorporação do aspecto contextual na classificação. Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

A inclusão do aspecto contextual na classificação foi realizada pela criação de uma superfície de distância friccional. O termo "distância friccional" tem sua origem no conceito de custo de fricção ou custo friccional, que é uma medida de dificuldade de movimentação sobre uma superfície, ou atrito.

Este conceito pode ser ilustrado da seguinte forma: "Uma pessoa, sentada numa poltrona no interior de sua sala-de-estar, pode estar situada a uma distância de apenas 5 metros do seu vizinho, em linha reta. Contudo o custo envolvido para que esta pessoa dirija-se ao seu vizinho é muito maior que o gasto energético de caminhar 5 metros, pois existem barreiras físicas (paredes, muros) que dificultam tal ação. Assim, as barreiras físicas representam áreas de alto custo friccional, ou atrito. O caminho com menor gasto energético representa a utilização de uma rota que apresente baixos valores de custo friccional, ou seja, o uso das portas, passarelas, calçadas e portões."

O operador contextual foi utilizado para gerar uma imagem entendida como grandeza de custo friccional. O módulo COST do IDRISI foi então utilizado para a criação da imagem de distância friccional. Do ponto de vista prático, estes passos significam a incorporação do aspecto contextual de dissimilaridade (Sobel) no cálculo de distância. Desta forma, utilizou-se desta superfície de distância como valor de "D" para o modelo sigmoidal descrito na seção anterior (Equação 2). Este procedimento tem um significado final no qual a distância Euclidiana (em linha reta) para o cálculo de probabilidade é substituída pela distância friccional, resultando em quebras (diminuição ou elevação abrupta) das superfícies de probabilidade utilizadas na Classificação Supervisionada.

2.5.6.3 Procedimentos pós-classificatórios e montagem de bancos de dados

Foram utilizados três procedimentos pós-classificatórios. O primeiro foi o "Filtro de Moda", também conhecido como filtro de maioria (Figura 6), um procedimento padrão capaz de elevar a precisão da classificação em cerca de 2% pela eliminação de manchas de uso do solo de pequena dimensão (geralmente com menos de 3 *pixels*), consideradas à priori como ruídos oriundos da classificação e processos pré-classificatórios (STUCKENS *et al.*, 2000).

O segundo procedimento foi a reclassificação, em que as 11 categorias resultantes da classificação supervisionada foram reagrupadas em apenas 7 usos do solo. Nesta concepção, embora os telhados avermelhados, acinzentados e brancos reflitam diferentes idades e

materiais utilizados, apresentam um significado ecológico único. Segundo a mesma concepção, a reclassificação também foi realizada para as diferentes tonalidades de vegetação arbórea/arbustiva e de vegetação herbácea. As superfícies impermeáveis de diferentes cores também foram reagrupadas em duas classes (asfalto viário e superfícies impermeáveis diversas).

O terceiro procedimento foi a discriminação da vegetação arbórea/arbustiva segundo sua tipologia: árvores de ruas e fachadas, vegetação de fundo de quadra e vegetação de áreas públicas. A última categoria foi obtida por sobreposição temática (overlay) entre a vegetação total e áreas verdes públicas.

O critério de distância média simples (euclidiana) entre as manchas de vegetação arbórea/arbustiva e a classe "asfalto viário" foi utilizada na discriminação entre "vegetação de ruas e fachadas" (distância menor ou igual a 5 metros) e "vegetação de fundos de quadra" (distância maior que 5 metros). O fracionamento da vegetação arbórea/arbustiva em suas tipologias, resultou num banco de dados final composto de 9 classes de uso do solo.

A análise das manchas de vegetação arbórea/arbustiva foi realizada por cálculo de parâmetros relacionados à superfície (área física), isolamento (distância da vizinha mais próxima) e forma (índice de borda e dimensão fractal). O índice de forma¹ (IF), a dimensão fractal² (D) e o índice de diversidade da paisagem de Simpson³ (SIMPSON) também foram obtidos para a análise da forma para as diversas classes de uso do solo e para as Unidades da Paisagem, segundo McGARIGAL & MARKS (1994).

O Anexo A apresenta a estrutura do banco de dados georeferenciado das Unidades de Estudo e os métodos utilizados no cálculo das diversas variáveis e indicadores. Foram incluídos dados relativos à tipologia das unidades, reposta radiométrica, clinografia, tamanho, forma,

$$1 \text{ IF} = \frac{\text{PERIM}}{2 \times \sqrt{\pi \times \text{AREA}}} \quad (\text{para informações no formato vetorial})$$

$$2 \text{ D} = \frac{2 \times \ln(\text{PERIM})}{\ln(\text{AREA})} \quad (\text{para informações no formato vetorial})$$

$$\text{D} = \frac{2 \times \ln(0,25 \times \text{PERIM})}{\ln(\text{AREA})} \quad (\text{para informações no formato raster})$$

$$3 \text{ SIMPSON} = 1 - \sum_{i=1}^n p_i^2$$

uso do solo (área absoluta e percentual), além de informações relativas a parâmetros da ecologia da paisagem e as informações derivadas. Os parâmetros obtidos foram submetidos à diversas análises estatísticas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A apresentação das informações geradas neste estudo foi orientada à análise do contexto urbano de Luiz Antônio conjugada a uma discussão dos aspectos metodológicos mais relevantes. A discussão segue a perspectiva da análise estrutural dos espaços urbanos e peri-urbanos, buscando a identificação de padrões e processos significativos do ponto de vista ecológico e do crescimento urbano. A elevada complexidade espacial e temática das cartas geradas conduziu à estruturação de um banco de dados com características multifinalitárias, abrindo perspectivas que vão além do enfoque ecológico aqui proposto. Assim, aspectos relacionados à educação, saúde, transporte, tributos, serviços urbanos e moradia foram abordados apenas nas condições em que tangenciaram a temática central deste estudo.

3.1 Fotomosaico da cidade de Luiz Antônio

O fotomosaico resultante da união das 14 fotografias aéreas está apresentado na Figura 8. A imagem conta com um *pixel* de 0,5 metros, suficiente para a identificação de feições com 2,5 metros ou mais. Uma das características mais marcantes é o Bosque Municipal e Centro de Lazer Augusto Santori, uma área verde pública de 7,24 ha na porção noroeste da área urbana. Na região leste, um fragmento de vegetação nativa, alongado e de textura heterogênea, limita uma estrada vicinal (ao sul) e áreas de chácaras (oeste, norte, leste).

A área central do fotomosaico representa a região central da cidade de Luiz Antônio, com concentração de serviços, como postos de abastecimento e a administração municipal. Áreas de desenvolvimento mais recente, circundando a área central, mostram quadras mais alongadas e diferentes intensidades de ocupação urbana. O Parque Alto do Mirante, um loteamento em fase de implantação, ao sudeste, destaca-se pela sua extensão (52,65 ha) , número de quadras (40) e grau de ocupação urbana; a área do loteamento representa 28,4% da superfície total urbanizada (185,25 ha). O loteamento é desprovido de vegetação arbórea/arbustiva, pavimentação asfáltica, calçadas e residências; os processos erosivos em forma de voçoroca são facilmente identificados pelo sombreamento dos sulcos (Figura 8).

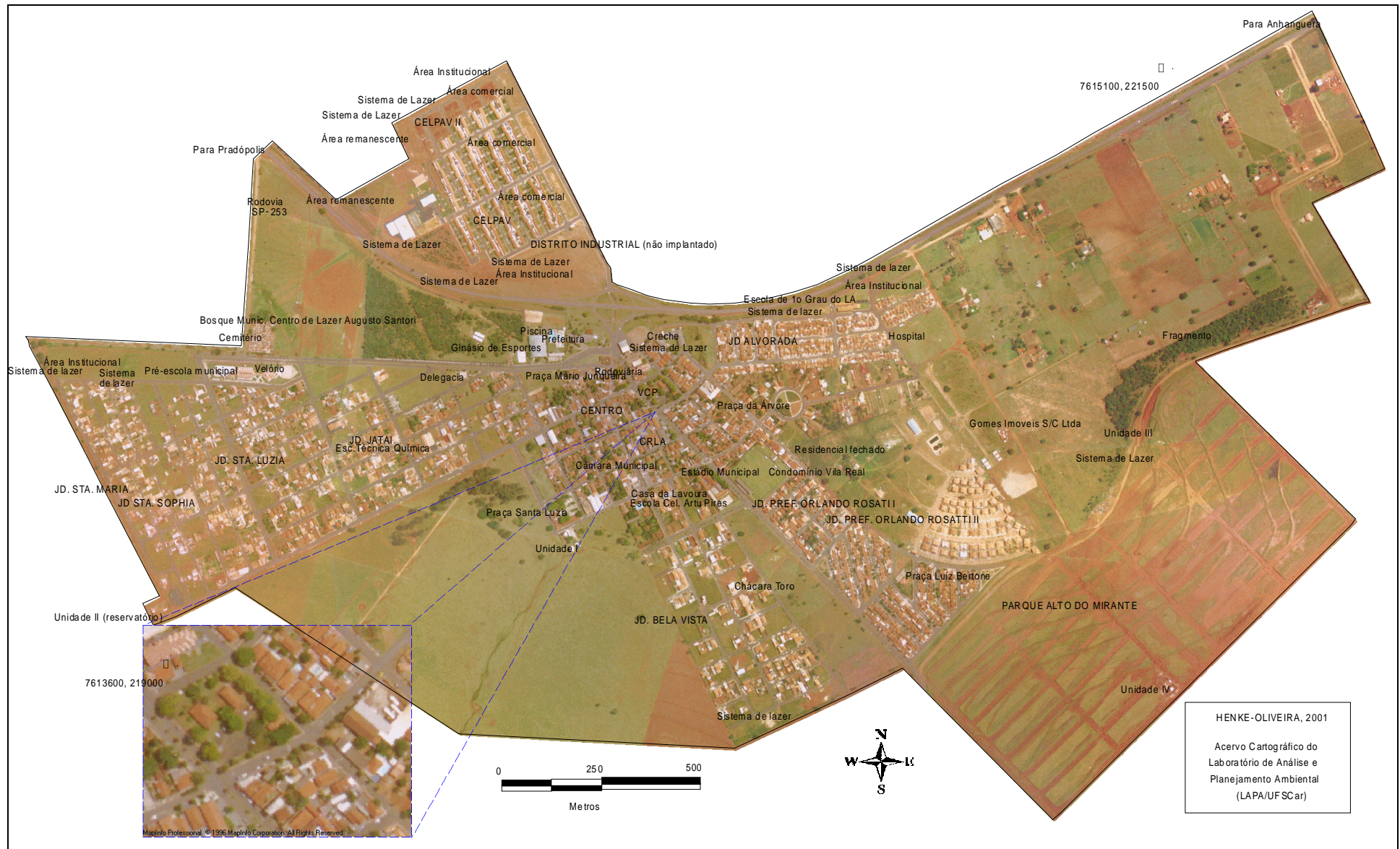


Figura 8: Fotomosaico da cidade de Luiz Antônio e toponímias (Registro IGC 1:10.000; ano das fotografias: 1997). Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

Os espaços edificados estão representados por áreas predominantemente avermelhadas (telhados de argila), podendo apresentar coloração acinzentada ou branca, dependendo do tipo de material empregado e da idade e grau de conservação. As variações de cor também ocorrem no pavimento asfáltico, principalmente em função da sinalização horizontal de trânsito e pela presença de argilas oriundas de processos erosivos em combinação com o tráfego de veículos; nas regiões de desenvolvimento urbano mais recente, as manchas claras sobre os asfalto indicam o uso das vias públicas no preparo de massa e construção civil, (Figura 8)

Os componentes vegetacionais de porte arbóreo/arbustivo e herbáceo também se distinguem, principalmente pela forma, coloração/tonalidade e textura. A diferença de coloração entre manchas de vegetação arbórea/arbustiva está provavelmente associada à diferenciação natural em função da espécie, estágio fenológico dos indivíduos, concentração de pigmentos, adensamento de superfície folhar (índice de área folhar), abscisão folhar, idade do indivíduo, etc. O formato da copa, o sombreamento e as atividades de podas também são responsáveis pela diferenciação na coloração e tonalidade (Figura 8).

3.2 Caracterização de Unidades de Estudo (UEs)

BEDÊ *et al.* (1997) sugerem o emprego de escalas entre 1:5.000 e 1:10.000 para o mapeamento de biótopos, enfatizando a possibilidade de emprego de escalas mais detalhadas para cidades de menor porte. No nosso caso, o uso de fotografias em escala 1:4.000 e 1:8.000 mostrou-se adequado dentro dos propósitos da realização do mapeamento integral dos biótopos e suas unidades (Unidades de Estudo). BEDÊ *et al.* (1997) também propõem uma "*chave de biótopos adaptada para o Brasil*", destacando a importância da sua regionalização em função das especificidades locais e dos objetivos do mapeamento. Esse trabalho sugere adicionalmente a criação de cartas temáticas relativas ao grau de impermeabilização, potencial para vivência da natureza e educação ambiental, patrimônio paisagístico, geomorfologia, elementos da biota (indicação ecológica), microestruturas, etc. No presente estudo especificamente, não foi efetuada a regionalização da chave de classificação de biótopos, mas somente sua simplificação (Quadro IV), desde que as metas não foram o mapeamento de biótopos nem a criação das cartas temáticas supracitadas, mas apenas a diferenciação do espaço em função do grau de urbanização e da ocupação preferencial do solo, voltada ao objetivo da compreensão de processos e padrões associados ao crescimento e adensamento urbano. A simplicidade da tipologia de biótopos aqui empregada permitiu

fracionar a cidade em áreas relativamente homogêneas segundo critérios que aproximaram daqueles empregados em alguns estudos, facilitando assim a realização de comparações entre Luiz Antônio e outras cidades mediante algumas adaptações e cruzamento com a Carta de Uso do Solo.

Quadro IV: Tipologia de biótopos empregada em Luiz Antônio adaptada de BEDÊ (1997). Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

Condição de urbanização	Código	Tipologia do biótopo com base na ocupação preferencial
Tipicamente urbanizados	11	Áreas predominantemente residenciais
	12	Áreas predominantemente institucionais/administrativas/serviços
	13	Áreas de lazer e áreas verdes públicas
	14	Áreas desocupadas e inadequadas para fins residenciais
Em fase inicial de implantação de estrutura urbana	21	Áreas de lazer, áreas verdes e institucionais públicas não implantadas
	22	Loteamentos em fase de implantação
Suburbana	31	Agricultura/pastagens/chácaras
	32	Fragmentos de vegetação

A Figura 9 apresenta as Unidades de Estudo (UEs) em relação à tipologia de biótopos empregada. Foram identificados 195 UEs, das quais 118 correspondem a Áreas Predominantemente Residenciais (Figura 10), equívulendo a 79,8% da área efetivamente urbanizada.

As "Áreas predominantemente institucionais/administrativas/serviços" representam apenas 17,37 ha da área total, ou 12,4% do total da área efetivamente urbanizada. Caminos & Goethert (1978) *apud* ACIOLY & DAVIDSON (1998) sugerem que as áreas privadas devam estar entre 55 e 62% do espaço, buscando otimizar o desenho urbano. O valor aproximado de 80% para as áreas residenciais em Luiz Antônio supera este padrão. Contudo, como o leito das ruas é computado neste total, pode-se afirmar que em Luiz Antônio há uma boa distribuição entre os espaços públicos e privados.

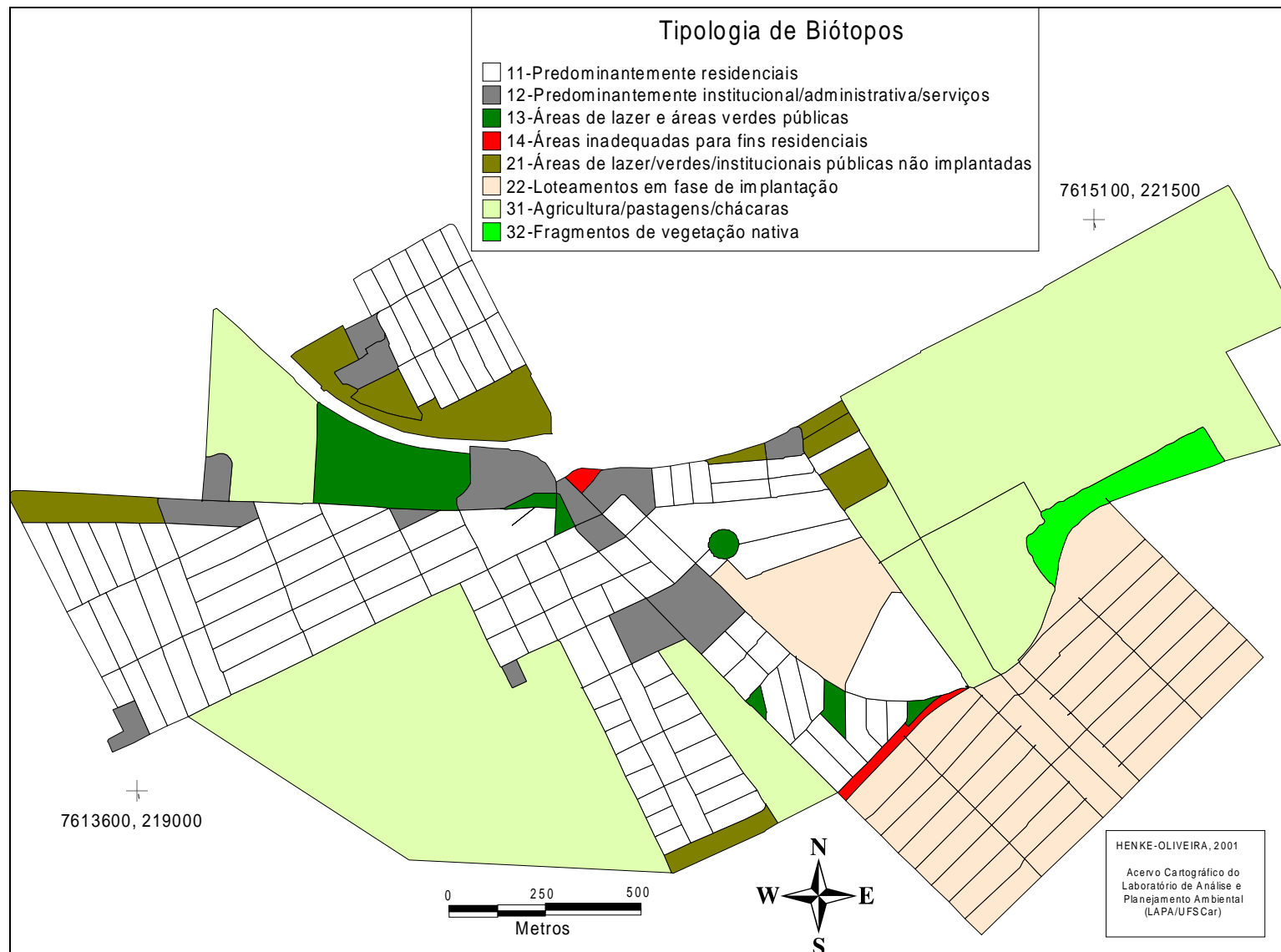


Figura 9: Caracterização das Unidades de Estudo (UEs) em função da tipologia de biótopos empregada. Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

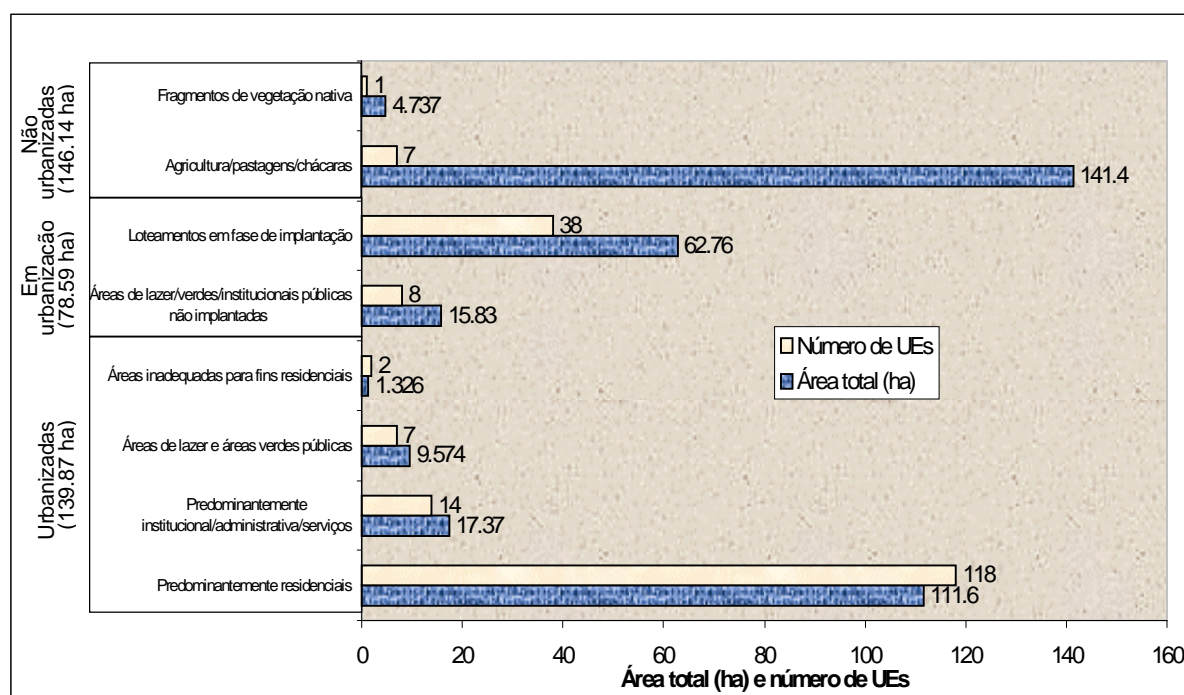


Figura 10: Distribuição da área e do número de Unidades de Estudo (UEs) em relação à tipologia de biótopos empregada. Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

A Lei 6.766/BR-79 estabelece a obrigatoriedade da reserva de parte da área dos loteamentos ao Poder Público, visando implantação de equipamentos comunitários diversos, assegurando assim o atendimento parcial às necessidades do homem urbano. Na cidade de Luiz Antônio foi constatado que "Áreas de lazer/verdes/institucionais não implantadas" contribuem com 15,83 ha e superam, em superfície, o total de "Áreas de lazer/verdes públicas" (9,574 ha), indicando a disponibilidade de espaços, tanto para a implantação de novos equipamentos institucionais como de novas áreas verdes. Adicionalmente, o somatório destas duas categorias resulta em 25.404 ha, ou cerca de 18% da área efetivamente urbanizada. Estes valores estabelecem uma perspectiva razoavelmente boa para o desenvolvimento urbano em Luiz Antônio.

A segunda maior contribuição numérica, em termos da tipologia de biótopos empregada, é dada pelos Loteamentos em Fase de Implantação" (Figura 10), com 38 UEs, com especial ênfase ao Parque Alto do Mirante. As áreas em processo de loteamento (62,76 ha) atingem cerca de 45% da área total efetivamente urbanizada, evidenciando a ausência de uma política de expansão urbana para Luiz Antônio. Estas áreas são geralmente desprovidas de vegetação e a lenta ocupação urbana determina que os processos erosivos sejam igualmente contínuos,

perdurando por alguns anos e implicando em danos ambientais pontuais e nas áreas adjacentes.

As "Áreas de agricultura/pastagens/chácaras" representam um menor número de UEs. Isto ocorre não em função da baixa complexidade estrutural e fundiária das áreas peri-urbanas, mas principalmente pelas características gerais, onde o sistema de infra-estrutura urbana, principal critério para a distinção das UEs, é ausente ou pouco intenso. No entanto, tais áreas apresentam importância em termos de superfície (141.4 ha). Assim, a inclusão destas glebas no presente estudo é fundamentada pela previsão de alguns projetos de loteamento, bem como a evidente expansão física da malha urbana, demandando informações gerais que conduzam a um crescimento urbano compatível com aspectos naturais e culturais do entorno. A urgência de políticas para tais áreas tem por base a manutenção dos poucos recursos naturais ainda existentes, visando sua incorporação, quando pertinente, dentro de um futuro desenho urbano. Adicionalmente, consideramos que tal política deve incluir mecanismos que coíbam a criação de novos loteamentos sem que haja uma efetiva demanda residencial, sob risco de danos ambientais como os observados no Parque Alto do Mirante.

3.3 Considerações metodológicas sobre o processamento digital de fotografias aéreas

O presente estudo cumpriu várias etapas, iniciando-se no levantamento de informações cartográficas oficiais, seguindo pelo planejamento de vôo e realização do recobrimento aéreo fotográfico, foto-interpretação e escanerização de fotografias, reamostragem, correção radiométrica, montagem de fotomosaico, classificação supervisionada, delimitação de unidades homogêneas (biótopos e UEs) e estruturação de bancos de dados. Estas etapas buscaram um embasamento dentro da bibliografia disponível e em trabalhos anteriormente realizados. Em muitas atividades, a ausência deste embasamento fez com que houvesse a necessidade da realização de inúmeros testes, dando um caráter empírico ao estudo e direcionando o presente documento à utilização de terminologias pouco comuns.

CÔRTEZ (1999) e RIVELLA (1999) discutem a falta de dispositivos de posicionamento e controle da navegação e do equipamento fotográfico como uma das principais limitações para a realização de levantamentos com FAPF. Este estudo, baseado em experiência anterior (HENKE-OLIVEIRA *et al.*, 1998) e numa extensiva pesquisa em testes em vôo e solo e simulações, optou pelo uso de baixos ângulos de visão e uma navegação/orientação mais

acurada. Neste sentido, o emprego do GPS, da plataforma niveladora e do intervalômetro digital foram artifícios fundamentais que permitiram a realização de um voo a 7800 pés (2600 metros) do solo com um bom recobrimento estereoscópico. Estas características associadas a utilização do material gerado no geoprocessamento determinou uma boa relação custo/benefício para o emprego de FAPF.

Segundo MULLER (1997), vários autores consideram que elevadas resoluções espaciais não melhoram necessariamente o resultado da classificação por *pixel*; com elevada resolução, a quantidade de *pixels* de borda (limite de mancha ou classe, importantes na perspectiva do estudo de ecótonos), diminui, mas a variância radiométrica intra-classe aumenta, sendo geralmente tratada como ruído na classificação de imagens, embora seja uma característica intrínseca das manchas de vegetação. Contudo, de acordo com o autor, a importância na melhoria dos métodos de classificação não está direcionada apenas para a melhoria na exatidão da classificação, mas na descoberta de escalas significativas nas quais os fenômenos ocorrem. Assim, baixas resoluções restringem a exploração de padrões e processos que ocorrem em escalas elevadas (detalhadas), dificultando também o entendimento das propriedades fractais na paisagem.

O emprego de interpretação manual de fotografias dificilmente conduz a um mapa com elevado grau de detalhamento espacial, temático e temporal. O mapeamento com um maior número de classes de uso do solo implica na digitalização de um maior número de manchas, conseqüentemente, de menor tamanho e maior relação perímetro/área. A conseqüência direta é que a digitalização das fronteiras entre as manchas torna-se mais complexa e dispendiosa em proporção exponencial ao número de classes. Também requerem grande esforço de digitalização as classes, mesmo as de baixa frequência, que tenham porosidade elevada e forma complexa, como é o caso da cobertura vegetal e áreas de solo exposto. Formas regulares e menos complexas como as áreas residenciais são de rápida digitalização.

Por outro lado, o emprego de técnicas de classificação supervisionada com fotografias aéreas é recente e necessita maiores esforços em pesquisa. O processamento digital da informação gerada nos sensores aerotransportados traz a possibilidade da criação de cartas temáticas mais complexas, embora ainda sejam geralmente menos precisas em relação ao mapeamento manual realizado para fins cadastrais das áreas edificadas. Neste sentido os estudos têm sido direcionados ao tratamento digital de fotografias pancromáticas, coloridas, infravermelhas e

digitais (FRANKHAUSER, 1999; NILSEN *et al.*, 1999, MADDEN *et al.*, 1999; McCORMICK, 1999). Poucos estudos abordam a derivação de informações pelo processamento digital de FAPF.

Embora as fotografias infravermelhas coloridas (CIR) permitam uma avaliação mais aprofundada da vegetação, conduzindo à análise de processos ecológicos e fisiológicos relacionados à evapotranspiração e estado de sanidade e estresse da vegetação e de áreas naturais, o seu emprego em combinação com fotografias coloridas (cor natural) resulta em melhoria de apenas 2-3% na classificação supervisionada. Desta forma, não se justifica os gastos na obtenção de fotografias infravermelhas coloridas nos casos em que já haja um levantamento aerofotográfico convencional (FRANKHAUSER, 1999).

3.3.1 Avaliação da classificação supervisionada e perspectivas metodológicas

O grau de exatidão do processo de classificação, seja para classes ou para a classificação na sua totalidade, foi realizado numa primeira etapa por inspeção visual. Diversas classificações foram realizadas visando melhor calibrar os modelos friccionais probabilísticos propostos. A análise de exatidão final foi realizada pela estimativa de k (*KIA - Kappa Index Of Agreement*), parâmetro baseado em uma matriz de confusão e em medidas de erros de omissão e co-omissão entre a imagem classificada e uma imagem de "verdade terrestre" obtida especialmente para este fim (EASTMAN, 1997) (Tabela I). Os valores de k relacionados para este estudo foram comparados aos de outros estudos que utilizaram classificação supervisionada por máxima verossimilhança (ADAM, *et al.* 1998, $k = 0,9$; BAN & HOWARTH, 1999, $k = 0,85$; STUCKENS *et al.* 2000, $k = 0,84$).

Tabela I: Análise da exatidão da classificação supervisionada com a incorporação de aspectos contextuais e conhecimento/convicção do pesquisador. Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

Classe	K (<i>KIA - Kappa Index Of Agreement</i>)
Vegetação arbórea/arbustiva	0.9498
Vegetação herbácea/gramados/pastagens	0.9364
Solo	0.9939
Telhados avermelhados	0.9534
Telhados brancos	0.7042
Telhados acinzentados	0.9057
Superfícies brancas	0.9356
Superfícies acinzentadas	0.5908
Asfalto viário	0.9657
Sombra	0.862
Piscinas	0.9986
K total	0.9381

Na classificação realizada sem incorporar o conhecimento/convicção do pesquisador e os aspectos contextuais, o valor de k foi de 0,64, com apenas 73,36% de precisão, mostrando que os métodos convencionais de classificação supervisionada para fotografias aéreas coloridas são pouco eficientes dentro do propósito de classificação adotado neste estudo. Pode-se afirmar que a resposta espectral e radiométrica das fotografias aéreas coloridas apresenta fortes restrições à classificação dentro do sistema de classes adotado, principalmente pela elevada confusão entre classes com elevada similaridade espectral. Um bom exemplo deste fenômeno pode ser obtido com qualquer fotografia aérea, onde nota-se que a coloração da vegetação arbórea muitas vezes aproxima-se da cor da vegetação herbácea de terrenos baldios abandonados por um tempo relativamente longo. Em função destes problemas, os estudos que fazem uso da classificação supervisionada em áreas urbanas não empregam um número elevado de classes; freqüentemente limitam-se à distinção entre áreas permeáveis e impermeáveis, urbanizadas e não urbanizadas, etc.

Contudo, a inclusão da análise contextual de conhecimento prévio do pesquisador e de procedimentos pós-classificatórios promoveu uma nítida elevação da exatidão do processo classificatório para este estudo. Para a maioria das classes, os valores de K estiveram acima de 0,9, enquanto o valor de K total foi de 0,94 e a precisão total da classificação foi de 96.5% (Tabela I).

STUCKENS *et al.* (2000) utilizaram a análise contextual junto aos métodos tradicionais de classificação e registraram melhorias entre 3,7 e 4,9% na exatidão. Os autores também consideraram que a utilização adicional de procedimentos pós-classificatórios, tais como os filtros de moda, resulta numa melhoria que totaliza 6,5%. No presente estudo, a melhoria de 23,1% na precisão da classificação pela metodologia empregada, não somente elevou significativamente a precisão das análises subsequentes, como também abriu perspectivas para o processamento de imagens de diferentes sensores orbitais e aerotransportados na identificação de classes, padrões e processos que não apresentam nítida distinção espectral e radiométrica. Estudos futuros devem ser realizados para identificar as potencialidades e limitações da abordagem metodológica proposta para diferentes tipos de sensores, escalas e objetivos de análise.

A experiência adquirida no presente estudo permite afirmar que a incorporação do conhecimento e a convicção do pesquisador na classificação digital de FAPF significa

incorporar vários dos princípios de fotointerpretação simultaneamente. Este conhecimento foi introduzido no SIG por digitalização em tela, entretanto não exigiu uma digitalização precisa dos elementos, pois a detecção das fronteiras entre casas, calçadas, arborização, etc., foi realizada com o auxílio do modelo probabilístico adotado, baseado na combinação de modelos de distância (curva sigmoidal), ficcionais e na análise contextual (Filtro de Sobel). Desta forma, a digitalização em tela não mostrou-se excessivamente dispendiosa e enfadonha.

É importante ressaltar que ao referir-se sobre "incorporação do conhecimento e convicção", referiu-se ao conhecimento *presente* ou *recente*. Talvez uma das principais perspectivas no emprego da metodologia aqui apresentada esteja na possibilidade da incorporação do conhecimento *histórico*, ou seja, a utilização de dados oriundos de levantamentos anteriores, como bases de dados do cadastro imobiliário urbano, da vegetação viária, etc. e, sobretudo na combinação destes. Nesta perspectiva, a etapa de digitalização em tela pode ser facilitada, quando não suprimida. Da mesma maneira, a carta de uso do solo aqui gerada pode ser utilizada em futuros mapeamentos que incorporem aspectos históricos. Uma reflexão mais aprofundada destas questões abrem a possibilidade da análise de séries temporais para o mapeamento do uso do solo.

Dentro desta expectativa, sugere-se que os modelos probabilísticos sejam desenhados de forma a incorporar adicionalmente aquilo que chamaremos de "*tendências*". Por exemplo, nos bairros de recente urbanização nota-se uma tendência ao aumento da densidade habitacional; em bairros mais antigos esta tendência existe, contudo é mais discreta. Este adensamento dá-se pela construção de novas casas ou pela ampliação das edificações já existentes. O oposto, ou seja, a diminuição da densidade habitacional, é algo praticamente inexistente. Também podem ser identificadas tendências no padrão do componente arbóreo/arbustivo; a arborização jovem dos loteamentos recentes, por exemplo, tende ao desenvolvimento fenológico pela incorporação de biomassa. Naturalmente, a tendência, expressa em termos de probabilidade, deve ser incorporada não ignorando-se as respostas espectrais e radiométricas; assim, considerar-se-á que a existência de uma árvore ou edificação numa dada ocasião e num dado espaço geográfico, não significa que as mesmas feições permanecerão ali por tempo indefinido.

3.4 Uso do solo em Luiz Antônio

A Figura 11 mostra a carta de Uso do Solo para Luiz Antônio. A análise da área percentual ocupada pelas classes de Uso do Solo discriminadas por UE é auxiliada pela Figura 12, que tem o objetivo de facilitar a análise da ocupação urbana com médio detalhamento espacial.

3.4.1 Aspectos gerais

A carta de Uso do Solo de Luiz Antônio pode ser interpretada de diversas maneiras. Analisando-se somente as UEs tipicamente residenciais descreve-se um cenário diferente de quando analisada toda a área de estudo (Figura 13). Esta análise diferenciada pode ser útil em vários aspectos. Em primeiro lugar, a análise apenas das áreas residenciais possibilita um diagnóstico geral da política habitacional adotada no município. Outro aspecto relevante se refere ao artifício metodológico que reúne numa mesma categoria a vegetação arbórea rural e de fundo de quadras; uma parcela significativa desta última fica isolada junto às áreas residenciais. Cria-se adicionalmente a possibilidade de comparações futuras dos dados aqui apresentados com informações equivalentes para outras cidades, pois muitos indicadores são frequentemente analisados segundo critérios distintos de divisão espacial. Em várias cidades brasileiras, por exemplo, tem-se a prática de incluir áreas verdes "não urbanas" na estimativa de indicadores de vegetação; em Curitiba, por exemplo, todo o município encontra-se inserido dentro do perímetro urbano definido em lei, não sendo contudo urbanizado na sua totalidade.

A grande parcela de áreas não urbanizadas determina um ambiente com baixo índice de impermeabilização (23,23%, Figura 13a), enquanto a área residencial representa 58,85% de sua superfície impermeabilizada (Figura 13b). No entanto, a diferenciação em função da ocupação residencial ou geral tem pouco interferência sobre o componente arbóreo/arbustivo, demonstrando a contribuição dos fragmentos naturais de porte arbóreo nas áreas peri-urbanas e da vegetação das áreas verdes públicas.

A Figura 13b descreve um cenário típico de uma cidade de pequeno porte ou de áreas recentemente urbanizadas. A grande quantidade de solos expostos (16,15%) e de vegetação herbácea/gramados (18,96%) é explicada pelos terrenos com baixo adensamento de construções; estas duas classes unidas superam a área ocupada pelas edificações (21,92%).

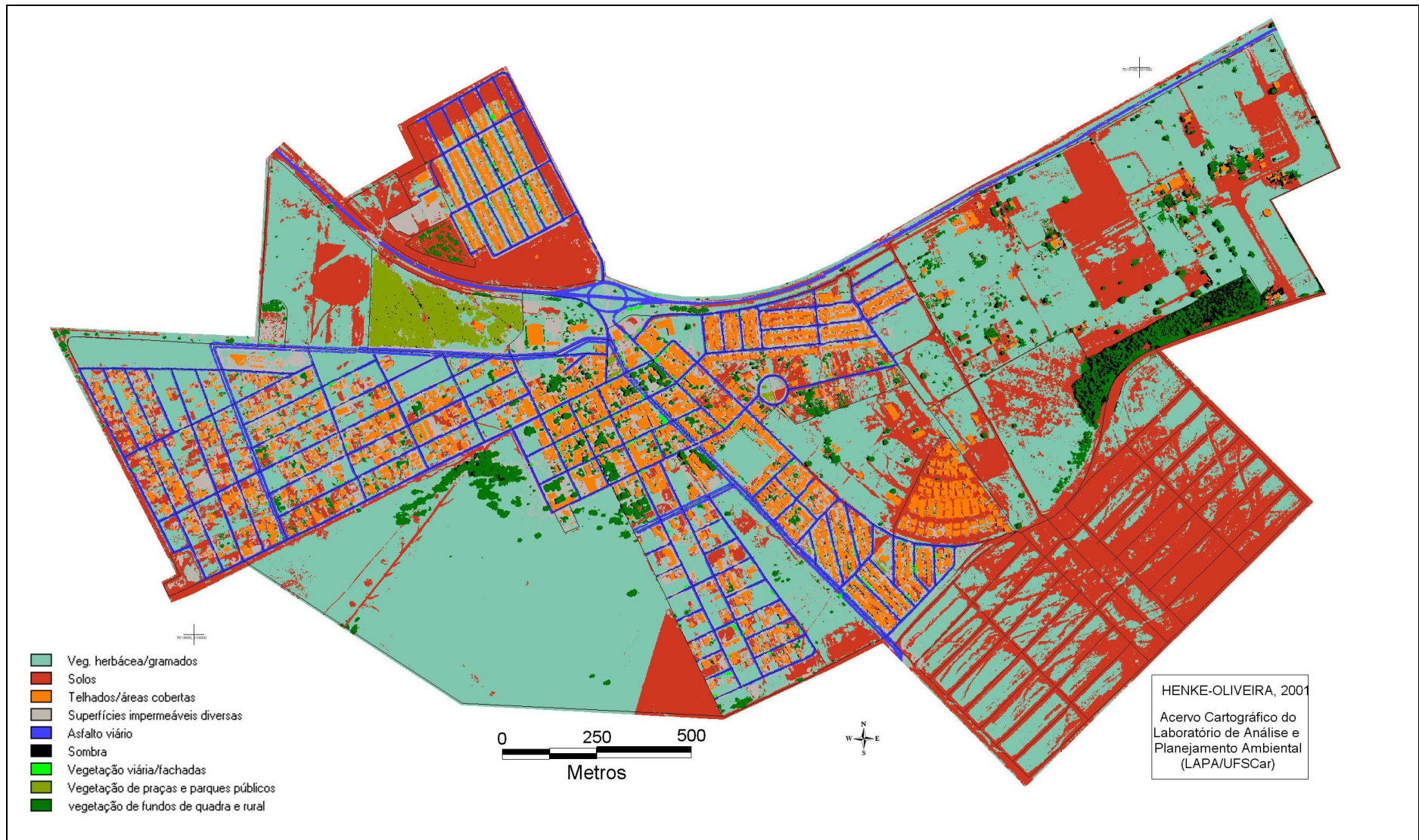


Figura 11: Carta de Uso do Solo da cidade de Luiz Antônio. Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

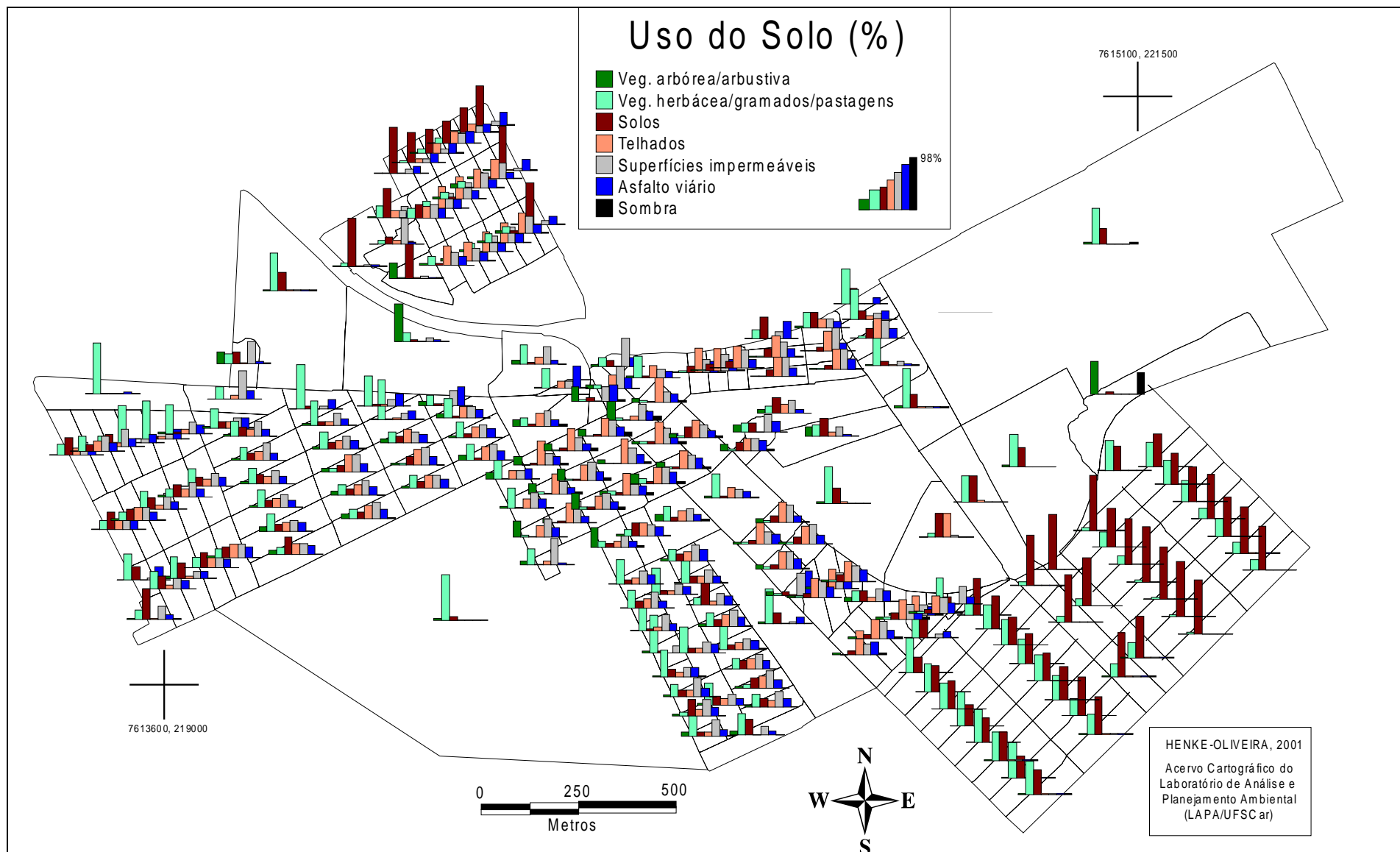


Figura 12: Distribuição percentual das Classes de Usos do solo por Unidade de Estudo (UE). Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

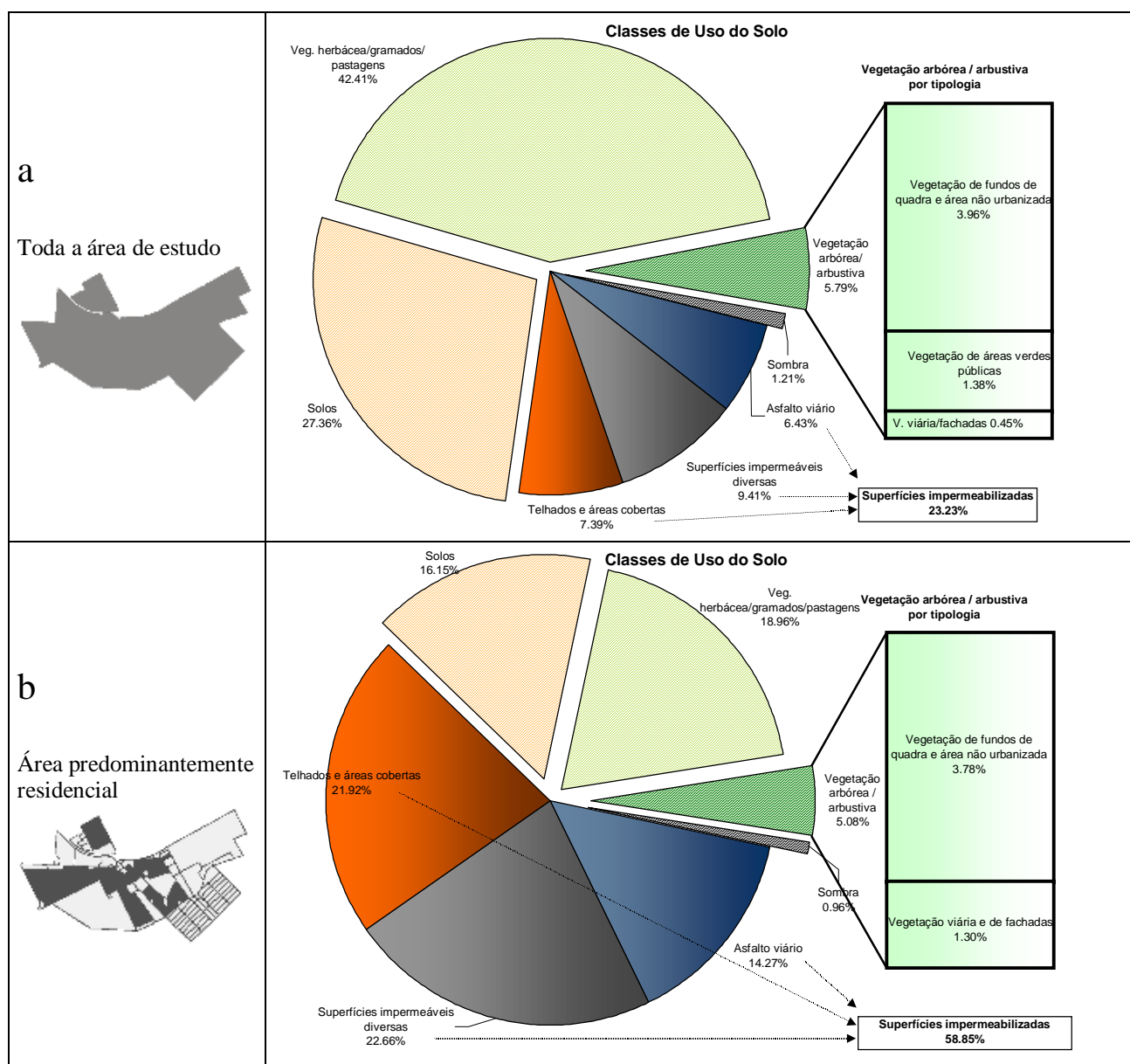


Figura 13: Percentual de área ocupado pelas classes de Uso do Solo para toda a área de estudo (a) e somente para as áreas tipicamente residenciais (b). Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

Os 22,66% de superfícies impermeabilizadas representam pátios cimentados, calçadas e passeios; parte desta área é destinada às calçadas das vias públicas, estando portanto associadas ao asfalto viário, com 14,27%. As áreas impermeabilizadas, em conjunto com a vegetação, segundo suas classes e tipologias, serão discutidas na próxima seção.

3.4.2 A vegetação e a permeabilidade do solo urbano

A Figura 14 traz uma composição de algumas cartas de parâmetros relacionados às formas de vegetação e impermeabilização do solo. O percentual de cobertura vegetal arbórea/arbustiva (PCV- Figura 14a) atinge os maiores valores no fragmento de vegetação natural (região leste) e no Bosque Municipal e Centro de Lazer Augusto Santori. Quarteirões centrais mantêm PCV entre 10 e 50% (Figura 14b), com tendência à diminuição ao afastar-se em direção à região periférica.

O percentual de cobertura herbácea/gramados/pastagens (PCH - Figura 14b) segue um padrão muito menos agregado, exceto para as áreas com menos de 10% de PCH, divididas em alguns blocos de UEs, com destaque para três deles: a região central e dois bairros (Jd. Alvorada e Jd. Pref. Orlando Rosatti e arredores). Estes blocos também são, acrescidos do Jd. CELPAV, os mais impermeabilizados (Figura 14c).

Os dados de INDV-Landsat (índice normalizado das diferenças na vegetação) (Figura 14d) serão discutidos na seção 3.4.2.3.

A vegetação arbórea arbustiva ocupa 5,08% da área residencial (Figura 13b). Deste total, apenas 25% representa a vegetação das vias públicas e fachadas, evidenciando a elevada importância da vegetação particular de fundo de quadra na área urbana, responsável por 74,0% da vegetação total da área residencial. Neste cenário tipicamente residencial, os biótopos representados pelas áreas verdes públicas mostram-se ausentes pelo artifício metodológico empregado. No entanto, ao abordar toda a área de estudo (Figura 13a), fica evidente a importância da vegetação dos parques públicos, constituindo aproximadamente 25% de toda a vegetação da área de estudo, embora ocupem pequena parcela do espaço urbano (Figura 10).

A Figura 15 ilustra a distribuição da vegetação arbórea/arbustiva em Luiz Antônio segundo sua tipologia. A Figura 15a apresenta a carta cadastral da vegetação urbana. A maioria dos parques (Figura 15b) apresenta menos de 30% de cobertura arbórea/arbustiva; a exceção é o Bosque Municipal e Centro de Lazer Augusto Santori, com PCV de 68,4%.

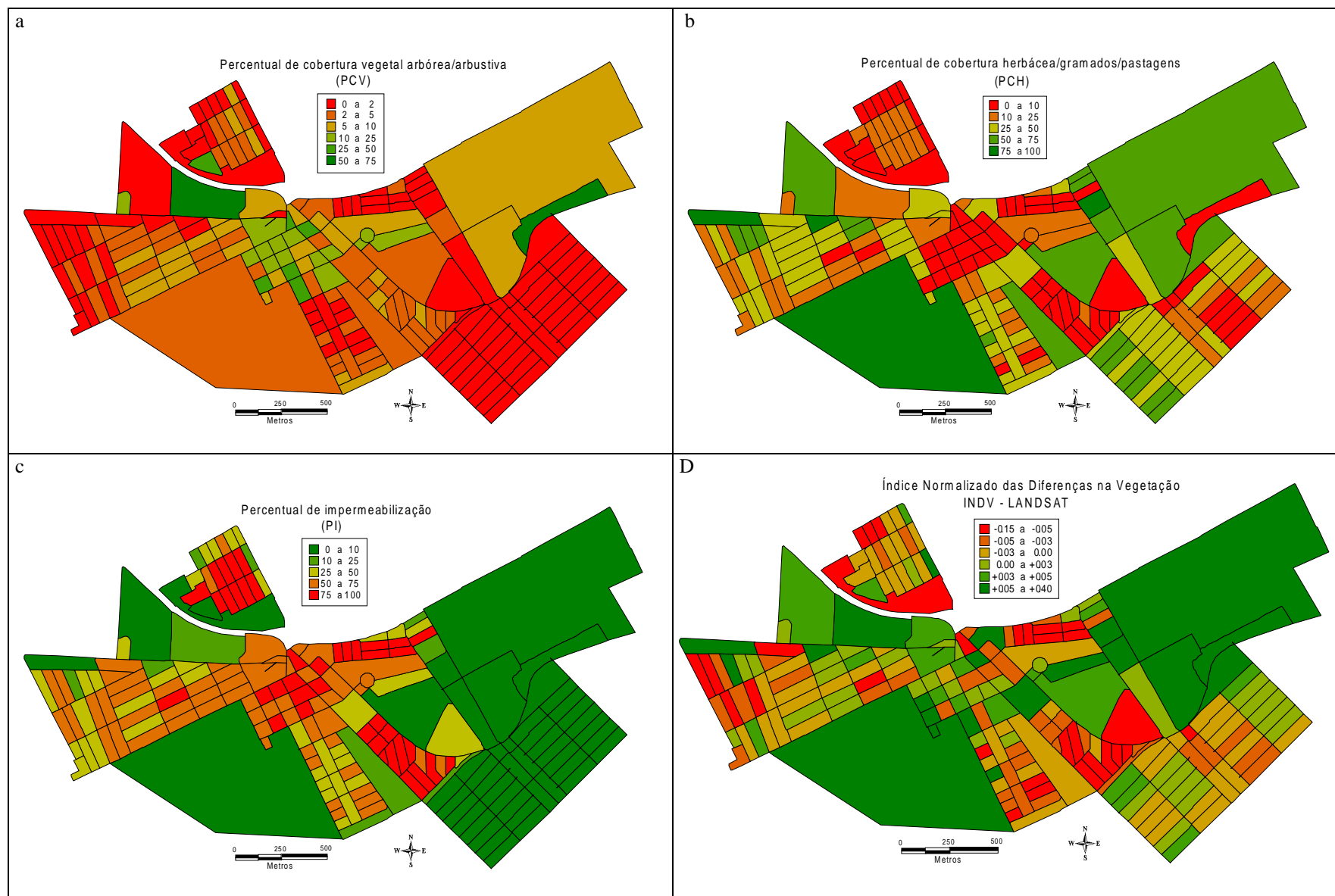


Figura 14: Caracterização das Unidades de Estudo com base na cobertura vegetal, impermeabilização e INDV (Índice Normalizado das Diferenças na Vegetação).
Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

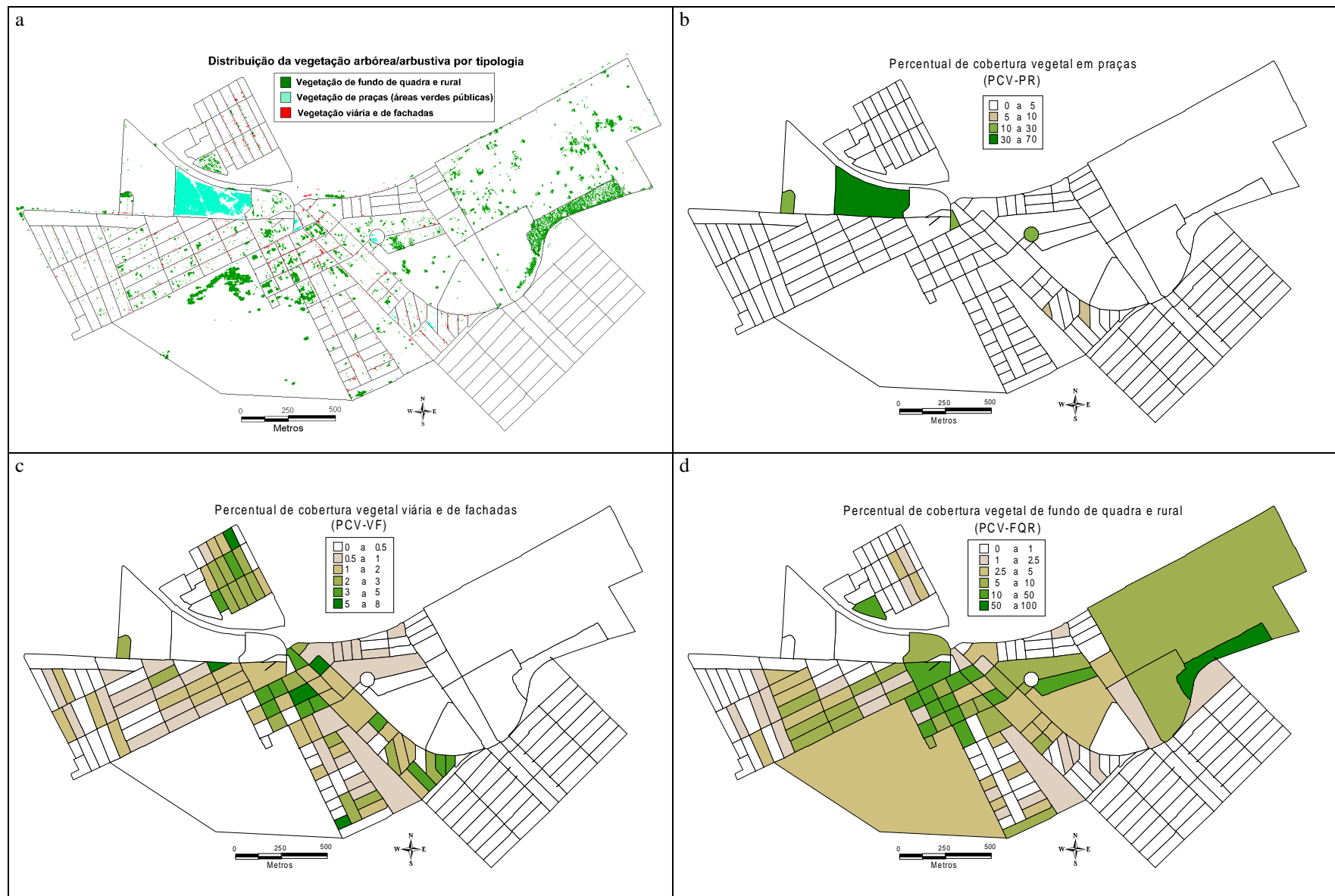


Figura 15: Caracterização das Unidades de Estudo com base na tipologia da vegetação arbórea/arbustiva. Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

O componente arbóreo/arbustivo de fundo de quadra e rural segue o padrão concêntrico descrito anteriormente, onde os valores para a região central são geralmente superiores a 10%, diminuindo nas áreas de urbanização mais recente até valores inferiores a 1% (Figura 15d). A vegetação viária e de fachadas (Figura 15c), com menor expressão em termos percentuais, segue um padrão com concentracidade menos evidente. Um fenômeno que merece atenção ocorre no Jd. CELPAV; o conjunto habitacional possui pouca vegetação arbórea/arbustiva, mas segue um padrão urbanístico que propicia o desenvolvimento da vegetação de fachada em detrimento da vegetação de fundo de quadra (Figura 15c,d). Este fenômeno tem origem no posicionamento das edificações; estas, voltadas ao fundo do lote permitem o estabelecimento de uma área, geralmente permeável, entre a testada do lote e a edificação. A vegetação que ali se desenvolve apresenta modesta expressão em termos percentuais (2 a 5%) ou absolutos, seja pela pequena área livre ou pela curta história do assentamento. Contudo representa um padrão habitacional onde a vegetação está dentro do campo de visão do pedestre; a experiência de caminhar por áreas com tais características provavelmente estará associada à percepção de uma maior qualidade cênica na maioria das pessoas.

3.4.2.1 A cobertura arbórea/arbustiva e as áreas permeáveis frente à forma de ocupação do solo urbano

A compreensão sobre a vegetação nas cidades é deficiente em alguns aspectos. Grande parte dos estudos abordam a relação entre a vegetação e o conforto térmico e diversos aspectos climáticos. Neste caso, a compreensão dos processos é auxiliado pelo emprego de técnicas de telemetria e armazenamento de dados, permitindo desta forma um monitoramento sistemático de diversas variáveis climatológicas junto às áreas verdes e arredores. Mapeamentos sistemáticos da vegetação urbana, contudo, ainda são escassos.

NOWAK (1999) realizou uma compilação de informações de uso do solo, áreas permeáveis e cobertura vegetal para 67 cidades no mundo. Mais de 60% das fontes citadas pelo autor são oriundas de trabalhos não publicados de levantamentos realizados pela USDA (United States Department of Agriculture), evidenciando a escassez de informações detalhadas sobre a ocupação do solo urbano, principalmente em relação aos componentes vegetais. Estas informações foram analisadas e comparadas aos resultados obtidos para Luiz Antônio (Tabela II). É importante notar que os valores obtidos por NOWAK (1999) não constituem parâmetros para balizamento ou padrão a ser adotado, dada a diferenciação nas normas urbanísticas, culturais, naturais e históricas nas cidades analisadas. A comparação foi realizada sobretudo

devido à sua factibilidade, dada a similaridade da estrutura das informações relatadas e aquelas obtidas para o presente estudo. Embora NOWAK (1999) tenha utilizado um sistema de classificação de ocupação do solo diferente do aqui empregado, o sistema de classes aproxima-se da tipologia de biótopos por nós utilizada, permitindo a realização de pequenos rearranjos e viabilizando a comparação aqui proposta.

Tabela II: Ocupação, permeabilidade e cobertura arbórea obtidos para Luiz Antônio (em negrito), em comparação a 67 cidades no mundo (entre parêntesis) modificado de NOWAK (1999). Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

	Área ocupada (%)	Proporção de áreas permeáveis (%)	Proporção de cobertura arbórea (%)	Proporção de cobertura arbórea nas áreas permeáveis (%)
Dados discriminados pela ocupação preferencial**				
Residencial	30.6 (40.6)	41.1 (48.8)	5.1 (17.2 - 31.4)	12.3 (33.4 - 53.6)
Comercial/industrial***	(12.7)	(26.4)	(4.8 - 7.2)	(18.4 - 24.8)
Institucional	4.7 (6)	45.7 (56)	6.6 (6.7 - 19.9)	14.4 (12.3 - 33.5)
Parques	2.7 (5.3)	76.7 (86.5)	54.4 (11.3 - 47.6)	71.0 (12.6 - 50.9)
Área desocupada/natural****	23.2 (23.7)	96.4 (96.7)	4.2 (0.8 - 44.5)	4.4 (0.8 - 46.6)
Outros (agricultura, transporte, usos mistos)	38.8 (11.7)	97.2 (70.1)	4.3 (3 - 7.7)	4.4 (4.6 - 12.9)
Dados discriminados pela da vegetação natural local				
Florestal *	-	(58.4)	(31.1)	(50.9)
Campos *	-	(54.8)	(18.9)	(32.9)
Desertos *	-	(64.8)	(9.9)	(16.9)
Cerrado (lato senso)	-	76.8	5.79	7.8

* Valores obtidos para 37 cidades, discriminadas segundo a vegetação natural local (*forest* n=12, *grassland* n=18, *desert* n = 7).

** Visando possibilitar comparações, o sistema de tipologia de biótopos obtido para este estudo foi submetido a um reagrupamento para o sistema de classificação utilizada por NOWAK (1999).

*** No presente estudo não ha distinção entre áreas de ocupação comercial e residencial

**** Foram consideradas como áreas "desocupadas/naturais" as categorias relativas aos loteamentos em implantação, áreas verdes e institucionais não implantadas e fragmentos de vegetação nativa.

Apesar da diferenciação esperada nos padrões do urbanismo, como anteriormente discutido, a Tabela II mostra uma elevada similaridade entre a ocupação urbana de Luiz Antônio e os dados apresentados por NOWAK (1999). A maior concentração da categoria "outros" (agricultura, transporte, usos mistos) para Luiz Antônio (38,8%) está associada à pequena dimensão da cidade, que propicia uma grande proporção de áreas de pastagens e agricultura nas regiões circundantes.

Nota-se pela Tabela II que existe uma forte tendência à diferenciação da cobertura vegetal e do percentual de áreas permeáveis entre as áreas residenciais, comerciais e institucionais. Tal tendência, entretanto, não é seguida por Luiz Antônio; embora tenha-se somente sido realizada a distinção das áreas predominantemente institucionais, nota-se que esta categoria apresenta uma proporção de áreas permeáveis e de cobertura arbórea similar às áreas residenciais e comerciais. Este fenômeno provavelmente está associado novamente à pequena dimensão do núcleo urbano de Luiz Antônio, que determina um padrão indistinto para as áreas de ocupação institucional.

Por outro lado, fica evidente a menor quantidade cobertura arbórea para Luiz Antônio em relação às outras cidades. Esta evidência é de caráter geral e descreve um padrão seguido por todas as categorias de ocupação preferencial do solo, exceto para os parques. Neste contexto, parece sensato afirmar que embora Luiz Antônio tenha apenas 2,7% de sua área destinada aos parques, os mesmos apresentam uma condição melhor de cobertura vegetal, ou seja, são melhor arborizados.

NOWAK (1999) analisa a cobertura vegetal e as áreas impermeáveis de 37 cidades estadunidenses de acordo com a vegetação potencial, ou seja, de acordo com as características fisionômicas da vegetação regional. O autor demonstrou estatisticamente que os aspectos de impermeabilização do solo e da cobertura arbórea são fortemente influenciados por aspectos biogeográficos; cidades em regiões desérticas, por exemplo, tendem a apresentar maior quantidade de áreas permeáveis, contudo, dada as limitações naturais, geralmente apresentam uma menor porção de superfícies arborizadas que cidades localizadas em áreas com fisionomia vegetal florestal e campestre. Apesar da dificuldade na comparação entre as formações vegetais dos Estados Unidos e o cerrado brasileiro, os valores de cobertura arbórea/arbustiva para Luiz Antônio (5,79%) podem ser considerados baixos, pois são inferiores aos valores obtidos para as cidades estadunidenses, mesmo às situadas em regiões desérticas.

Apesar dos parques de Luiz Antônio apresentarem um quadro relativamente satisfatório em relação à cobertura arbórea/arbustiva, este parâmetro é relativamente baixo quando são analisados todos os espaços urbanos conjuntamente. Aqui novamente, mostra-se o efeito de uma cidade de pequeno porte circundada por pastagens e por extensas áreas desnudadas, como os loteamentos em fase de implantação. O núcleo urbano de Luiz Antônio, em

associação com áreas do entorno imediato, encontra-se numa condição aproximada de desertificação florística.

3.4.2.2 As manchas de vegetação arbórea/arbustiva

O componente arbóreo/arbustivo de Luiz Antônio (Figura 15a) também foi analisado por alguns parâmetros básicos como número de manchas, área, índice de forma (IF) e distância da mancha vizinha mais próxima (Tabela III).

Tabela III: Distribuição das manchas de vegetação arbórea/arbustiva em Luiz Antônio segundo a sua tipologia. Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

Tipologia da vegetação	Número de manchas	Área absoluta ocupada (ha)	Área relativa ocupada (% da vegetação total)	Área média das manchas (m ²)	Distância média da mancha vizinha mais próxima* (m)	Índice de Forma médio (IF)
Vegetação viária e de fachadas	1360	1.74	7.8	12.8	11.8	1.26
Vegetação das áreas verdes públicas	134	5.35	24.0	399.5	6.2	1.34
Vegetação de fundos de quadra e rural	3001	15.22	68.2	50.7	10.4	1.35
Totais e médias gerais	4495	22.31	100	49.6	10.6	1.36

* A distância média do vizinho mais próximo é calculada a partir da mancha de vegetação mais próxima, independentemente desta pertencer à mesma tipologia.

A cobertura vegetal de fundo de quadra e rural, representando 68,2% da vegetação arbórea/arbustiva total está distribuída em 3001 manchas, com área média de 50,7 m². A cobertura vegetal das áreas verdes públicas (5,35 ha) é responsável por 24% da vegetação arbórea/arbustiva total. A elevada área média de manchas nesta categoria (400 m²) é devida principalmente ao Bosque Municipal e Centro de Lazer Augusto Santori (7,24 ha).

Um quadro diferente é descrito pela vegetação viária, com área média de 12,8 m², representando principalmente árvores isoladas ou fusão de poucas copas. Isto pode ser confirmado pelo Índice de Forma (IF) relativamente baixo, indicando formas circulares ou elípticas. Esta diferenciação na forma de copa foi comprovada estatisticamente (ANOVA - Análise de Variância, $\alpha=0,05$).

É importante notar que a distância da mancha vizinha mais próxima (Tabela III) não representa a distância média entre árvores, pois muitas manchas são representadas pela fusão

de duas ou mais copas. Da forma pela qual foi estimado, este parâmetro pode ser reconhecido como uma medida geral de conectividade/isolamento da paisagem (FORMAN & GODRON 1986, TURNER & GARDNER, 1991). Algumas considerações entretanto devem ser feitas. Primeiramente, uma baixa distância entre duas manchas não significa necessariamente elevada conectividade ou baixo isolamento, pois estas podem estar isoladas das demais manchas por distâncias muito maiores. Nestes termos, trabalhar com "distância média", como na Tabela III, representa um parâmetro bem mais confiável, pois não expressa a conectividade ou isolamento desta ou daquela mancha, mas descreve um quadro geral que caracteriza a conectividade da paisagem e o isolamento da vegetação arbórea/arbustiva na sua totalidade. A segunda consideração diz respeito ao caráter antropocêntrico que conduziu à tipologia da vegetação utilizada neste estudo. Nos processos de movimentação de organismos, informações genéticas, matéria e energia na paisagem, seja por vetores biológicos, físicos ou humanos, tais medidas de conectividade podem ser especialmente úteis; no entanto, estes vetores não respeitam obrigatoriamente os limites fundiários (áreas públicas x privadas) e nem limitam-se a promover a troca dentro de uma única tipologia de vegetação (viária ou fundo de quadra). Desta forma, o cálculo da distância média da mancha mais próxima não considera apenas a distância ao vizinho mais próximo da mesma tipologia. Por exemplo, nas ruas com arborização viária composta por poucas árvores isoladas entre si por dezenas de metros, o vizinho mais próximo da arborização viária é geralmente representado por manchas de vegetação nos fundos da quadra ou de praças.

A vegetação das áreas verdes públicas foi a que apresentou menor isolamento (6,2 metros), mostrando que os parques urbanos, além de serem os espaços com maior abundância de cobertura vegetal, compreendem os biótopos cujas manchas de vegetação apresentam um padrão mais aglomerado. Diante da inexistência de informações equivalentes para outras cidades que permita realizar uma análise comparativa, as informações aqui apresentadas possuem um caráter mais descritivo, sinalizando, entretanto, a necessidade da realização de esforços em estudos que avaliem os fluxos de organismos entre manchas de vegetação, principalmente para aqueles organismos que apresentem pequena área de vida em um ou mais estágios do seu desenvolvimento, como ocorre com os pulgões, aranhas e crustáceos terrestres, dentre outros grupos de artrópodos.

3.4.2.3 INDV (índice normalizado das diferenças na vegetação) e o Uso do Solo

Diante dos algoritmos de processamento de imagens existentes, os satélites em uso são, na melhor das hipóteses, apenas fonte complementar de informações para a foto-interpretação aérea (Green *et al.*, 1993 *apud* MULLER, 1997). O sensor TM do Landsat não se mostra adequado para mapeamentos em áreas urbanas, dada a sua baixa resolução geométrica (30 m, ou 0,09 ha), não permitindo também a observação de feições em detalhes, como carros, ruas, casas, árvores, etc. Mesmo diante desta limitação, há a possibilidade do seu emprego pela análise de grandezas derivadas das respostas espectrais dos alvos terrestres em unidades espaciais maiores que agreguem um número mínimo de *pixels*. As bandas espectrais respondem ao conjunto de diferentes objetos (vegetação, asfalto, solo exposto, etc.) encerrados num único *pixel* de 30 x 30 m; uma resposta espectral semelhante ocorrerá para áreas maiores que um *pixel*, ganhando-se com isso maior representatividade. Para feições maiores que 0,5 ha como a maioria das quadras, chácaras e cemitérios, estas propriedades por ser especialmente úteis. Uma quadra, por exemplo, que tenha 1 ha e apresente vegetação abundante, terá maior absorção na banda do vermelho (TM3) em função da maior quantidade de clorofila local; esta mesma quadra pode ser representada por cerca de 10 *pixels*. Desta maneira, mesmo não sendo possível identificar nenhuma mancha de vegetação, pode-se ter uma noção relativamente boa da quantidade de vegetação, pelo menos em relação a outras quadras submetidas ao mesmo tratamento.

Os principais SIGs disponibilizam atualmente um grande número de índices vegetacionais derivados de informações orbitais; o INDV (Índice Normalizado das Diferenças na Vegetação) tem sido o mais utilizado e representa uma grandeza entre -1 e +1 extraída das bandas espectrais vermelha (TM3) e infravermelho próximo (TM4) e que está diretamente correlacionado à biomassa vegetal (Kg/ha) (EASTMAN, 1997). No presente estudo, o INDV-Landsat foi utilizado na determinação do INDV médio para cada UE e, mais tarde, para a gerar um modelo numérico para avaliar a aplicabilidade do sensor TM-Landsat em diagnóstico rápido e de baixo custo para biótopos urbanos, com base na relação entre o INDV médio e o Uso do Solo.

A Figura 16 relaciona o INDV-Landsat (Figura 14d) às classes de uso do solo (Figura 14a,b,c). O modelo linear utilizado para a estimativa do INDV (variável dependente) foi executado em passos (*stepwise*) e incluiu originalmente todas as classes de uso do solo

(variáveis independentes). O modelo polinomial resultante e os coeficientes foram aceitos para $\alpha=0,05$. A regressão múltipla stepwise finalizou com a inclusão de 3 variáveis (Vegetação arbórea/arbustiva, Vegetação herbácea/gramados/pastagens e Áreas impermeáveis) e o valor de r^2 foi de 0,761 (Figura 16e).

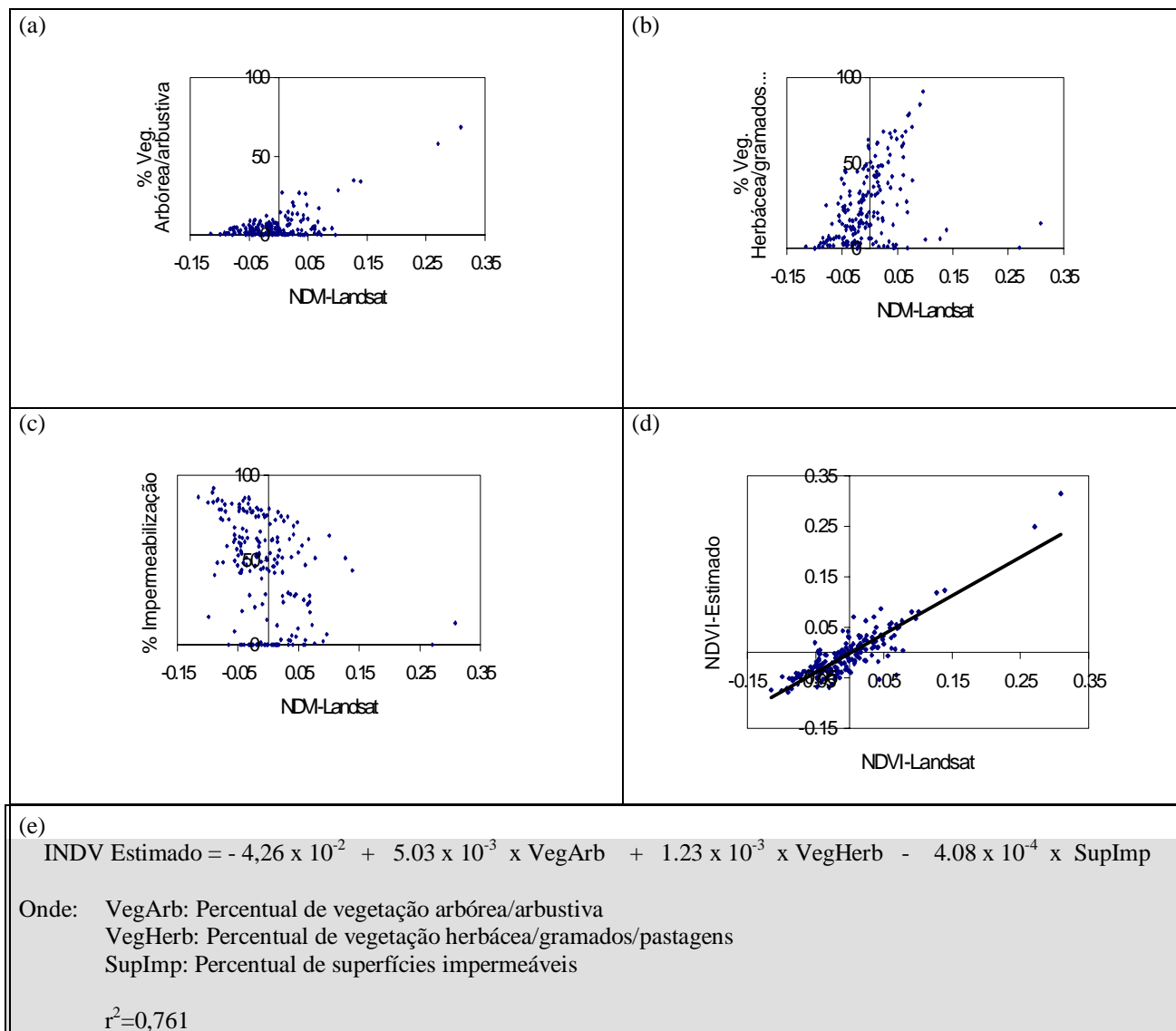


Figura 16: Resposta do INDV-Landsat (Índice Normalizado das Diferenças na Vegetação) em função do Uso do Solo para as Unidades de Estudo (UEs); Os gráficos (a), (b) e (c) mostram o diagrama de dispersão entre o INDV-Landsat e diferentes classes de uso do solo; (d) mostra a dispersão entre INDV-Landsat e o INDV estimado segundo o modelo polinomial descrito em (e). As informações originais estão apresentadas na Figura 14 sob a forma de cartas temáticas. Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

É importante notar que os diagramas de dispersão da Figura 16a e Figura 16b mostram o efeito direto da vegetação sobre os valores de INDV-Landsat, enquanto a Figura 16c mostra o efeito inverso das superfícies impermeáveis. No entanto a melhor nuvem de dispersão é aquela que relaciona INDV-Landsat com INDV-Estimado (Figura 16d) pelo modelo resultante (Figura 16e). Outro aspecto a ser observado é o valor dos coeficientes para as 3 classes de uso do solo; o coeficiente para VegArb (5.03×10^{-3}) é 4,1 vezes superior ao de VegHerb (1.23×10^{-3}), indicando o efeito direto do porte da vegetação sobre os valores de INDV-Landsat; por outro lado, o valor negativo para o coeficiente de SupImp (-4.08×10^{-4}) mostra o efeito inverso das áreas edificadas e calçadas, como discutido anteriormente.

O INDV, estando vinculado a diferentes fatores, por sua vez, relacionados à qualidade ambiental, constitui uma forma alternativa e rápida para a avaliação da qualidade de biótopos urbanos, bairros ou qualquer unidade espacial de dimensão acima de 0,5 ha. Os sensores HRV-Spot (20m), AVHRR-NOAA (1100 m), AVIRIS e IKONOS-II (4 m) também apresentam potencial para aplicações similares, pois operam com as bandas que permitem a sua utilização na determinação de INDV e outros índices vegetacionais. Dentre estes, o IKONOS II, recentemente colocado em operação, merece especial atenção em decorrência da sua elevada resolução multi-espectral de 4 metros.

3.4.3 Habitações, edificações e impermeabilização do solo

Aspectos diretamente associados às áreas edificadas e a sua relação com as áreas livres e a impermeabilização do solo são explorados na Figura 17. É imprescindível compreender que nem todas as áreas impermeabilizadas compreendem edificações (Figura 3). As calçadas, o asfalto viário e os pátios cimentados apresentam significado social e devem ser inspecionados frente aos aspectos habitacionais e demográficos. Da mesma forma, as áreas livres não significam necessariamente espaços permeáveis; os pátios, mesmo cimentados ou revestidos por material que não favorece a percolação da água pluvial, constituem portanto alvo do presente estudo. A intensidade com que as áreas livres são impermeabilizadas e a forma pela qual os espaços impermeabilizados são distribuídos entre áreas de vivência ao ar livre e áreas de construção útil (habitação, comércio e serviços) podem trazer informações úteis na avaliação dos diferentes desenhos urbanos e suas implicações para os processos e eventos climáticos na urbe, tanto quanto suas conseqüências.

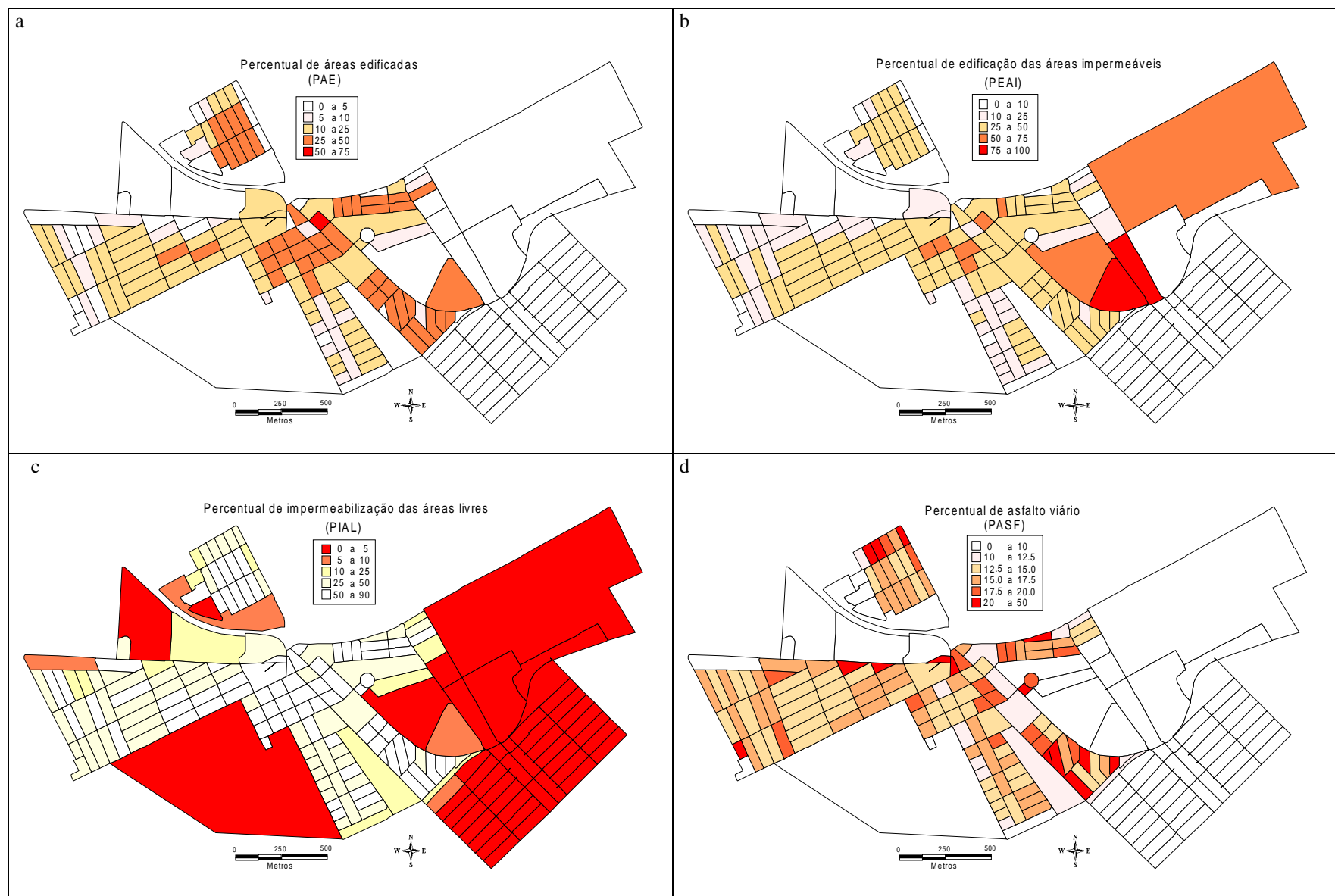


Figura 17: Caracterização das Unidades de Estudo com base nas áreas edificadas e na impermeabilização das áreas livres. Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

Luiz Antônio apresenta apenas uma UE com densificação de edificações em torno de 75% (Figura 17a); algumas áreas residenciais, ao contrário, têm um percentual de áreas edificadas (PAE) inferiores a 5%. A maioria das UEs contam com um PAE entre 10 e 50%. Porém, talvez o padrão mais importante que esta variável revela, esteja na distribuição concêntrica (centro-periferia) das áreas edificadas. Este padrão no entanto é rompido para alguns bairros mais recentes que apresentam um adensamento de edificações notório, entre 25 e 50% (Jd. Alvorada, Jd. CELPAV, Jd. Pref. Orlando Rosatti e arredores); cabe lembrar que estes bairros também apresentaram elevadas taxas de impermeabilização do solo, como descrito na seção 3.4.2 e na Figura 14c.

O percentual de edificação das áreas impermeáveis (PEAI, Figura 17b) revela alguns aspectos interessantes; inicialmente, que algumas UEs centrais foram submetidas, em alguma ocasião, a um intenso processo de edificação que deslocou o uso do solo à um padrão altamente edificado em detrimento dos pátios de fundo de quintal. Por outro lado, o PEAL no Jd. Pref. Orlando Rosatti, um dos bairros mais recentes, e nas áreas de chácaras na porção leste de Luiz Antônio apresentam valores mais elevados (75 a 100%), revelando que nas primeiras etapas da urbanização, as edificações são erguidas e as áreas livres mantêm-se permeáveis por um curto período de tempo, até que seja efetivado o asfaltamento e o calçamento das vias públicas e a pavimentação dos pátios particulares. Este fenômeno também pode ser evidenciado por outra variável, o percentual de impermeabilização das áreas livres (PIAL, Figura 17c); para o Jd. Pref. Orlando Rosatti, os valores de PIAL mantiveram-se baixos (entre 5 e 10%), o mesmo não ocorrendo com o restante da área efetivamente urbanizada, onde a impermeabilização das áreas livres é geralmente acima de 25%, podendo atingir valores de até 90%. Como seria esperado, nas áreas não urbanizadas do entorno do núcleo urbano, o PIAL é extremamente baixo, 5% ou menos.

O percentual de asfalto viário (PASF, Figura 17d) traz simultaneamente informações sobre o grau e a qualidade da infra-estrutura viária nos diversos setores urbanos, bem como revela algumas propriedades que emergem a partir da morfologia dos projetos de assentamentos urbanos. Uma maior densidade de asfalto viário (20% ou mais) tende a ocorrer nas quadras menores, alongadas, trapezoidais ou triangulares, mostrando que a relação perímetro/área tem um efeito mensurável a partir do mapeamento de uso do solo realizado. Os quarteirões quadrados da região central geralmente apresentam PASF entre 12,5 e 15%; valores nesta magnitude ou ligeiramente superiores ocorrem nos quarteirões limítrofes à área urbanizada, principalmente pela inexistência de ruas asfaltadas contornando o núcleo urbanizado. A

variação do PASF entre UEs limítrofes e inseridas dentro do mesmo padrão de desenho urbano, parece estar relacionada às falhas na classificação da categoria "asfalto viário", como consequência do recobrimento diferencial das vias públicas por resíduos de construção civil, argilas e automóveis. Algumas UEs que apresentaram maior valor de PASF são atendidas por um sistema de vias duplas. Neste caso, o parâmetro mais indica a qualidade do sistema de transporte que as eventuais consequências do desenho urbano, como anteriormente discutido.

3.4.4 Dimensão fractal

Os fractais tem sido definidos como padrões feitos de partes similares ao todo, de alguma forma (DE COLA, 1989). Na natureza ocorrem processos e estruturas que parecem seguir os modelos descritos pela teoria fractal; alguns exemplos são a similaridade na forma/ramificação de nuvens de diferentes tamanhos, umas internas ou adjacentes às outras maiores; a similaridade no padrão de ramificação dos vegetais ao longo de caule, galhos, ramos, folhas e folíolos. Uma pessoa, ao realizar uma inspeção detalhada em uma imagem de satélite da floresta amazônica poderá identificar facilmente o padrão meândrico em diferentes rios de diferentes tamanhos; como os meandros são menores para rios mais estreitos (geralmente tributários de rios mais caudalosos), a pessoa menos atenta ao "zoom" (ou escala) da imagem estará sujeita a confundir-se entre diferentes rios, mesmo quando estes apresentarem-se distantes em ordem, superfície de drenagem, profundidade, fluxo e uma série de outros parâmetros não perceptíveis nas imagens de satélite. Nas áreas desmatadas, os pequenos igarapés não visíveis na imagem são notados nas fotografias aéreas, freqüentemente, com o mesmo padrão meândrico.

A geometria clássica euclidiana é insuficiente para a análise de fenômenos com propriedades fractais, por trabalhar apenas com dimensões inteiras ($d = 1, 2, 3, \dots$). Linhas são objetos unidimensionais, retângulos são bidimensionais, cubos tridimensionais. Na geometria fractal, a *dimensão fractal*, D , atinge valores fracionários. Na análise cartográfica, D varia entre 1 e 2. Formas regulares (quadrados, círculos), também chamados de "fractais degenerados", apresentam menor D que formas com bordas complicadas (BUZAI *et al.*, 1998; JORGE & GARCIA, 1997; TURNER & GARDNER, 1991). A dimensão fractal é portanto um dos caminhos para contrastar formas na paisagem (DE COLA, 1989). A teoria fractal diz que se um determinado fenômeno (distribuição da vegetação arbórea arbustiva, por exemplo) apresenta padrão de manchas e corredores similares em duas escalas distintas (Fotografias aéreas X imagem Landsat), ou seja, apresenta propriedade fractal de auto-similaridade, as

dimensões fractais calculadas para estas duas escalas deverão assumir valores aproximados; caso este padrão observado na primeira escala difira da segunda, os valores de D deverão divergir. Desta forma, os fractais são atrativos enquanto ferramentas para análise espacial.

BUZAI *et al.* (1998) estudou Buenos Aires com o uso de fractais e considera que o estudo do crescimento fractal das cidades abre espaço para uma nova geometria dos objetos naturais e culturais. JORGE & GARCIA (1997), trabalhando com classificação de uso do solo a partir de uma imagem do Landsat da região do Botucatu (SP), testou e confirmou a hipótese de que D não varia com a escala, ou seja, que os fenômenos naturais são reproduzidos em todas as escalas. No entanto, o autor destaca que alguns pesquisadores (Goodchild, 1980; Krummel *et al.* 1987; Mark, Aronson, 1984 *apud* JORGE, GARCIA, 1997) apresentam evidências de que muitos fenômenos naturais não apresentam auto-similaridade em todas as escalas.

Muitos autores trabalham com a hipótese de que as áreas urbanas apresentam formas mais complexas que o meio rural e natural. DE COLA (1989), estudando a região noroeste de Vermont com a geometria fractal, sugere que a urbanização determine uma forma mais complicada que a agricultura, áreas florestais e corpos d'água. Este fenômeno também foi evidenciado por MESEV & LONGLEY (1995), que trabalhou com imagens Landsat em dois anos distintos e mostrou que a D elevou ao longo do tempo na área urbana, construída e residencial (as classes se sobrepõem) e diminuiu na classe não residencial.

A Figura 18 apresenta as diferentes classes de uso do solo em Luiz Antônio dispostas em ordem crescente de dimensão fractal. O menor valor de D ocorre para a vegetação arbórea das praças (1,42). As áreas de vegetação herbácea, asfalto viário, edificações e solos tiveram D entre 1,63 e 1,67. A vegetação viária e de fachadas representou o grupo do componente arbóreo/arbustivo com maior complexidade de forma (1,76). As superfícies impermeáveis, entretanto, representam a classe com contorno mais elaborado ($D = 1,80$). Os dados aqui apresentados são derivados de um mapeamento detalhado, tanto em número de classes quanto no tamanho do *pixel* (0,5 m), diferindo do grau de detalhamento temático e espacial dos demais trabalhos consultados, os quais geralmente utilizam imagens Landsat e mapas históricos. Ainda assim, a hipótese de que a urbanização e, mais especificamente, as estruturas culturais altamente manejadas apresentam maior complexidade de forma, torna-se atrativa (Figura 19). Uma inspeção ou tentativa de digitalização das superfícies impermeáveis é suficiente para ilustrar a complexidade das suas formas diante de outros elementos urbanos. Superfícies impermeáveis geralmente são representadas por finos corredores que

"desembocam" em áreas de pátios cimentados nos fundos de quintal, ou constituem passeios que percorrem toda a borda do lote e se unem às calçadas públicas, criando contínuas áreas impermeáveis que conectam várias residências (Figura 19).

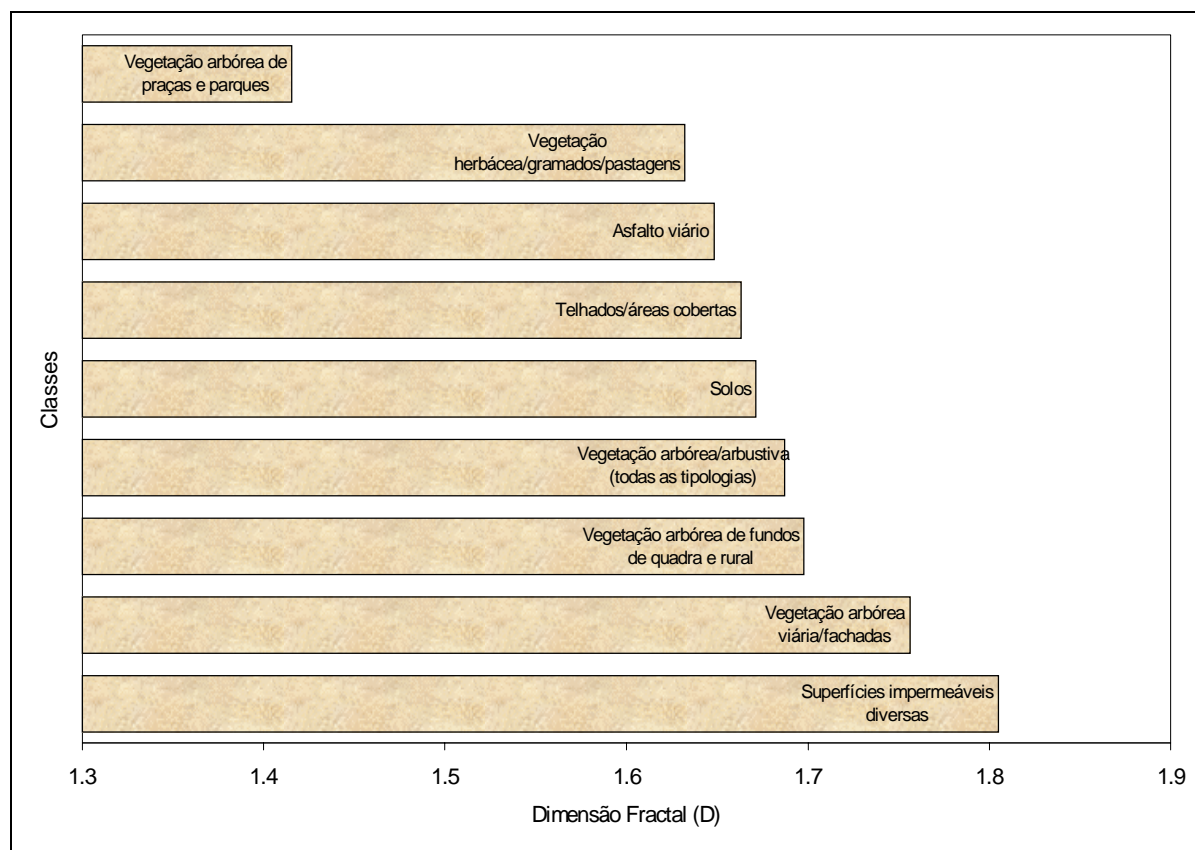


Figura 18: Dimensão fractal (D) para classes de uso do solo em Luiz Antônio. Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).



Figura 19: Ilustração do efeito da complexidade da forma sobre a dimensão fractal (D) para algumas classes de uso do solo numa mesma região de Luiz Antônio. Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

A ordem em que aumenta a dimensão fractal para a vegetação arbórea, sugere associação com a intensidade de manejo. Embora a vegetação de parques seja manejada por plantio, remoção e poda de árvores, sua maior área é representada pelo Bosque Municipal e Centro de Lazer Augusto Santori (7,24 ha), caracterizado por um manejo pouco intenso e praticamente desprovido de áreas calçadas, caminhos e redes. A vegetação viária e de fachadas, por outro lado, é reconhecida como a mais intensamente manejada em virtude da necessidade de adequação das árvores à rede de serviços urbano, iluminação natural a aspectos estéticos.

As considerações anteriores trazem evidências sobre a aplicabilidade da geometria fractal no estudo das estruturas urbanas. Neste contexto, BUZAI *et al.* (1998) considera que este tema não tem justificativa somente na realização de investigações teóricas, mas no desenvolvimento de melhores métodos de simulação, predição e medição das propriedades dos sistemas urbanos.

3.5 Qualidade do ambiente e de vida

Qualidade de vida e ambiental são temas de muitas investigações. MANFREDI & VELASQUEZ (1994) sugerem que a qualidade de vida seja calculada segundo 5 fatores: impacto fisiológico; impacto psico-fisiológico; desenvolvimento cultural e participação do indivíduo na comunidade; condicionamento psico-social e dependência ecológico-ambiental. Dentro da abordagem sugerida, são analisadas diversas variáveis relacionadas à alimentação, nutrição, saúde, saneamento ambiental, moradia, estética ambiental, descanso e recreação, desenvolvimento de aptidões e capacidades, produtividade e sustentabilidade dos ecossistemas, estabilidade ecológico-ambiental e critérios de uso dos recursos naturais. As sub-variáveis analisadas vão desde a ingestão diária de calorias até aos acontecimentos bélicos. A forma de abordar as questões específicas também é rebuscada; em termos de recreação, por exemplo, não considera-se somente a presença de espaço físico (praças, quadras, etc.), mas também a disponibilidade de tempo semanal para atividades de lazer e esporte. Como é abordada pelo autor, a qualidade ambiental não é separada, contudo contextualizada na avaliação da qualidade de vida.

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) das Nações Unidas tem ampla aplicação no Brasil, porém não inclui fatores ambientais; as variáveis consideradas são apenas longevidade, educação e renda. Em Belo Horizonte, foram incluídos um maior número de fatores na determinação do IQVU (Índice de Qualidade de Vida Urbana). As variáveis seguem pesos

determinados pelo procedimento *Delphi* na seguinte ordem: habitação, infra-estrutura urbana, saúde, educação, serviços urbanos, segurança urbana, abastecimento, meio ambiente, cultura, esporte, assistência social. O meio ambiente tem pouco peso (6,19) frente ao fator habitação (17,66); a diferença é de 2.85 vezes (BELO HORIZONTE, 1996).

No presente estudo, ao invés de hierarquizar Qualidade Ambiental e Qualidade de Vida, optou-se pela análise individual de vários parâmetros pertinentes ao assunto. Desta maneira, as variáveis são discutidas separadamente em termos de qualidade de vida e ambiental. No entanto, consideramos que a maioria dos fatores que induzem à maior qualidade do ambiente, também conduzem à elevação da qualidade de vida. Embora possa parecer distante da ecologia clássica, o pressuposto pode ser um caminho para o desenvolvimento de uma abordagem na qual o homem seja efetivamente internalizado na natureza, sem a necessidade de hierarquização entre o *Homo sapiens* e os demais componentes da biota, compartimentos, funções e processos ecológicos. Isto parece estar ainda distante, não somente por questões filosóficas ou comportamentais, mas principalmente pela falta de uma metodologia que integre fatores tão diversificados em um único denominador. Contempla-se, desta forma, ambos os aspectos objetivando uma visão mais ampla e uma maior factibilidade e coerência no planejamento.

3.5.1 Aspectos demográficos e densidades

Os termos "adensamento" e "densidade" são geralmente vinculados aos aspectos populacionais. Esta é uma visão muito simplificada por ignorar outras formas de densidades. O adensamento habitacional, de serviços, de áreas verdes e de drenagem, por exemplo, incorporam informações relevantes para o entendimento e a determinação de indicadores de qualidade e riscos ambientais e sociais. A mesma lógica pode ser empregada na determinação de uma infinidade de outras densidades, as quais podem ser expressas em termos de densidades brutas ou líquidas. (ACIOLY & DAVIDSON, 1998; OLIVEIRA, 1996). HENKE-OLIVEIRA & SANTOS (2000), por exemplo, consideraram densidades de serviços urbanos para equipamentos institucionais (número de vagas em escola pública/km², vagas em creches/km², etc.), confrontando estas informações à densidade populacional para obtenção de indicadores de demanda/oferta de serviços urbanos (vagas em escola / habitantes) na busca de balizamento para a tomada de decisão no planejamento urbano.

Difícilmente pode-se afirmar qual o valor mais adequado para o adensamento urbano. Fatores culturais, estrutura familiar, formas de edificação, aptidão econômica e estrutura etária descrevem condições onde as densidades ideais permanecem incógnitas. A complexidade do tema e as diferentes metodologias e tipologias da densificação urbana não somente dificultam os estudos técnicos, o diagnóstico e o planejamento das cidades, como também possibilita descrever diferentes cenários segundo a conveniência dos planejadores e tomadores de decisão.

Pequenos núcleos urbanos enfrentam problemas em promover adequada qualidade de serviços, visto que se exige um maior investimento per capita, dada a baixa densidade demográfica. Por outro lado, nos grandes centros, onde cada metro de arruamento ou de rede de abastecimento de água ou esgoto atende a um número maior de moradores, a qualidade ambiental e de vida é afetada por problemas de poluição do solo da água e do ar, além impactos psico-fisiológicos decorrentes da poluição sonora, do estresse provocado pelo trânsito e pelo aumento da violência (ACIOLY & DAVIDSON, 1998).

A Tabela IV contrasta os dados de densidade populacional de Luiz Antônio e outras cidades brasileiras. Cabe lembrar que os dados censitários da população estão baseados nas curvas populacionais descritas por modelos, por sua vez alimentados com informações dos censos anteriores, da contagem populacional de 1996 e da determinação das taxas geométricas de crescimento populacional. As informações do CENSO 2000 para Luiz Antônio indicam, entretanto, uma população urbana de 6.552 habitantes, ligeiramente abaixo da prevista nos modelos do IBGE. No entanto, a densidade populacional urbana aqui calculada manteve as bases nos modelos populacionais supracitados em função de que os dados do último censo ainda têm caráter preliminar e pelo fato de que seria mais adequado trabalhar com valores populacionais mais próximos à data de obtenção das fotografias aéreas (1997).

A densidade populacional pode ser *bruta* ou *líquida*. No primeiro caso, inclui-se todos os espaços, públicos, privados, edificados ou não, enquanto a densidade populacional *líquida* engloba apenas as áreas alocadas para o uso residencial. Em alguns casos ainda, notoriamente na Inglaterra, as ruas e passeios em frente à fachada das residências são consideradas na determinação do adensamento populacional. Porém, talvez o maior desafio em trabalhar com índices de qualidade dependentes da demografia reside no fato de que a densidade populacional é um parâmetro submetido a elevadas alterações em curto espaço de tempo. A verticalização, por exemplo, mesmo branda, pode elevar em várias vezes o número de

habitantes numa única quadra (Tabela IV). As mudanças na economia, notoriamente o desenvolvimento comercial de alguns segmentos urbanos, determina fortes alterações populacionais. Em casos extremos, cria-se uma estrutura urbana monofuncional onde a população residente é substituída por outra, itinerante, com diferenciações em termos sócio-econômicos e etários (ACIOLY & DAVIDSON, 1998).

Luiz Antônio apresenta uma densidade populacional urbana baixa em relação às poucas cidades tomadas para comparação na Tabela IV; considerando-se apenas a área efetivamente urbanizada, o valor de 44,3 habitantes/ha descreve uma cidade sem verticalização habitacional e com um grande número de lotes vazios. Aproxima-se, no entanto, ao contexto de São Carlos, que embora seja consideravelmente maior, está inserida dentro de uma realidade geográfica muito próxima.

Tabela IV: Valores de densidade populacional para algumas cidades brasileiras. Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

Cidade	Observações	Densidade Populacional (habitantes/ha)		Fonte
		Bruta	Líquida	
Luís Antônio	Com base nos dados censitários para 1996	16.7	41,4 para a área urbanizada 57,8 somente para a área residencial	-
São Carlos (SP)	Média geral / Área urbanizada	39.7		OLIVEIRA (1996)
	Setores centrais / centro comercial com verticalização pouco intensa	120		
	Setores periféricos de baixa densidade habitacional	10		
Curitiba (PR)	Média geral	37		ACIOLY & DAVIDSON (1998)
	Valor considerado de médio adensamento, em ocupação prédios em multifamiliares	180		
	Valor considerado baixo, com prédios unifamiliares.	70		
São Paulo (SP)		63	160	
Brasília (DF)	Quadras com prédios de 3-6 pavimentos	150-250		
	Cidades-satélite	Acima de 400		
	Itamaracá	215	441	
Natal (RN)	Favelas de Rocas e Santos Reis.	350		Sinnatamby, 1990 <i>apud</i> ACIOLY & DAVIDSON (1998)

3.5.2 Indicadores de qualidade

Foi constatada a insuficiência de bibliografias relativas aos aspectos aqui analisados. Talvez o maior problema resida no fato de que o presente trabalho não abordou isoladamente as classes de uso do solo, mas gerou informações derivadas do cruzamento destas entre si e com informações censitárias. Entretanto, o livro de ACYOLY & DAVIDSON (1998), embora não crie exatamente as mesmas relações aqui empregadas, discute a questão urbana de forma ampla, orientada ao planejador urbano brasileiro e ilustrada com exemplos nacionais e estrangeiros.

Diversos estudos relacionam as áreas verdes e a vegetação urbana aos aspectos populacionais. O Índice de Áreas Verdes (IAV), algumas vezes denominado Índice de Áreas Livres (IAL), tem sido o principal indicador da arborização urbana, tendo sido calculado para diferentes cidades brasileiras, seguindo contudo metodologias distintas (BIANCHI & GRAZIANO, 1992; FARHAT & MARÓSTICA, 1994; GOYA, 1990; LIMA *et al.*, 1990; MENEGAT *et al.*, 1998; MILANO, 1990; OLIVEIRA, 1996; SOUSA *et al.*, 1992). HENKE-OLIVEIRA *et al.* (1999) e HENKE-OLIVEIRA & SANTOS (2000) sugerem que o IAV deve ser calculado a partir das áreas verdes públicas de acesso coletivo, ou seja, as praças, jardins e bosques urbanos, excluídos os canteiros centrais de ruas e avenidas. Por outro lado, em muitos estudos são incluídas áreas de acesso restrito à população, incluindo Unidades de Conservação, áreas verdes particulares e vegetação viária.

No presente estudo, abordamos esta questão dos indicadores de qualidade de duas formas. A primeira é a determinação de *índices dependentes da densidade populacional*. O IAV, por exemplo, relaciona as superfícies das áreas verdes públicas de acesso irrestrito (coletivas) ao tamanho da população humana. O Índice de Cobertura Vegetal por habitante, ou simplesmente ICV, segue uma lógica parecida; ambos os parâmetros são expressos em m² por habitante e representam componentes importantes da qualidade de vida, contudo apresentam significado social e ambiental distintos. Inicialmente, o IAV é calculado a partir das áreas verdes públicas, as quais geralmente apresentam áreas não arborizadas (gramados, calçadas, etc.). O ICV, por outro lado, não faz distinção entre as tipologias de vegetação e representa a cobertura arbórea em si, pouco importando sua condição fundiária (pública, privada ou institucional), ignorando-se contudo as áreas livres contíguas à arborização, sejam estas permeáveis ou impermeáveis. Em termos gerais, considera-se que ao expressar a quantidade de vegetação ou áreas verdes per capita, infere-se sobre aspectos de qualidade de vida, mas não necessariamente sobre qualidade ambiental, pois o IAV pode ser elevado em determinada

região, não pela maior abundância de espaços arborizados (maior qualidade ambiental), mas pela baixa densidade populacional no local. Do outro lado estão os *indicadores independentes do adensamento populacional*, os quais são mais indicados para avaliação da *qualidade ambiental*. Uma das formas de expressar qualidade ambiental urbana seria pelo Percentual de Áreas Verdes (PAV), parâmetro não dependente de aspectos demográficos, onde são incluídas todas as categorias de áreas verdes públicas.

Seguindo a concepção acima apresentada, foram calculados vários indicadores de qualidade de vida e ambiental, dependentes e independentes da demografia (Tabela V). Convencionou-se chamar-se de "*índice*" todos os indicadores dependentes da demografia, expressos, portanto em oferta de serviços per capita; as "*densidades*" e "*percentuais*" são parâmetros independentes da demografia. A principal dificuldade em analisar estes indicadores está no fato de que muitos deles podem enquadrar-se dentro da concepção de "deseconomia de escala", como apresentado por ODUM (1985). Ou seja, determinado parâmetro, ao elevar-se, pode indicar melhorias qualitativas para a cidade; a partir de um determinado limiar, os ganhos se estabilizam e tendem a apresentar uma resposta inversa, onde à medida em que aumenta o parâmetro analisado, a qualidade decresce. A densidade populacional, por exemplo, está relacionada positivamente à qualidade de vida, pois o custo dos serviços urbanos (arruamentos, posteamentos, transporte, etc.) decresce à medida em que atendem a um maior número de habitantes ou residências. Por outro lado, em densidades populacionais muito elevadas, os fatores psicológicos, a poluição, a perda de identidade e privacidade e a falta de segurança, determinam o decréscimo na qualidade (ACIOLY & DAVIDSON, 1998). Outra dificuldade na análise conjunta dos diferentes indicadores da Tabela V é que os parâmetros propostos não são necessariamente independentes entre si. Muitos deles apresentam dependência direta ou inversa. O Tamanho Médio das Habitações (TMH), por exemplo, está inversamente relacionado à Densidade Habitacional (DH).

Tabela V: Parâmetros relacionados à qualidade ambiental e de vida para Luiz Antônio. Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

Categoria	Parâmetro proposto	Denominação	Variáveis utilizadas para a estimativa do parâmetro (*)	Unidade	Forma de interferência sobre as qualidades (**)		Valor obtido para Luiz Antônio (***)			Recomendações / valores de obtidos para outras cidades	
					Qual. vida	Qual. ambiental	Toda a área de estudo (364,0 ha)	Área urbanizada (139,7 ha)	Área residencial (111,4 ha)	Recomendação	Valor obtido para outras cidades
	DP	Densidade Populacional	• Tamanho da população	Hab/ha	+ -	-	16,7	41,4	57,8	96 (bruta) / 160 (líquida) ^a	Ver Tabela IV
Indicadores de arborização e impermeabilização	IAV	Índice de Áreas Verdes	• Áreas verdes públicas de uso coletivo	m ² /hab	+	?	...	14,9	...	10 (condição "excelente") ^d	2,65 - 13,35 (várias cidades brasileiras) ^c
	PAV	Percentual de Áreas Verdes	• Áreas verdes públicas (acesso coletivo, potencialmente coletivo ou vedado)	%	?	+	...	6,2	...		2,07 (São Carlos) ^c
	ICV	Índice de Cobertura Vegetal Arbórea Arbustiva	• Veg. arbórea/ arbustiva pública e privada	m ² /hab	+	?	34,7	19,6	8,8		50,55 (Curitiba) ^e
	PCV	Percentual de Cobertura Vegetal Arbórea Arbustiva	• Veg. arbórea/ arbustiva pública e privada	%	?	+	5,8	8,1	5,1		9,9 a 31,1 (várias) ^f
	II	Índice de impermeabilização	• Áreas impermeáveis	m ² /hab	+ -	?	139,0	123,3	101,8		
	PI	Percentual de Impermeabilização	• Áreas impermeáveis	%	-	-	23,2	51,1	58,9		41,6 - 35,2 (várias) ^f
	PIAL	Percentual de Impermeabilização das Áreas Livres	• Áreas livres impermeáveis • Áreas livres	%	?	-	17,1	40,8	47,3		

Continua...

Continuação Tabela V

Categoria	Parâmetro proposto	Denominação	Variáveis utilizadas para a estimativa do parâmetro (*)	Unidade	Forma de interferência sobre as qualidades (**)		Valor obtido para Luiz Antônio (***)			Recomendações / valores de obtidos para outras cidades	
					Qual. vida	Qual. ambiental	Toda a área de estudo (364,0 ha)	Área urbanizada (139,7 ha)	Área residencial (111,4 ha)	Recomendação	Valor obtido para outras cidades
Indicadores de habitação e edificação	PDUR	Percentual destinado ao uso residencial	• Áreas residenciais	%	+ -	+ -	...	79,7	...	60 ^a	
	HH	Habitantes por Habitação	• N° de habitações permanentes	Hab/ha-bituação	-	?	...	...	3,7	5 ^a	3,7 (São Carlos) ^b
	DH	Densidade Habitacional	• N° de habitações permanentes	Habitaçãoes/ha	?	-	...	...	15,8	24 (bruta) ^a 40 (líquida) ^a	10, 8 (São Carlos) ^b
	TMH	Tamanho Médio da Habitação	• Áreas edificadas • N° de habitações permanentes	m ²	+	?	...	...	138,8		
	IAE	Índice de Área Edificada	• Áreas edificadas	m ² /hab	+	?	...	...	37,9	31,6 (min.EUA) ^a 15,8 (mín.Europa) ^a 22 (min. vários países) ^d	
	PAE	Percentual de Áreas Edificadas	• Áreas edificadas	%	-	-	7,4	17,4	21,9		
	PEAI	Percentual de Edificação das Áreas Impermeáveis	• Áreas edificadas • Áreas impermeáveis	%	-	?	31,8	34,1	37,2		

* Não constam algumas variáveis elementares como superfície da área e tamanho da população, utilizadas na estimativa de diferentes parâmetros. O tamanho da população e número de habitações permanentes são informações censitárias.

** Os sinais "+ " e "- " indicam respectivamente efeitos positivos e negativos sobre a qualidade de vida/ambiental, contudo, para valores extremos a tendência pode inverter (+ - ou - +). O sinal "?" indica que o efeito sobre a qualidade depende na análise conjunta de outros fatores ou não representa em si um parâmetro confiável para a determinação da qualidade.

*** Os sinais "..." indicam que o parâmetro não foi determinado, seja por não retratar a realidade, por inviabilidade metodológica ou por redundar no mesmo valor da coluna vizinha.

^a ACIOLY, DAVIDSON (1998). Os valores de referência para loteamentos com lotes de 250m²

^b OLIVEIRA (1996) analisados conjuntamente às informações censitárias.

^c HENKE-OLIVEIRA *et al.* (2000), compilação de resultados de vários autores.

^d MANFREDI, VELÁSQUEZ (1994).

^e MILANO (1990) *apud* HENKE-OLIVEIRA (1999, 2000).

^f NOWAK (1999), resultados de médios para várias cidades estadunidenses.

Dada a diversidade de critérios e metodologias na estimativa de muitos parâmetros e buscando proporcionar uma visão mais ampla e que permita estabelecer relações dos dados aqui gerados com aqueles disponíveis na bibliografia, a Tabela V foi estruturada de maneira a apresentar as informações segundo 3 critérios espaciais: para *toda a área de estudo*, incluindo chácaras e áreas agrícolas do entorno de Luiz Antônio; apenas para a *área efetivamente urbanizada*, excluindo-se loteamentos em fase de implantação; e somente para a *área predominantemente residencial*, excluindo-se as áreas institucionais, praças, etc. De forma similar à densidade populacional discutida na seção, 3.5.1, os parâmetros da Tabela V, quando expressos para a área urbanizada, indicam densidades e ofertas *brutas*; quando expressos apenas para a área residencial, significam densidades e ofertas *líquidas*.

Os indicadores de arborização e impermeabilização para Luiz Antônio revelam quadros distintos em função da variável analisada. O IAV (14,9 m²/habitante) e o PAV (6,2%) descrevem uma cidade rica em áreas verdes públicas. Por outro lado, os parâmetros relacionados à cobertura vegetal total (ICV e PCV) revelam uma cidade deficitária em arborização (deserto florístico). O ICV para a área residencial (8,8 m²/habitante) significa que cada cidadão dispõe de apenas um quadrado de aproximadamente 3x3 metros de cobertura vegetal, área equivalente à copa de uma árvore de pequeno ou médio porte; o mesmo parâmetro para toda a área urbanizada (19,6 m²/habitante) também não pode ser considerado elevado, pois é altamente influenciado pela vegetação dos parques públicos, a qual já é parcialmente computada no IAV. Luiz Antônio apresenta um PCV entre 5,1 e 8,1%, valor igualmente baixo.

Embora não tenham sido encontrados valores de referência para avaliar o Índice de Impermeabilização (II), este parâmetro permite realizar algumas especulações particularmente interessantes; descontando-se do II a área per capita destinada à moradia (IAE), resta pelo menos 150m² de área impermeabilizada por habitante. Se considerarmos uma rua asfaltada e calçada com 10 metros de largura, equivaleria afirmar que cada morador dispõe de pelo menos 15 metros de arruamento. Sabemos no entanto que isso não é verdade e que uma parcela considerável das superfícies impermeáveis encontra-se no interior das residências. Neste sentido, a especulação aqui realizada serve apenas para ilustrar a importância da adoção de políticas que disciplinem a impermeabilização do solo urbano, sobretudo nas áreas particulares. Esta demanda é reforçada quando são analisados os valores de Percentual de Impermeabilização (PI), os quais variam entre 51,1% para a área urbana e 58,9% para a área preferencialmente residencial. Igualmente, o Percentual de Impermeabilização de Áreas

Livres (PIAL), cujos valores aproximam-se de 50%, descrevem uma cidade onde a prática da impermeabilização do solo é comum. As variáveis relacionadas à impermeabilização do solo podem revelar um quadro preocupante, como será abordado oportunamente.

A análise dos indicadores de habitação e edificação foi realizada preferencialmente para as áreas de uso predominantemente residencial e revelam um quadro que pode, no mínimo, ser considerado satisfatório. Como já discutido na seção 3.2, o percentual destinado ao uso residencial (PDUR) é de 71,6%, demonstrando um equilíbrio razoável entre a ocupação residencial e os demais usos (áreas verdes, institucionais, etc.). O número de moradores por habitação permanente (HH) é de 3,7 e o tamanho médio da habitação é de 138,8 m², demonstrando não haver superlotação habitacional em Luiz Antônio. MANFREDI & VELÁSQUEZ (1994) consideram que estes parâmetros são dependentes entre si, ou seja, a demanda por espaço físico edificado diminui à medida em que aumenta o número de moradores por habitação. Assim, uma pessoa que mora sozinha, demanda de maior espaço residencial que uma pessoa que reside em família. Os autores também consideram que o excesso de espaço habitacional per capita, geralmente acima de 50-60 m²/pessoa, podem provocar sintomas de solidão, além de proporcionar espaços perdidos e inutilizados. Contudo, o maior problema está na superlotação habitacional, podendo gerar desconforto, perda de privacidade, excesso de pessoas por cômodo ou cama e promiscuidade.

O baixo valor de densidade habitacional (DH) em Luiz Antônio, 15,8 habitações/ha, é determinado pela existência de grande quantidade de lotes não edificados na área residencial. O baixo valor do percentual de áreas edificadas (PAE - 21,9%) corrobora esta afirmação.

Embora os indicadores habitacionais descrevam um quadro aceitável para Luiz Antônio, o percentual de edificação das áreas impermeáveis descreve um cenário preocupante. Um valor de 37,2 de PIAL em conjunto com outros indicadores discutidos anteriormente (PI, II e PIAL) significa que Luiz Antônio "*impermeabiliza muito e habita pouco*". Certamente, a prática de calçamento nos fundos de quintal e fachadas são os maiores responsáveis no delineamento deste cenário.

Finalmente cabe uma consideração metodológica sobre os aspectos habitacionais abordados. A determinação de vários indicadores aqui descritos foi facilitada pelo fato de que Luiz Antônio praticamente não apresenta verticalização habitacional, ou seja, a determinação da superfície de telhados representa, com elevado grau de confiabilidade, os valores destinados a

moradia. Tal facilidade não seria encontrada em cidades verticalizadas ou em áreas com ocupação habitacional multifamiliar.

3.6 Padrões e processos na urbanização

As estruturas naturais e culturais podem ser enquadradas dentro de padrões e estão submetidas a processos diversos. FORMAN & GODRON (1986) definem a ecologia da paisagem como o estudo dos padrões de distribuição de comunidades e ecossistemas, dos processos que afetam estes padrões e das mudanças nos padrões a processos ao longo do tempo. Esta conceituação é especialmente útil por estabelecer relações de causalidade dos processos sobre os padrões. No entanto, a análise dos padrões, em termos de número, frequência, tamanho e justaposição entre elementos da paisagem (manchas de uso do solo, biótopos ou ecossistemas), é igualmente importante na determinação e interpretação dos processos ecológicos e culturais. No presente estudo, as estruturas urbanas são abordadas por meio de indicadores gerais (para toda a área de estudo), ou para as partes, sejam estas discriminadas pelo uso preferencial (tipologia de biótopos) ou pelas Unidades de Estudo (UEs). Nas seções anteriores, tais indicadores foram explorados, isoladamente ou em algum grau de associação aos demais, contudo pouco pode ser dito em relação aos padrões concretos que se estabelecem acerca do objeto de estudo: *a urbanização, a qualidade de vida e ambiental e Luiz Antônio*. Até agora, nossa análise esteve comprometida com a discussão dos significados e implicações de tais parâmetros. Consideramos tal discussão fundamental, visto que a Ecologia da Paisagem freqüentemente ocupa-se na quantificação de processos e padrões, restando contudo muitas dúvidas sobre sua aplicabilidade e significados.

Algumas questões podem ser formuladas e respondidas, visando integrar os aspectos quantitativos da paisagem e seu significado prático: Como os padrões e processos podem ser hierarquizados no ambiente urbano? Havendo redundância nos parâmetros analisados, quais seriam os mais apropriados para a determinação da qualidade urbana? Como poderia o conhecimento científico ser incorporado no sistema de normas urbanas para assegurar um desenvolvimento urbano adequado, pautado em diretrizes ecológicas e urbanísticas sólidas?

Como forma de responder algumas destas questões, foi realizada uma Análise de Componentes Principais (PCA) a partir de uma seleção das variáveis identificadas para o banco de dados das Unidades de Estudo (Anexo A). O resultado da PCA está apresentado na Figura 20. A análise foi utilizada com o objetivo de revelar e hierarquizar padrões em função

da variância total explicada pelo sistema n-dimensional (onde n = número de variáveis estudadas). Em outras palavras, equívale dizer que, com o uso do conhecimento científico acerca do fenômeno estudado, há a possibilidade de identificar padrões como fonte de variação dos dados e associá-los em menor ao maior grau às variáveis. Advém adicionalmente desta propriedade o fato de que cria-se a possibilidade de identificar redundâncias no sistema multivariado, ou seja, permite-se saber quando duas ou mais variáveis redundam num padrão aproximado direto ou antagônico. O ordenamento cronológico e espacial destes padrões é uma forma atrativa para a identificação dos principais processos na paisagem.

A dimensão fractal utilizada na PCA refere-se ao parâmetro obtido para o formato das UEs, e não para as classes de uso do solo, como discutido anteriormente. Algumas variáveis incluídas na análise não foram discutidas nas seções anteriores, pois apresentaram baixa contribuição. Este é o caso do Índice de Diversidade de Simpson aplicado para a paisagem, que mostrou um padrão concêntrico, com maior diversidade na região central da cidade, enquanto, nas áreas naturais ou arborizadas a diversidade foi mínima. Neste contexto, corre-se o risco de um equívoco, pois qualidade ambiental e diversidade apresentam-se como aspectos opostos. O mesmo processo ocorreu para outros índices de diversidade da paisagem descritos por McGARIGAL & MARKS (1994). Ficou nítido, pelo menos neste caso, que o emprego dos índices de diversidade da paisagem em que as classes de uso do solo não recebam pesos (em função da riqueza e importância biológica, natural ou cultural), são de pouca serventia na análise da qualidade ambiental.

As PCAs realizadas para as duas escalas espaciais (área total e UEs predominantemente residenciais) apresentaram padrões muito próximos e serão discutidas conjuntamente. A variância total explicada pelas PCAs foi alta, 64% e 66% para a área total e para as áreas predominantemente residenciais, respectivamente. Em ambos os casos, o eixo 1 foi responsável por 38% da variância total do sistema e expressa um padrão diretamente vinculado à densificação urbana (asfalto, área edificada., impermeabilização, etc.) e inversamente relacionado à quantidade e áreas livres, com solo exposto ou pouco edificadas (Figura 20).. Este padrão permitiu identificar um processo, convenientemente denominado de "*densificação das estruturas urbanas*", o qual é fortemente relacionado ao aumento das áreas de pavimento asfáltico, superfícies impermeabilizadas e espaços edificadas e à diminuição das áreas de solo exposto e vegetação herbácea. A vegetação arbórea/arbustiva, contudo, apresenta-se fracamente relacionada a este processo.

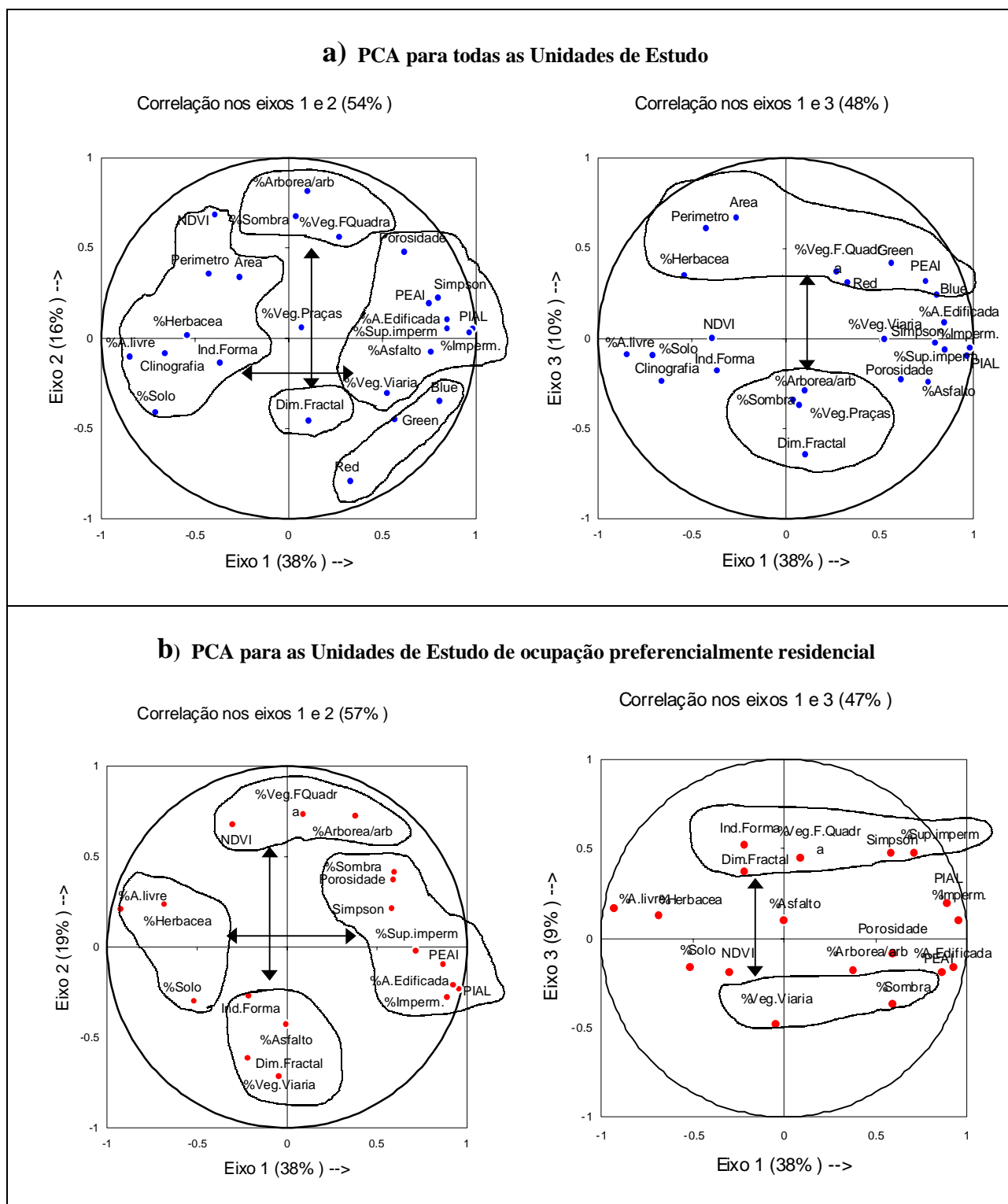


Figura 20: Análise de Componentes Principais (PCA) para as Unidades de Estudo (UE); as grandezas expressas junto aos eixos variam entre -1 e 1, indicando o coeficiente de correlação linear entre o eixo e as variáveis analisadas; os polígonos são artifícios de interpretação da análise e visam delimitar grupos de variáveis que apresentam padrões "próximos"; setas indicam padrões antagônicos. Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

Um segundo padrão, (eixo 2 com 16-19% de explicação sobre a variância total), opõe diferentes tipologias da vegetação arbórea/arbustiva à dimensão fractal da UE, mostrando que as quadras centrais de Luiz Antônio, com formato mais regular, geralmente com menor dimensão fractal, são as áreas mais afins à vegetação arbórea/arbustiva, principalmente de fundo de quadra. Na análise realizada apenas para a área residencial (Figura 20b) é mostrada uma associação entre a dimensão fractal, e a quantidade de asfalto e vegetação viária. Pode-se portanto identificar um processo de "*desenvolvimento da vegetação e do desenho urbano*". O índice de borda, outro parâmetro associado à forma, reforça a idéia da existência de influência do desenho urbano sobre a estrutura da vegetação urbana.

Os processos de "*densificação das estruturas urbanas*" e "*desenvolvimento da vegetação e do desenho urbano*" apresentam íntima associação com qualidade ambiental e de vida no meio urbano. O INDV foi um parâmetro bem relacionado a estes dois processos (Figura 20), o que reforça o seu emprego enquanto um indicador alternativo da qualidade ambiental e de vida do ambiente urbano.

A outra questão levantada inicialmente diz respeito a quais variáveis seriam as mais adequadas ao estudos dos padrões e processos urbanos. A resposta dependerá naturalmente da definição prévia de qual padrão deseja-se explorar. A cobertura vegetal arbórea/arbustiva, por exemplo, poderá mostrar forte associação ao desenho do loteamento (formato das quadras), contudo pouco dirá à respeito do grau de impermeabilização e edificação. Isto pode parecer contraditório, visto que a vegetação compreende uma das classes de áreas permeáveis.

Os componentes principais são representados algebricamente por polinômios de primeiro grau, o que torna inadequada a PCA para a identificação de fenômenos não lineares em termos cronológicos e espaciais. Fenômenos deste tipo, contudo, foram encontrados dentro de um padrão denominado "*gradiente natural/rural/urbano*" e estão vinculados aos processos de expansão rural, expansão urbana, ocupação urbana, adensamento urbano e adequação das estruturas urbanas, esta última não detectada em Luiz Antônio em decorrência da pequena dimensão do núcleo urbano (Figura 21).

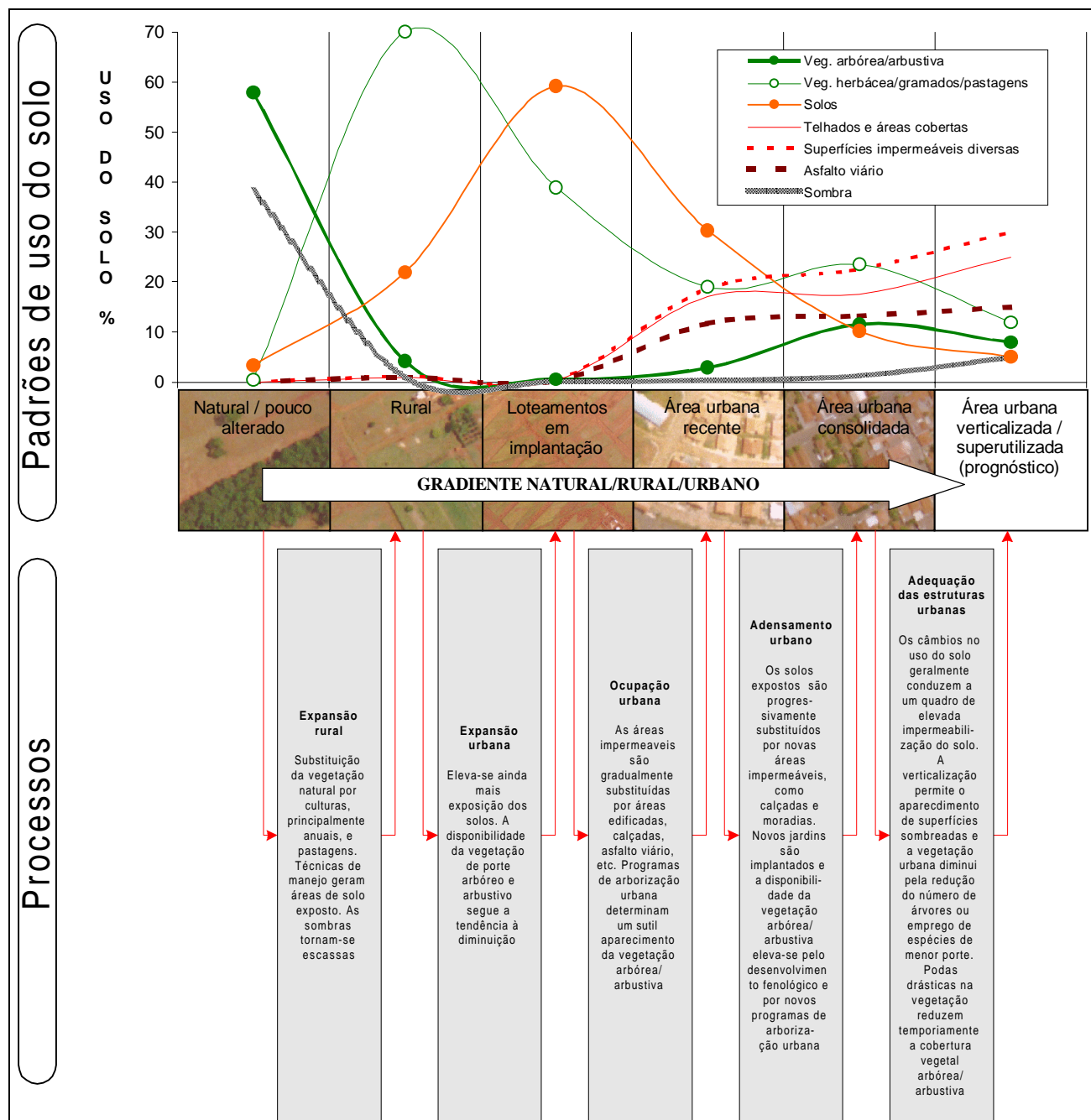


Figura 21: Padrões e processos no uso do solo obtidos para Luiz Antônio segundo o gradiente de urbanização. As cinco primeiras etapas representam informações obtidas por consulta ao banco de dados (Carta de Uso do Solo); a última etapa (área urbana verticalizada) é um prognóstico. Organização: HENKE-OLIVEIR (2001).

O "*gradiente natural/rural/urbano*", ao contrário dos dois processos revelados na análise da PCA, não é necessariamente ordenado linearmente no espaço ou tempo. De acordo com o gradiente rural/natural/urbano, a quantidade de vegetação arbórea sofre oscilações de grandes amplitudes. Isto equivale a afirmar que a quantidade de vegetação diminui ao longo dos processos de expansão rural e urbana até valores ínfimos na fase de abertura do loteamento e o seu ressurgimento dependerá de um tempo para o desenvolvimento fenológico da vegetação de fundo de quadra em associação com os programas municipais de arborização das vias públicas (Figura 21).

Os solos expostos e a vegetação herbácea seguem um padrão aproximadamente invertido ao da vegetação arbórea/arbustiva, contudo são defasados entre si. A vegetação herbácea atinge seu máximo na etapa de ocupação rural, sendo substituída por solos expostos, os quais podem atingir 60% da área na fase subsequente (loteamento em fase de implantação) em decorrência da expansão urbana. Nas etapas posteriores, a implantação dos jardins e hortas particulares determinam uma sutil elevação na vegetação herbácea, enquanto a quantidade do solos expostos diminui paulatinamente (Figura 21).

O asfalto viário, contudo, segue um padrão próprio e exclusivo, no qual as atividades de pavimentação de vias públicas determinam o surgimento quase que instantâneo da cobertura asfáltica, a qual mantém-se em valores próximos a 15% nas etapas posteriores. As superfícies impermeáveis e os telhados/áreas cobertas, contudo, mostram um padrão crescente ao longo de todas as etapas do gradiente natural/rural/urbano. (Figura 21)

O padrão apresentado pelas sombras está diretamente vinculado à quantidade de vegetação arbórea/arbustiva e de edificações, os principais objetos capazes de projetar sombra sobre as superfícies adjacentes.

Os padrões e processos associados ao *adensamento das estruturas urbanas*, ao *desenvolvimento da vegetação/desenho urbano* e ao *gradiente natural/rural/urbano* não são mutuamente exclusivos. Os três fenômenos ocorrem simultaneamente e podem não estar dentro de uma escala cronológica bem definida. Assim, o desenvolvimento da vegetação, por exemplo, pode apresentar uma seqüência cronológica aparente, contudo este fenômeno não tem sua causa exclusivamente no desenvolvimento fenológico da vegetação, mas também no desenho urbano, o qual, por sua vez, apresenta nítida seqüência cronológica, pois os loteamentos mais recentes são os que apresentam quarteirões mais alongados. Isto fica melhor

evidenciado quando observa-se o contraste entre a abundância de vegetação no centro de Luiz Antônio e a escassez de vegetação nos recentes loteamentos populares caracterizados por quadras alongadas, quase que totalmente tomados por edificações e áreas impermeáveis, portanto, com baixo potencial do desenvolvimento da vegetação de porte elevado.

3.7 Perspectivas para o Adensamento e à Expansão Urbana

Nas seções anteriores buscou-se analisar os resultados do presente estudo frente às orientações urbanísticas e aos dados disponíveis para outras cidades. No entanto, a maior parte do material disponibilizado é referente a cidades de porte superior ao de Luiz Antônio. As baixas densidades habitacionais e populacionais diagnosticadas, ao mesmo tempo em que possibilitam a adoção de estratégias preventivas, visando resguardar atributos de qualidade urbana, abrem fronteiras para discussão dos possíveis caminhos a serem adotados no futuro. Como e onde adensar e como expandir-se são questões fundamentais.

Na análise urbana, comparações entre cidades de diferentes portes merecem considerações apropriadas. Em primeiro lugar é necessário avaliar em quais escalas os processos ocorrem e se tais processos são dependentes ou não do adensamento populacional e da dimensão das cidades. Os eventos de inundação, por exemplo, são fenômenos que devem ser analisados no contexto da bacia hidrográfica. Assim, alagamentos e enchentes poderão ocorrer em cidades independentemente da sua extensão geográfica, contudo com forte correspondência com a forma de ocupação dos fundos de vale e do grau de impermeabilização da bacia hidrográfica.

3.7.1 Os loteamentos populares e o adensamento urbano

Segundo ACYOLY & DAVIDSON (1998), a forma das quadras urbanas tem estreita ligação com o formato dos lotes, pois quanto mais estreito for o lote, mais fácil será o seu encaixe dentro de um quarteirão. No entanto, lotes estreitos implicam em restrições no formato da habitação; geralmente as edificações apresentam-se ineficientes, com longos e onerosos corredores, com problemas de ventilação e iluminação natural. Na prática, lotes estreitos induzem a índices de aproveitamento altos, aumentos na taxa de ocupação e aparecimento de habitações geminadas, como observado nos assentamentos de baixa renda. O presente estudo confirma estas tendências.

No Brasil, devido à grande disponibilidade de terras, tornou-se comum os lotes do 200 m² (10 x 20 m) e habitações de 60 m², estabelecendo padrões mínimos aceitáveis. Nas grandes

idades, embora a legislação federal (Lei 6.766/79) estabeleça uma área mínima de 125 m² para o lote de assentamentos de interesse social, o quadro se inverte, já sendo empregado o padrão de muitas cidades indianas, com lotes de até 90 m² (ACYOLY & DAVIDSON, 1998).

Os projetos habitacionais populares geralmente apresentam lotes pequenos e implicam em densidades habitacionais elevadas. O Jd. Alvorada (Figura 8) apresenta entre 31,6 habitações/ha (densidade bruta) a 39,1 habitações/ha (densidade líquida); os lotes são de 170 m², com testada de 9 metros. Entre 7 e 16% da área mantêm-se permeável, e o percentual de impermeabilização é de 86,4%. Mantendo-se a média de habitantes por habitação (3,7), tem-se uma densidade populacional líquida de aproximadamente 150 habitantes/ha, 2,6 vezes superior à média da densidade populacional líquida de Luiz Antônio. O índice de área edificada é de 26.4 m²/habitante, valor próximo ao mínimo recomendado (Tabela V) e 30% inferior à média da cidade. Portanto, os loteamentos populares como o Jd. Alvorada podem encontrar-se numa condição limite, onde muitos parâmetros da qualidade urbana começam a indicar condições desfavoráveis.

A Figura 22 apresenta as cartas de hidrografia, hipsometria e clinografia das UEs (declividade) para Luiz Antônio. Um pequeno córrego entra pela cidade pela porção sudoeste e é canalizado durante todo o trecho urbano. A calha do córrego praticamente desaparece no trecho urbano e a drenagem torna-se indefinida, mantendo contudo a direção preferencial sul-norte (Figura 22a). O córrego tem extensão de apenas 364 metros na área de estudo, determinando uma densidade de drenagem natural de 2,07 m/ha, valor muito baixo, mesmo em relação a mapeamentos que utilizaram escalas menos detalhadas em áreas urbanas e naturais (COSTA, 2000; DENAEE-EESC, 1980; OLIVEIRA, 1996). Por ser o córrego totalmente canalizado em seu trecho urbanizado, a densidade de drenagem natural para a área urbanizada é de 0 m/ha.

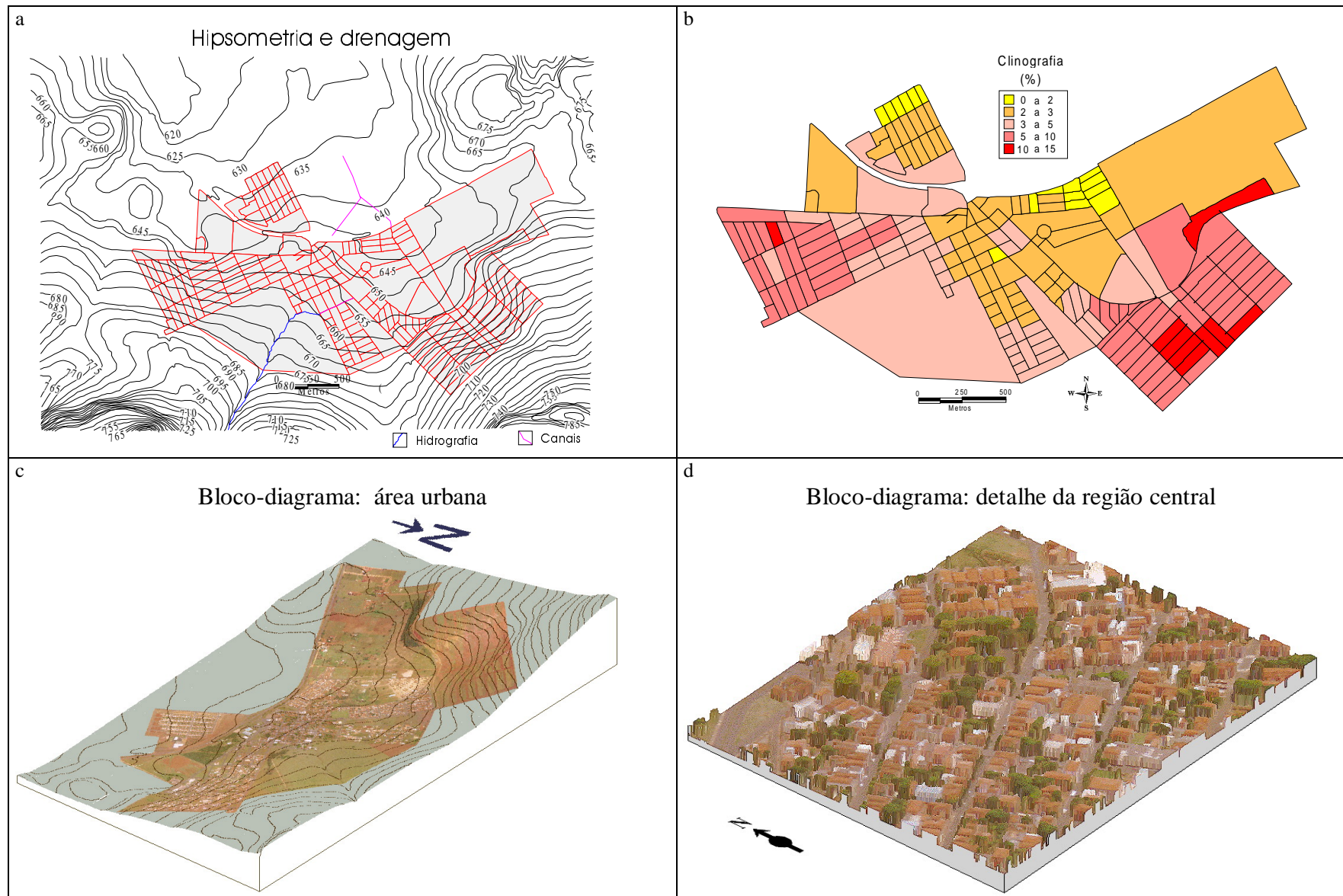


Figura 22: Drenagem, hipsometria, clinografia das Unidades de Estudo e representações tridimensionais do terreno. Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

A área atualmente urbanizada encontra-se numa região relativamente plana (Figura 22b, c, d); as declividades são geralmente inferiores a 5%. Valores entre 5 e 15% ocorrem na região do Parque Alto do Mirante e nas porções menos adensadas no oeste de Luiz Antônio, sugerindo que as ações que incorram na impermeabilização nestas áreas determine alterações hidrológicas nas áreas urbanas já consolidadas. Os baixos valores de clinografia e de densidade de drenagem são fatores importantes e sugerem um elevado risco de alagamento para toda a área de estudo.

O Jd. Alvorada localiza-se nas cotas mais baixas da área urbana e apresenta declividades inferiores a 2% (baixo poder de escoamento), representando o local sob maior risco de alagamento. O Jd. Alvorada é, portanto, um bom exemplo de como não adensar, seja pelo desenho urbano e ocupação do solo, seja por sua localização. Qualquer ação que propicie a elevação da impermeabilização do solo em Luiz Antônio, também trará efeitos sobre o Jd. Alvorada.

A Figura 23 é uma ilustração das possíveis conseqüências hidrológicas do adensamento urbano e foi aqui incluída com o objetivo de retratar a importância da manutenção das funções ambientais dos biótopos urbanos e como forma de subsidiar o Poder Público em relação aos possíveis caminhos e seus respectivos efeitos sobre a qualidade ambiental e de vida. A ilustração está baseada no referencial bibliográfico fornecido por TOURBIER (1994) e não em modelo hidrológico especialmente desenhado para Luiz Antônio, ignorando desta forma as especificidades em termos das propriedades pedológicas e geotécnicas e climáticas locais. No entanto, as Figura 23a, b podem respectivamente ilustrar condições aproximadas em Luiz Antônio para a toda a área de estudo (23,2% de impermeabilização) e apenas para a área urbanizada (58,9% de impermeabilização). Estas informações sugerem que mesmo nos pequenos núcleos urbanos possam ser esperados aumentos na ordem de 200 % no escoamento superficial e reduções em torno de 30% na infiltração pluvial em relação às áreas naturais.

As cidades como Ribeirão Preto, Bauru e Porto Alegre estão procurando incorporar na legislação municipal formas de proteção e manutenção da arborização e de processos ecológicos diretamente relacionados à qualidade urbana (BAURU, 1999; PORTO ALEGRE, 1999; RIBEIRÃO PRETO, 1995). A lei de arborização urbana de Ribeirão Preto prevê incentivos fiscais que resultam na redução de 20 a 100% do valor do IPTU, contudo o benefício somente é disponível para propriedades com pelo menos 1.000 m².

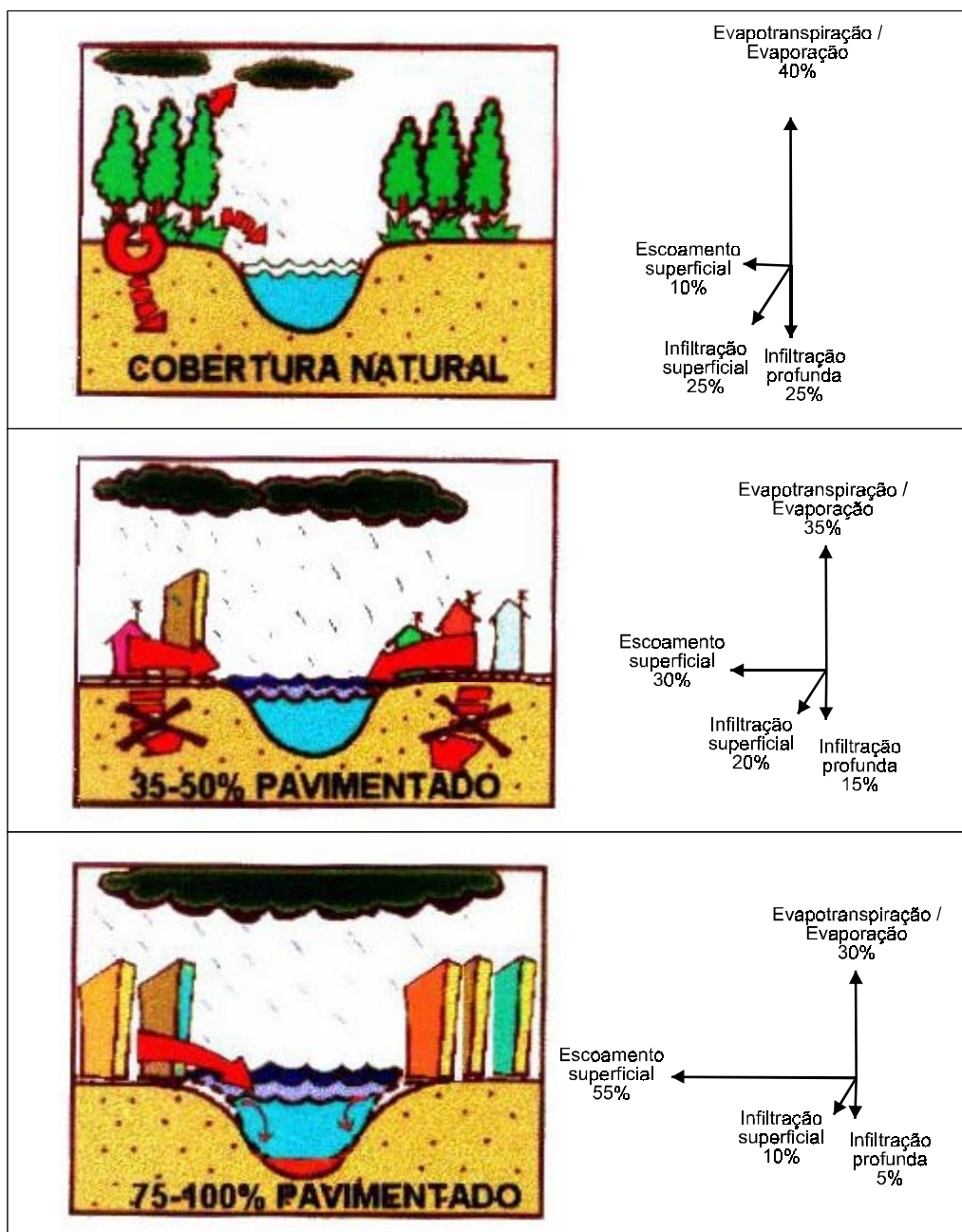


Figura 23: Taxas de evapotranspiração, escoamento superficial e infiltração da água pluvial para diferentes intensidades de impermeabilização do solo. Adaptado de TOURBIER (1994). Desenho: Paulo Sérgio Maroti. Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

Neste sentido, torna-se apropriado a criação de um instrumento normativo para Luiz Antônio, o qual estabeleça formas para o adensamento urbano na sua multiplicidade temática e principalmente dentro dos programas de habitação para famílias de baixa renda. A adoção de incentivos fiscais restritos às maiores propriedades visando a manutenção das áreas verdes e permeáveis particulares pode resultar numa medida discriminatória por excluir da

participação exatamente a população de baixa renda, dado o desenho inapropriado dos assentamentos urbanos populares.

Estas questões também abrem possibilidades para a reflexão sobre a gestão para pequenas e médias cidades inseridas dentro do mesmo contexto geográfico. Cabe lembrar que os dados censitários de 2000 indicam que 93,4% dos paulistas são de assentamento urbano; as informações censitárias de 1991 revelaram aproximadamente 250 municípios com população inferior a Luiz Antônio, quadro que deve manter-se atualmente, e que aproximadamente 25% dos paulistas residem em cidades com menos de 100 habitantes.

3.7.2 Expansão urbana

Luiz Antônio apresenta hoje uma população predominantemente urbana; a pequena população rural remanescente pouco poderá alterar o quadro urbano diante do processo de êxodo rural (Figura 2). Ao mesmo tempo, as tendências populacionais registradas nos últimos censos, tanto em escala local quanto estadual e nacional, indicam diminuições progressivas nas taxas geométricas de crescimento populacional. As previsões para estabilização populacional do Brasil durante a primeira metade do século deve ser observada com cautela numa escala local, visto que os fenômenos geopolíticos locais podem determinar tendências distintas do quadro regional e nacional. A expansão da malha urbana de Luiz Antônio dependerá portanto das políticas de desenvolvimento municipal e regional a serem adotadas.

BRUNS *et al.* (2000), discute as possíveis alterações para as paisagens na Alemanha diante da expectativa de diminuição populacional na Europa Ocidental para as próximas décadas e contempla o surgimento de estruturas pouco comuns, como as regiões abandonadas e novas áreas silvestres. Nossa realidade, contudo, é outra. Frente às densidades populacionais urbanas relativamente baixas, como discutido nas seções anteriores, a expansão da malha urbana de Luiz Antônio pode não representar uma necessidade imediata. No entanto, o projeto para o Distrito Industrial de Luiz Antônio sugere que deva haver algum grau de crescimento e adensamento populacional para a presente década. Mesmo uma possível estabilização populacional em algum momento, não significará a estabilização das pressões antrópicas sobre o ambiente, dada a tendência humana na elevação crescente do consumo energético e recursos naturais per capita.

Diante das grandes incógnitas acerca dos processos naturais, sociais, políticos e econômicos esperados para as próximas décadas, é necessário a adoção de medidas preventivas e conservacionistas para as áreas do entorno do núcleo urbano.

A Figura 24 mostra a evolução de um fragmento de área natural adjacente à área urbanizada diante das pressões antrópicas. O mesmo fragmento pode ser observado no fotomosaico (Figura 8). Desmatamentos como este são lesivos não somente ao ambiente natural. Em função do contexto geográfico do fragmento em questão, a redução de aproximadamente 40% de sua área no prazo de menos de cinco anos, implica na perda de recursos importantes dentro de um desenho urbano comprometido com a qualidade ambiental. Perde-se a possibilidade da integração dos serviços diretos e indiretos dos ecossistemas naturais, como lazer, amenização climática, suporte à fauna/flora, controle de processos erosivos e eventos hidrológicos, conforto acústico e qualidade cênica.

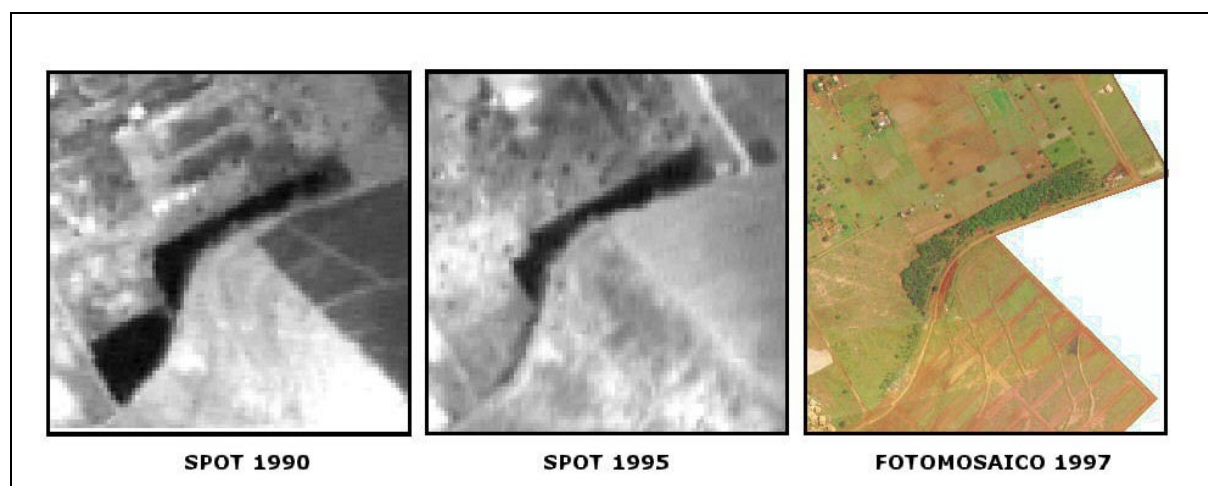


Figura 24: Degradação de um fragmento de vegetação natural nas proximidades do núcleo urbano de Luiz Antônio. Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

A Figura 25 constitui um subsídio às medidas conservacionistas supracitadas, pois contextualiza um cenário atual da cidade, destacando a presença de atividades florestais, áreas naturais e semi-naturais e redes de transporte do entorno, estruturas que retratam restrições, tanto quanto possibilidades, ao crescimento urbano pautado em diretrizes ambientais.

A imediação do núcleo urbano é ocupada por manchas de latossolo vermelho escuro e latossolo roxo. Solos litólicos e hidromórficos ocorrem nas porções sudoeste e nordeste da Figura 25, acompanhando as áreas mais acidentadas e a hidrografia. A área adjacente ao núcleo urbano tem baixos valores de clinografia e densidade de drenagem, refletindo limitações ao escoamento pluvial.

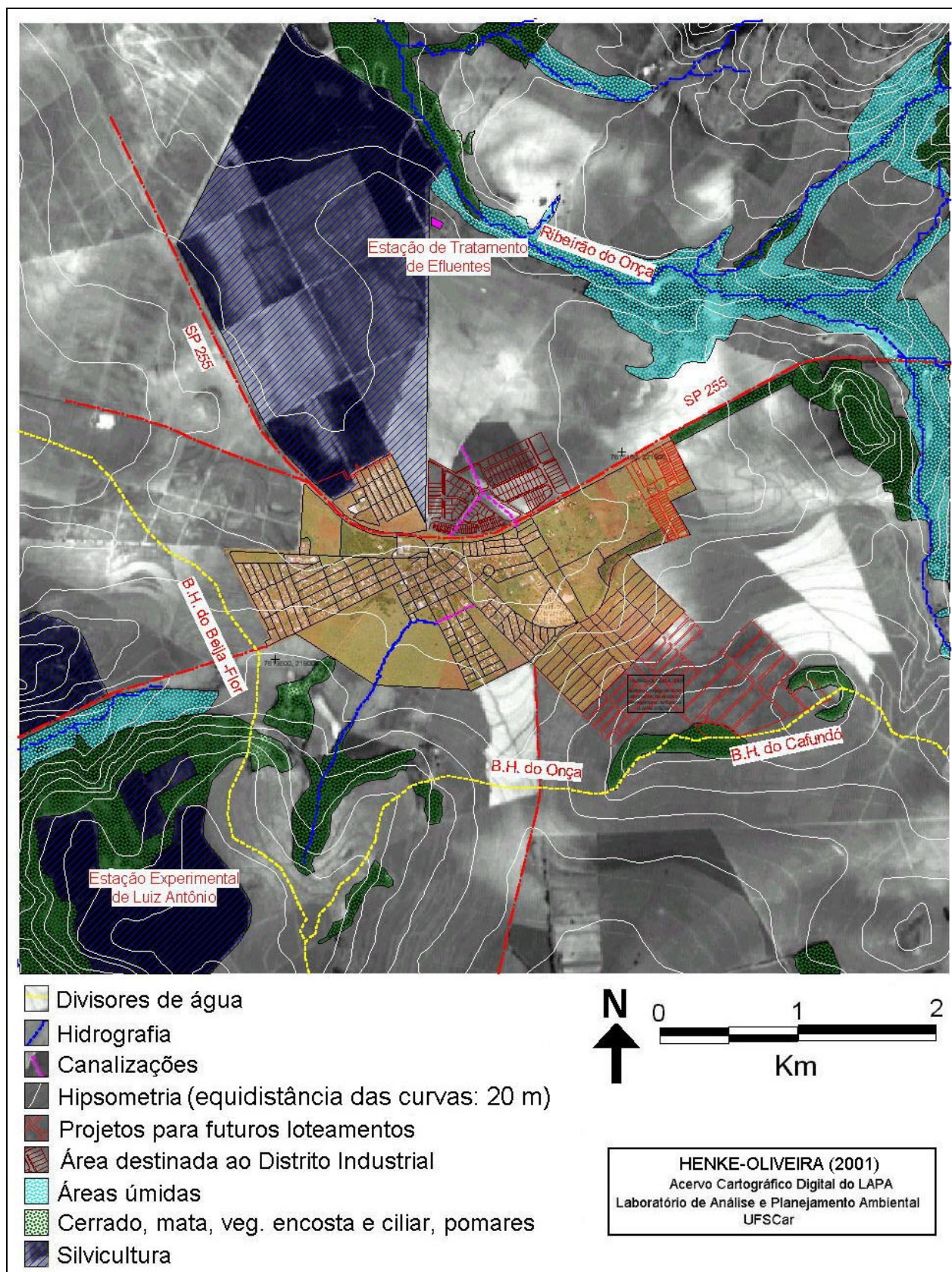


Figura 25: Recursos naturais no entorno de Luiz Antônio e limites ao crescimento urbano; o fotomosaico foi sobreposto à uma imagem pancromática do satélite Spot do ano de 1995. Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

O Quadro V aborda de forma mais específica as possibilidades para a expansão urbana de Luiz Antônio. As áreas de silvicultura (*Eucalyptus spp* - Figura 25) constituem barreiras ao crescimento urbano imediato para a região noroeste, pois são investimentos florestais com prazos em torno de 18 anos, desde o plantio até o terceiro corte. No entanto, as áreas naturais, como os fragmentos de encosta e cerrado, demandam maior atenção em função do risco de perda dos recursos naturais por práticas como as apresentadas na Figura 24. A sudeste do núcleo urbano encontram-se duas manchas de vegetação de encosta que estão sob risco em decorrência de projetos de novos loteamentos para a região.

O Ribeirão do Onça, na sua porção nordeste ao núcleo urbano, apresenta pouca ou nenhuma vegetação ripária (Figura 25), elevando ainda mais sua vulnerabilidade, principalmente frente ao projeto do Distrito Industrial de Luiz Antônio. A vertente direita do Ribeirão do Onça constitui área de recarga do Aquífero Guarani e, embora não esteja na mesma área de drenagem do núcleo urbano, merece atenção especial em função da proximidade em relação à Estação de Tratamento de Efluentes urbanos (ETE), ao norte da cidade, localizada sobre Areias Quatzozas Profundas (LORANDI, comunicação pessoal).

A cidade está numa área próxima aos divisores de água das bacias hidrográficas dos córregos do Onça, Beija-Flor e Cafundó e sua expansão desordenada poderá comprometer a Estação Experimental de Luiz Antônio e a Estação Ecológica de Jataí, na bacia hidrográfica do Córrego do Beija-Flor.

Frente aos parâmetros analisados, a expansão urbana para os setores leste e noroeste parece ser a mais adequada. Embora as áreas de chácaras na região leste constituam ainda um problema para a expansão urbana, a região já apresenta um loteamento em fase de projeto. A presença de um corredor verde ao longo da rodovia SP255 poderia ser integrado num futuro desenho urbano. A urbanização nesta área traria limitado efeito sobre o regime hidrológico da área atualmente urbanizada e do Distrito Industrial.

Quadro V: Síntese das principais características a serem avaliadas visando subsidiar a expansão urbana em Luiz Antônio. Organização: HENKE-OLIVEIRA (2001).

SUL-SUDOESTE-OESTE	As áreas de declive e a presença de nascente e curso d'água que drenam para a área urbana, no sentido sul-norte, tornam inadequada a área para a expansão. A expansão no sentido sudoeste/oeste também deve ser evitada por resultar na ocupação da bacia hidrográfica do Córrego Beija-Flor, ou Jataí, e no comprometimento, em maior ou menor grau, da Estação Ecológica de Jataí e da Estação Experimental de Luiz Antônio, distantes apenas alguns quilômetros. Neste sentido, cabe destacar a proposta de PIRES (2000), relativa ao zoneamento ambiental (10 Km ao redor da Unidade de Conservação - E.E. de Jataí), conforme a Resolução CONAMA nº 13/90.
NOROESTE-NORTE	A presença da rodovia SP-255 e de culturas de longa duração (silvicultura) nesta área pode significar uma barreira à expansão urbana. No entanto, a região apresenta-se como uma das possibilidades de crescimento.
NORTE-NORDESTE	A possibilidade de expansão para os setores norte e nordeste deve ser vista com extrema cautela, pois as condições topográficas determinam áreas com clinografia em torno de 2%, podendo chegar a menos de 1%, e baixa densidade de drenagem, caracterizando uma das áreas mais propensas à inundações.
LESTE	O setor leste representa a melhor opção para a expansão urbana; a presença de um corredor verde ao longo da rodovia SP-255 poderá ser integrado ao desenho urbano com função de proteção visual e acústica para futuras áreas urbanas. A presença de manchas de vegetação e da várzea do Ribeirão do Onça na direção leste impõe o desafio de uma expansão urbana que busque a integração e a proteção dos recursos naturais simultaneamente.
SUDESTE	Embora já existam projetos para loteamentos, o crescimento urbano na região sudeste deve ser evitado na medida em que poderá determinar distúrbios hidrológicos nas áreas atualmente urbanizadas, em função das condições topográficas e localização.

4 Considerações finais

O presente estudo explorou aspectos relativos ao geoprocessamento em áreas urbanas, buscando sobretudo uma análise crítica da aplicabilidade das inovações, alternativas e adaptações metodológicas utilizadas no sensoriamento remoto. O detalhamento de etapas no geoprocessamento requer conhecimento aprofundado de técnicas de tratamento de imagens, sensoriamento remoto e utilização de *softwares* específicos, não justificando sua inclusão neste trabalho. Assim, a metodologia não é discutida visando a sua replicação em estudos equivalentes, mas somente à medida em que possibilita a compreensão de sua aplicabilidade. Deu-se, desta forma, maior ênfase na quantificação de parâmetros primários e derivados do geoprocessamento, bem como no seu significado em termos de qualidade urbana e na sua importância como subsídio ao adensamento e crescimento urbanos para Luiz Antônio. Abre-se também a possibilidade para reflexão sobre o planejamento urbano em outras cidades geográfica, populacional e economicamente relacionadas, bem como emergem evidências úteis na discussão sobre a importância de indicadores da Ecologia da Paisagem e de diferentes sensores remotos no estudo da qualidade e do desenho urbano.

Os levantamentos com uso de fotografias aéreas de pequeno formato (FAPF) mostraram-se atrativos para o estudo de um pequeno núcleo urbano, pois conciliam as resoluções e escalas viáveis e necessárias ao diagnóstico do uso do solo urbano. Para fins cadastrais imobiliários e atividades que requeiram maior precisão, no entanto, faz-se necessário o emprego de técnicas de restituição não abordadas neste estudo. O melhor controle sobre o nivelamento da câmara e os disparos fotográficos foram proporcionados por adaptações metodológicas e resultaram na minimização das distorções e eliminação das falhas de recobrimento fotográfico. Os levantamentos com uso de FAPF devem ser excetuados mediante uma avaliação prévia dos objetivos em conjunto às propriedades e limitações das câmaras não convencionais.

O emprego de técnicas de classificação supervisionada com auxílio do conhecimento e a convicção do pesquisador e pelo emprego de operadores contextuais elevou significativamente a qualidade da carta de uso do solo. Pode-se também prognosticar possíveis aplicações para o método mediante a incorporação de dados históricos oriundos de diversas bases cartográficas ou por meio de adaptações pelo emprego de modelos que internalizem as tendências políticas, econômicas e populacionais no geoprocessamento.

O INDV (Índice Normalizado das Diferenças na Vegetação) extraído do sensor TM-Landsat mostrou-se bem relacionado ao uso do solo obtido em escala detalhada, tornando-se uma alternativa atrativa para a rápida avaliação da qualidade de biótopos urbanos, bairros ou qualquer unidade espacial de dimensão acima de 0,5 ha.

Evidenciou-se, pelo emprego da geometria fractal, uma associação entre o desenho urbano e a quantidade e tipologia da vegetação, com possíveis implicações na qualidade ambiental e de vida. A geometria fractal também permitiu evidenciar a influência da densificação das estruturas urbanas na elevação da complexidade de forma para as classes de uso do solo. Áreas com elevada hemerobia, como as superfícies impermeáveis, parecem ser as com borda mais complexa. De forma geral, a análise permitiu identificar fenômenos descritos na bibliografia e facilmente deduzíveis por reflexões sobre a geometria das cidades e dos assentamentos urbanos.

Os parques urbanos públicos de Luiz Antônio equivalem a 6,2% da área urbanizada. O valor cai para 2,7% se forem consideradas as áreas não urbanizadas, mostrando que os critérios espaciais adotados para a identificação de parâmetros do uso e ocupação do solo podem revelar realidades distintas. Desta forma, abre-se o espaço para a utilização inadequada de informações, quais forem, seja pela não compreensão do significado do parâmetro diante da escala de análise, seja por aqueles que desejam retratar seus interesses específicos por meio de sofismas.

As áreas verdes públicas de Luiz Antônio apresentam 54,4% de cobertura arbórea/arbustiva e, apesar da pequena superfície, são responsáveis por aproximadamente 25% da cobertura arbórea/arbustiva total da área de estudo. Descreve-se um cenário particularmente interessante e que confere a Luiz Antônio um índice de áreas verdes elevado (14,9 m²/habitante). No entanto a maioria das áreas verdes públicas não apresentam superfície e cobertura arbórea abundantes. O diagnóstico favorável obtido é devido principalmente a um único parque, com 7,24 ha, 84% de cobertura arbórea/arbustiva e moderadamente manejado.

No entanto, Luiz Antônio é pobre em vegetação particular (fundos de quadra e fachadas) e viária. Embora as áreas residenciais contribuam com a maior parte da cobertura vegetal na área urbanizada, a proporção do componente arbóreo/arbustivo é de apenas 5,1%, determinando também um baixo índice de cobertura vegetal arbórea/arbustiva (8,8 m²/habitante). Dada a maior importância das áreas residenciais, sobretudo em termos de

superfície, um panorama geral que mescle as distintas condições fundiárias e tipológicas da vegetação urbana revela uma cidade com sérias deficiências, pois mesmo dentro do quadro mais otimista, a cobertura arbórea total não supera 8,1%, apresentando uma condição próxima a um deserto florístico.

Os descritores de habitação para Luiz Antônio retratam uma cidade onde há um bom equilíbrio entre as áreas residenciais e os espaços públicos. A disponibilidade de área edificada per capita é de 37,8 m²/habitante e não há indícios de superlotação habitacional. Trata-se portanto de uma cidade com boas condições de moradia dentro dos aspectos analisados. O adensamento habitacional é baixo ainda e sua elevação é esperada para as próximas décadas, havendo-se porém a possibilidade do resguardo da qualidade habitacional atualmente diagnosticada. O maior desafio, contudo, parece estar no equacionamento de um modelo de adensamento que modere a taxa de impermeabilização do solo, pois o quadro atual revela que a maior parcela das áreas impermeáveis não é devida às edificações, mas principalmente ao calçamento das vias públicas e dos fundos de quintal. Mesmo diante da baixa densidade habitacional, registrou-se uma taxa de impermeabilização de 57,8% para a área residencial, equivalendo a um índice de impermeabilização de 101,8 m² de áreas impermeáveis por habitante. Outros descritores empregados que buscam relacionar fatores habitacionais, áreas livres e impermeáveis, como o percentual de edificação das áreas impermeáveis (PEAI) e o percentual de impermeabilização das áreas livres (PIAL), também revelaram que Luiz Antônio é moderadamente habitada, porém intensamente impermeabilizada.

A análise conjunta de muitos descritores da qualidade urbana mostrou padrões e processos relativos à *densificação das estruturas urbanas*, ao *desenvolvimento da vegetação e do desenho urbano* e a um *gradiente natural/rural/urbano*. Dentro do processo de adensamento das estruturas urbanas fica estabelecida uma relação oposta entre as áreas urbanas consolidadas e aquelas com menor adensamento habitacional onde prevalecem as áreas permeáveis (solos, vegetação herbácea, áreas livres, etc.). O padrão de *desenvolvimento da vegetação e do desenho urbano* sugere que a forma das quadras pode prescrever a abundância e a tipologia de vegetação arbórea/arbustiva para a área urbanizada.

No entanto, os padrões e processos no uso do solo não são necessariamente contínuos e cronologicamente lineares. Em determinadas etapas do *gradiente natural/rural/urbano*, a dinâmica de uso do solo pode apresentar uma tendência diferente das etapas precursoras. A

proporção de vegetação arbórea/arbustiva, por exemplo, sofre queda na abertura dos loteamentos e tende a elevar-se nas etapas subsequentes até atingir uma proporção aproximadamente constante; os solos expostos seguem um padrão inverso a este. A impermeabilização do solo, por outro lado, segue uma tendência contínua à elevação durante todas as etapas do gradiente natural/rural/urbano.

O uso do solo e a qualidade ambiental e de vida nos loteamentos de interesse social são fatores intensamente afetados pelo desenho urbano. Geralmente apresentam baixa disponibilidade de áreas permeáveis e vegetação nos fundos de quadra e o adensamento residencial e, supostamente, populacional são consideravelmente maiores. Diante do contexto da bacia hidrográfica ou área de drenagem, tais características não somente elevam os riscos de alagamentos, como também implicam num maior número de moradores afetados.

O adensamento e a expansão populacional e habitacional de Luiz Antônio ainda não estão equacionados. A questão não é simplesmente se a cidade deve ou não adensar numa perspectiva científica ou ecológica. Parte-se então do fato concreto da criação do Distrito Industrial de Luiz Antônio, o qual impreterivelmente promoverá o adensamento urbano nas suas diferentes formas. Neste contexto, a grande quantidade de áreas públicas não ocupadas (terrenos baldios) reflete a disponibilidade de espaços para a implementação de novas áreas verdes e equipamentos institucionais visando o atendimento às futuras necessidades urbanas. A Lei Federal 6.766/79, dado o seu caráter geral na normatização da expansão urbana, é insuficiente para a disciplinar algumas ações e definir prazos, aspectos fundamentais para a minimização dos impactos ambientais das etapas de abertura de loteamentos. Devem ser evitados lotes com área mínima de 125 m², como definido pela legislação federal e estadual, mesmo que estes ainda não ocorram em Luiz Antônio. À medida do possível, deve-se dar preferência aos lotes com área mínima entre 200 e 250 m².

Deve-se evitar a expansão urbana para setores sul, sudoeste e oeste em função das condições de relevo e pelo risco ambiental sobre a bacia hidrográfica do Córrego do Beija Flor, a qual drena para a Estação Ecológica de Jataí. Ao nordeste e norte, para onde está previsto o Distrito Industrial, a baixa densidade de drenagem e a pouca declividade prescrevem elevados riscos de alagamentos. A expansão urbana é mais apropriada para áreas à noroeste e leste, acompanhando a Rodovia SP 225, contudo sem a sua integração ao sistema de transporte urbano, para o qual sugere-se a independência e o isolamento da rodovia. É desejável a integração corredores verdes já existentes ao longo da rodovia SP 255, respeitando-se as

limitações e buscando-se a integração das áreas naturais em um desenho urbano coerente com metas que assegurem a qualidade de vida e do ambiente.

Luiz Antônio demanda de novos instrumentos legais e os códigos Tributário, de Obras e de Posturas também necessitam melhorias. As ações prioritárias devem buscar o incentivo, inclusive fiscal, ao desenvolvimento, perpetuidade e monitoramento da vegetação e das áreas permeáveis de fundo de quintal e fachadas, bem como identificar e coibir desenhos urbanos que comprometam o ambiente. Neste contexto, o emprego do sensoriamento remoto, seja por fotografias aéreas ou sensores orbitais, poderá auxiliar o monitoramento ambiental de quadras e propriedades particulares dentro do propósito de implementação de uma política urbana justa e consistente.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACIOLY, C.; DAVIDSON, F. *Densidade urbana: um instrumento de planejamento e gestão urbana*. Rio de Janeiro, Mauad. 1998. 104 p.

ADAM, S.; WIEBE, J.; COLLINS, M.; PIETRONIRO, A. Radarsat flood mapping in the Peace-Athabasca Delta, Canada. *Canadian Journal of Remote Sensing*. v. 24, n. 1, 1998.

ADAMS, L.W.; DOVE, LE. *Wildlife reserves and corridors in the urban environment*. A guide to ecological landscape planning and resources conservation. National Institute for Urban Wildlife, Columbia, 91 p. 1989.

ARAUJO, M. Uso de técnicas de geoprocessamento e fotografias aéreas não convencionais no monitoramento ambiental: o caso da Fazenda Ribeirão Branco, no sudeste da Bahia. *Fator GIS*. 7 p., 1999, Disponível em <<http://www.fatorgis.com.br/artigos/>>. Acesso em 22/06/2000.

BAN, Y; HOWARTH, P.J. Multitemporal ERS-1 SAR data for crop classification: a sequential masking approach. *Canadian Journal of Remote Sensing*. v. 25, n. 5, 1998.

BARBATANA, O. *Vila Jatahy: elementos para a história de Luiz Antônio*. Gráfica Canavaci, Ribeirão Preto, 338 p. 2000.

BAURU (Município). Lei 4.368 de 10 de Fevereiro de 1999 (Lei de Arborização Urbana de Bauru) Disciplina a arborização urbana no Município de Bauru e dá outras providências. 1999.

BEDÊ, L. C. *et al. Manual de mapeamento de biótopos no Brasil: base para um planejamento ambiental eficiente*. Fundação Alexander Brandt, Belo Horizonte, 1997. 146 p.

BELO HORIZONTE. *O Índice de Qualidade de Vida Urbana de Belo Horizonte (IQVU)*. Secretaria Municipal de Planejamto, Belo Horizonte, 1996. 50 p.

BIANCHI, C.G.; GRAZIANO, T.T. Caracterização e análise das áreas verdes urbanas de Jaboticabal, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 1, Vitória, ES. *Anais...* 1992, p. 455-456.

BOLUND, S.; HUNHAMMAR, S. Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics* v. 29, p. 293–301, 1999.

BRANCO, S.M. *O fenômeno Cubatão*. CETESB, São Paulo, 103 p. 1984.

BRUNS, D. *et al.* Landscape dynamics in Germany. *Landscape and Urban Planning*, v. 47, p. 143-158, 2000.

BUZAI, G.D.; LEMARCHAND, G.A.; SCHUSCHNY, A.R.; Dimension fractal de Buenos Aires: cálculo mediante técnicas geoinformáticas. *Fator GIS*, 5 p., 1998. Disponível em: <<http://www.fatorgis.com.br/artigos/>> Acesso em 06/01/2000.

CAMINOS, H. GOETHERT, R. *Unbanization Primer*. MIT Press, Cambridge, 1978, 330 p.

CAVALHEIRO, F. Urbanização e alterações ambientais. In: IANK, S.M. *Análise ambiental: uma visão multidisciplinar*. Rio Claro, UNESP. 169 p. 1991. p. 88-99.

CÔRTEZ, J.B.R. O uso de fotografias aéreas de pequeno formato em mapeamento urbano. *Fator GIS*. 12 p., 1999, Disponível em <<http://www.fatorgis.com.br/artigos/>>. Acesso em 22/06/2000.

COSTA, S.S.M; SANTOS, J.E.; PIRES, J.S.R.; HENKE-OLIVEIRA; MOSCHINI, L.E. Caracterização ambiental da Reserva Extrativista Chico Mendes (Acre-Brasil): subsídio ao plano de manejo. In: FÓRUM DE DEBATES EM ECOLOGIA DA PAISAGEM: Riscos ambientais nos trópicos úmidos / movimentos de massa e inundações, 1, Rio Claro, 2000. *Anais...* Rio Claro, Sociedade de Ecologia do Brasil, 2000. Disponível em <http://www.apg.ufscar.br/~henke>. Consultado em: 12/11/2000.

COURSIN, S.A.O.; IHSE, M. A methodological study for biotope and landscape mapping based on CIR aerial photographs. *Landscape and Urban Planning*. v. 41. p. 183-192, 1998.

DAVIS, N.B.K. The ground arthropods of London gardens. *Lond. Nat.*, v. 58, p. 15-24, 1979.

DE COLA, L. Fractal Analysis of a classified landsat scene. *Photogrametric Engeneering and Remote Sensing*. v. 55, n. 5, p. 601-610, 1989.

DNAEE-EESC (Convênio). *Bacia experimental Rio Jacare-Guacu*. São Carlos, EESC-USP, 114 p. 1980.

EASTMAN, J.R. *Idrisi for Windows. User's Guide*. Version 2.0. Clark University, Worcester. 286 p. 1997.

EPTV. Emissoras Pioneiras de Televisão. Disponível em: <http://www.eptv.com.br/cidades/int_cidade.asp?ID=167>. Acesso em: 02/01/2000.

FARHAT, C.B.; MARÓSTICA, L.M.F. O planejamento urbano levando em consideração a arborização e as áreas verdes: experiências de Maringá - PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 2, São Luis, MA. *Anais...* 1994, p. 103-112.

FATOR GIS. Disponível em: <<http://www.fatorgis.com.br>>. Acesso em: 05/01/2001.

FORMAN, R.T.T.; GODRON, M. *Landscape ecology*. New York. John Wiley & Sons. 1986. 620 p.

FORMAN, R.T.T.; GODRON, M. Patches and structural components for a landscape ecology. *BioScience*, v. 31, n. 10, p. 733-740. 1981.

FRANKHOUSER, R. Automatic determinatin of imperviousness in urban areas digital from digital orthophotos. *Water Science Technology*. v. 39, n. 9. p. 81-86, 1999.

GILBERT, O.L. *The Ecology of urban habitats*. Chapman & Hall, London, 1991, 369 p.

GOMEZ, F.; GAJA, E.; REIG, A. Vegetatio and climatic changes in a city. *Ecological engineering*, v. 10, n. 4., p. 355-360. 1998.

GOODCHILD, M.F. Fractal and the accuracy of geographical measures. *Math Geol*. v. 12, n. 1, p. 85-98. 1980.

GOYA, C.R. Levantamento sistemático das áreas públicas livres de edificação e padrões de urbanização da cidade de Bauru. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 1, Curitiba, PR. *Anais...* 1990, p. 188-196.

GREEN, D.R. *et al.* A methodology for acquiring information on vegetation sucession from remotely sensed imagery. In: Haines-Young, R.; Green, Dr.R.; Coursins, S. (Eds.) *Landscape Ecology and Geographic Information Systems*. Taylor and Francis, London, 1993. p. 111-128.

HAM, D. Aerial photography and videography standards: applications for stream inventory and assesment. *Resources Inventory Committee Publications*. British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks (Canadá). 1996. Disponível em: <<http://www.for.gov.bc.ca/ric/pubs/aquatic/AerialVideo/>>. Acesso em 11/01/2000.

HENKE-OLIVEIRA, C.; PAESE, A.; SANTOS, J.E. Adaptação metodológica da aerofotografia ortogonal para a identificação de problemas ambientais e usos do solo. In: SEMINÁRIO REGIONAL DE ECOLOGIA 8., 1996, São Carlos. *Anais....* São Carlos: PPG-ERN-UFSCar, 1998. p. 729-740.

HENKE-OLIVEIRA, C.; SANTOS, J.E. Áreas verdes e áreas públicas de São Carlos (SP): diagnóstico e propostas. IN: Tundisi, J.G.; Yamamoto, Y, Dias, J.A.K. *São Carlos no 3o Milênio: perspectivas para o desenvolvimento sustentável*. Secretaria Municipal de Ciência e Tecnologia e Desenvolvimento Econômico. São Carlos, SP, v. 1, n. 1, p. 199-221, 2000.

HENKE-OLIVEIRA, C.; SANTOS, J.E.; PIRES, J.S.R. Indicadores de arborização urbana na cidade de São Carlos (SP) com o uso do SIG-IDRISI. *Brazilian Journal of Ecology*, Rio Claro, v. 1, p. 1-9, 1999.

HIPPI, I.; HOYHTYA, T.; SEDANO, F. Mosaicos de imagenes aereas digitales para el manejo de los recursos naturales. *Fator GIS*. 9 p., 1999, Disponível em <<http://www.fatorgis.com.br/artigos/sens/mosaicos/mosaicos.htm>>. Acesso em 14/01/2001.

HONJO, T.; TAKAKURA, T. Simulation of thermal effects of urban green areas on their surrounding areas. *Energy and Buildings*, v. 15, n. 3 p. 433-446.1991.

HUPP, C.R. Riparian vegetation recovery patterns following stream channelization a geomorphic perspective. *Ecology*, v. 73, n. 4. p. 1209-1226, 1992.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2000. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acessado em 02/12/2000.

IBGE. *Sinopse Preliminar do Senso Demográfico*. São Paulo, Fundação Instituto de Geografia e Estatística. v. 1, 1991, 233 p.

IDB (Inter-American Development Bank). *Good practices for urban greening*. Environmental Division of Social Programs and Sustainable Development Department. Washington, 1997. 85 p.

JAUREGUI, E. Influence of a large urban park on temperature and convective precipitation in a tropical city. *Energy and Buildings*, v. 15, n. 3-4, p. 547-463, 1991.

JORGE, L.A.B; GARCIA, G.J. A study of habitat fragmentation in Southeastern Brazil using remote sensing and geographic information systems (GIS). *Forest Ecology and Management*. V. 98, p. 35-47, 1997.

KADMON & HARARA-KREMER, Studing long-term vegetation dynamics using digital processing of historical aerial photographs. *Remote Sens. Environ.* v. 68, p. 164-176. 1999.

KIELBASO, J.J. Urban forestry: the international situation. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 2, 1994. São Luis. *Anais...* São Luis: Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, 1994. 613 p. p. 3-12.

KLIASS, R.G. Planning and conservation: Green areas and the environmental quality of the city of São Paulo. *Third World Planning Review*, v. 12, n. 4, p. 351-360,1990.

KRUMMEL, J.R.; GARDNER, R.H.; SUGIHAMA, F.; O'NEILL, R.V.; COLEMAN, P.R. Ladscape patterns in disturbed environment, *Oikos*, v. 48, p. 321-324, 1987.

LANDSBERG, H.E. Climates and urban planning. *Urban climates*, v. 254, p. 364-374. 1970.

LEAL FILHO, W. Dealing with misconceptions on the concept of sustainability. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, v. 1 n. 1, p. 9-19, 2000.

LIMA, A.M.L.P. *et al.* Áreas verdes de Piracicaba. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 1, Curitiba, *Anais...* 1990, p. 181-187.

LIND, B.B.; KARRO, E. Stormwater infiltration and accumulation of heavy metals in roadside green areas in Goteborg, Sweden. *Ecological Engeeniring*, v. 5, n. 4, p. 533-539, 1995.

MacARTHUR, R.H.; WILSON, E.O. *The Teory of Island Biogeography*. New Jersey, Princeton University Press. 1967, 208 p.

MADDEN M. *et al.* Photointerpretation key for the Everglades vegetation classification system. *Photogrametric Engineering and Remote Sensing*. v. 65, n. 2, p. 171-177, 1999.

MANFREDI, H.C. & VELASQUEZ, A.G.C. Ambiente, desarrollo sustentable y calidad de vida. Miguel Angel Garcia e Hijo, Caracas, 269 p. 1994.

MARK, D.M.; ARONSON, P.B. Scale-dependent fractal dimensions of topographic surfaces: an empirical investigation with applications in geomorphology and computer mapping. *Math Geol*. v. 16, p. 671-683. 1984.

McCORMICK, C.M. Mapping exotic vegetation in Everglades from large-scale aerial photographs. *Photogrametric Engineering and Remote Sensing*. v. 65, n. 2, p. 179-184. 1999.

McDONNELL, M.J.; PICKETT, S.T.A. Ecosystem structure and function along urban-rural gradients: an unexploited opportunity for ecology. *Ecology*, v. 71, n. 4, p. 1232-1237. 1990.

MCGARIGAL, K; MARKS B.J. *Fragstats*: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure Version 2.0. Forest Science Department, Oregon State University, Corvallis. 1994. 148 p.

MENEGAT, R.; PORTO, M.L.; CARRARO, C.C.; FERNANDES, L.A.D. *Atlas ambiental de Porto Alegre*. Porto Alegre, GAIA: Centro de Informação e Educação das Ciências da Terra e do Ambiente, 1998, 237 p.

MESEV, T.V.; LONGLEY, P.A. Morphology from imagery: detecting and measuring the density of urban land use. *Environment and planning*, v. 27, p. 759-780, 1995.

MILANO, M. S. Planejamento da arborização urbana: relações entre áreas verdes e ruas arborizadas. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 1, Curitiba, PR. *Anais...* 1990, p. 125-135.

MIZUNO, M. NAKAMURA, Y, MURAKAMI, H.; YAMAMOTO, S. Effects of land use on urban horizontal atmospheric temperature distribution. *Energy and Buildings*, v. 15, n. 1-2, p. 165-176, 1991.

MULLER, E. Mapping riparian vegetation along rivers: old concepts and new methods. *Aquatic botany*. v. 58, p. 411-437. 1997.

NEWMAN, P.W.G. Sustainability and cities: extending the metabolism model. *Landscape and Urban Planning*, n. 44, p. 219-226, 1999.

NILSEN, L. *et al.* Mapping plant communities in local Arctic landscape applying a scanned infrared aerial photograph in a geographical information system. *International Journal of Remote Sensing*. v. 20, n. 2, p. 463-480, 1999.

NIMER, E. Clima. In: *Geografia do Brasil*. Rio de Janeiro. IBGE. 1977. p. 35-38.

NOWAK, D.; *et al.* Measuring and analyzing urban tree cover. *Landscape and Urban Planning*, n. 36, p. 49-57, 1999.

ODUM, E.P. *Ecologia*. Rio de Janeiro. CBS, 1985. 434 p.

OLIVEIRA, C.H. *Planejamento ambiental na cidade de São Carlos com ênfase nas áreas públicas e áreas verdes: diagnóstico e propostas*. 1996. 181 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, UFSCar, São Carlos, SP.

PAINE, D.; LUBA, T. *Principles of aerial photo interpretation*. Oregon State University, 1980. 65 p. Disponível em: <<http://www.cof.orst.edu/cof/teach/for220/slides/>> Consultado em 18/01/1997.

PIRES, A.M.C. Diretrizes para a Conservação da Biodiversidade em Planos de Manejo de Unidades de Conservação: Caso de Estudo: Estação Ecológica de Jataí e Estação Experimental de Luiz Antônio (Luiz Antônio - SP). In: *LAPA: Laboratório de Análise e Planejamento Ambiental*. São Carlos, 2000. Disponível em <<http://www.lapa.ufscar.br>>. Acesso em 05/01/2001.

PIRES, J.S.R. Análise ambiental voltada ao planejamento e gerenciamento ambiental rural: abordagem metodológica aplicada ao município de Luiz Antônio - SP. 1995. 192 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, UFSCar, São Carlos, SP.

PORTO ALEGRE (Município). Lei Complementar No 434: Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre. *Diário Oficial de Porto Alegre*, 24 de Dezembro de 1999. 1999. 120 p.

RAGHU, P.P. & YEGNANARAYANA, B. Multispectral image classification using gabor filters and stochastic relaxation neural network. *Neural Networks*, v. 10, n. 3, p. 561-572, 1997.

RIBEIRÃO PRETO (Município). Lei 7.159 de 31 de Agosto de 1995. Dispõe sobre a arborização urbana no Município de Ribeirão Preto e dá outras providências. 1995. Disponível em <<http://www.coderp.com.br/SFAZENDA/I02LEIS5.HTM>>. Acesso em: 04/04/2000.

RIVELLA, A.P. Uso de fotografia aérea de pequeno formato (SFAP) para actualización de GIS urbano. *Fator GIS*. 14 p., 1999, Disponível em <<http://www.fatorgis.com.br/artigos/>>. Acesso em 22/06/2000.

SAITO, I.; ISHIHARA, O.; KATAYAMA, T. Study of effect of green areas on the thermal environment in an urban area. *Energy and Buildings*, v. 15, n. 3-4, p. 493-498, 1991.

SANTOS, J.E. Funções ambientais e valoração de ecossistemas naturais: Estação Ecológica de Jataí. In: *LAPA: Laboratório de Análise e Planejamento Ambiental*. São Carlos, 2001. Disponível em <<http://www.lapa.ufscar.br>>. Acesso em 05/01/2001.

SEADE. Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. 2000. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/>>. Acesso em 03/12/2000.

SETZER, J. *Atlas climatológico do Estado de São Paulo*. Comissão Interestadual da Bacia do Paraná-Paraguai. São Paulo. CESP. 1966.

SIMPSON, J.R.; MCPHERSON, E.G. *Impact evaluation of the Sacramento Municipal Utility District's Shade Tree Program*. Davis, CA. USDA Forest Service, Western Center for Urban Forest Research. 1995, 35 p.

SIMPSON, J.R.; MCPHERSON, E.G. Potential of tree shade for reducing residential energy use in California. *Journal of Arboriculture*. v. 22, n. 1, p. 10-18. 1996.

SOUSA, M.A.L.B.; FIORANTE, A.P.; CRUZ, R.A. Levantamento e classificação das áreas verdes da área urbana de Botucatu, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 1, Vitória, ES. *Anais...* 1992, p. 239-252

STUCKENS, J.; COPPIN, P. R. & BAUER, M. E. Integrating contextual information with per-pixel classification for improved land cover classification. *Remote Sensing Environment*, v. 71, p. 282-296, 2000.

TROPPMAIR, H. Metodologias simples para pesquisar o meio ambiente. Rio Claro, Graff Set. 1988, 232 p.

TURNER, M.G.; GARDNER, R.H. *Quantitative methods in landscape ecology*: The analysis and interpretation of landscape heterogeneity. Springer-Verlag, New York, 536 p., 1991.

TYRVÄINEN, L. The amenity of the urban forest: an application of the hedonic pricing method. *Landscape and Urban planning* v. 37, p. 211-222, 1997.

UM, J.S.; WRIGHT, R. A comparative evaluation of video remote sensing and field survey for revegetation monitoring of a pipeline route. *The Science of the Total Environment*, 215, p. 189-207, 1998.

UPMANIS, H.; ELIASSON, I.; LINDQWIST, S. The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city (Goteborg, Sweden). *International Journal of Climatology*, v. 18, n. 6, p. 681-700, 1998.

USDA (United States Department of Agriculture) Urban forest benefits from climate modification and energy conservation. *Western Center for Urban Forest Research and Education*, 3 p. 2001. Disponível em: <http://wcufre.ucdavis.edu:80/urban_forest_benefits_from.htm>. Acesso em: 09/01/2001.

WARNER, W.S.; GRAHAM, R.W.; READ, R.E. *Small format aerial photography*. Whittles Publishing, Caithness, Scotland, 1996. 348 p.

6 Anexos

Anexo A: Parâmetros utilizados na montagem do banco de dados das Unidades de Estudo (UEs).

Parâmetro	Descrição/Comentários	Unidade(s)	Método/fórmula utilizados para a determinação
ID_UE	Identificador numérico, seqüencial e exclusivo da UE (Unidade de Estudo)	-	Atribuição manual
TIPO	Tipologia do biótopo no qual a UE se insere	-	Distância em relação ao asfalto viário
RED	Reflectância do canal vermelho (aprox. 0.63-0.69 μm nas fotografias aéreas)	-	Consulta direta ao banco de dados
GREEN	Reflectância do canal verde (aprox. 0.52-0.60 μm nas fotografias aéreas)	-	Consulta direta ao banco de dados
BLUE	Reflectância do canal azul (aprox. 0.45-0.52 μm nas fotografias aéreas)	-	Consulta direta ao banco de dados
CLINOG	Clinografia (declividade)	%	Consulta direta ao banco de dados
AREA	Superfície	m^2	Consulta direta ao banco de dados
PERIM	Perímetro	m	Consulta direta ao banco de dados
IF	Índice de forma (ou Índice de Borda) que estabelece a relação entre o perímetro e a superfície da área de formas geométricas. O menor valor de IF é 1 para áreas perfeitamente circulares, atingindo os maiores valores nas áreas alongadas ou excessivamente recortadas.	-	$\text{IF} = \frac{\text{PERIM}}{2 \times \sqrt{\pi \times \text{AREA}}} \quad (*)$
D	Dimensão fractal, expressa a complexidade da forma da área. Este parâmetro é menos sensível a variações relacionadas ao alongamento do objeto e mais sensível às reentrâncias. Varia de valores próximos a 1, para formas simples (círculos, quadrados, elipses) até 2, para as formas complexas.	-	$D = \frac{2 \times \ln(\text{PERIM})}{\ln(\text{AREA})} \quad (*)$
V_ARB	Quantidade de vegetação arbórea/arbustiva	m^2 e percentual	Consulta direta ao banco de dados
V_HERB	Quantidade de vegetação herbácea/ruderal/gramados/pastagens	m^2 e percentual	Consulta direta ao banco de dados
SOLO	Quantidade de solo exposto	m^2 e percentual	Consulta direta ao banco de dados
TELHA	Quantidade de telhados	m^2 e percentual	Consulta direta ao banco de dados
SUP	Quantidade de superfícies impermeáveis diversas	m^2 e percentual	Consulta direta ao banco de dados
ASF	Quantidade de asfalto viário	m^2 e percentual	Consulta direta ao banco de dados
SOMB	Quantidade de sombra	m^2 e percentual	Consulta direta ao banco de dados
V_VIARIA	Quantidade vegetação arbórea/arbustiva associada ao sistema viário ou fachadas	m^2 e percentual	Consulta direta ao banco de dados
V_PRCAS	Quantidade vegetação arbórea/arbustiva associada às praças e áreas verdes públicas	m^2 e percentual	Consulta direta ao banco de dados
V_F_QUADRA	Quantidade vegetação arbórea/arbustiva de fundo de quadras	m^2 e percentual	Consulta direta ao banco de dados
PERM	Quantidade superfícies permeáveis	m^2 e percentual	$\text{PERM} = \text{VARB} + \text{VHERB} + \text{SOLO} - \text{SOMBRA}$
IMPERM	Quantidade superfícies impermeáveis	m^2 e percentual	$\text{IMPERM} = \text{TELHA} + \text{SUP} + \text{ASF}$
A_LIVRE	Quantidade superfícies impermeáveis	m^2 e percentual	$\text{A_LIVRE} = \text{VARB} + \text{VHERB_SUP} + \text{ASF}$
A_EDIF	Quantidade de superfícies edificadas (telhados)	m^2 e percentual	$\text{A_EDIF} = \text{TELHADOS}$
PIAL	Percentual de impermeabilização das áreas livres	percentual	$\text{PIAL} = 100 \times \frac{\text{IMPERM}}{\text{A_LIVRE}}$
PEAI	Percentual de edificação das áreas impermeáveis	percentual	$\text{PEAI} = 100 \times \frac{\text{A_EDIF}}{\text{IMPERM}}$
PVFAQ	Percentual de vegetação em fundo de quadras (em relação à vegetação total)	percentual	$\text{PIAL} = 100 \times \frac{\text{V_F_QUADRA}}{\text{V_ARB}}$

POROSIDADE	Quantidade de poros (manchas de vegetação arbórea)	poros / ha	Consulta direta ao banco de dados
SHANNON	Índice de diversidade de paisagem (Shannon). O índice expressa a diversidade de classes de usos do solo (riqueza e equitabilidade), não diversidade biológica	-	$SHANNON = \sum_{i=1}^7 [pi \times \ln(pi)] \quad (*)$ <p>pi = abundância proporcional para a classe de uso do solo i</p>
INDV_LSAT	Índice Normalizado das Diferenças na Vegetação (INDV), parâmetro diretamente relacionado à biomassa foliar. Varia de -1 a 1.	-	$INDV = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (**)$ <p>NIR = banda 4 (infravermelho próximo) do satélite Landsat 5</p> <p>R = banda 3 (vermelho) do satélite Landsat 5</p>

* McGARIGAL, MARKS (1994)

** EASTMAN (1997)