



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

ANDREA FERRAZ YOUNG

**APLICAÇÃO DE ÍNDICES RELATIVOS DE VEGETAÇÃO E TEMPERATURA
PARA ESTUDO DAS MUDANÇAS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO:
ESTUDO DE CASO DE CURITIBA (PR), 1986 A 2002**

Orientador: Prof. Dr. Jansle Vieira Rocha
Coorientadora: Dra. Maria Victória Ramos Ballester

CAMPINAS, SP
Março / 2005



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

ANDREA FERRAZ YOUNG

**APLICAÇÃO DE ÍNDICES RELATIVOS DE VEGETAÇÃO E TEMPERATURA
PARA ESTUDO DAS MUDANÇAS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO:
ESTUDO DE CASO DE CURITIBA (PR), 1986 A 2002**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola na área de concentração em Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável

Orientador: Prof. Dr. Jansle Vieira Rocha
Coorientadora: Dra. Maria Victória Ramos Ballester

CAMPINAS, SP
Março / 2005

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Y84a Young, Andrea Ferraz
Aplicação de índices relativos de vegetação e temperatura para estudo das mudanças do uso e ocupação do solo: estudo de caso de Curitiba (PR), 1986 a 2002 / Andréa Ferraz Young .--Campinas, SP: [s.n.], 2005.

Orientadores: Jansle Vieira Rocha e Maria Victória Ramos Ballester.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Vegetação e clima. 2. Vegetação - Mapeamento. 3. Planejamento urbano. 4. Política ambiental. 5. Sensoriamento remoto. 6. Sistemas de informação geográfica. I. Rocha, Jansle Vieira. II. Ballester, Maria Victória Ramos. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. IV. Título.

Título em Inglês: Application of vegetation and temperature indices for the study of occupation and land use changes: case study of Curitiba (PR), 1986 to 2002.

Palavras-chave em Inglês: Vegetation and climate, Vegetation mapping, Urban planning, Environmental policy, Remote sensing, Geographic information system.

Área de concentração: Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável

Titulação: Doutorado em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Maria Helena Ferreira Machado, Rubens Augusto Camargo Lamparelli, José Marcos Pinto da Cunha e André Munhoz de Argollo Ferrão

Data da defesa: 21/03/2005

AGRADECIMENTOS

Agradeço...

À Deus, por minha vida e por todas as aventuras maravilhosas que através dela se tornam realidade.

A minha família e, sobretudo, a minha irmã Eli e ao meu marido, pelo amor, compreensão e apoio nas horas difíceis.

Ao Prof. Dr. Jansle Vieira Rocha, pelo carinho, orientação, incentivo, amizade e, sobretudo, por ter proporcionado tantas oportunidades para meu crescimento e, principalmente, amadurecimento intelectual.

À Prof^a. Dra. Maria Victória Ramos Ballester, pelo exemplo de dedicação e empenho, principalmente, pelo constante encorajamento e apoio à realização dessa pesquisa.

Ao Prof. Dr. Rubens Lamparelli, pelo carinho, amizade querida e orientação.

Ao Prof. Dr. Jurandir Zullo Junior, pelas sugestões sempre bem vindas, e principalmente, pela confiança e amizade.

Ao Prof. Dr. Roberto Luiz do Carmo, pela valiosa orientação no campo da demografia e, principalmente, pelo bom humor e amizade.

Ao Prof. Dr. André Munhoz de Argollo Ferrão pelo constante incentivo e amizade.

Ao amigo Dr. Carlos H. Tapia Calle, pelo esclarecimento de dúvidas, e sobretudo, pela amizade e incentivo ao desenvolvimento dessa pesquisa.

Ao Dr. Oscar Ricardo Schmeiske, coordenador de geoprocessamento do IPPUC, pela confiança, paciência e presteza ao esclarecer dúvidas e disponibilizar informações necessárias ao andamento da pesquisa

À Lorival Peyerl, do setor de Banco de Dados do IPPUC, por toda simpatia ao fornecer valiosas informações e esclarecimentos sem os quais não teria sido possível concretizar esta pesquisa.

À Maria do Rocio Moraes do Rosário, Albina Pedrina Cordeiro e Maria Inês Cavichioli, do departamento de Monitoração do IPPUC, pela gentileza ao conceder todo material de pesquisa necessário.

À Luiz Alberto Lopez Miguez e à Damaris da Silva Seraphim, da Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Curitiba, pela presteza ao esclarecer dúvidas e ao disponibilizar informações necessárias.

Ao Exmº Sr. Secretário Luiz Eduardo Cheida, da Secretaria de Meio Ambiente do Estado, pela concessão de imagens de satélite e informações para desenvolvimento da pesquisa.

Ao Dr. Francisco Garrido Barcia, chefe da Unidade Estadual do IBGE em São Paulo, pela disponibilização de dados essenciais ao desenvolvimento da pesquisa.

Ao Dr. Rogério Moro, diretor do Instituto Tecnológico SIMEPAR, pelo esclarecimento de dúvidas e auxílio na disponibilização de dados meteorológicos sobre Curitiba.

Ao Dr. Antonio Divino Moura, diretor do Instituto Nacional de Meteorologia, e a Sra. Maria Cristina G. Costa, pelo apoio e disponibilização de dados meteorológicos sobre Curitiba.

Ao Sr. Fernando Provitina da ENGESAT, e Sr. Juliano Lazaro da INTERSAT, pela concessão das imagens de satélite Landsat, sem as quais teria sido impossível o desenvolvimento dessa pesquisa.

À Maria Lúcia Biscaia de Medeiros e Viviane Rauta Simiano, do Instituto Ambiental do Paraná, pelo incentivo e gentileza na concessão de informações.

Ao Sr. Oscar Custel da Silva do IPARDES e Vanessa Galperin da SANEPAR, pela concessão de dados para a realização da pesquisa.

Ao Exmº Sr. Jaime Lerner pelo incentivo à realização dessa pesquisa.

Ao bom humor e otimismo dos amigos Jean Pierre Ometto e Plínio Camargo.

À Lídia Sanches Bertolo, pelo apoio e por ter auxiliado e contribuído fortemente na execução dessa pesquisa.

À querida amiga Bernadete Pedreira, pelo incentivo, confiança e por estar sempre por perto.

Aos amigos de sempre André Aparecido Nogueira e Enzo Gomes Beato, pelo auxílio, simpatia e amizade.

Ao CNPq, pelo financiamento desta pesquisa.

Ao FAEP, pelo apoio e financiamento para divulgação dessa pesquisa.

Ao IPPUC por ter colaborado prontamente e contribuído imensamente para a realização dessa pesquisa.

À Suzely, da Secretaria de Apoio ao Docente, pela gentileza ao disponibilizar seu auxílio.

À Ana, Rosângela e Marta pela disposição, paciência em nos atender e colaboração em todos os momentos.

À todos os funcionários de instituições e órgãos públicos de Curitiba, que de alguma forma auxiliaram no andamento dessa pesquisa.

À todos os professores e funcionários da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, que de maneira direta ou indireta, contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. HIPÓTESES	4
3. OBJETIVOS	5
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
4.1. Evolução da expansão urbana e o processo de planejamento de Curitiba	6
4.2. Crescimento populacional e índice de desenvolvimento humano de Curitiba	14
4.3. O processo de proteção e manutenção das áreas de vegetação de Curitiba	15
4.4. A urbanização e o fenômeno das “ilhas de calor urbano”	18
4.5. A importância da vegetação	21
4.6. Mapeamento da vegetação com auxílio de imagens de satélite e índice NDVI	22
4.7. Medidas obtidas remotamente a partir da banda do infravermelho termal	26
4.8. Considerações sobre Estrutura e Dinâmica Espacial Urbana	30

5. MATERIAL E MÉTODOS	33
5.1. Caracterização da área de Estudo	33
5.2. Levantamento de dados	34
5.3. Metodologia para obtenção do Índice Relativo NDVI _R	38
5.4. Metodologia para o cálculo do Índice Relativo DN _R	39
5.5. Metodologia para análise dos dados populacionais	45
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
6.1. Índice Vegetação Relativo NDVI _R	46
6.2. Índice de Temperatura Relativo DN _R	55
6.3. Análise da distribuição populacional	63
7. SINTESE DAS ANÁLISES	83
8. CONCLUSÃO	88
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
10.1. Referências Bibliográficas	93
10.2. Bibliografia Consultada	99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Plano Agache de 1943	6
Figura 2: Alteração da conformação espacial do modelo de crescimento urbano	7
Figura 3: Sistema Viário Trinário	8
Figura 4: Alterações do Plano Diretor de Curitiba	9
Figura 5: Lei de Zoneamento de 1975	10
Figura 6: Lei de Zoneamento de 2000	12
Figura 7: Aglomeradas subnormais	13
Figura 8: Visão integrada de parques e áreas verdes	17
Figura 9: Município de Curitiba	33
Figura 10: Regiões de estudo	34
Figura 11: Mapeamento do uso do solo através de ROIs (1986, 1999 e 2002)	36
Figura 12: Imagens NDVI (1986, 1999 e 2002)	37
Figura 13: Comparação entre os valores de DN e Temperatura (K)	40
Figura 14: Imagens termais do Landsat de 1986 (em DN); 1999 e 2002 (em temperatura K)	43
Figura 15: Modelo Digital de Elevação, Elevações em 3D e Aspecto	44
Figura 16: Evolução do índice NDVI _R por região no tempo	48
Figura 17: Representação das mudanças ocorridas nas áreas de vegetação	51
Figura 18: Percentual de vegetação em relação ao município e regiões	53
Figura 19: Evolução do índice DN _R em relação ao NDVI _R ao longo dos anos	56
Figura 20: Mapas referentes à hidrografia, hipsometria e zoneamento urbano do município	58

Figura 21: Representação das mudanças no uso do solo do município	64
Figura 22: Mudanças no uso do solo das regiões	66
Figura 23: Parcelamento do solo nas regiões R1, R2 e R3	69
Figura 24: População absoluta por bairro em de cada região	71
Figura 25: Comparação das variáveis população e área urbana	72
Figura 26: Representação dos dados de população e vegetação entre regiões	73
Figura 27: Comparação do número de domicílios com as projeções de área urbana e vegetação	75
Figura 28: Representação dos dados de alfabetização e anos de estudo por região	76
Figura 29: Relação entre faixas de renda, área urbana e de vegetação	78

ANEXOS

Anexo 1: Mapeamento da evolução do uso do solo em Curitiba (PR)	100
--	-----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Evolução da população de Curitiba e Região Metropolitana 1940 a 2000	14
Tabela 2: Índice de Desenvolvimento Humano do Município de Curitiba	15
Tabela 3: Índice de Desenvolvimento Humano dos seis primeiros Estados do ranking nacional	15
Tabela 4: Critérios utilizados na definição das áreas de estudo	35
Tabela 5: Critérios utilizados para a classificação dos diferentes tipos de uso do solo	35
Tabela 6: Cálculo do índice NDVI e índice de vegetação relativo NDVI _R	46
Tabela 7: Taxa de variação da área de vegetação do município	50
Tabela 8: Percentual de vegetação de cada região em relação ao total de vegetação do município	52
Tabela 9: Cálculo do Índice Relativo DN _R	55
Tabela 10: Comparação dos valores do índice relativo DN _R com o índice NDVI _R	55
Tabela 11: Mudanças no uso do solo do município de Curitiba	64
Tabela 12: Mudanças no uso do solo das regiões	65
Tabela 13: Zonas urbanas da região R1	67
Tabela 14: Zonas urbanas da região R2	68
Tabela 15: Zonas urbanas da região R3	69
Tabela 16: População Total e Taxa de Crescimento populacional de cada região	70
Tabela 17: População total, área de vegetação e área urbana em cada região	72
Tabela 18: Número de domicílios e média de habitantes por domicílio por região	74
Tabela 19: População residente de 5 anos ou mais por alfabetização	75
Tabela 20: Representatividade em % das categorias de anos de estudo por chefe de domicílio	76
Tabela 21: Faixas de renda por pessoa responsável por domicílio	79
Tabela 22: Síntese das transformações urbanas e populacionais ocorridas em cada região	81
Tabela 23: Principais funções ambientais do zoneamento urbano de cada região	83

RESUMO

O objetivo principal do trabalho foi o de criar índices relativos de vegetação e temperatura da superfície, sensíveis a mudanças, que sintetizassem as alterações ocorridas nos padrões da cobertura vegetal e urbanização, em função das transformações evidenciadas no tecido urbano do município de Curitiba (PR). Baseando-se na análise dos resultados obtidos através do cálculo desses índices, procedeu-se a análise conjunta com os dados de população. Portanto, esse processo envolveu o estudo dos padrões de uso do solo, das interações entre as diferentes classes inseridas na paisagem e de como esses padrões e interações mudam ao longo do tempo. Assim sendo, três regiões de Curitiba foram selecionadas por meio da definição de critérios específicos e comparadas em termos de mudanças de padrões e tendências. Imagens Landsat TM e ETM+ foram utilizadas para identificar diferentes padrões de cobertura da terra fornecendo uma classificação do uso do solo. Para isolar as áreas com vegetação das superfícies urbanas construídas, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi utilizado como um indicador da presença de vegetação, a partir do qual o índice de vegetação relativo (NDVI-R) foi criado. Ao mesmo tempo, valores das bandas termais do satélite Landsat (bandas 6) foram extraídos como indicadores das diferenças termais entre usos do solo, servindo de base para a proposição de um índice de temperatura relativo (DN-R), que foi comparado com o índice de vegetação relativo (NDVI-R). Um banco de dados identificando as principais características da população de cada região foi construído, servindo de suporte para a análise entre as variáveis, fornecendo cenários da realidade e subseqüentes conflitos causados pelas mudanças na paisagem. Através da aplicação dessas técnicas foi possível verificar a importância do tamanho e distribuição das áreas de vegetação na caracterização das áreas urbanizadas e semi-urbanizadas. Esta abordagem comparativa demonstrou como a paisagem pode ser derivada do imageamento por satélite fornecendo uma representação das mudanças ocorridas na estrutura espacial urbana. Além disso, demonstrou como o rápido crescimento populacional e o desenvolvimento urbano tendem a competir com condições ambientais mais sensíveis, tais como parques e áreas de proteção ambiental. Todo o processo envolveu mudanças na composição, estrutura e função da paisagem, que ocorreu sobre um pano de fundo de manchas naturais remanescentes alteradas pelas transformações da morfologia urbana. A maioria dessas alterações evidencia mudanças no micro clima. Certamente, a análise das distribuições espaciais forneceu novos esclarecimentos sobre a estrutura da paisagem, que poderão ser explorados no planejamento do uso do solo. Esta é uma abordagem que fornece uma nova direção e oportunidade de pesquisa no que se refere a questões ambientais relativas ao processo de tomada de decisão, endereçada a objetivos ambientais com vistas ao desenvolvimento sócio-econômico, especialmente porque ressalta-se o fato de que não apenas os atributos físicos dos elementos da paisagem, mas também sua configuração espacial são importantes determinantes na dinâmica do uso do solo.

ABSTRACT

The aim of this study was to propose relative vegetation and temperature indices which could reflect the changes occurred in the vegetation cover and urbanization patterns caused by transformations along the city of Curitiba (PR). Based on the results of these analysis it was achieved the analysis of the mainly population characteristics. Thus, it involved the study of land use patterns, the interactions between them within the landscape, and how these patterns and interactions change over the time. Therefore, three areas of Curitiba were selected by specific criteria and were studied and compared in terms of changing patterns and tendencies. Landsat TM and ETM+ images were used to identify different patterns of land cover providing a land use classification. In order to separate vegetated from built-up surfaces, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was used as an indicator of vegetation presence, from of what the relative vegetation index (NDVI-R) was created. At the same time, values from the thermal band (band 6) of Landsat satellite were extracted as an indicator of thermal differences between land uses, based on that a relative temperature index (DN-R) was proposed and compared with the relative vegetation index (NDVI-R). A database was built identifying the main characteristics of population of each area, serving as support for an analysis between variables, providing scenarios for subsequent conflicts caused by landscape changes. By applying these techniques it was possible to verify the importance of the size and distribution of the vegetated areas in characterizing urbanized and semi urbanized areas. This comparative approach has demonstrated how landscape can be derived from satellite imagery providing a representation of changes in the urban spatial structure. Besides, it has showed how the rapid population growth and urban development trends along the city compete with sensitive environmental conditions in areas such as municipal parks and conservation areas. Every process involved changes in landscape composition, structure and function, which occurred on a backdrop of natural remaining patches altered by transformations of urban morphology. Most of these changes shows up micro climate changes. Certainly, the analysis of spatial distributions provided new insights about the landscape structure, which could be exploited in the land use planning. This is an approach that provides a new direction and research opportunity in terms of environmental issues on the agenda of policy makers, addressed towards environmental goals for social-economic development proposals specially because it highlighted the fact that not only the physical attributes of the landscape elements but also their spatial configuration were important determinants of land use dynamics.

1. Introdução

A segunda metade do século XX foi marcada por uma urbanização acelerada e desordenada, principalmente nos países em desenvolvimento (Platt, 1994). Segundo dados do IBGE (2000), atualmente cerca de 81% da população brasileira está concentrada nas áreas urbanas. Em pleno século XXI, todas as nações industrializadas estão altamente urbanizadas. A metrópole moderna envolve uma vasta área caracterizada como região metropolitana com múltiplos centros (Hartranft et al., 2003).

O estilo de vida das maiores cidades do mundo caracteriza-se por um elevado consumo de energia; altos índices de poluição atmosférica; aquecimento (ex: ilhas de calor, efeito estufa); crescimento das emissões de dióxido de carbono; alterações na demanda por água; aumento da concentração de fumaça; desconforto humano e doenças (McPherson, 1994; Hogan, et al, 2001).

Mais de um terço da superfície da Terra tem sido transformada pelas atividades humanas, entre as quais a urbanização tem exercido uma importante e crescente influência sobre o clima e tem afetado significativamente o ecossistema terrestre (Vitousek et al., 1997; Bonan, 2002; Zhang et al., 2004).

A cidade de Curitiba não fugiu à regra, na década de 70 com a implantação das áreas industriais de Curitiba e Araucária, ocorreu um aumento da oferta de trabalho na região e, conseqüentemente, um aumento vertiginoso da população absoluta. O crescente processo de urbanização de Curitiba e de sua região metropolitana provocou mudanças nos fluxos de energia que repercutiram no clima local. Assim sendo, fenômenos ligados às condições climáticas, tais como aumento da temperatura, poluição atmosférica, ocorrência de chuvas

mais intensas, inundações, supressão das áreas de vegetação, entre outros, passam a fazer parte do cotidiano (Mendonça, 2001).

Com o avanço tecnológico, técnicas de sensoriamento remoto têm se mostrado úteis no monitoramento de áreas urbanas através do fornecimento de informações sobre a evolução do processo de desenvolvimento e expansão urbana, que acaba por pressionar os recursos naturais e áreas ambientalmente mais sensíveis, como aquelas onde estão presentes as áreas de vegetação. Dentre estas técnicas pode-se citar a aplicação de índices de vegetação obtidos através de diferentes bandas do sensor, tais como o NDVI (Baret & Guyot, 1991).

Além disso, o aprimoramento de técnicas de sensoriamento remoto voltadas para a descrição das mudanças nas condições climáticas tem sido cada vez mais pertinentes, principalmente, para a aquisição de informações sobre as variações na temperatura da superfície causadas pelo aumento dos níveis de concentração urbana (Zhang et al., 2004).

Outro aspecto importante a ser considerado é o fato de se relacionar medidas obtidas através de técnicas de sensoriamento remoto com dados sobre condições sócio-econômicas e populacionais de determinada região, visando compreender como se processa a dinâmica desses fatores em função das mudanças ocorridas ao longo do tempo (Carlson & Arthur, 2000).

Praticamente, o princípio norteador dessa pesquisa se refere à análise das mudanças do uso do solo de Curitiba (PR) associadas a padrões de urbanização e crescimento populacional, bem como, os efeitos que estas alterações exerceram sobre o ambiente. Obviamente que, diante das dificuldades de se estudar todos aspectos referentes aos efeitos causados por essas transformações, alguns aspectos de análise foram definidos, tais como expansão da malha urbana; supressão da cobertura vegetal; mudanças nos padrões de temperatura da superfície e crescimento populacional.

Esses quatro parâmetros (variação da área urbana, vegetação, temperatura de superfícies radiantes e da população) foram combinados permitindo a visualização das principais características do processo de desenvolvimento urbano da cidade.

Para análise desses parâmetros, inicialmente, foram propostos dois índices relativos, um relacionado a presença de vegetação ($NDVI-R$) e outro relacionado a temperatura da superfície ($DN-R$), partindo do pressuposto de que ambos seriam sensíveis às mudanças e transformações do uso do solo.

Tanto o índice $NDVI-R$ como o $DN-R$ foram propostos como uma alternativa para se contornar o efeito atmosférico e as dificuldades de correção atmosférica de imagens multitemporais em função da ausência de parâmetros para sua realização, principalmente em imagens mais antigas.

Baseando-se na análise dos resultados obtidos através do cálculo desses índices, procedeu-se a análise conjunta com os dados de população.

2. Hipóteses de trabalho

Para facilitar o entendimento sobre as diretrizes básicas que nortearam o desenvolvimento da pesquisa, foram elaboradas três hipóteses que devem ser consideradas em conjunto, como se constituíssem uma única hipótese dividida em três partes. Esse procedimento permitiu que objetivos e metodologias fossem estabelecidos e que os resultados fossem organizados e analisados dentro dessa seqüência lógica.

Assim sendo, o trabalho foi baseado em hipóteses sobre as mudanças na dinâmica espacial urbana determinadas pelo processo de expansão urbana que refletem no município de maneira diferenciada e que podem ser detectadas através de índices relativos.

Hipótese 1: “Um índice de vegetação relativo aplicado em regiões distintas dentro de um município pode auxiliar no entendimento da evolução temporal do uso do solo e, conseqüentemente, das transformações ocorridas na dinâmica espacial urbana.”

Hipótese 2: “Um índice de temperatura relativo aplicado em regiões distintas dentro de um município pode auxiliar no entendimento da evolução temporal do uso do solo e, conseqüentemente, das transformações ocorridas na dinâmica espacial urbana.”

Hipótese 3: “Mudanças na dinâmica espacial urbana refletem significativamente no processo de distribuição espacial da população dentro do município.”

3. Objetivos

A tese foi dividida em três etapas de análise constituídas de objetivos específicos, assim sendo:

Primeiro objetivo: propor um índice de vegetação relativo (NDVI_R) sensível a mudanças, que sintetizasse as alterações ocorridas nos padrões de cobertura vegetal em função das transformações ocorridas no tecido urbano ao longo do tempo, a partir do registro dos valores médios de NDVI e, conseqüentemente, das diferentes contribuições de cada uso do solo para essas mudanças.

Segundo objetivo: propor um índice de temperatura relativo (DN_R) sensível a mudanças, que sintetizasse as alterações ocorridas nos padrões de uso do solo ao longo do tempo, através do registro das variações de temperatura da superfície por meio de valores médios expressos em DN (digital number). Além disso, identificar uma possível correspondência entre esses valores e os valores obtidos através da aplicação do índice de vegetação relativo (NDVI_R).

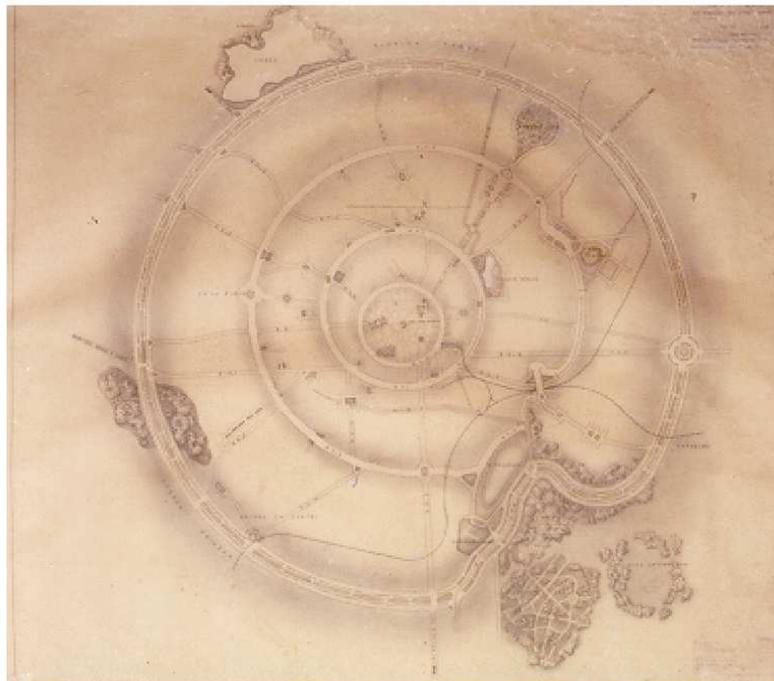
Terceiro objetivo: identificar como a paisagem de Curitiba tem se transformado através do tempo em função das ações previstas em termos de uso e ocupação do solo; se esses padrões variaram entre regiões distintas; e como se configuraram os arranjos sociais através da identificação das características básicas da dinâmica populacional.

4. Revisão Bibliográfica

4.1. Evolução da expansão urbana e o processo de planejamento de Curitiba

Embora a experiência de Curitiba em planejamento urbano tenha sido reconhecidamente expressiva a partir dos anos setenta, esse processo remonta ao início da década de quarenta com a proposta urbanística sugerida por Alfredo Agache (Figura 1). Este foi o primeiro esforço, do poder público, para elaborar um instrumento disciplinador do uso e ocupação do solo. Este plano estabeleceu diretrizes e normas técnicas, ordenando o crescimento urbano, disciplinando o tráfego, organizando as funções e definindo um zoneamento para as atividades urbanas (IPEA, 2000).

Plano Diretor de Urbanização de Curitiba, conhecido como Plano Agache



Acervo da Casa da Memória - Curitiba (PR)

Figura 1: Plano Agache de 1943

O processo de planejamento da cidade sempre esteve relacionado a três princípios básicos ou aspectos fundamentais: sistema viário, transporte coletivo e uso do solo.

Em 1966 a cidade tinha uma estrutura radial e o Plano Diretor já definia a necessidade de linearização. A Lei N° 2.828 de 1966 alterou a conformação radial de desenvolvimento, propondo um modelo linear de indução de crescimento (Figura 2), (IPEA, 2000).

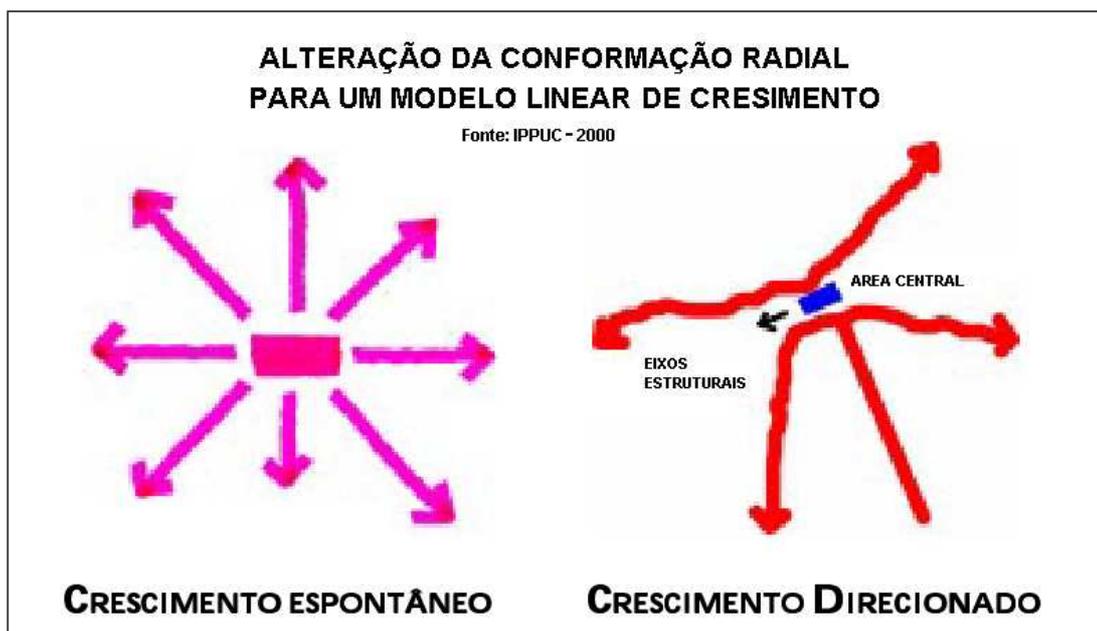


Figura 2: alteração da conformação espacial do modelo de crescimento urbano

Assim sendo, as primeiras ações de concretização e implantação do Plano Diretor foram os eixos trinários (Figura 3) do sistema viário (com três faixas), estabelecendo limites de crescimento para a Zona Central, Setores Estruturais e algumas Zonas Residenciais, reservando áreas para a expansão urbana (IPPUC, 2002).

Na década de setenta, quando o planejamento urbano era visto no país como instrumento fundamental para reverter o quadro caótico em que vivia a maioria das capitais brasileiras, Curitiba já possuía um Plano Diretor que continha mecanismos disciplinadores atuando no sentido de ordenar o processo de desenvolvimento urbano (IPEA, 2000).

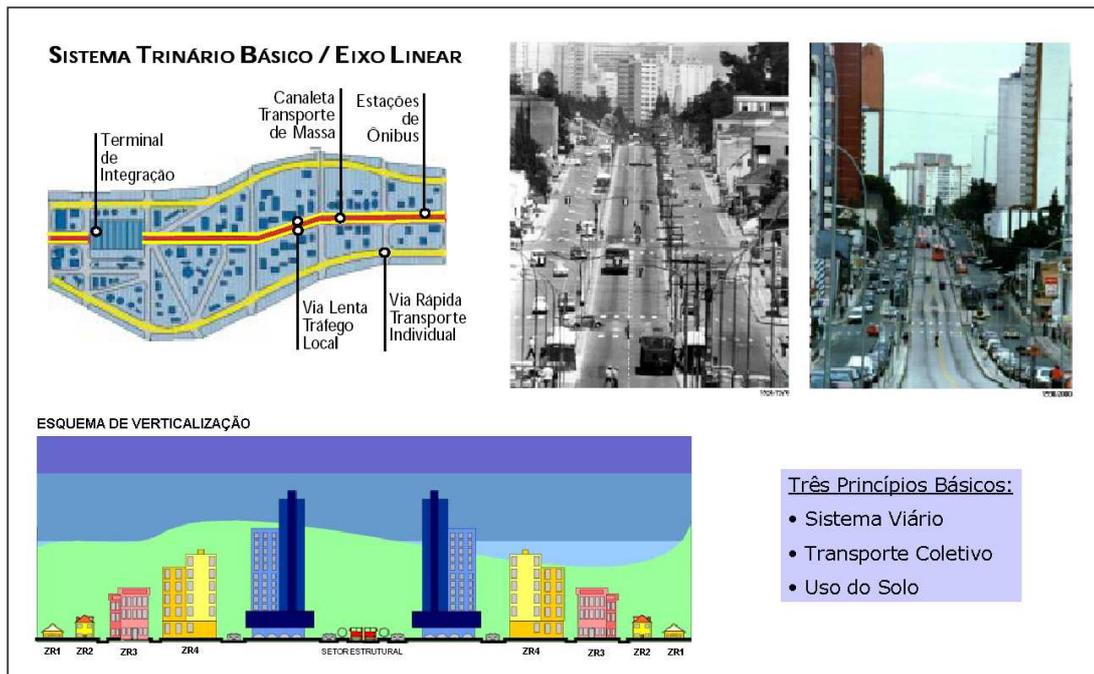


Figura 3: Sistema Viário Trinário (Fonte: IPPUC, 2000)

Em 1972, com a Lei N° 4.199, ocorreu uma nova revisão do zoneamento, adequando mais uma vez a expansão urbana às diretrizes propostas e aproximando a cidade ao modelo linearizado (IPPUC, 2002).

A área industrial, implantada em 1973, foi originalmente gerida pela Companhia de Desenvolvimento Industrial. Na época da sua constituição, foram estabelecidos os instrumentos legais de uso e ocupação do solo, que contemplavam áreas destinadas à implantação de habitações, obedecendo as diretrizes preconizadas pelo Plano Diretor.

Em 1975 foram estabelecidas alterações no Sistema Viário (Figura 4) e Zoneamento do Uso do Solo (Figura 5), através da Lei N° 5.234, que limitavam a ocupação e o adensamento das zonas residenciais periféricas. Beneficiavam, entretanto, as áreas adjacentes aos eixos estruturais já implantados, integrando-as mais ativamente ao processo de desenvolvimento urbano. Assim sendo, a Lei N° 5.234 dividiu a cidade em Zonas Urbanas e Setores Especiais. Para as zonas urbanas foi previsto um processo de ocupação lento e contínuo, enquanto que,

para os Setores Especiais (novos eixos de crescimento) foram previstas ocupações mais densas (adensamento urbano), disciplinando assim, o uso do solo em áreas de expansão urbana (IPPUC, 2002).

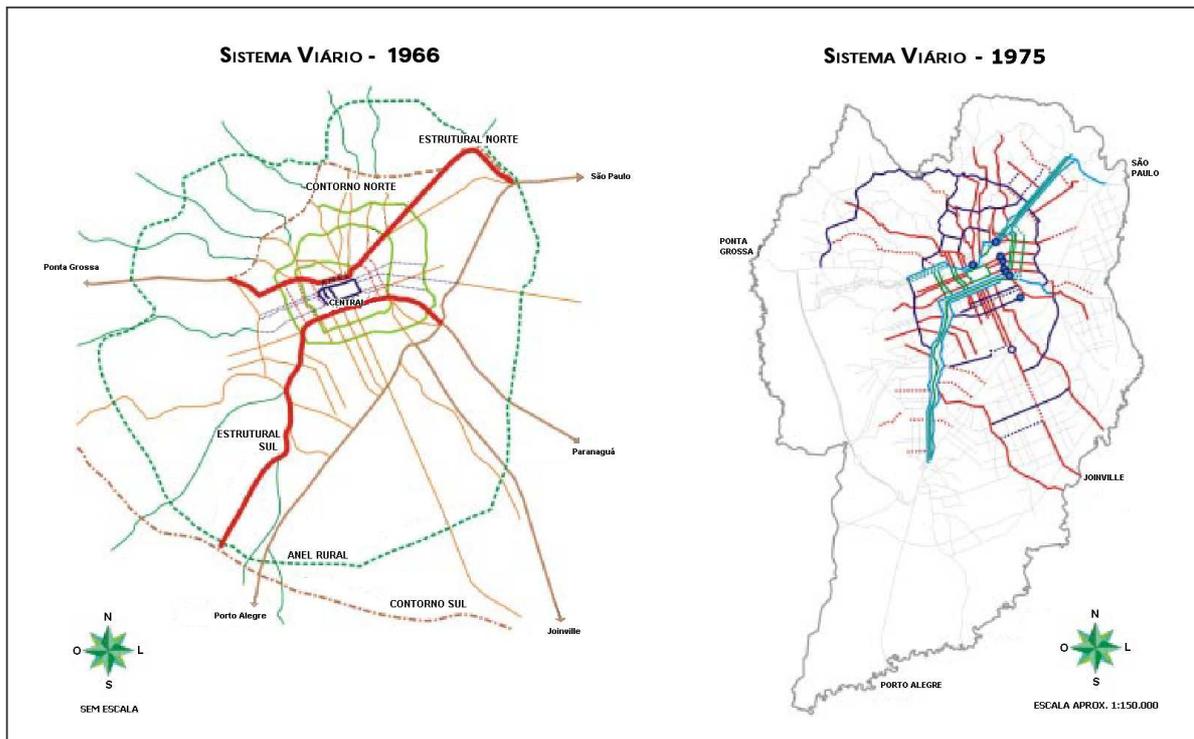


Figura 4: Alterações do Plano Diretor de Curitiba (Fonte: IPPUC, 2000)

Essas transformações visavam o aumento do número de usuários do sistema de transporte coletivo e infra-estrutura implantados. Essas medidas previam a ocupação induzida dos espaços próximos a estes eixos estruturais, com intuito de melhorar a qualidade de vida da população, entretanto, tais investimentos públicos provocaram o aumento do preço da terra, tornando-a inacessível, principalmente, para a população de baixa renda (IPEA, 2000).

Dessa forma, uma das opções foi a aquisição de lotes na área leste da cidade, onde a ocupação era desaconselhada pelo Plano Diretor, devido à proximidade dos mananciais da cidade, terrenos alagadiços e barreiras físicas, como a BR-116, que era considerada na época,

e se confirmou na prática, um fator negativo no processo de ocupação do solo urbano. Com a ocupação dessas áreas, a alternativa foi implantar um braço do eixo de transporte coletivo para atender parte dessa população, atualmente constituindo como o eixo Hauer/Boqueirão. No entanto, esse eixo não recebeu o mesmo tratamento dos setores estruturais, pois não possuía as duas vias externas como alternativa de tráfego. Além disso, nessa região o uso do solo não havia sido adequadamente ajustado conforme ocorrido no eixo norte-sul (IPPUC, 2002).

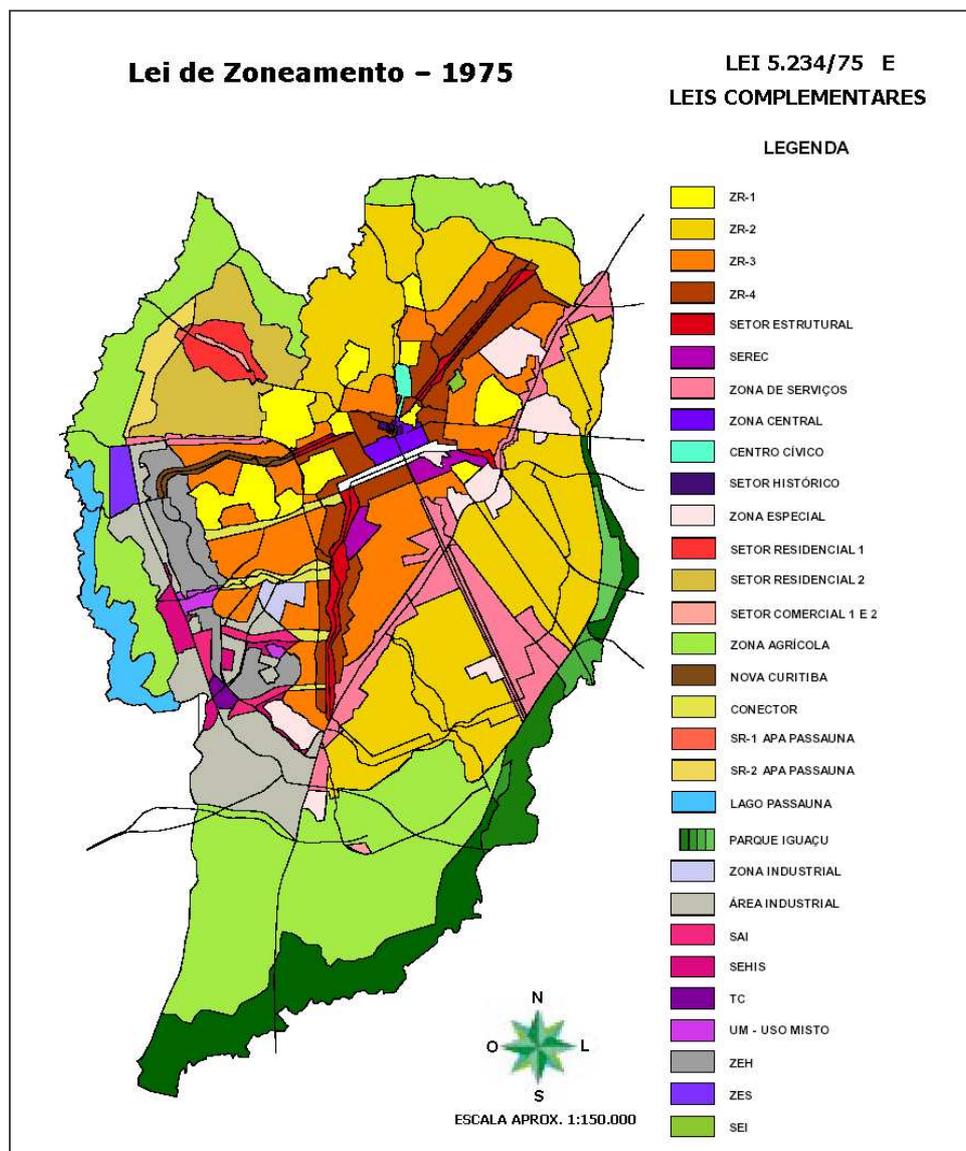


Figura 5: Lei de Zoneamento de 1975 (Fonte: IPPUC, 2000)

A falta de sincronia entre os três elementos indutores do crescimento (transporte coletivo, sistema viário e uso do solo) foi uma das causas das disfunções ocorridas que prejudicaram os objetivos do Plano Diretor. A ocupação desaconselhada da região leste da cidade caracterizou-se como um desvio dos objetivos do Plano Diretor (IPPUC,2002).

Essas disfunções também ocorreram em outras áreas, principalmente na região sul da cidade, onde foram criados loteamentos pela COHAB-CT na antiga zona agrícola (ZA) do município, descaracterizando a ocupação prevista para a área, exigindo que o Município suprisse toda a infra-estrutura básica necessária para propiciar condições de habitabilidade ao local. Em outras áreas dessa mesma região ocorreu o planejamento, mas prevaleceu a incompatibilidade com o zoneamento (IPPUC, 2001).

Na década de oitenta, principalmente a partir de 1983, ano em que a crise econômica atingiu com maior intensidade a classe trabalhadora de baixa renda, o poder público viu-se pressionado a responder as reivindicações sociais da população carente. A solução foi ampliar as áreas destinadas à moradia popular, uma vez que, a recessão econômica atingia principalmente o setor industrial (IPPUC, 2002). Nesse período, os investimentos públicos foram destinados às escolas, centros de saúde, projetos de assistência à infância e ao adolescente, bem como à programas de melhoria da renda coletiva da população para minimização dos problemas relacionados a desigualdade de distribuição de renda.

No período seguinte (década de 90), frente a escassez de recursos para dar continuidade aos investimentos sociais e urbanos, Curitiba buscou viabilizar parcerias com a iniciativa privada numa tentativa de compartilhar as responsabilidades até então exclusivas do poder público. Com o objetivo de transferir imóveis urbanos ou recursos financeiros ao Fundo Municipal de Habitação (FMH), foi instituída a Lei sobre Solo Criado (Lei nº 7.841/91 e Decreto nº 086/92), que possibilitou o acréscimo de potencial construtivo e/ou do número de

pavimentos em edifícios habitacionais nas diversas Zonas Residenciais e estabeleceu critérios de avaliação e aplicação de incentivos construtivos nas diversas zonas.

Em 2000, foi concebida a Lei de Zoneamento N° 9.800, como forma de ajuste das incompatibilidades detectadas em função das transformações ocorridas ao longo do tempo (Figura 6).

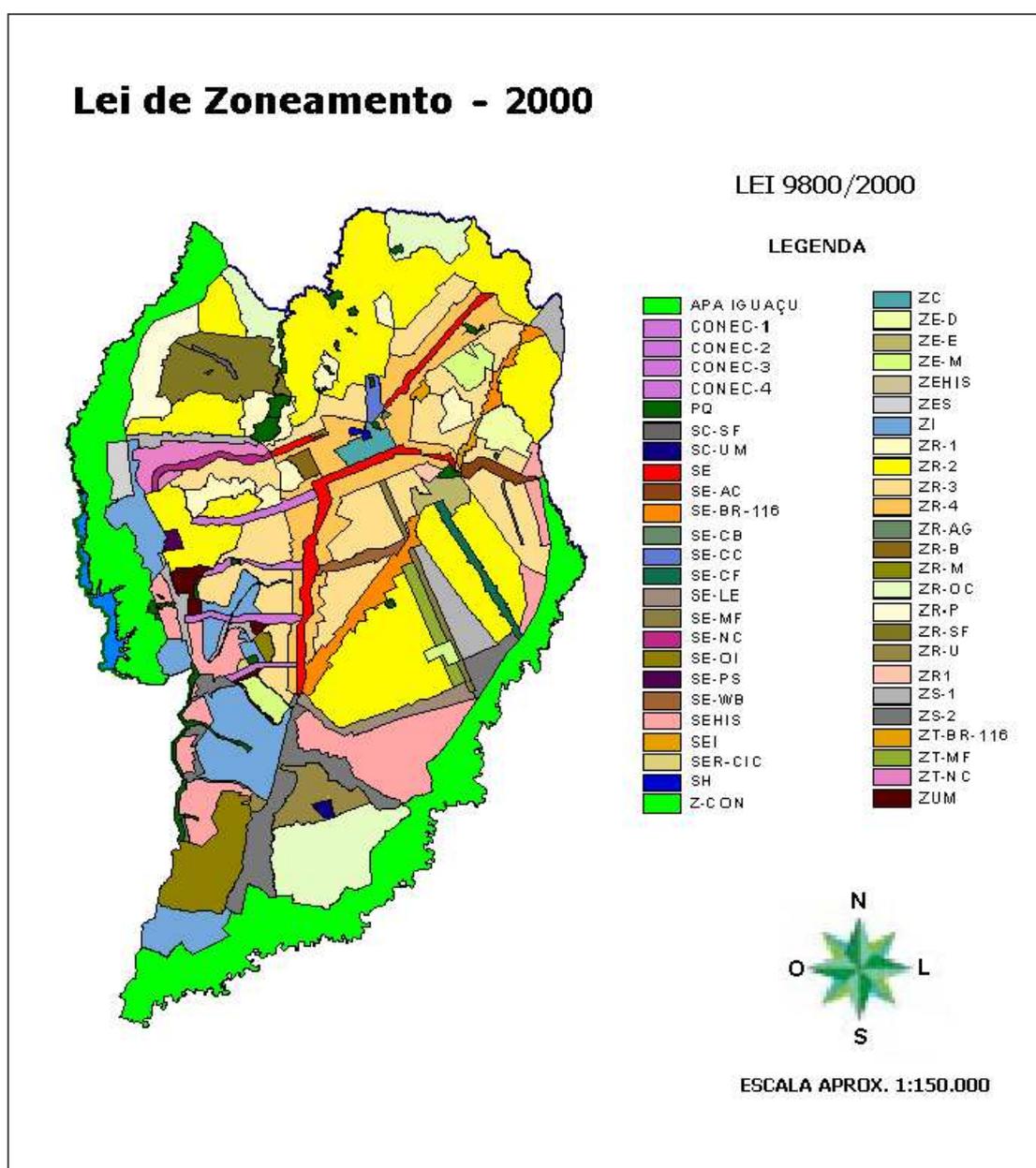


Figura 6: Lei de Zoneamento de 2000 (Fonte: IPPUC, 2000)

Atualmente, a zona industrial encontra-se com sua capacidade física praticamente esgotada, tanto no que se refere à implantação de novas plantas industriais de grande porte, como de novos conjuntos habitacionais. Observa-se ainda a ocorrência de invasões de áreas inadequadas para habitação classificadas como aglomerados subnormais (Figura 7) (IPPUC, 2002).



Figura 7: Aglomerados Subnormais - Fonte: IPPUC (Setor Monitoramento), 2002

Todas essas transformações levaram a constituição da chamada “cidade ilegal”, propiciando a necessidade de elaboração de um projeto de monitoramento da gestão urbana. No governo Cássio Taniguchi esse projeto foi elaborado juntamente com mais vinte e dois planos estratégicos, constituindo objetivo central de sua administração. A implantação destes planos estratégicos de governo ficou sob a responsabilidade do IPPUC, através de coordenação vinculada diretamente ao chefe do executivo (IPEA, 2000).

4.2. Crescimento populacional e índice de desenvolvimento humano de Curitiba

Segundo o IPEA (2000), a partir da década de 40, com início o processo de planejamento urbano, transformações significativas na evolução da população do município de Curitiba começam a ocorrer, conforme se observa na Tabela 1.

A população curitibana, praticamente, dobra na década de 50 e cresce cerca de 68% nas décadas de 60 e 70. Na década de 80, a taxa de crescimento diminui, atingindo 28% e decresce ainda mais entre 91 e 96, quando atinge cerca de 12% (IPEA, 2000).

No último Censo Demográfico de 2000 permanece a tendência de queda da taxa anual de crescimento da população de Curitiba verificada desde a década de 50, da ordem de 7,18, para a atual taxa anual de 1,83.

Tabela 1: Evolução da população de Curitiba e Região Metropolitana 1940 a 2000

Anos	1940	1950	1960	1970	1980	1991	1996	2000
População Curitiba	127.278	180.575	361.309	609.026	1.024.975	1.315.036	1.476.253	1.587.315
Taxa anual crescimento (% a.a)	-	3,56	7,18	5,36	5,34	2,29	2,34	1,83
População RMC	261.211	333.138	564.712	869.837	1.492.108	2.061.531	2.431.804	2.726.556
Taxa anual crescimento (% a.a)	-	2,46	5,42	4,41	5,54	2,98	3,36	2,90

Nota: 1- Foram excluídos os distritos de Colombo e Almirante Tamandaré, que em 1940 faziam parte do Município de Curitiba. Fonte: IBGE

Ainda de acordo com os dados do IPEA (2000), observa-se entre 1991 e 2002 que a renda per-capta do município passou de R\$ 446,16 para R\$ 619,82; a taxa de alfabetização de adultos de 94,51% para 96,62%; a taxa bruta de frequência escolar foi de 73,61% para 90,44%, com um Índice de Desenvolvimento Humano da ordem de 0,798 e 0,856 no mesmo período (Tabela 2).

Tabela 2: Índice de Desenvolvimento Humano do Município de Curitiba

Ano	IDHM-Longevidade	IDHM-Educação	IDHM-Renda	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
1991	0,728	0,875	0,793	0,798
2000	0,776	0,946	0,846	0,856

Obs: IDH-M É obtido pela média aritmética simples de três índices, referentes às dimensões Longevidade (IDHM-Longevidade), Educação (IDHM-Educação) e Renda (IDHM-Renda). Classificação IDH – até 0,499 (baixo); entre 0,500 e 0,799 (médio); acima de 0,800 (alto)

Fonte: Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil (2000)

Observa-se um índice municipal significativo, principalmente, se comparado aos principais Estados brasileiros e ao índice nacional (Tabela 3), passando de um IDHM médio para um IDHM considerado alto no período compreendido entre 1991 e 2000 (IPEA,2000).

Tabela 3: Índice de Desenvolvimento Humano dos seis primeiros Estados do ranking nacional

Estados	IDH-M 1991	IDH-M 2000	Variação	Ranking nacional 1991	Ranking nacional 2000
Distrito Federal	0,798	0,844	0,047	1	1
São Paulo	0,773	0,814	0,041	2	2
Rio Grande do Sul	0,757	0,809	0,052	3	3
Santa Catarina	0,740	0,806	0,066	4	4
Rio de Janeiro	0,750	0,802	0,052	5	5
Paraná	0,719	0,786	0,067	6	6
Brasil	IDH-M 1991		IDH-M 2000		Ranking mundial atual
	0,742		0,775		

Fonte IPEA (2000)

4.3. O processo de proteção e manutenção das áreas de vegetação de Curitiba

Em Curitiba, as primeiras ações ambientais surgiram a partir dos anos 70, com o primeiro governo Jaime Lerner (1971- 1974), e se consolidaram na década de 80 com os sucessivos governos de Jaime Lerner, Maurício Fruet e Roberto Requião, e posteriormente, nos anos 90, com as gestões de Jaime Lerner e Rafael Greca (Oliveira, 2001).

Na primeira metade da década de 70, as intervenções ambientais se referiram à construção de dois parques urbanos (o Parque Barigüi e o Parque São Lourenço), e a elaboração da Lei Municipal nº 4.557/73 que dispunha sobre a proteção e a conservação da

vegetação de porte arbóreo. A partir desse momento (1972), foram plantadas em média 60.000 árvores/ano (Oliveira, 2001).

No período entre 1975-79 (gestão Saul Raiz) foi criada a Lei nº 5.234/75 ou “Lei de zoneamento e uso e ocupação do solo”, que modificou o uso do solo no município através da criação de novos setores, entre os quais os setores especiais. Através do Decreto nº 400/76, regulamentaram-se estes setores, criando os setores especiais de preservação de fundos de vale. Essa legislação permitiu, por exemplo, que a área do Parque Iguaçu (com 8.264.316 m²) começasse a ser desapropriada com recursos do Ministério do Interior. O objetivo incluía não só a proteção de fundos de vale e córregos, mas também das matas ciliares, contra a especulação imobiliária e a ocupação clandestina (IPPUC, 2002).

Nos anos 80 ocorreram avanços relativos à questão ambiental no município. Com a criação da Secretaria Municipal do Meio Ambiente (1986), o Executivo passava a assumir o monitoramento ambiental do município, até então realizado por um órgão estadual. Ainda nesse período foi criada a Lei nº 6.819/86, que estimulou a preservação e a criação de áreas verdes através de isenções parciais no IPTU (Oliveira, 2001).

A função dessas áreas, uniu de um lado a antiga idéia de fornecer água à cidade (do então, arquiteto do IPPUC nos anos 60, Jaime Lerner), e de outro, de combater os problemas de enchentes da cidade. Surgia assim a política de criação de grandes parques, com lagos e/ou reservatórios presentes em seu interior (IPPUC, 2002).

Em 1991, através do Decreto nº 80/91 foi criada a Área de Proteção Ambiental (APA) do Passaúna para assegurar a proteção ambiental desse manancial, garantindo a potabilidade da água coletada para consumo da população da Região Metropolitana de Curitiba. No mesmo ano, através do Decreto nº 410/91 foi criada a APA do Iguaçu, com o objetivo de garantir a

preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental da faixa da bacia do Iguazu situada no município (com áreas de preservação permanente e recuperação).

Em 1996, a partir da eleição de Cássio Taniguchi, a Secretaria Municipal do Meio Ambiente aumentou seu leque de ações com a implantação de diversos programas de resíduos sólidos, controle ambiental, ampliação das áreas verdes e arborização pública. A Prefeitura Municipal investia em pesquisas sobre recursos naturais; educação ambiental nas comunidades; montagem de um banco de dados municipais e cursos sobre meio ambiente dentro da Universidade Livre do Meio Ambiente. Também investia no aperfeiçoamento dos programas de coleta de lixo domiciliar, hospitalar e de lixo radioativo (IPPUC, 2002).

No final de 2000, a Lei N° 9.800/00 foi aprovada incluindo a criação de Anel de Conservação Sanitário-Ambiental – Lei 9805/00 (Figura 8), com a previsão de implantação de novas áreas de preservação integradas as áreas existentes (IPPUC, 2000).

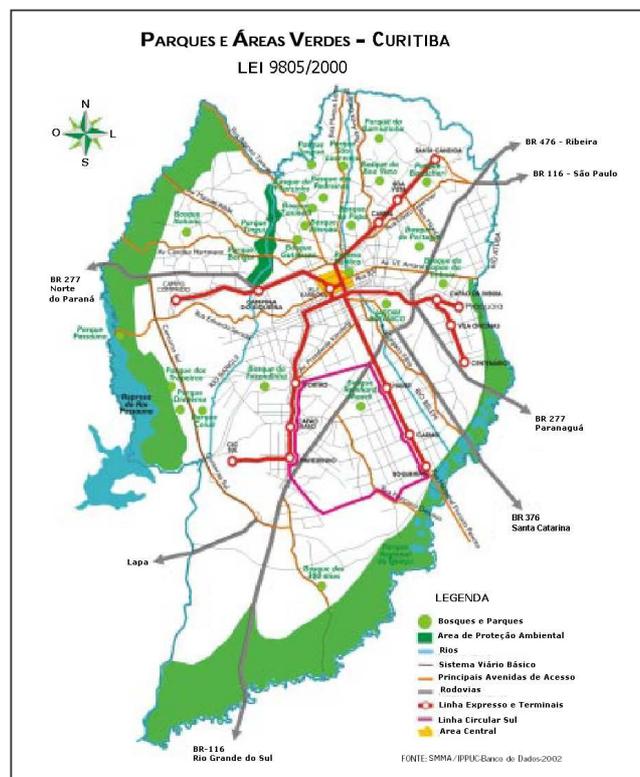


Figura 8: Visão integrada de parques e áreas verdes

Com essa nova Lei de Zoneamento, a Lei de Solo Criado, utilizada para incentivar a preservação do patrimônio histórico em troca de potencial construtivo, foi ampliada, através de uma nova modalidade ligada a área ambiental e instituindo um Fundo Municipal de Áreas Verdes, cujos recursos arrecadados destinam-se a projetos ambientais (IPEA, 2000).

4.4. A urbanização e o fenômeno das “ilhas de calor urbano”

Os estudos sobre os efeitos causados pelo aquecimento urbano e conseqüentemente sobre as ilhas de calor remontam, mais fortemente, ao período das duas últimas do século XX com avanços significativos, entretanto, progressos ainda são necessários para o completo entendimento dos efeitos das mudanças climáticas sobre o ambiente e, conseqüentemente, sobre a vegetação (Myneni et al., 1997; Zhang et al., 2004).

Nos Estados Unidos, a rápida urbanização de grandes cidades foi associada a elevação da temperatura no centro dessas áreas urbanas, em torno de 1°C por década. A demanda das cidades por eletricidade cresceu em torno de 3 a 4% para cada aumento de um grau Celsius, sendo que, cerca de 3 a 8 % dessa eletricidade era utilizada no processo de refrigeração, apenas para compensar os efeitos da ilha de calor urbano (Akbari et al., 1990).

O comportamento termal das cidades é amplamente um produto da morfologia urbana ou, mais especificamente, da composição e estrutura tridimensional dos materiais que constituem a camada de cobertura urbana. Assim sendo, devem ser considerados aspectos tais como geometria urbana (formas, ângulos de fachadas e de orientação dos projetos urbanos); textura dos materiais; relevo; direção dos ventos; cores e luminosidade das fachadas/superfícies; presença de vegetação; entre outros (McPherson, 1994).

A radiação e as fontes antropogênicas de energia são parceladas em energia latente (processo de evapotranspiração), perceptível (variação na temperatura do ar) e armazenada (atribuída para as diferenças na composição e estrutura dos materiais) dentro do ambiente urbano. A magnitude desses fluxos de energia varia amplamente dentro e entre cidades dependendo dos fatores tais como tamanho da cidade, população, latitude, morfologia urbana e características da cobertura do solo (McPherson, 1994).

Alterações na superfície urbana resultam em diversos microclimas, tendo o efeito agregado refletido pela ilha de calor (Romero, 1997). Edifícios, pavimentação, vegetação e outros elementos físicos do tecido urbano são as interfaces termais ativas entre a atmosfera e a superfície da terra. Sua composição e estrutura dentro da camada de cobertura urbana, que se estende a partir do solo até o nível mais elevado (cobertura, teto), determina amplamente o comportamento termal de diferentes lugares dentro da cidade (Oke, 1993; McPherson, 1994).

Assim sendo, as coberturas do solo (ex: concreto, solo, campo, pasto, água, etc.) definem as trocas de energia que ocorrem entre a superfície da Terra e a atmosfera e, portanto, é um dos principais determinantes do microclima local.

Quando a detecção das ilhas de calor é baseada em dados de imagem do infravermelho termal, a intensidade do fenômeno é maior durante o dia e menor a noite (Roth et al., 1989). A utilização de dados diurnos de temperatura de superfícies radiantes para monitorar o impacto das mudanças do uso da terra permite enfatizar as influências da urbanização sobre o balanço de energia da superfície (Dirmeyer, Dolman & Sato, 1999).

A análise de diferenças temporais tem demonstrado que a intensidade das ilhas de calor é maior à noite, fundamentalmente, devido às diferenças no resfriamento urbano-rural. Anomalias da temperatura do ar noturna de 3°C para 5°C são típicas, se comparadas com as anomalias diurnas, em torno de 1°C. No por do sol, as áreas rurais começam a esfriar

rapidamente, enquanto que, as áreas urbanas mantêm o calor com um resfriamento mais lento. No amanhecer o aquecimento de áreas urbanas é relativamente mais lento (McPherson, 1994).

Carlson e Arthur (2000), analisaram dados obtidos sobre a temperatura da superfície a partir de imagens de satélite e técnicas de sensoriamento remoto considerando parâmetros como fragmentação da cobertura vegetal, disponibilidade de superfícies úmidas e variação das taxas de urbanização.

Conceitos de paisagem, climatologia urbana, ou ainda, de arquitetura bioclimática podem ser aplicados para neutralizar o aquecimento urbano (Romero, 1997). Paisagens em equilíbrio ecológico são definidas como multifuncionais, de baixa manutenção (porque mantêm sua integridade), biologicamente diversas e expressivas do lugar (McPherson, 1994).

O estudo da paisagem tem contribuído para a amenização dos efeitos causados pelas ilhas de calor, com especial atenção para os atributos físicos do ambiente que podem ser manipulados, particularmente, a vegetação. O conhecimento sobre a estrutura espacial urbana e, conseqüentemente, sobre os fluxos de entrada e saída de energia, tem auxiliado esse processo (McPherson, 1994).

A idéia de que um arquiteto pode projetar um edifício e seu entorno imediato para promover o conforto ambiental adequado já se transformou em um procedimento tradicional, principalmente em países desenvolvidos, entretanto, muito menos comum é a idéia de abranger esse raciocínio para uma região inteira (Hartranft et al., 2003).

4.5. A importância da vegetação

A vegetação pode minimizar o calor urbano diretamente através do sombreamento das superfícies que absorvem calor e indiretamente através do resfriamento pela evapotranspiração (McPherson, 1994).

A vegetação atua como um filtro das radiações absorvidas pelo solo e pelas superfícies construídas, refrescando os ambientes próximos, uma vez que as folhagens das árvores atuam como anteparos protetores das superfícies que se localizam imediatamente abaixo e nas proximidades (Romero, 1997).

A vegetação contribui de forma significativa para o estabelecimento dos microclimas mais estáveis, na maioria das vezes, estabilizando os efeitos do clima sobre seus arredores imediatos, reduzindo os extremos de temperatura (Romero, 1997).

A eficácia da vegetação depende diretamente das espécies escolhidas, que podem responder às exigências tanto de captar sol no inverno como de proteger do sol no verão. Para isso, a utilização de espécies que percam as folhas no inverno (em regiões com inverno frio) e deixem atravessar diretamente a radiação solar é recomendável, uma vez que estas mesmas árvores vão impedir a radiação solar direta no verão (Romero, 1997).

Vários estudos levantados por Meier (1991), revelaram que a vegetação reduz significativamente a temperatura das superfícies, diminuindo cerca de 25 a 80% os custos com ar condicionado. Um grande número de árvores e/ou de extensas áreas com vegetação podem reduzir em torno de 1 a 5°C a temperatura local do ar.

Segundo Daí Trenberth & Karl (1999), fornecendo umidade para a evaporação, aumenta-se a liberação do calor latente da superfície e, portanto limita-se a temperatura

máxima diária. A vegetação com sua habilidade para transpirar (evapotranspiração), funciona como um agente na distribuição da energia entre o fluxo de calor latente e o de calor perceptível. Assim sendo, altos níveis de vegetação resultam no aumento da transpiração, redistribuindo os fluxos de energia substancialmente e promovendo a refrigeração e o aumento da umidade do clima nas superfícies mais próximas (imediações).

4.6. Mapeamento da vegetação com auxílio de imagens de satélite e índice NDVI

Nos últimos anos, muitos pesquisadores têm procurado entender as mudanças temporais e espaciais nos padrões da paisagem urbana visando obter respostas mais elucidativas sobre a dinâmica de uso do solo. A maioria dos estudos tem utilizado métodos para quantificar padrões através do tempo. Embora, seja evidente a necessidade de abordagens complementares, que propiciem esclarecimentos sobre a dinâmica da paisagem para o gerenciamento local, poucos estudos propõem metodologias alternativas (Greenhill et. al., 2003).

A partir dessa perspectiva, a caracterização da qualidade ambiental das paisagens urbanas se torna especialmente importante. A qualidade ambiental é influenciada por diversos fatores, tais como presença de áreas com vegetação, características climáticas, desmatamentos, solos degradados, entre outros. Tentativas têm sido realizadas para monitorar esses fatores por meio do uso de dados obtidos a partir de sensoriamento remoto (Small, 2001).

Freqüentemente, a expansão urbana inclui a remoção de extensas áreas de vegetação para construção de novos edifícios ou superfícies altamente refletoras como estacionamentos, extensas coberturas de armazéns, ruas, avenidas, entre outros. Isso pode conduzir a um

aumento na radiação termal da superfície produzindo variações climáticas significativas em determinadas áreas (Akbari et al., 1997).

O sensoriamento remoto é uma das tecnologias que mais contribuíram e ainda vem contribuindo e motivando o avanço nos conhecimentos de como a vegetação processa a radiação eletromagnética. Essa tecnologia tem propiciado o mapeamento de extensas áreas da superfície terrestre, o monitoramento, a fiscalização e o controle da exploração na escala de observação planetária (Ponzoni, 2001). Séries de imagens do satélite Landsat são adequadas para interpretar a explosão urbana que se sobrepõem às áreas de vegetação (Sabins, 1999).

A técnica de sensoriamento remoto desempenha um importante papel no estudo da variação da paisagem, pois permite repetir medições do ambiente em diferentes escalas. Dados obtidos a partir de diferentes comprimentos de onda, freqüentemente, visível e infravermelho, têm sido combinados para produzir índices espectrais que são medidas sensíveis em termos de variações espacial e temporal (Gao et al., 2000).

Phoenix, cidade localizada a sudoeste dos Estados Unidos, experimentou um crescimento urbano explosivo nas décadas de 80 e 90. Imagens de satélite foram utilizadas para o mapeamento das transformações ocorridas nesse período, especialmente dos avanços da área urbana sobre a vegetação. Diferentes categorias de uso do solo, incluindo a vegetação, foram identificadas e uma análise dessas alterações foi realizada, visando detectar que tipos de uso do solo foram sendo substituídos durante a evolução do processo de expansão da malha urbana (Sabins, 1997).

Para avaliação qualitativa e quantitativa da cobertura vegetal, vários cientistas têm desenvolvido índices de vegetação utilizando medidas espectrais. Cientistas, agências governamentais, instituições educacionais e companhias privadas têm efetivamente utilizado índices de vegetação em numerosas aplicações para conduzir a classificação do uso do solo

(Townshend et al., 1991). O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que tem sido um dos mais utilizados atualmente, foi proposto por Rouse et al. (1973).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), tem sido amplamente utilizado com auxílio de sensoriamento remoto em estudos globais como um discriminador de vegetação, porque pode ser facilmente correlacionado a determinados parâmetros de vegetação, tais como biomassa vegetal, área foliar, produtividade, atividade fotossintética, porcentagem de cobertura verde, entre outros (Justice et al, 1985; Huete, 1988; Elvidge e Chen, 1995).

Dados de satélites obtidos a partir de índices de vegetação, tais como o NDVI podem ser correlacionados com outros dados, como por exemplo, porcentagem de cobertura vegetal (Asrar, Myneni, & Kanemasu, 1989; Baret & Guyot, 1991). Este índice tem sido amplamente utilizado em várias aplicações operacionais, incluindo mapeamentos, classificação do uso da terra, detecção de mudanças e monitoramento (Cihlar et al., 1997; Tucker, Townshend, & Goff, 1985). É um importante parâmetro para muitos tipos de análise em diferentes níveis de abrangência como local, regional e global (Peterson et al., 1988;).

Trata-se de um índice muito simples, resultante da diferença entre a reflectância no infravermelho próximo (IVP) e reflectância no vermelho (V), dividida pela soma das duas reflectâncias (Tucker and Sellers, 1986; Malingreau et al., 1989; Goward et al., 1991; Townshend et al., 1994).

Assim, o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) é uma razão normalizada das bandas do infravermelho próximo (IVP) e vermelho (V), definidos pela fórmula:

(1)

$$\text{NDVI} = (\text{IVP} - \text{V}) / (\text{IVP} + \text{V})$$

Com o aumento da cobertura vegetal, a reflectância na região do vermelho tende a diminuir, enquanto que no infravermelho próximo tende a aumentar, devido às propriedades espectrais contrastantes de vegetação e solo (Lima e Nelson, 2003).

Altos valores de NDVI indicam alta atividade fotossintética ou vegetação abundante, baixos valores de NDVI são indicativos de baixa atividade fotossintética e vegetação esparsa (Zhou et al., 2003).

A vegetação tem baixa reflectância na banda do vermelho (V) devido ao fato de que os comprimentos de onda (energia) são absorvidos pela clorofila; a reflectância é alta na banda do infravermelho (IVP) por causa da interação entre a estrutura interna das plantas/folhas e a energia eletromagnética, refletindo fortemente nesse comprimento de onda (Sabins, 1999). A vegetação é caracterizada por uma intensa absorção na região do vermelho devido à presença da clorofila e por uma intensa reflexão no infravermelho próximo (Crosta, 1993).

O NDVI é uma medida eficiente porque é suficientemente estável para permitir comparações de mudanças sazonais e inter anuais no crescimento e na atividade vegetal. Sobre as bases da evidência visual, as diferenças entre a simples razão entre bandas e o NDVI não são muito grandes, entretanto, o fato de que a soma e a diferença de bandas são utilizadas no NDVI mais do que valores absolutos podem tornar o NDVI mais apropriado para o uso em estudos onde comparações temporais para uma simples área estejam envolvidas (Mather, 1999).

Ainda assim, existem limitações para o uso de índices de vegetação em estudos multitemporais, com a necessidade de correções radiométricas e atmosféricas, cujos parâmetros nem sempre estão disponíveis. Neste caso, a análise relativa destes índices pode ser uma alternativa para contornar limitações de âmbito local.

Segundo Qi et al. (1993); Epiphany e Huete (1995), o NDVI é extremamente sensível a vários fatores externos, principalmente geometria de iluminação, propriedades ópticas do solo abaixo do dossel e efeitos atmosféricos. Dependendo do grau de precisão e do tipo de análise proposta, alguns cuidados e procedimentos são extremamente necessários para contornar os efeitos dessas influências externas.

Desde os estudos de Jordan (1969), um dos precursores das pesquisas com índices de vegetação, diversos tipos de índices foram criados, com o objetivo de melhorar a caracterização da vegetação e reduzir as interferências de fatores que prejudiquem a associação entre esses índices e as características da vegetação (Moreira, 2000).

4.7. Medidas obtidas remotamente a partir da banda do infravermelho termal

Segundo Whitford et al. (2001), é reconhecido o fato de que a urbanização pode provocar efeitos destrutivos no ambiente e conseqüentemente no clima. Florestas, savanas e campos são constantemente substituídos por edifícios, estradas, jardins e parques, ocorrendo assim uma maciça redução das áreas de vegetação, resultando uma significativa transformação do estado natural e alterando completamente a ecologia desses ambientes.

De acordo com Carlson et al. (1999), essas mudanças e especificamente seus efeitos sobre a paisagem e o clima podem ser detectados com auxílio de satélites. Medidas obtidas remotamente a partir da banda do infravermelho termal têm sido amplamente utilizadas em estudos sobre a urbanização, na maioria dos casos, com foco no efeito conhecido como “ilhas de calor urbano”.

Entretanto, para a maioria dos planejadores urbanos a maior parte dos modelos que envolvem essas medidas são extremamente complexos, demandando uma ampla escala de

dados ou variáveis de entrada e envolvendo análises matemáticas de difícil implementação. Torna-se necessário a simplificação do entendimento dessas medidas produzindo resultados acessíveis, de fácil interpretação e que exijam o mínimo de dados de entrada (Whitford, 2001).

Para a interpretação de imagens do infravermelho termal é necessário, primeiramente, entender os processos físicos básicos que controlam as interações entre a energia termal e a matéria, bem como as propriedades termais da matéria e a intensidade das interações (Sabins, 1997).

À medida que a radiação solar penetra na atmosfera terrestre, sua intensidade é reduzida e sua distribuição espectral é alterada em função da absorção, reflexão e difusão dos raios solares pelos diversos componentes do ar. Uma parcela da radiação solar que penetra na atmosfera é refletida pela superfície da terra ou pelas nuvens, outra é absorvida pela atmosfera produzindo um aumento de temperatura do ar (Romero, 1997).

Materiais na superfície da Terra recebem energia (radiação solar). A energia radiante que atinge a superfície dos materiais é parcialmente refletida, parcialmente absorvida e parcialmente transmitida pelos materiais. As medidas de reflectância, absorptância e transmitância são determinadas através das propriedades dos materiais e também variam com o comprimento de onda da energia radiante incidente e com a temperatura da superfície. O albedo é a razão entre a energia refletida e a energia incidente. A energia absorvida causa um aumento na temperatura cinética do material (Sabins, 1997).

Temperatura é a medida de concentração de calor (Sabins, 1997). A energia termal é a energia cinética do movimento aleatório das partículas da matéria. Esse movimento aleatório resulta na colisão entre partículas que causa mudanças no movimento rotacional, vibracional e orbital dos elétrons das moléculas ou partículas atômicas. A mudança dos mais altos para os

mais baixos estados de energia do movimento resulta em emissões de radiação eletromagnética e a energia termal é transformada em energia radiante (Suits, 1983)

Para um objeto numa temperatura cinética constante, a energia ou o fluxo, varia como uma função do comprimento de onda. O pico de energia radiante (λ_{Max}) é o comprimento de onda no qual a quantidade máxima de energia é irradiada (Sabins, 1997).

De acordo com Hook et al. (1999), um corpo negro é teoricamente um material que absorve toda a energia radiante que nele incide.

Segundo Sabins (1997), um corpo negro é um objeto que irradia energia a uma taxa máxima por unidade de área e por comprimento de onda numa dada temperatura. Assim como um corpo negro emite toda a energia que possui, também é capaz de absorver toda a energia que nele incide. Obviamente que na natureza não existem corpos negros, este é apenas um modelo, uma abstração física que permite compreender o processo de radiação.

Em 1900 Max Planck publicou um artigo sobre as propriedades termais dos corpos negros (Short, 2003). Planck utilizou um modelo de corpo negro que consiste de uma esfera oca com temperatura de superfície uniforme. A partir desse modelo Planck pôde chegar à definição de algumas propriedades do corpo negro (Novo,1992).

Segundo Hook et al. (1999), a radiância espectral de um corpo negro a uma determinada temperatura T é dada pela função de Planck:

$$L_{\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 \pi \left[\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]} \quad (2)$$

Onde, L_λ é a radiância do corpo negro (Wm^{-3}), λ é o comprimento de onda $\mu\text{(m)}$, T temperatura absoluta (K), C_1 é a primeira constante de radiação = 3.74151×10^{-6} (Wm^2), e C_2 é a segunda constante de radiação = 0.0143879 (m·K).

Segundo Novo (1992), quanto maior a temperatura para um dado comprimento de onda λ , maior a quantidade de energia emitida por um corpo negro. A energia emitida por um corpo negro numa mesma temperatura não é a mesma para todos os comprimentos de onda. Para um dado comprimento de onda a quantidade de energia emitida atinge um máximo a uma dada temperatura do corpo negro. O comprimento de onda no qual a energia emitida é máxima pode ser determinada pela Lei dos Deslocamentos de Wien:

$$\lambda_m = \frac{C}{T} \quad (3)$$

Onde, $C = 2.898 \times 10^{-3}$ m·K e T é a temperatura.

Através da equação (3) contata-se que, com o aumento da temperatura, ocorre uma diminuição do comprimento de onda no qual se verifica o pico de energia (Novo, 1992).

A maioria dos materiais não emite radiação como um corpo negro perfeito, emitem radiação de acordo com suas próprias características. A emissividade espectral (ϵ_λ) de um material é uma medida da habilidade de se emitir radiação comparada a de um corpo negro, e é definida pela taxa da radiância de um material sobre a de um corpo negro à mesma temperatura (Kealy e Hook, 1993); dada pela fórmula:

$$\epsilon_\lambda = \frac{L_\lambda(\text{material})}{L_\lambda(\text{blackbody})} \quad (4)$$

A emissividade (ϵ_λ) da maioria dos materiais varia relativamente entre 0,81 e 0,96 na região do espectro eletromagnético compreendida entre os comprimentos de onda $8\mu\text{m}$ e $12\mu\text{m}$ (Sabins, 1997).

4.8. Considerações sobre Estrutura e Dinâmica Espacial Urbana

Do ponto de vista conceitual, as pesquisas mais recentes sobre o urbano têm privilegiado a análise das transformações da configuração espacial das cidades. Embora a cidade venha sendo reconhecida como um fenômeno dinâmico, com transformações permanentes e com resultados instáveis, no mesmo sentido que sugere Portugali (2000), há efetiva dificuldade de aproximar teorias e práticas dessa dimensão.

Como se verifica em Torrens et al. (2001), para trabalhar com a mudança, é preciso apreender os processos que a provocam, e capturar os fatores que a condicionam ou a determinam, produzindo conhecimento sobre os modos como a cidade muda, as regras subjacentes às mudanças e os padrões que emergem de cada situação.

Ao tratar de crescimento urbano, interessa representar o processo de produção espacial, entendendo esse processo como a transformação de solo não urbanizado em urbanizado, através do acréscimo de edificações e conseqüentemente da substituição de espaços e funções, capturando fisicamente o processo de evolução urbana através dos meios de produção desse espaço.

Estudos de morfologia urbana têm representado satisfatoriamente a cidade pelo espaço construído, através de métodos de diferenciação capazes de descrever e de medir o desempenho de um determinado estado da cidade num determinado tempo, considerando as formas construídas e suas conexões através dos espaços abertos ou públicos, como vêm sendo comprovado por Krafta (1994).

O espaço se define como um conjunto de formas representativas das relações sociais do passado e do presente e por uma estrutura representada por essas relações que acontecem e se concretizam através dos meios de produção (para atender necessidades sócio-econômicas), da distribuição e, conseqüentemente, da definição de suas funções (propósitos) (Tekleberg et al.,1997).

Nessa direção, a estrutura urbana pode ser representada por diferentes graus de centralidade, cujos valores estão correlacionados com vários indicadores de atividades do sistema urbano, como níveis hierárquicos do sistema viário; concentração de atividades comerciais, industriais e/ou residenciais; níveis de concentração urbana/populacional, entre outros aspectos, podendo ser tomada como um indicador de qualificação locacional (Tekleberg et al., 1997).

Segundo Villaça (1988), para compreender o espaço urbano, ou a cidade, é muito importante estudar e analisar a forma urbana e seu crescimento como subsídios às políticas de planejamento, bem como, o espaço intra-urbano propriamente dito. Villaça (1998) aponta que o espaço intra-urbano seria o arranjo intenso dos espaços urbanos (associados à qualidade de interno ou interior da malha urbana), ou seja, espaços essencialmente urbanos com aspectos de centralidade claramente definidos e que não estão localizados exatamente no centro.

Em contrapartida, o significado de espaço periférico se refere às áreas mais distantes do centro (em termos geográficos), colocando como central o conceito de renda diferencial da terra para definir as áreas periféricas, em contraposição às áreas centrais, fazendo surgir a idéia da dicotomia centro/periferia (Bonduki e Rolnik, 1979, Maricato, 1977).

Entretanto, há autores como Ribeiro e Lago (1994), que alertam para a crescente dificuldade de considerar a distinção centro-periferia ou, pensado em outros termos, de considerar a prevalência de uma situação “dual” nas aglomerações urbanas brasileiras, já que

nelas ocorre heterogeneidade de ocupação, verificando-se a presença de ambas situações no mesmo espaço.

Um aspecto importantíssimo a ser considerado neste caso é o da mobilidade espacial da população. Segundo Baeninger (2000), o panorama da mobilidade espacial da população vem apresentando um leque variado de movimentos com implicações mais determinadas em função da configuração dos espaços, estruturação das cidades e suas redes, oferecendo um novo aporte para o entendimento do processo de distribuição espacial da população.

Muitas vezes, embora as políticas não estejam voltadas explicitamente para uma política migratória, a atuação governamental contribui para o direcionamento dos fluxos migratórios, em função das definições e especificações territoriais (Baeninger, 2000).

Para Villaça (1988), o estudo dos arranjos e formas espaciais urbanas é sem dúvida importante para o entendimento do espaço urbano em sua totalidade. Entretanto, para explicar as formas urbanas, os bairros, as direções de crescimento, a forma da mancha urbana, a verticalização, densidades, vazios urbanos, entre outros aspectos, é indispensável considerar as relações de determinado local, ou conjunto de localidades, com todos os demais presentes no tecido urbano.

Neste sentido, o sensoriamento remoto surge como uma técnica alternativa e bastante eficiente para subsidiar o estudo do espaço urbano. Esta técnica, aliada a outras tecnologias, fornece a possibilidade de monitorar o crescimento urbano, o espaço intra-urbano (uso da terra, verticalização, entre outros aspectos), e os problemas ambientais decorrentes do processo de expansão da mancha urbana. Os produtos desta tecnologia têm sido utilizados como uma fonte de dados, os quais ajudam planejadores urbanos a compreenderem a forma e a dinâmica espacial urbana, auxiliando no processo de monitoramento, na definição de estratégias de planejamento urbano e de políticas municipais (Costa, 1996).

5. Material e Métodos

5.1. Caracterização da área de Estudo

Curitiba, capital do Paraná, está situada na região sul do Brasil (Figura 9), com área total de 435,01 Km². Possui um clima subtropical úmido com altitude média de 934,6m. A temperatura média anual é de 16,5°C, sendo a média do mês mais frio igual a 12,6°C e do mês mais quente igual a 20,1°C. A precipitação média anual corresponde a 1.413 mm/ano; as chuvas são bem distribuídas durante o ano com leve declínio no inverno, não apresentando déficit hídrico (IPEA, 2000).

Foi fundada em 1693 e atualmente é considerada cidade pólo do conjunto de 25 municípios que formam a Região Metropolitana de Curitiba (RMC). Segundo IBGE (2000), possui uma população total de 1.587.315 habitantes.

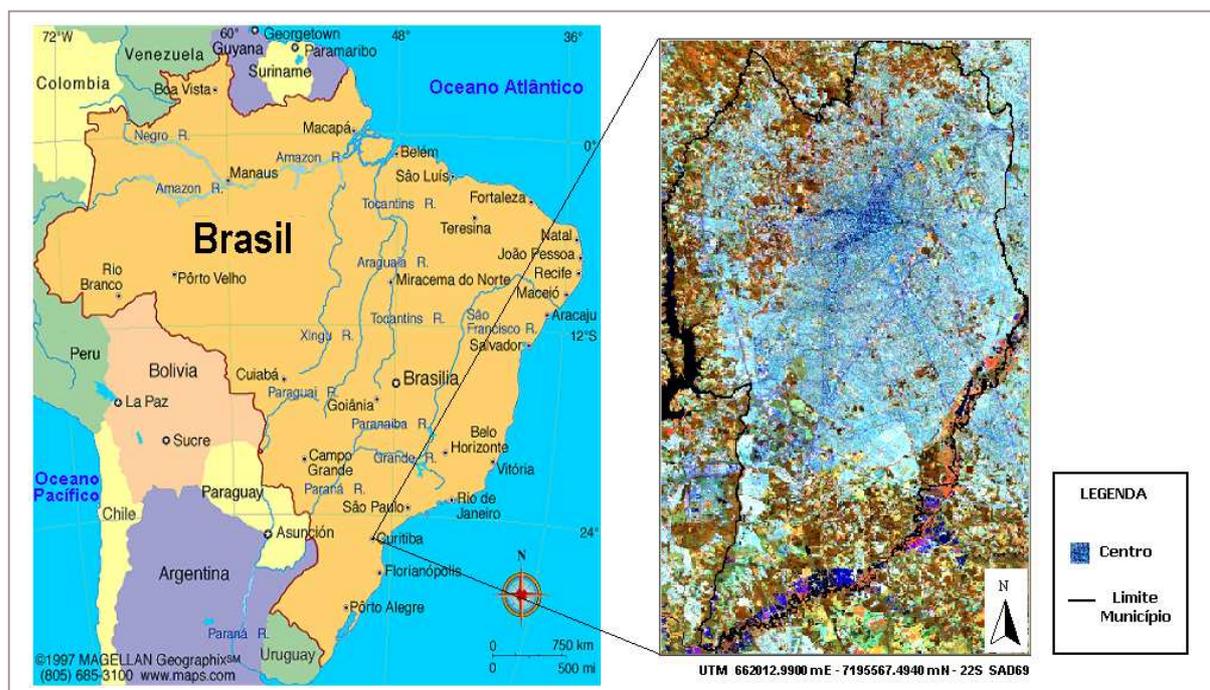


Figura 9: Município de Curitiba

5.2. Levantamento de dados

Para o desenvolvimento deste estudo foram utilizadas imagens multiespectrais dos satélites Landsat-5 Thematic Mapper (órbita ponto 220.078, de 14 de Setembro de 1986 – resolução 30x30) e Landsat-7 Enhanced Thematic Mapper Plus (órbita ponto 220.078, de 26 de Setembro de 1999 e 02 de Setembro de 2002; ambas resoluções 30x30); coordenada central UTM 662012.9900m E - 7195567.4940m N; zona 22S; Datum SAD 69/Brasil.

Para as imagens adquiridas, foram conduzidas análises exploratórias visando a detecção e/ou identificação da variabilidade dos padrões de vegetação e uso do solo ao longo dos anos. Assim sendo, três áreas de Curitiba (Figura 10) foram selecionadas por meio da definição de critérios (Tabela 4) e denominadas de região R1, R2 e R3.

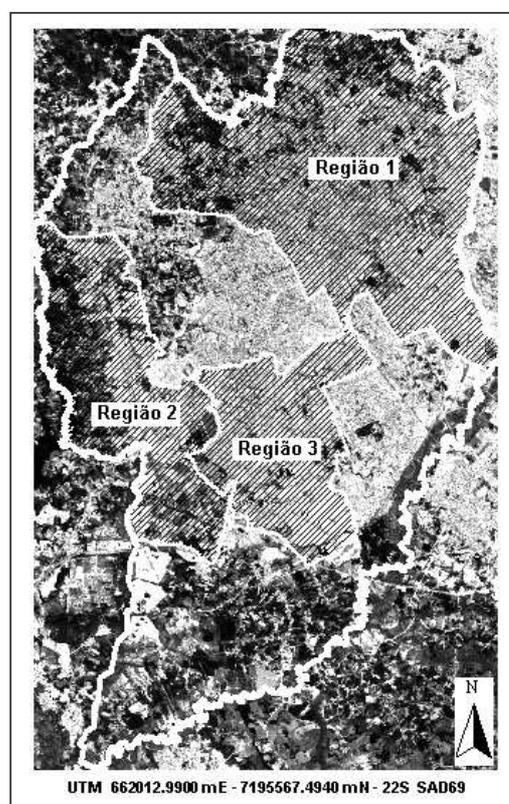


Figura 10: Regiões de estudo

Tabela 4 : critérios utilizados na definição das áreas de estudo

Áreas de Estudo	Critério
Região 1	Região da cidade onde existe um grande número de parques (grande concentração de parques urbanos)
Região 2	Região da cidade onde existe uma importante Área de Proteção Ambiental (APA do Passaúna)
Região 3	Região da cidade onde não existem áreas verdes significativas (completamente urbanizada)

Visando separar as superfícies com vegetação das áreas urbanizadas, o índice NDVI foi utilizado como um indicador da presença de vegetação através da confirmação dos valores médios obtidos para cada unidade (mancha) dessas regiões.

Portanto, o mapeamento das regiões com vegetação e dos diferentes usos do solo foi realizado, preliminarmente, através de uma classificação visual e posteriormente checados através da obtenção dos valores médios de NDVI de cada mancha.

A classificação do uso solo seguiu a definição de critérios específicos (Tabela 5), baseada em diferentes níveis de concentração urbana.

Tabela 5: Critérios utilizados para a classificação dos diferentes tipos de uso do solo

Classes	Critérios	Característica das feições
Água	Locais com presença de água (reservatórios, represas e lagos)	Na imagem aparecem em tons de azul muito escuro (azul para preto)
Campo/pasto	Locais destinados a plantio e pastagem	Aparecem em tons de verde e amarelo claro
Solo Exposto	Locais de solo aparente, sem vegetação (áreas destinadas à aterros e à implantação de futuros loteamentos)	Tons de azul muito claro, praticamente "esbranquiçados"
Urb	Áreas urbanas praticamente sem vegetação e com média densidade (concentração urbana média)	Na imagem aparecem em tons de azul médio e escuro entremeados
Urb_conc	Áreas urbanas sem vegetação com alta densidade (maior concentração urbana)	Na imagem aparecem em tons de azul escuro
Urb_mista	Áreas urbanas entremeadas de solo exposto, campo e pasto sujo, com densidade comparativamente menor, principalmente, em relação às áreas urbanas	Na imagem aparecem em tons de azul médio entremeado de branco, verde e amarelo claro.
Urb_veg	Áreas urbanas entremeadas de vegetação (ruas, avenidas, praças e loteamentos), com baixa densidade (concentração urbana menor)	Aparecem em tons de azul médio entremeado de marrom avermelhado
Várzea	Áreas alagadas (terrenos baixos e planos que margeiam os rios)	Aparecem em tons de roxo e azul para roxo (devido à presença de solo e vegetação típica)
Veg_exótica	Áreas "verdes" que se destacam na paisagem por possuírem características distintas da vegetação da região (espécie não originária)	Aparecem em tons de amarelo e laranja
Veg (maciços)	Áreas de matas remanescentes, matas ciliares, reflorestamentos e bosques em geral	Aparecem em tons de marrom avermelhado

Todas as classes de interesse foram cuidadosamente definidas seguindo os padrões de classificação discutidos e propostos por Jensen (1996); Westmoreland and Stow (1992), Campbell (1987) e Sabins (1999), requerendo um esquema de classificação da informação contendo a correta definição taxonômica relativa à resolução da imagem e às características espectrais dos alvos.

Assim sendo, o software ENVI 4.0 foi utilizado para a correção geométrica e posterior composição colorida RGB-453 das imagens, permitindo assim a realização do mapeamento das regiões de interesse (ROIs - regions of interest), ou seja, da vegetação e dos diferentes tipos de uso do solo (Figura 11 e Anexo 1).

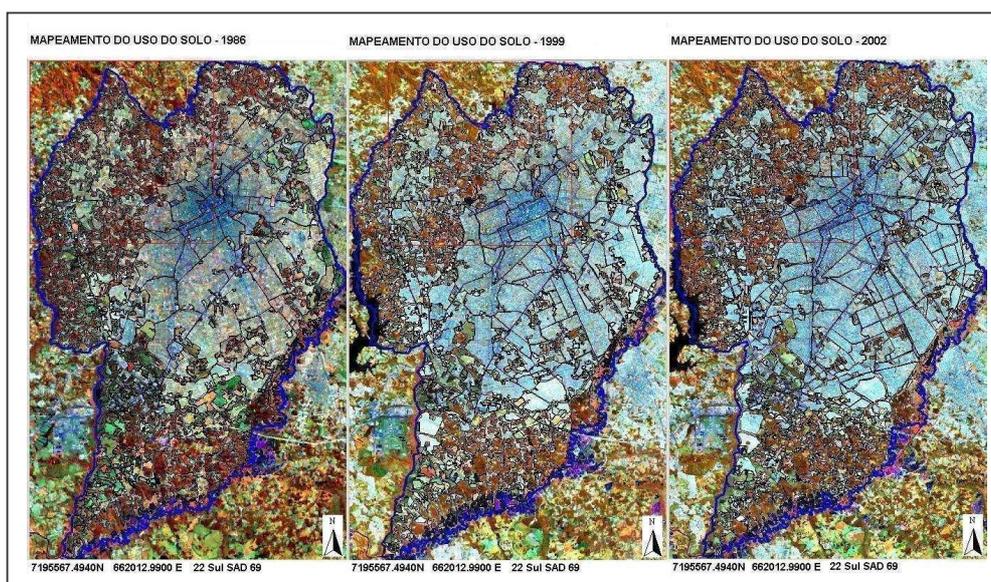


Figura 11: Mapeamento do uso do solo através de ROIs (1986, 1999 e 2002)

O critério utilizado para a classificação das áreas de vegetação baseou-se na presença de agrupamentos arbóreos (maciços de vegetação bem definidos e visíveis na imagem), englobando matas remanescentes, matas ciliares, reflorestamentos e bosques em geral, incluídos ou não dentro de parques urbanos, bairros arborizados ou áreas de preservação ambiental (públicas ou privadas). Portanto, áreas de pastagem, culturas anuais, perenes ou

qualquer outro tipo de atividade agrícola não constituem parte integrante deste levantamento, tendo sido classificadas como campo/pastagens. A vegetação urbana, de ruas, praças e loteamentos também seguiu outro critério de classificação, conforme relacionado na Tabela 5.

O software ENVI 4.0 também foi utilizado na produção das imagens NDVI, no sentido de transformar os dados espectrais em uma imagem representando os diferentes valores desse índice e conseqüentemente a distribuição de vegetação (altos valores de NDVI indicam maior presença de vegetação). Portanto, para cada data, uma imagem de NDVI foi produzida mostrando os valores entre -1 (em preto) denotando a não-presença de vegetação e $+1$ (em branco) indicando a presença de vegetação (Figura 12).

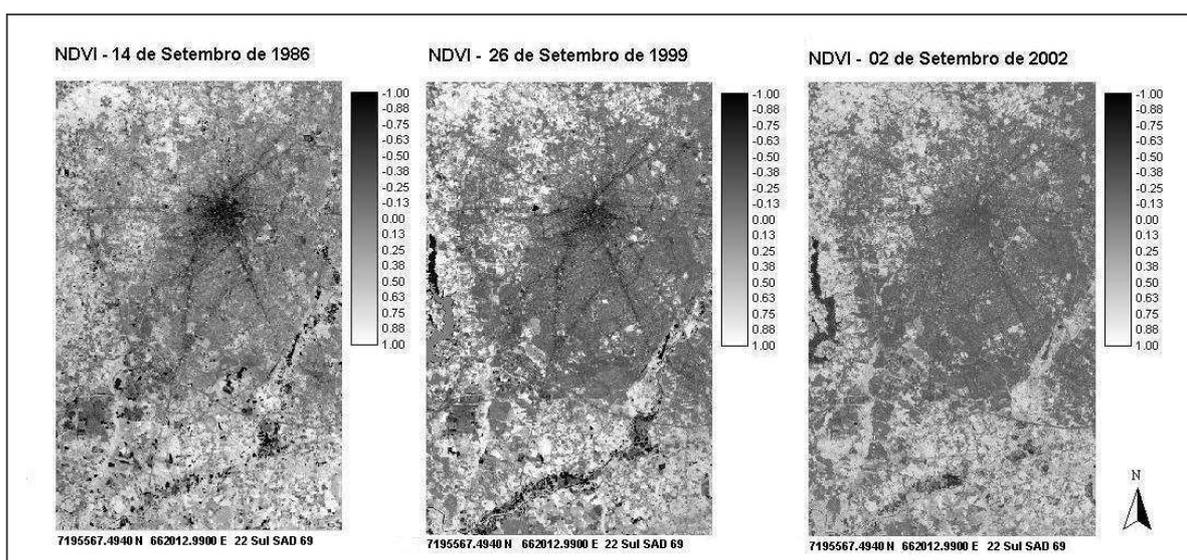


Figura 12: Imagens NDVI (1986, 1999 e 2002)

Para o processamento do NDVI utilizou-se o algoritmo padrão onde são consideradas as bandas 3 e 4 do satélite Landsat, ou seja, as faixas do espectro eletromagnético correspondentes ao vermelho visível (V) e do infravermelho próximo (IVP), respectivamente.

A partir dessas imagens, foram extraídos no software Idrisi os valores médios do NDVI de cada mancha de vegetação presente em cada região estudada, como forma de avaliação dessas superfícies.

5.3. Metodologia para obtenção do Índice Relativo NDVI-R

Para obtenção do Índice NDVI-R inicialmente foi calculado o NDVI médio de cada uma das regiões e do município, neste caso, considerando a superfície completa dessas áreas, ou seja, incluindo todos os usos existentes sem distinção de uma única vez.

Com a obtenção desses valores foi possível calcular um índice relativo NDVI-R através da razão entre o NDVI médio de cada região sobre o NDVI médio do município (superfícies completas/totais).

Este índice sintetiza as alterações nos padrões da cobertura vegetal dentro de cada região, permitindo a visualização das transformações ocorridas ao longo do tempo. O NDVI-R foi proposto como uma alternativa para se contornar o efeito atmosférico e as dificuldades de correção atmosférica de imagens multitemporais em função da ausência de parâmetros para sua realização, principalmente em imagens mais antigas.

Posteriormente, para melhor visualização da variação espacial dos grupos de vegetação, as áreas de vegetação mapeadas foram quantificadas em termos de valores de áreas em hectares no software Idrisi. Além disso, foram calculados também os valores percentuais em relação ao total de área de paisagem, ou seja, em relação ao município todo, utilizando-se o software EXCEL.

5.4. Metodologia para o cálculo do índice DN-R

Para a obtenção dos valores de temperatura da superfície foram adquiridas imagens dos satélites Landsat-5 Thematic Mapper (banda 6, órbita ponto 220/078 – de 14 de setembro de 1986 – resolução 30x30 – coordenada central UTM 658412.9900m E - 7201237.4940m N) e Landsat-7 Enhanced Thematic Mapper Plus (banda 6, órbita ponto 220/078 de 26 de setembro de 1999 - coordenada central UTM 604217.9900m E - 7230913.4940m N; e 02 de setembro de 2002- coordenada central UTM 658424.9900m E - 7201216.4940m N; ambas resoluções 60x60); zona 22S; Datum SAD69/Brasil.

Observe que a banda 6 do satélite Landsat-5 Thematic Mapper não apresenta a resolução original 120x120m, uma vez que, não se trata da imagem bruta. Assim sendo, a imagem adquirida apresenta resolução 30x30m devido a processamentos que provocaram alterações na resolução original.

Foram solicitadas imagens referentes ao mesmo mês do ano, que permitissem comparações no mesmo período sazonal. Além disso, foram solicitadas imagens brutas (sem nenhum tipo de tratamento), para evitar possíveis interferências (originárias de processamentos externos desconhecidos) no cálculo e extração dos valores médios de temperatura.

Como não foi possível adquirir uma imagem bruta para o ano de 1986, optou-se por trabalhar com valores de DN (“digital number”) em todas as imagens. Na verdade, como os valores de temperatura variam em função dos valores de DN, admitiu-se que na medida que estes valores variavam positiva ou negativamente, a temperatura (K) também estaria variando proporcionalmente e na mesma direção/sentido. Para confirmar essa aceitação, os valores de

temperatura (K) dos anos de 1999 e 2002 foram utilizados como referência (avaliação), conforme demonstrado na Figura 13.

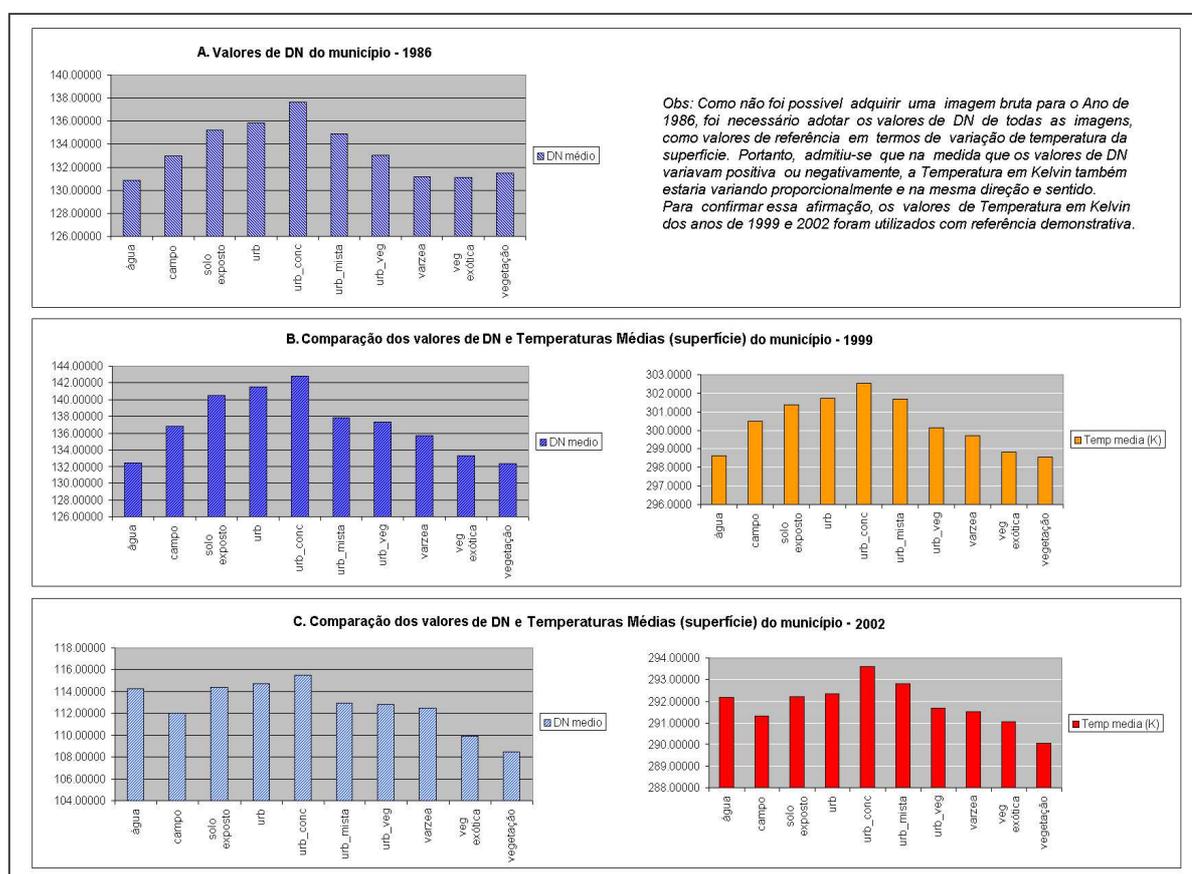


Figura 13: Comparação entre os valores de DN e Temperatura (K)

O mapeamento do uso do solo na banda do termal exigiu atenção redobrada, uma vez que, foi necessário mapear as regiões com e sem presença de vegetação para avaliar as possíveis variações e interferências causadas pela presença dessas áreas na paisagem urbana.

As regiões mapeadas inicialmente através do uso de imagens multiespectrais dos satélites Landsat-5 Thematic Mapper (bandas 345, órbita ponto 220.078 de 14 de Setembro de 1986 – resolução 30x30) e Landsat-7 Enhanced Thematic Mapper Plus (bandas 345, órbita ponto 220.078, de 26 de Setembro de 1999 e 02 de Setembro de 2002, ambas resoluções

30x30), foram utilizadas como referência para o mapeamento das mesmas regiões na banda 6 (termal).

Esse procedimento foi necessário para auxiliar o mapeamento da vegetação e dos diferentes usos de solo na banda termal, uma vez que, nesta banda se trabalha apenas com tons de cinza, o que proporciona uma certa dificuldade de visualização e interpretação das diferentes categorias de uso do solo. Portanto, para a identificação correta de cada classe foi necessário trabalhar o tempo todo com a imagem colorida e com o respectivo levantamento realizado nessa imagem servindo de referência.

Isso permitiu contornar os problemas de incompatibilidade de resoluções entre as bandas 3,4,5 (30x30) e 6 (60x60), uma vez que, não seria possível utilizar o levantamento realizado a partir das imagens coloridas diretamente sobre as imagens do termal. Esse tipo de sobreposição causaria um deslocamento das manchas mapeadas originalmente na imagem 30x30, pois não coincidiriam com as da imagem termal (resolução 60x60).

Além disso, foi necessária extrema atenção no momento de delimitar os limites de cada mancha de vegetação e usos distintos nas imagens termais para evitar problemas de contaminação de bordas.

Para realização desse levantamento foram utilizados os mesmos critérios de classificação do uso do solo (Tabela 5). A partir do mapeamento das diferentes categorias de uso do solo, foram extraídos os valores médios de DN dessas categorias em cada região e no município como um todo, utilizando-se o software Idrisi 3.2.

Para o processamento das imagens de 1999 e 2002 com o objetivo de se obter valores de temperatura da superfície (K), que serviriam como referência para os valores de DN também foi utilizado o software ENVI 4.0. Para a realização desse procedimento foi

necessária a calibração das imagens de satélite, convertendo os valores de DN (digital number) em valores de radiância.

Assim sendo, basicamente dois procedimentos foram necessários para a determinação da temperatura da superfície. Primeiro, o espectro de amostras de DN foi reduzido para valores de radiância considerando a função (5). O processo de calibração Landsat TM para converter os valores de DN do Landsat TM ou ETM+ para radiância utiliza os dados do “published post-launch” com “gains and offsets” específicos que são acessados dentro do próprio ENVI 4.0 e podem ser encontrados nos “sites” <http://landsat7.usgs.gov/cpf.php> e <http://edcftp.cr.usgs.gov/pub/metadata/satellite/landsat7.tar.gz>.

A radiância espectral foi calculada a partir da fórmula:

$$L_{\lambda} = L_{MIN_{\lambda}} + \left(\frac{L_{MAX_{\lambda}} - L_{MIN_{\lambda}}}{Q_{CAL\ MAX}} \right) Q_{CAL} \quad (5)$$

Onde Q_{CAL} é a escala de radiância quantizada e calibrada em unidades de DN (digital number); $L_{MIN_{\lambda}}$ é a radiância espectral para $Q_{CAL} = 0$; $L_{MAX_{\lambda}}$ é a radiância espectral para $Q_{CAL} = Q_{CAL\ MAX}$; e $Q_{CAL\ MAX}$ é a faixa da radiância re-escalada (redefinida) em valores de DN. $L_{MIN_{\lambda}}$ e $L_{MAX_{\lambda}}$ são derivados a partir de tabelas disponibilizadas no relatório técnico do Landsat (Landsat Technical Notes) de agosto de 1986 com a informação fornecida através dos parâmetros de calibração TM disponíveis no ENVI 4.0. Os resultados foram obtidos em milliwatts por centímetro quadrado por steradian por micrometro ($mW/(cm^2 \cdot sr \cdot mm)$).

O segundo passo foi a definição de um valor médio para a emissividade (uma vez que se tratavam de usos distintos com a presença de uma infinidade de materiais). O valor definido

para a emissividade foi 0.96, mas testes com emissividade em torno de 0,94 e 0,95 também foram realizados (indicaram uma variação muito pequena no resultado final da temperatura e foram descartados). Com a definição do valor da emissividade, a imagem de temperatura da superfície foi calculada no software ENVI 4.0 usando a função de Planck.

Na Figura 14 aparecem as imagens resultantes referentes aos anos de 1986 com valores de DN, de 1999 e 2002 com os valores de temperatura da superfície (K).

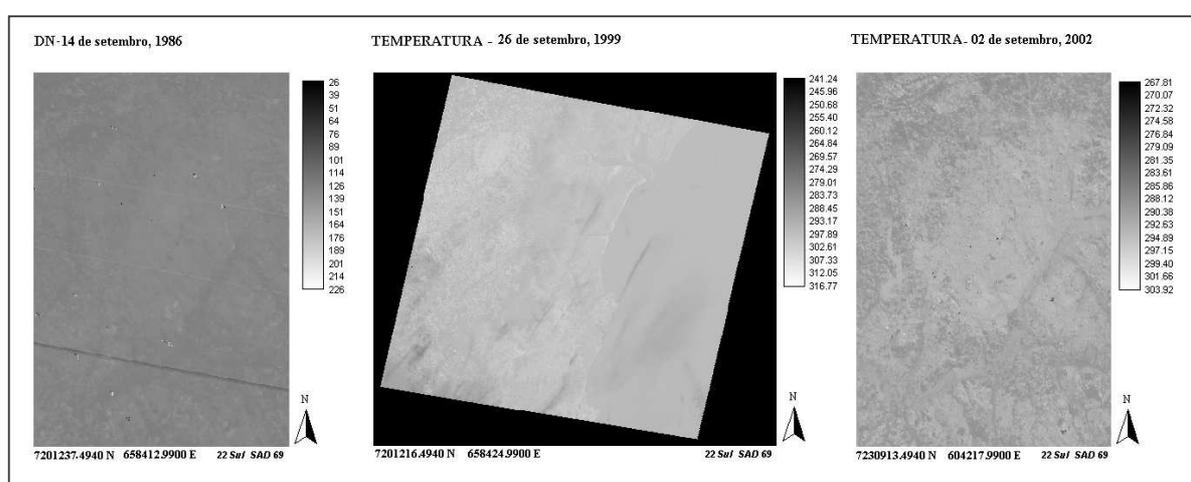


Figura 14: Imagens termais do Landsat de 1986 (em DN); 1999 e 2002 (em temperatura K)

A partir de todo esse entendimento e avaliação geral de superfícies distintas, partiu-se para o cálculo do DN médio de cada uma das regiões e do município, neste caso, considerando a superfície completa dessas áreas, ou seja, incluindo todos os usos existentes sem distinção de uma única vez. Com base nos resultados obtidos em termos de valores médios de DN, foi realizado o cálculo do índice relativo $DN-R$ para cada região. Portanto, para obtenção desse índice relativo calculou-se a razão entre o DN médio de cada região sobre o DN médio do município (superfícies completas/totais).

Observa-se que, o índice $DN-R$ também foi criado como uma alternativa para se contornar o efeito atmosférico e as dificuldades de correção atmosférica de imagens multitemporais em função da ausência de parâmetros para sua realização.

Para auxiliar o entendimento de como se processam essas variações de temperatura na superfície em função das diferenças de iluminação solar devido às irregularidades na forma do terreno, foram gerados no software ENVI 4.0 o modelo digital de elevação (MDE) e respectivas elevações em 3D, bem como, o mapa de aspecto do terreno (Figura 15). Esses processamentos foram realizados para a verificação das características da superfície em termos de variação da declividade, visualização tridimensional e exposição de vertentes/rampas, respectivamente.

O método de interpolação utilizado para o processamento do modelo digital de elevação foi o vizinho próximo e para o aspecto considerou-se o sentido horário (clockwise) com a convenção de ângulo zero graus para o norte (padrão do ENVI).

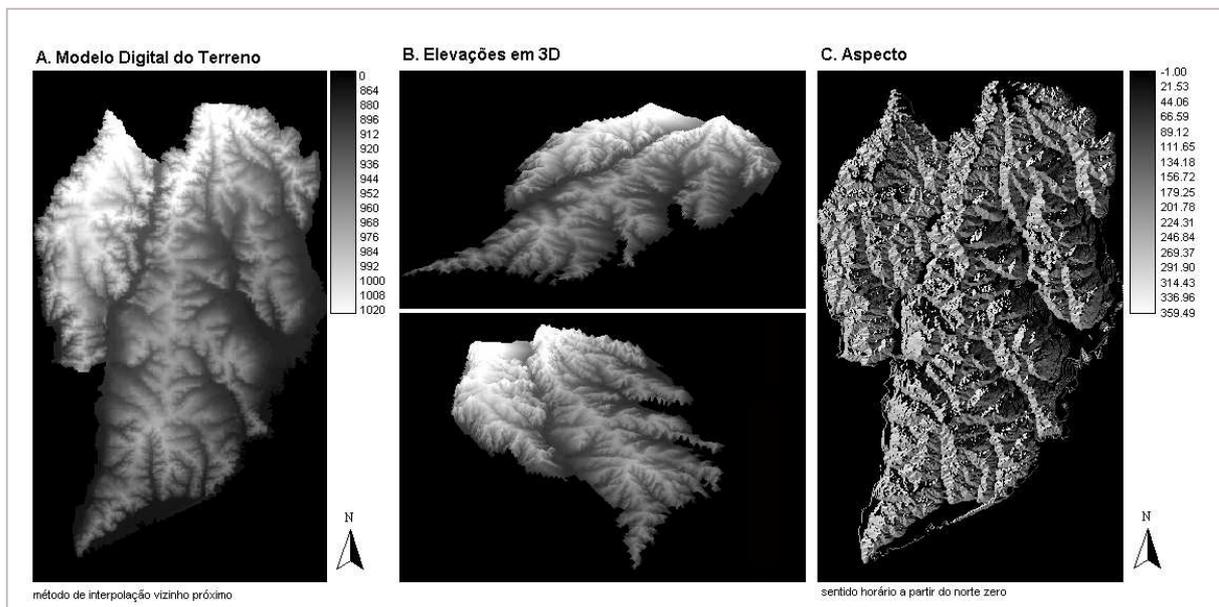


Figura 15: Modelo Digital de Elevação, Elevações em 3D e Aspecto

Posteriormente, os valores de $DN-R$ foram comparados aos valores do índice relativo $NDVI-R$, calculado para as mesmas áreas com base nos resultados obtidos através das imagens de NDVI geradas no software ENVI 4.0 usando a fórmula de Rouse (1973).

5.5. Metodologia para análise dos dados populacionais

A partir de dados obtidos no IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e no IPPUC (Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba) procedeu-se à análise das informações referentes a determinadas características da população em comparação com dados sobre a manutenção das áreas de vegetação em função das mudanças de uso do solo do município de Curitiba (PR).

Assim sendo, considerando as três regiões definidas dentro do município (Tabela 4) foram realizados levantamentos sobre a população total (número de habitantes); número de domicílios; média de habitantes por domicílio; número de habitantes alfabetizados; anos de estudo e faixas de renda (por pessoas responsáveis).

Os aspectos levantados referem-se aos censos dos anos de 1980, 1991 e 2000; entretanto, para a maioria das regiões estudadas, não foi possível a obtenção de dados de 1980 referentes à alfabetização e anos de estudo.

As três regiões foram analisadas, comparativamente, uma em relação à outra. Assim sendo, a partir do mapeamento realizado, do uso do solo e da vegetação, foram calculadas as variações em termos de áreas em hectares e posteriormente comparadas com os aspectos populacionais acima definidos. Além disso, algumas comparações em termos de mudanças de uso do solo das regiões foram realizadas em relação ao município, possibilitando uma análise do conjunto.

6. Resultados e Discussão

6.1. Índice Vegetação Relativo NDVI-R

Na tabela 6 apresentam-se os valores obtidos no cálculo do “Índice Vegetação Relativo” (NDVI-R), ou seja, os resultados da razão entre a média do NDVI de cada região e a média do NDVI total do município.

Tabela 6 : Cálculo do índice NDVI e índice de vegetação relativo NDVI-R

Ano	Região	NDVI (região)	NDVI (município)	NDVI-R
1986	R1	0.054933701	0.100416802	0.55
	R2	0.096761703		0.96
	R3	0.0077371		0.08
1999	R1	0.0279985	0.063033298	0.44
	R2	0.098102503		1.56
	R3	-0.114895798		-1.82
2002	R1	0.019532195	0.0476395	0.41
	R2	0.071387596		1.50
	R3	-0.109937496		-2.31

Obs: NDVI (região) refere-se aos valores médios do NDVI dentro de cada região (superfícies totais/completas)
 NDVI (município) refere-se ao NDVI médio da superfície total/ completa do município

Nota-se que na região R1 os valores do índice relativo decrescem com o passar dos anos. Na verdade, boa parte dessa região se configurou durante anos como zona agrícola (Leis N° 5.234/75 e N° 6.204/81) e, por esse motivo, na imagem de satélite de 1986 foram identificados remanescentes desse tipo de uso do solo que, provavelmente associados à presença significativa de vegetação, resultou em um índice relativo maior que dos anos seguintes.

Segundo dados do IPEA (2000), com o tempo essas áreas agrícolas foram sendo substituídas por outros usos (principalmente de caráter residencial), aumentando o percentual de área urbana e justificando assim a redução obtida no valor do índice de vegetação relativo (NDVI-R).

Embora atualmente, essa região se caracterize pela quantidade significativa de espaços verdes devido à implantação de parques urbanos, o aumento da área urbana provocado pela substituição da zona agrícola por zonas residenciais parece ter sido expressivo em termos de contribuição para redução dos valores do índice de vegetação relativo (NDVI-R).

Na região R2, praticamente, ocorre o fenômeno contrário, à medida que o tempo passa o índice relativo tende a aumentar ou pelo menos a se estabilizar. Trata-se da região onde está localizada a APA do Passaúna. Essa região passou por um processo de preservação das áreas de vegetação durante o período analisado, sendo mantida como área de proteção ambiental (regulamentada pelo Decreto 193/2000), justificando assim os valores do índice relativo (NDVI-R) identificados.

Na região R3, nota-se o contrário, que a influência negativa da área urbana e dos diferentes usos associados é mais significativa que a da vegetação, provocando uma queda nos valores do índice NDVI-R. Essa região, praticamente, sempre se configurou como área totalmente urbana, ou seja, uma parcela da região intra-urbana de Curitiba com pouquíssima vegetação. Observou-se nas imagens que, com o passar do tempo, as áreas remanescentes (áreas com presença de vegetação) foram sendo substituídas por solo exposto e, posteriormente, por área urbana (durante o processo de expansão urbana).

Na Figura 16 estão representados os valores de NDVI-R, onde é possível observar a evolução dos valores desse índice ao longo do tempo em cada região. Como é possível notar, através dos resultados apresentados, as três regiões apresentaram respostas diferenciadas em relação ao índice estudado devido aos diferentes níveis de concentração urbana e vegetação.

Nota-se que nas regiões onde a extensão de área urbana é superior a de vegetação, os resultados foram cada vez menores e mais negativos, como se observa principalmente na região R3.

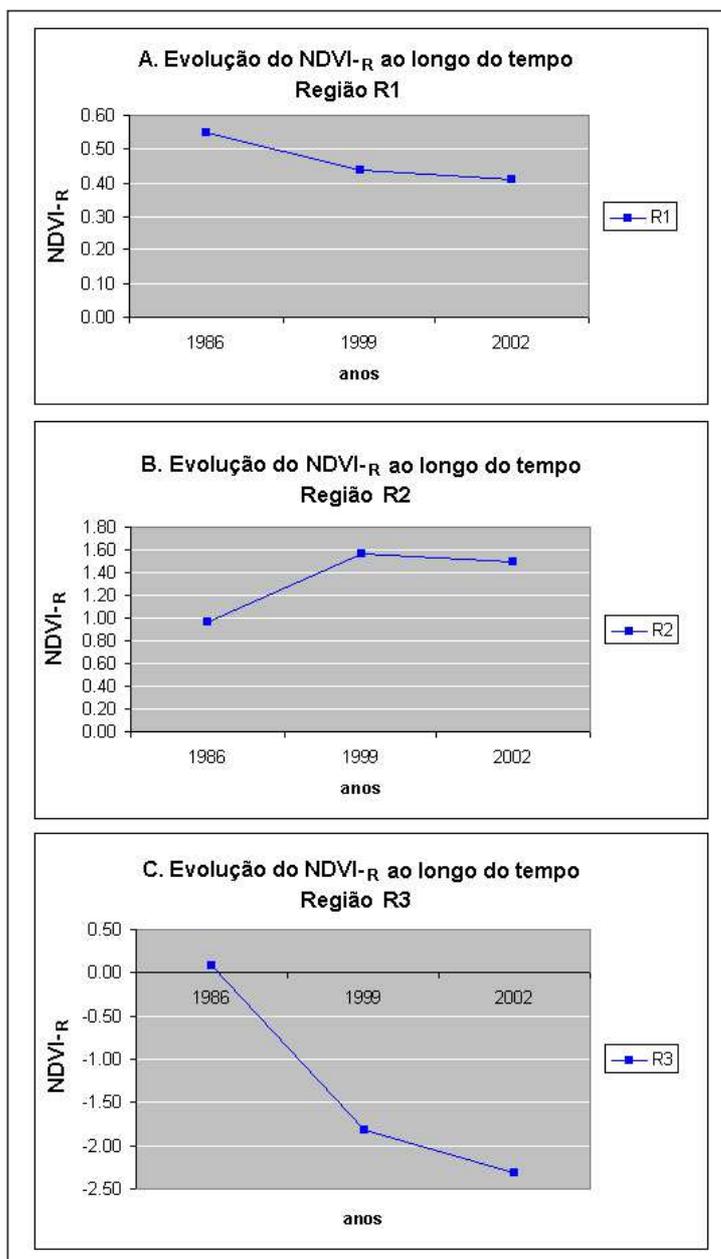


Figura 16: Evolução do índice NDVI-R por região no tempo

Isso se deve ao fato de que as áreas construídas (concreto, asfalto, entre outros), têm uma curva de reflectância parecida com a do solo, o que faz com que existam valores mais altos de reflectância na faixa do vermelho, fazendo com que o índice seja negativo.

Segundo Jensen (1996), a vegetação verde sadia, geralmente, reflete 40% a 50% da energia incidente no comprimento de onda do infravermelho, entretanto, nas áreas com presença de vegetação de Curitiba (ex: parques, áreas preservadas) estão inseridas construções e infra-estruturas de apoio (entremeados no conjunto), que refletem também no visível e também podem interferir nos valores do índice relativo.

Outros fatores também podem ter influenciado a diminuição dos valores de NDVI-R dentro de cada região, como por exemplo, a presença da água, ou ainda, o clima.

Segundo Jensen (1996), as características espectrais da curva de reflectância da água demonstram uma geral redução na reflectância com o crescimento do comprimento de onda. No infravermelho próximo (0,70 a 1,10 μm) a reflectância de águas claras e profundas tende a zero, ou seja, a água absorve mais a energia incidente (Mather, 1999). Assim sendo, quanto mais próximo de zero o valor no comprimento de onda do infravermelho (provocado pela presença da água) mais negativo será o valor do NDVI, afetando, conseqüentemente, o valor do NDVI-R.

Além disso, de acordo com a SIMEPAR (2003), em 2002 as temperaturas variaram entre a mínima 1.2° C e máxima 7.2°C, provocando geadas no município. Esse fenômeno pode ter interferido nos valores de NDVI-R obtidos através da imagem de satélite de 2002, uma vez que, a geada é o orvalho congelado que se acumula em geral na superfície e, conseqüentemente, sobre as folhas da vegetação.

Assim sendo, nota-se que diferentes configurações dos padrões de uso e ocupação do solo de cada região podem ser facilmente detectadas, bem como, as transformações ocorridas ao longo dos anos em termos de substituição das manchas de vegetação por área urbana.

A evolução da variação das áreas de vegetação e as mudanças ocorridas durante o processo de expansão da área urbana podem ser mais facilmente compreendidas através das

tabelas e gráficos que se seguem. Na tabela 7, por exemplo, observa-se que no município houve um aumento significativo da quantidade de maciços vegetais durante o período analisado.

Tabela 7: Taxa de variação da área de vegetação do município

Áreas mapeadas	Área em hectares/ano			Taxa variação áreas em %			Variação representada em área (ha)		
	1986	1999	2002	1986/1999	1999/2002	1986/2002	86/99	99/02	86/02
R1	1621.60	1705.70	1973.20	5.19	15.68	21.68	84.10	267.50	351.60
R2	1259.10	1278.40	1265.50	1.53	-1.01	0.51	19.30	-12.90	6.40
R3	163.70	161.10	159.80	-1.59	-0.81	-2.38	-2.60	-1.30	-3.90
Município	6726.60	6667.60	7768.70	-0.88	16.51	15.49	-59.00	1101.10	1042.10

Com a criação de estímulos a preservação e conservação de áreas verdes em Curitiba, através da Lei Municipal Nº 6.819/86, o número de maciços vegetais na década de 80 aumentou significativamente em relação à década de 70. Segundo Oliveira (2001), mais especificamente entre os anos de 1972 e 1982, o total de maciços vegetais correspondia a aproximadamente 994,69 hectares. Entretanto, como é possível observar através dos resultados obtidos, em 1986 o município de Curitiba já possuía uma significativa área total de 6.726,60 hectares de vegetação.

Embora, no final da década de 80 e início da década de 90, tenha se intensificado o processo de implantação de políticas ambientais municipais baseadas na Política Municipal do Meio Ambiente - Lei Nº 7.833/91, observa-se em 1999 uma ligeira redução na área total de vegetação, cerca de 59 hectares, perfazendo um total de 6.667,60 hectares (Tabela 7). No entanto, no período seguinte, entre 1999 e 2002, ocorre novamente um aumento da área total de vegetação do município correspondente a 1.101,10 ha, totalizando cerca de 7.768,70 ha.

Na Figura 17A estão representados os gráficos que sintetizam as mudanças ocorridas em termos de área de vegetação dentro de cada região e dentro do município. As áreas obtidas através do levantamento das imagens de satélite foram organizadas por região (ano a ano).

Nessa figura também se encontram os gráficos das taxas de variação dessas áreas em hectares (Figura 17B) e em % (Figura 17C), que associados à tabela 7 permitem observar os aumentos e diminuições ocorridos nas áreas de vegetação ao longo do tempo.

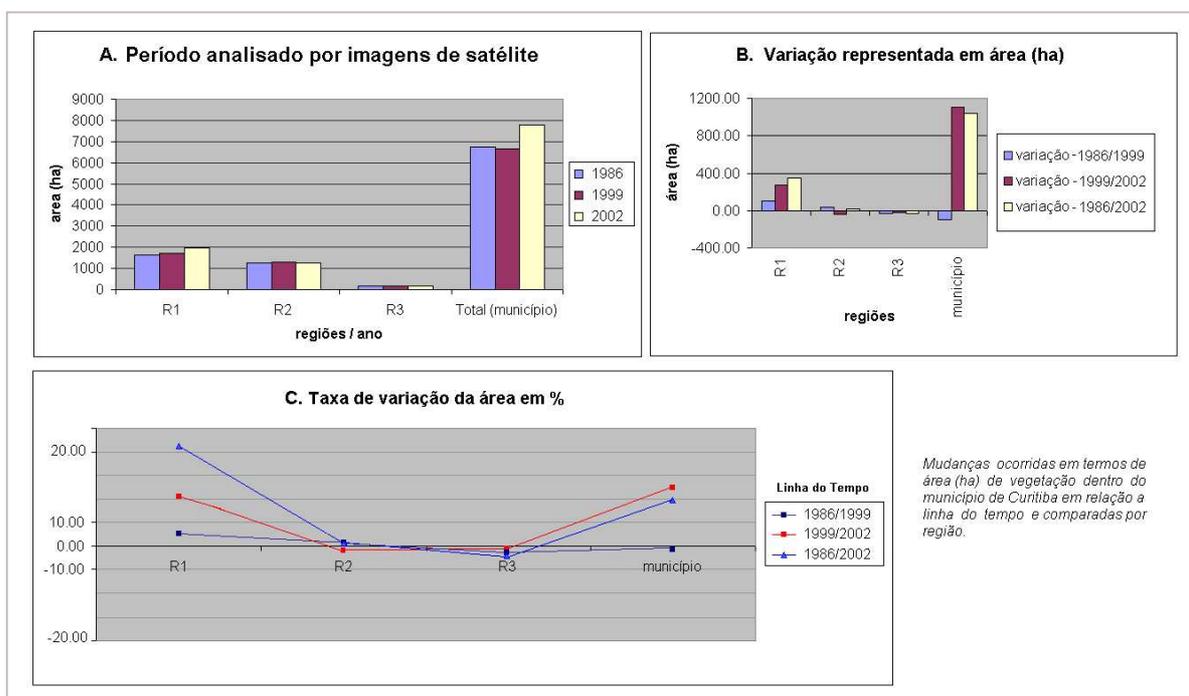


Figura 17: Representação das mudanças ocorridas nas áreas de vegetação

A tabela 8, apresenta o percentual de vegetação de cada região em relação ao total de vegetação do município, bem como, em relação à área territorial de cada região e do município.

Tabela 8: Percentual de vegetação de cada região em relação ao total de vegetação do município

Ano	região	Área vegetação (ha)	Área território (ha)	Relação % vegetação (reg/município)	Representação na região (%)	Representação no município (%)
1986	R1	1621.60	13426.20	24	12.08	3.73
	R2	1259.10	6361.90	19	19.79	2.89
	R3	163.70	4792.90	2	3.42	0.38
	Total (município)	6726.60	43501.10	55		15.46
1999	R1	1705.70	13426.20	26	12.70	3.92
	R2	1278.40	6361.90	19	20.09	2.94
	R3	161.10	4792.90	2	3.36	0.37
	Total (município)	6667.60	43501.10	53		15.33
2002	R1	1973.20	13426.20	25	14.70	4.54
	R2	1265.50	6361.90	16	19.89	2.91
	R3	159.80	4792.90	2	3.33	0.37
	Total (município)	7768.70	43501.10	57		17.86

Obs: As áreas territoriais foram obtidas a partir dos limites de município e bairros fornecidos pelo IPPUC (2000) – formato digital. O cálculo da relação percentual de vegetação (região/ município) foi obtido a partir da razão entre área de vegetação identificada em cada região sobre área de vegetação total do município.

Observa-se na tabela 8 um aumento significativo das áreas de vegetação na região R1 e diminuições na quantidade de áreas de vegetação das regiões R2 e R3. Embora R2 apresente um aumento de 19.30 ha (entre 1986 e 1999), no período seguinte (1999 e 2002), perde cerca de 12.90 ha, provavelmente, justificado pela urbanização deflagrada pela presença da cidade industrial (nas imediações da APA do Passaúna) e pela ocupação desordenada em áreas de risco. Segundo IPPUC (2002), as ocupações irregulares são problemas constantes que têm ocorrido principalmente nas proximidades das APAs do município.

Na Figura 18 observam-se as relações percentuais relacionadas na tabela 8. É interessante observar que essas relações são extremamente significativas em termos de considerações sobre a importância relativa da vegetação em cada região e dentro do município.

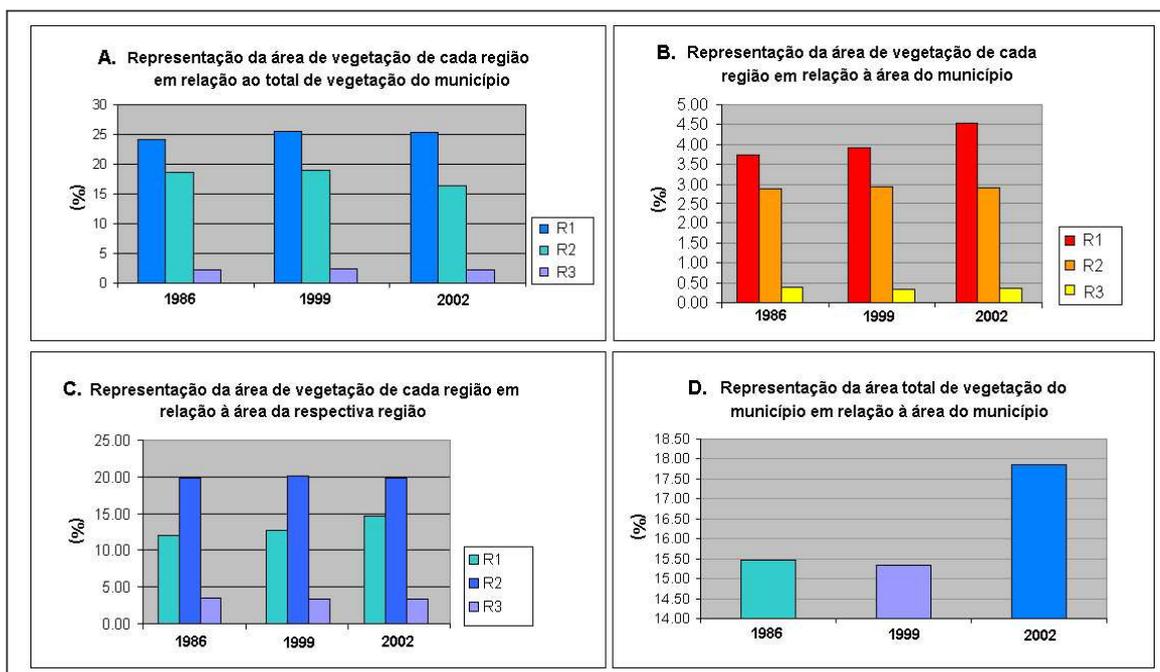


Figura 18: Percentual de vegetação em relação ao município e regiões

Quando se observa a área total de vegetação de cada região em relação ao total de vegetação do município (Figura 18A), nota-se que a região R1 tem uma importância muito maior que as demais regiões (entre 24 e 26%), embora a região R2 também apresente uma importância relativa significativa (em torno de 19%).

É importante notar que, apesar de ocorrer um aumento progressivo da área de vegetação da região R1 ao longo dos anos, sua representatividade decresce à medida que a área de vegetação total do município aumenta (passa de 26% para 25%). Por outro lado, quando a diminuição é progressiva, mas relativamente pequena, como no caso da região R3, praticamente, essas alterações não são perceptíveis através de valores percentuais. A representatividade dessa região permanece sempre a mesma (2%), mas na realidade, ocorreu uma diminuição concreta das áreas de vegetação (redução de 2,38% nos últimos 16 anos).

Quando são analisadas as áreas de vegetação de cada região em relação à área territorial do município (Figura 18B), observa-se que a representatividade da região R1 aumenta com o passar do tempo. Isso ocorre porque a área de vegetação da R1 aumenta progressivamente, mas a área territorial do município é invariável (constante). As representatividades das regiões R2 e R3, em termos de valores percentuais, praticamente não variam, mesmo tendo sofrido reduções nas áreas de vegetação ao longo do tempo.

Com relação à área de vegetação de cada região em função da área territorial de suas respectivas regiões (Figura 18C), é interessante notar que, a representatividade da vegetação dentro de R1 e R3 é menor do que na região R2, ou seja, R2 possui uma área de vegetação proporcionalmente maior do que R1 e R3.

Observa-se também que, em 1986, a área total de vegetação do município representava cerca de 15,46% do território municipal. Em 1999 esse percentual caiu para 15,33%, voltando a crescer em 2002 quando passou a representar cerca de 17,86% da área total do município (Figura 18D).

Embora, esse último aumento tenha sido representativo, em termos gerais, não se pode deixar de considerar o fato de que certas áreas dentro do município, como por exemplo a região R3, necessitam de maior atenção com relação a conservação e recuperação das áreas de vegetação, como forma de garantir o equilíbrio do sistema como um todo.

Quando se compara a área territorial da região R2 com a R3, constata-se que a região R3 é apenas 25% menor que R2 e que em termos de área de vegetação R2 possui 88% a mais de vegetação do que R3, sendo que em geral R3 possui o equivalente a 12% da área de vegetação da região R2. Isso revela a presença de realidades completamente distintas em áreas com dimensões territoriais parecidas, que justificaria um estudo mais profundo por parte das instituições competentes, em termos dos efeitos dessas configurações distintas.

6.2. Índice de Temperatura Relativo DN-R

Na tabela 9 apresentam-se os valores do índice relativo de temperatura DN-R, ou seja, os resultados da razão entre os valores médios de DN de cada região e os valores médios do DN total do município.

Tabela 9: Cálculo do Índice Relativo DN-R

Ano	Região	DN (área urbana total)	DN município	DN-R
1986	R1	135.8787	134.8042	1.0080
	R2	134.0963		0.9947
	R3	136.8758		1.0154
1999	R1	141.0052	139.5303	1.0106
	R2	138.3544		0.9916
	R3	143.2730		1.0268
2002	R1	115.5775	114.2705	1.0114
	R2	113.7396		0.9954
	R3	117.7179		1.0302

Na tabela 10 é apresentada a comparação dos valores do índice relativo DN-R com o índice NDVI-R.

Tabela 10: Comparação dos valores do índice relativo DN-R com o índice NDVI-R

Ano	DN-R R1	NDVI-R R1	DN-R R2	NDVI-R R2	DN-R R3	NDVI-R R3
1986	1.0080	0.55	0.9947	0.96	1.0154	0.08
1999	1.0106	0.44	0.9916	1.56	1.0268	-1.82
2002	1.0114	0.41	0.9954	1.50	1.0302	-2.31

Na Figura 19 é possível visualizar a evolução do Índice DN-R em cada região ao longo dos anos e observar a comparação entre os índices relativos DN-R e NDVI-R.

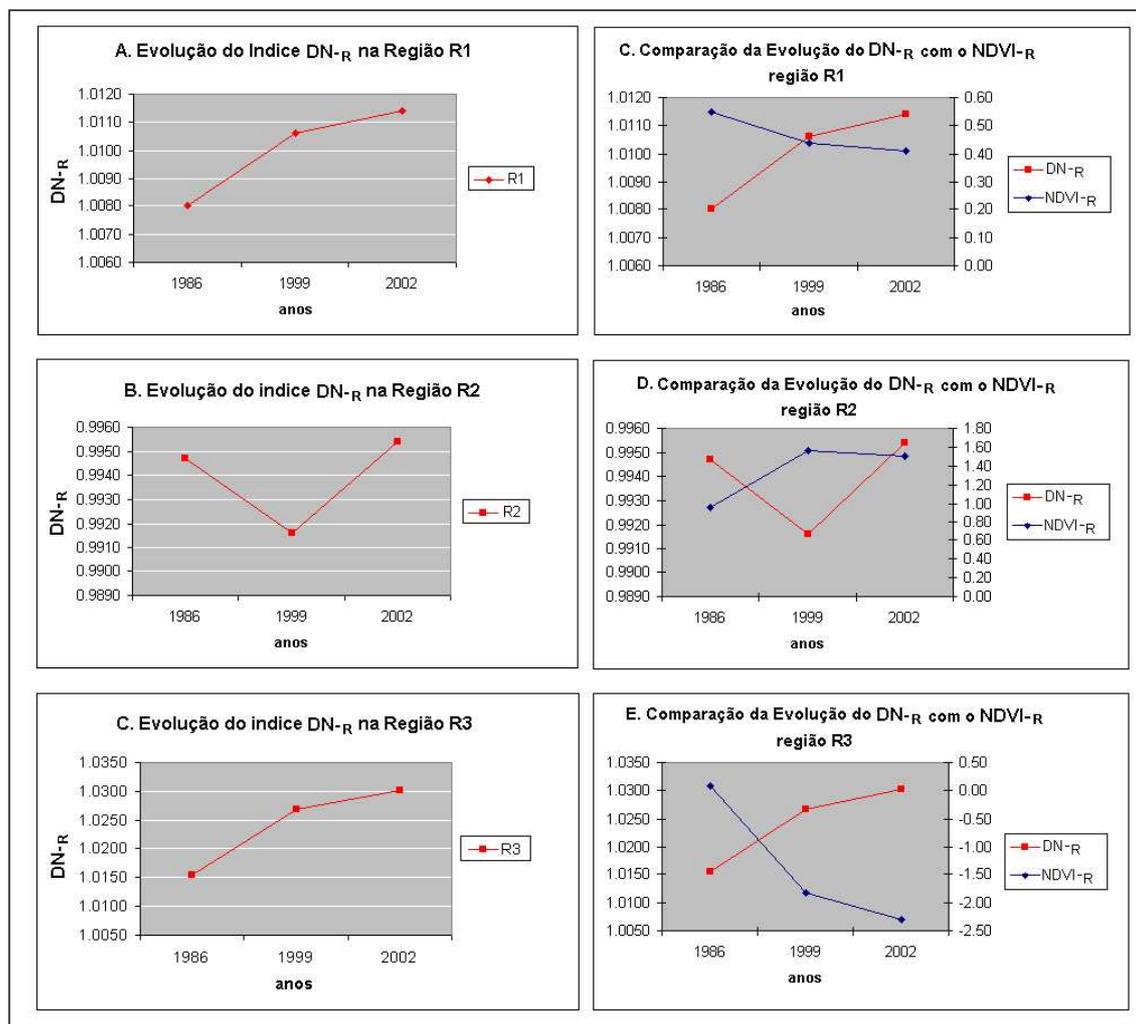


Figura 19: Evolução do índice DN-R em relação ao NDVI-R ao longo dos anos

Observa-se que na maioria dos casos os valores de DN-R obtidos tendem a ser inversos, ou seja, contrários aos valores de NDVI-R. Na medida que os valores de DN-R aumentam, os valores de NDVI-R diminuem e vice-versa.

Os valores do índice DN-R obtidos para a região R1 revelam um aumento de temperatura relativa ao longo dos anos. Essa região sofreu um processo de urbanização das áreas anteriormente destinadas ao uso agrícola (Leis N° 5.234/75 e N° 6.204/81). Com o passar dos anos, essa região foi se tornando cada vez mais urbana, se configurando em diferentes

zonas, regularizadas a partir da Lei de Zoneamento de 2000 (Lei Nº 9800/00). Assim sendo, a zona agrícola foi substituída pelas zonas: ZR-OC (Zona residencial de ocupação controlada); ZS-2 (Zona residencial 2) (IPEA, 2000), alterando as contribuições térmicas originais, uma vez que, materiais impermeáveis e com alta capacidade de armazenar calor foram sendo acrescentados na superfície.

No extremo norte dessa região a topografia é mais acidentada com cotas que variam acima de 1000m, favorecendo microclimas mais variados. Conforme se segue mais para a direção sudeste a topografia tende a se suavizar passando de intervalos de cota entre 960m e 1000m para 880m a 920m (Figura 20B). Segundo Lynch (1980), essas pequenas mudanças de elevação e de orientação podem produzir variações térmicas significativas em lugares separados por pequenas distâncias.

Nessa região R1, devido à implantação de parques urbanos (Figura 20A), alguns trechos de rios foram preservados, como é o caso do rio Barigui (cota 613m) situado na porção oeste da região onde se localizam principalmente os parques Tingui, Tanguá, Barigui; do rio Belém (cota 616m) situado mais ao centro da região, onde se localizam essencialmente os parques São Lourenço, o bosque João Paulo II, bosque Alemão, bosque do Pilarzinho; e do rio Atuba (cota 612m) situado na porção leste da região onde não há ocorrência de parques na mesma proporção e que parece ter sofrido mais fortemente com o processo de urbanização (entre as cotas de nível 960m e 880m).

estabelece os seguintes setores: Setor de Inundação, Setor de Proteção Máxima, Setor de Ocupação Restrita e Setor de Ocupação Diferenciada (IPPUC, 2002).

A presença da APA e da represa do Passaúna (combinação vegetação, água e solo) auxiliam na diminuição da temperatura do ar, absorvendo energia e favorecendo a manutenção dos ciclos biogeoquímicos, principalmente, dióxido de carbono, enxofre, nitrogênio e da água, através da interação de processos geoquímicos e meteorológicos (erosão, sedimentação, lixiviação, precipitação, evaporação, entre outros) e processos biológicos (produção e decomposição) (Odum, 1993).

O reservatório (massa d'água considerável) possui um pronunciado efeito estabilizador. Segundo Romero (1997), durante o dia os corpos d'água possuem temperaturas de superfície mais frias do que solos, rochas, entre outros materiais da superfície urbana; a noite as temperaturas são contrárias, ou seja, a água é mais quente.

De acordo com Sabins (1997), fluxos ou correntes por convecção mantêm a temperatura relativamente uniforme na superfície do corpo d'água. Esse fluxo por convecção não opera para a transmissão de calor nos solos e demais materiais (transferência por condução), portanto o calor a partir do fluxo solar é próximo da superfície desses sólidos durante o dia, proporcionando temperaturas de superfície mais elevadas.

Diferentes materiais presentes na superfície urbana aquecem mais rapidamente e a temperaturas mais elevadas do que a água, resfriando-se também mais rapidamente do que a água a temperaturas mais baixas. Edifícios, asfaltos, concreto, absorvem radiação solar e re-emitem em comprimentos de onda distintos aquecendo a atmosfera (Romero, 1997). Dessa forma, a água (reservatório) constitui fator de contribuição importante para manutenção do equilíbrio térmico dessa região.

Seguindo-se para a direção leste da APA, encontra-se a zona industrial (ZI), situada exatamente em frente a área de proteção ambiental (Figura 20C). Essa zona está localizada entre intervalos de cota que variam de 880m a 920m e 920m a 960m, por onde passa o rio Barigui (cota 613m), que atualmente tem a maior parte de seu trajeto impermeabilizada.

Através das imagens de satélite, nota-se que embora tenha ocorrido a preservação de alguns fragmentos de vegetação a nordeste dessa região e de mata ciliar nos trechos localizados mais ao sul, de 1986 para 2002 é nítida a ocorrência do processo de canalização do rio, que nas imagens de 1999 e 2002, aparece com seu trajeto retilíneo e bem definido, principalmente, nos trechos onde está localizada a zona industrial. Nessa região, as áreas entremeadas por vegetação, campos, pastos e solo exposto, presentes na imagem de 1986, foram substituídas por área urbana ao longo dos anos (entre 1999 e 2002).

As áreas industriais, por se configurarem como pólos geradores de tráfego, provocaram o aumento da emissão de poluentes, pela queima de combustíveis associada à poluição atmosférica industrial. Além disso, atraíram assentamentos correlatos distintos, agravados pela presença da Avenida Juscelino Kubitscheck e a Rodovia BR 277, que funcionam até hoje como elementos facilitadores em termos de ocupações urbanas variadas (incluindo invasões), provocando a impermeabilização do solo com a substituição da vegetação por construções, alterando o equilíbrio do microclima local através de distúrbios no ciclo térmico diário.

Segundo o IPPUC (2002), ocorreram vários registros de ocupações clandestinas nessa região, principalmente nas fronteiras da APA e em áreas de risco (áreas de proteção permanente), o que tem exigido monitoramento contínuo por causa do avanço da área urbana sobre a vegetação.

Essas alterações no uso do solo da região R2 parecem se caracterizar como evidências das contribuições que provocaram alterações significativas nos valores dos índices relativos durante o período analisado (em alguns momentos de forma positiva, em outros negativa).

A região R3 se caracteriza pela presença de áreas pavimentadas por toda extensão (área totalmente urbanizada visível através da imagem de satélite), pouca arborização, ausência de reservatórios ou áreas com presença do elemento água. Sua topografia em geral varia entre 920m e 960m, mas apresenta áreas relativamente mais baixas na porção sudeste (cotas entre 880m e 920m) referentes a região de fundo de vale do ribeirão dos Padilhas (cota 615m) que foi urbanizado ou teoricamente “canalizado”.

Nota-se que as contribuições na R3 (em termos de uso de solo) atribuíram à essa região características de ambientes de clima mais seco, devido à redução de vegetação e do elemento água que, conseqüentemente, propicia o aumento das temperaturas de superfície, uma vez que, a capacidade térmica dos edifícios e da pavimentação é relativamente alta (mais elevada).

Desse modo, observa-se que essa região apresenta um aumento do índice $DN-R$ ao longo dos anos, na medida que o processo de urbanização evolui e as áreas de vegetação diminuem, conforme revela o índice $NDVI-R$, que apresenta comportamento inverso do $DN-R$ (Figura 19E).

Em geral, observa-se que nas áreas onde a vegetação de alguma forma se torna mais presente, as temperaturas são relativamente mais frias, o que justificaria afirmar que existe uma tendência de que quando o $NDVI-R$ aumenta, os valores de $DN-R$ diminuem e vice-versa.

Assim sendo, áreas urbanas com vegetação tendem a ser relativamente mais frias, devido a influência da presença de vegetação, do que as áreas densamente urbanizadas ou com maior predominância de solo exposto e impermeabilizado.

A vegetação possui temperaturas mais frias durante o dia. A transpiração do vapor d'água reduz a temperatura das folhas, causando na vegetação uma temperatura relativamente mais baixa do que a do solo ao redor. É interessante lembrar que durante a noite o efeito encapsulador (“insulating”) causado pelas folhas e o alto conteúdo de água retém calor que resulta em temperaturas mais altas (Sabins, 1997). Esse fenômeno evidencia o efeito termo regulador das áreas de vegetação dentro do meio urbano.

Devido à presença de vegetação, os campos remanescentes (atividades agrícolas e ou pastagem) também apresentaram durante o dia temperaturas relativamente mais frias do que as áreas com solo exposto. Esse tipo de cobertura do solo é evidenciada, principalmente, na região R1, embora tenham sofrido ao longo dos anos um processo de substituição por área urbana (ao leste), acabando por alterar de modo significativo essas contribuições.

Nas áreas com pouca vegetação, como é o caso das áreas completamente urbanizadas ou com urbanização concentrada (Região R3), o NDVI-R tende a atingir valores cada vez mais negativos, e as temperaturas relativas (DN-R) tendem a ser cada vez mais elevadas, ou seja, quanto maior o nível de concentração urbana maior a temperatura relativa da superfície.

As curvas de temperatura diurnas também revelam que solos úmidos são mais frios que solos secos, o que justificaria dizer que nas áreas de várzea, onde o solo é predominantemente úmido (presentes principalmente na Região R2), as temperaturas relativas da superfície tendem a ser menores e, portanto, devem ser consideradas como contribuições significativas para o conjunto de observações.

6.3. Análise da distribuição populacional

Na tabela 11 são apresentadas as alterações ocorridas ao longo do tempo nas diferentes classes de uso do solo do município de Curitiba, representadas em áreas (hectares) e suas respectivas variações (%). Nota-se que durante o período analisado ocorre um acentuado processo de urbanização, com uma redução significativa das áreas de campo e pasto e um aumento significativo da área urbana (cerca de 42,97% ou 4.138,42 ha, entre 1986 e 2002).

Cabe lembrar que a partir do Plano Diretor aprovado em 1966, ocorreu uma mudança fundamental na conformação do crescimento da cidade, passando de modelo radial para um modelo linear de expansão urbana. Assim sendo o sistema viário, o transporte e o uso do solo (integrados), passaram a ser utilizados como instrumentos ordenadores do crescimento e, conseqüentemente, da expansão urbana (IPPUC, 2002).

A partir da década de 1980, o sucessivo aumento do custo da terra em Curitiba e a acessibilidade viária, direcionaram a ocupação urbana para áreas limítrofes do município, onde se localizava, principalmente, a zona rural (IPEA, 2000).

O espaço urbano foi sendo moldado com base na estrutura concebida pelo Plano Diretor através de sucessivos zoneamentos, que estabeleciam gradativamente as áreas onde o adensamento populacional era desejado e conveniente, de acordo com a capacidade do poder público de oferecer os serviços urbanos necessários, em especial um transporte coletivo adequado (IPPUC, 2002).

Tabela 11: Mudanças no uso do solo do município de Curitiba

uso do solo	anos (área em ha)			taxa variação áreas em %			variação representada em área (ha)		
	1986	1999	2002	1986/1999	1999/2002	1986/2002	1986/1999	1999/2002	1986/2002
água	215.73	584.64	585.15	171.01	0.09	171.24	368.91	0.51	369.42
campo/pasto	2983.29	2226.13	787.21	-25.38	-64.64	-73.61	-757.16	-1438.92	-2196.08
solo exposto	2692.72	2337.83	1738.36	-13.18	-25.64	-35.44	-354.89	-599.47	-954.36
urb	9631.26	11737.26	13769.68	21.87	17.32	42.97	2106.00	2032.42	4138.42
urb conc.	453.78	608.04	763.83	33.99	25.62	68.33	154.26	155.79	310.05
urb mista	5629.59	3723.39	2994.82	-33.86	-19.57	-46.80	-1906.20	-728.57	-2634.77
urb_veg	6080.56	6659.83	6325.18	9.53	-5.02	4.02	579.27	-334.65	244.62
várzea	180.18	154.81	129.56	-14.08	-16.31	-28.09	-25.37	-25.25	-50.62
veg exótica	687.33	581.49	418.68	-15.40	-28.00	-39.09	-105.84	-162.81	-268.65
vegetação	6726.60	6667.60	7768.70	-0.88	16.51	15.49	-59.00	1101.10	1042.10

Assim sendo, como resultado dessas políticas urbanas, observa-se no período analisado através das imagens de satélite, um aumento da concentração urbana ao longo das Avenidas Estruturais, cerca de 68%, ou seja, passando de 453,78 ha (em 1986) para uma área de 763,83 ha (em 2002).

Na Figura 21 estão representados os gráficos que sintetizam essas mudanças, permitindo a visualização dos aumentos e diminuições ocorridas no uso do solo ao longo do tempo.

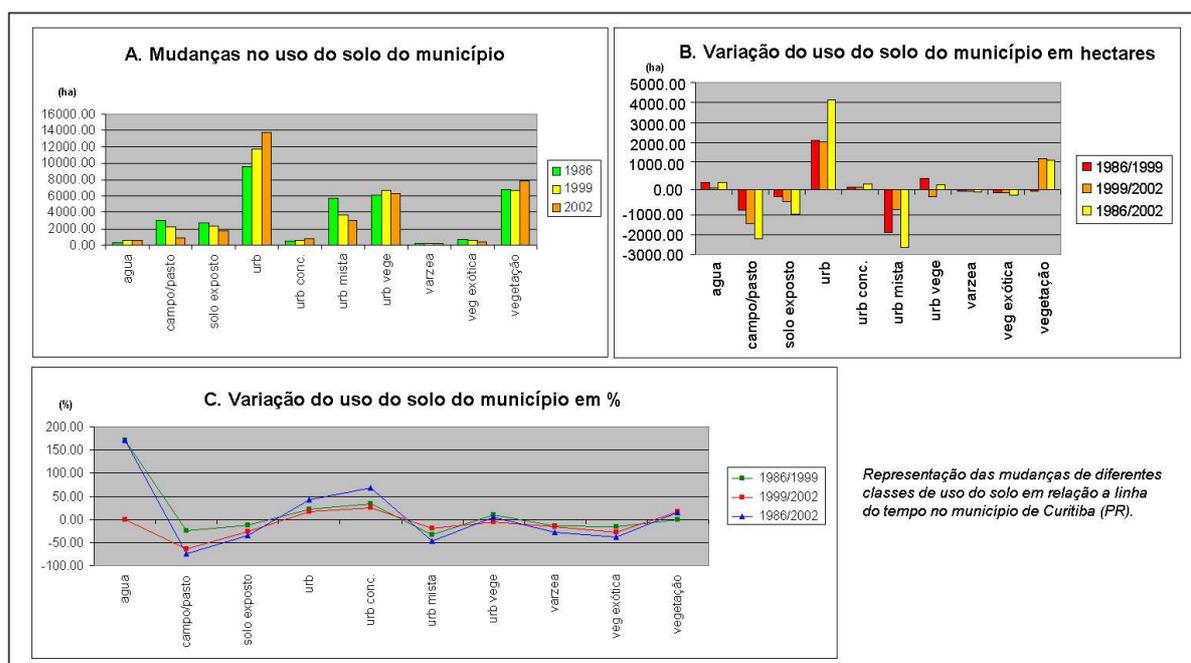


Figura 21: Representação das mudanças no uso do solo do município

Como mencionado anteriormente, entre 1986 e 2002 ocorreu um aumento das áreas de vegetação, cerca de 15,49% (Figura 21C), passando de uma área de 6.726,60ha para 7.768,70 ha; consequência de políticas urbanas como a Lei Municipal Nº 6.819/86 de preservação e conservação de áreas verdes em Curitiba (Oliveira, 2001).

Os demais usos observados como solo exposto, urbanização mista, vegetação exótica, áreas de várzea sofrem variações negativas ao longo do processo de urbanização, ou seja, de consolidação da malha urbana.

Na tabela 12 estão representadas as variações das áreas (hectares) referentes as mudanças do uso do solo em cada região.

Tabela 12: Mudanças no uso do solo das regiões

Região	área em ha/ano			taxa de variação da área (%)			variação da área (ha)			
	uso do solo	1986	1999	2002	1986/1999	1999/2002	1986/2002	1986/1999	1999/2002	1986/2002
R1	água	3.42	7.11	4.14	107.89	-41.77	21.05	3.69	-2.97	0.72
	campo	576.03	411.58	87.03	-28.55	-78.85	-84.89	-164.45	-324.55	-489
	solo exp	650.15	434.52	441.00	33.17	1.49	-32.17	-215.63	6.48	-209.15
	urb	3737.72	4229.28	5190.30	13.15	22.72	38.86	491.56	961.02	1452.58
	urb_con	350.73	370.62	375.39	5.67	1.29	7.03	19.89	4.77	24.66
	urb_mista	1331.46	1154.52	602.05	-13.29	-47.85	-54.78	-176.94	-552.47	-729.41
	urb_veg	2482.02	2448.51	2096.69	-1.35	-14.37	-15.52	-33.51	-351.82	-385.33
	várzea	6.84	5.24	4.59	-23.39	-12.40	-32.89	-1.6	-0.65	-2.25
	veg_exótica	76.05	69.12	61.65	-9.11	-10.81	-18.93	-6.93	-7.47	-14.4
vegetação	1621.60	1705.70	1973.20	5.19	15.68	21.68	84.1	267.5	351.6	
R2	água	31.50	234.45	233.38	644.29	-0.46	640.89	202.95	-1.07	201.88
	campo	803.34	608.85	222.03	-24.21	-63.53	-72.36	-194.49	-386.82	-581.31
	solo exp	196.74	316.44	608.49	60.84	92.29	209.29	119.7	292.0499	411.7499
	urb	1458.83	1570.60	1622.64	7.66	3.31	11.23	111.77	52.04	163.81
	urb_con			84.50						84.5
	urb_mista	868.86	671.86	641.78	-22.67	-4.48	-26.14	-197	-30.08	-227.08
	urb_veg	75.06	129.63	134.08	72.70	3.43	78.63	54.57	4.45	59.02
	várzea	8.82	5.73	0.00	-35.03	-100.00	-100.00	-3.09	-5.73	-8.82
	veg_exótica	156.51	42.75	45.72	-72.69	6.95	-70.79	-113.76	2.97	-110.79
vegetação	1259.10	1278.40	1265.50	1.53	-1.01	0.51	19.3	-12.9	6.4	
R3	água	6.66	0.36	0.00	-94.59	-100.00	-100.00	-6.3	-0.36	-6.66
	campo	394.00	155.88	7.38	-60.44	-95.27	-98.13	-238.12	-148.5	-386.62
	solo exp	106.38	398.87	454.30	274.95	13.90	327.05	292.49	55.43	347.92
	urb	846.39	1856.16	2551.60	119.30	37.47	201.47	1009.77	695.44	1705.21
	urb_con			68.04						68.04
	urb_mista	302.40	123.81	67.77	-59.06	-45.26	-77.59	-178.59	-56.04	-234.63
	urb_veg	1997.51	1274.94	664.83	-36.17	-47.85	-66.72	-722.57	-610.11	-1332.68
	várzea									
	veg_exótica	161.55	7.02	4.84	-95.65	-31.05	-97.00	-154.53	-2.18	-156.71
vegetação	163.70	161.10	159.80	-1.59	-0.81	-2.38	-2.6	-1.3	-3.9	

Observa-se que em todas as regiões ocorre um aumento significativo da área urbana (Figura 22). Na região R1 registra-se um aumento de 38,86% no período total analisado, enquanto que, na região R2 esse aumento foi de apenas 11,23%. Comparativamente, na região R3, o aumento da área urbana foi demasiadamente superior, correspondendo a 119,30% no primeiro período analisado (1986/1999) e 37,47% no período seguinte (1999/2002), totalizando um aumento de cerca de 201,47% entre 1986 e 2002.

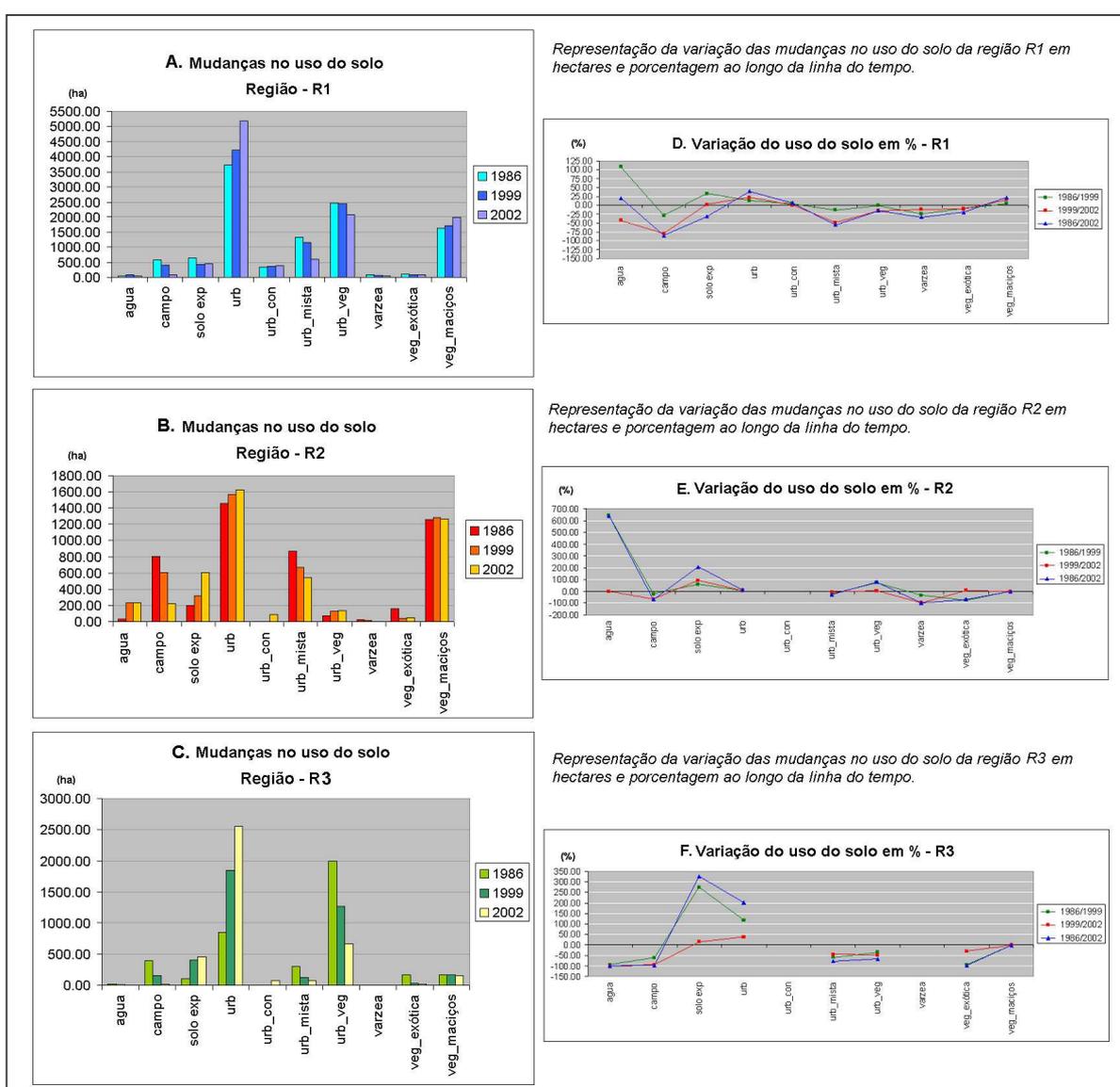


Figura 22: Mudanças no uso do solo das regiões

Na tabela 13 estão relacionadas as zonas urbanas presentes na região R1. Esta região se configura pela presença das zonas residenciais, zonas e setores especiais, zonas de serviços, pela presença da zona central (onde se localiza o centro tradicional da cidade), zona comercial do bairro Santa Felicidade (turístico), zona de transição da BR116 (rodovia que atravessa o município) e uma pequena parcela da APA do Iguaçu.

Tabela 13: Zonas urbanas da região R1

Zonas Urbanas na região R1	
Categoria	Descrição
Zonas Residenciais	ZR-1 (baixíssima densidade), ZR-2 (baixa densidade), ZR-3 (média densidade) e ZR-4 (média-alta densidade), ZR-OC (Zona Residencial de Ocupação Controlada), ZR-AG (Zona Residencial Alto da Glória), ZR-SF (Zona Residencial Santa Felicidade)
Zonas e Setores Especiais	ZE-M (Zona Especial Militar), ZE-D (Zona Especial Desportiva) ZE-E (Zona Especial Educacional), SE-CB (Setor Especial - Eng. Costa Barros), SEHIS (Setor Especial de Habitação Interesse Social), SE-CC (Setor Especial Centro Cívico), SE (Setor Especial Estrutural), SE-BR116 (Setor Especial da BR116), SE-AC (Setor Especial da Av. Presidente Affonso Camargo), SH (Setor Especial Histórico), SEI (Setor Especial Institucional), SE-MF (Setor Especial Marechal Floriano),
Zonas de Serviço, Zona Central, Zona de Transição e Setor Comercial	ZS-1(Zona de Serviço – menor porte), ZC (Zona Central), ZT-BR116 (Zona de Transição – BR116), SC-SF (Setor Comercial Santa Felicidade).
APA do Iguaçu	Área de Proteção Ambiental do Iguaçu (apenas uma pequena parcela da APA se localiza nessa região)

Fonte: IPPUC 2002 (organizado por Young, 2004)

Como é possível notar, se trata de uma região com características extremamente diversificadas em termos de uso e ocupação do solo e demandas associadas, variando desde setores institucionais e turísticos (incluindo parques e parte da APA do Iguaçu), passando por comércio e serviços até culminar em zonas residenciais. É interessante ressaltar que essas zonas se integram de modo que não apresentam uma estrutura formal estanque (no sentido da configuração espacial), favorecendo a vitalidade dinâmica dos espaços urbanos, fundamental no processo de consolidação do traçado original proposto através do planejamento da malha urbana.

De acordo com a tabela 14, a região R2 é constituída pelas zonas industrial, de transição, serviços, residencial, de contenção (APA Passaúna), zona de uso misto e alguns setores especiais diferenciados. Se comparada à região R1, esta região apresenta uma diversidade de usos menor, mais direcionada para a atividade industrial e de proteção ambiental, devido a presença da APA do Passaúna; e com baixa densidade residencial.

Tabela 14: Zonas urbanas da região R2

Zonas Urbanas na região R2	
Categoria	Descrição
Zona Industrial, Zona de Transição, Zonas de Serviços	ZI (Zona Industrial), ZT-NC (Zona de Transição Nova Curitiba), ZS-1 (Zona de serviço – menor porte), ZS-2 (Zona de Serviço – maior porte), ZES (Zonas de Serviços da CIC dentro da APA do Passaúna)
Setores Especiais	SE-NC (Setor Especial Nova Curitiba), SEHIS (Setor de Habitação de Interesse Social), SE-OI (Setor Especial de Ocupação Integrada), CONEC-2 (Setor Especial Conector), SE-PS (Setor Especial Pólo de Software)
Zona Residencial, de Contenção e Uso Misto	ZR-2 (Zona Residencial – baixa densidade), Z-COM (Zona de contenção – APA Passaúna), ZUM (Zona de Uso Misto)

Fonte: IPPUC 2002 (organizado por Young, 2004)

A região R3, por se tratar de uma parcela representativa da região extremamente urbana do município, apresenta características peculiares como escassez de áreas de vegetação e de áreas com presença de água (reservatórios, lagos, áreas de proteção de mananciais). Como observado na tabela 12, nessa região ocorreu uma diminuição progressiva das áreas de vegetação, vegetação exótica, campo, urbanização com vegetação e água.

Essa região R3 se configura atualmente pela conjugação das zonas residenciais, de serviços (de maior porte), setores estruturais e de transição, incluindo o setor do Linhão do Emprego, e finalmente uma pequena parcela da zona industrial (Tabela 15).

A presença do Linhão do Emprego também atribui a essa região uma característica peculiar, pois é constituída por área de ocupação mista com predominância de atividades de

comércio, prestação de serviços e pequena indústria voltada à vocação comercial da região com incentivos à geração de emprego e renda.

Tabela 15: Zonas urbanas da região R3

Zonas Urbanas na região R3	
Categoria	Descrição
Zonas Residenciais	ZR2 (baixa-densidade), ZR3 (média densidade) e ZR4 (média-alta densidade)
Zonas de Serviço e Industrial	ZS-2 (Zona de Serviços de maior porte) ZI (Zona Industrial)
Setores Especiais	SEHIS (Setor Especial de Habitação de Interesse Social), SE-LE (Setor Especial Linhão Emprego), SE-BR116 (Setor Especial da BR116), SE (Setor Especial Estrutural), SE-MF (Setor Especial da Marechal Floriano), ZT-MF (Zona de Transição da Marechal Floriano) e CONEC 1 e 2 (Setores Conectores).

Fonte: IPPUC 2002 (organizado por Young, 2004)

Na Figura 23 é possível observar os diferentes padrões de configuração espacial relacionados ao parcelamento do solo presentes em cada região.

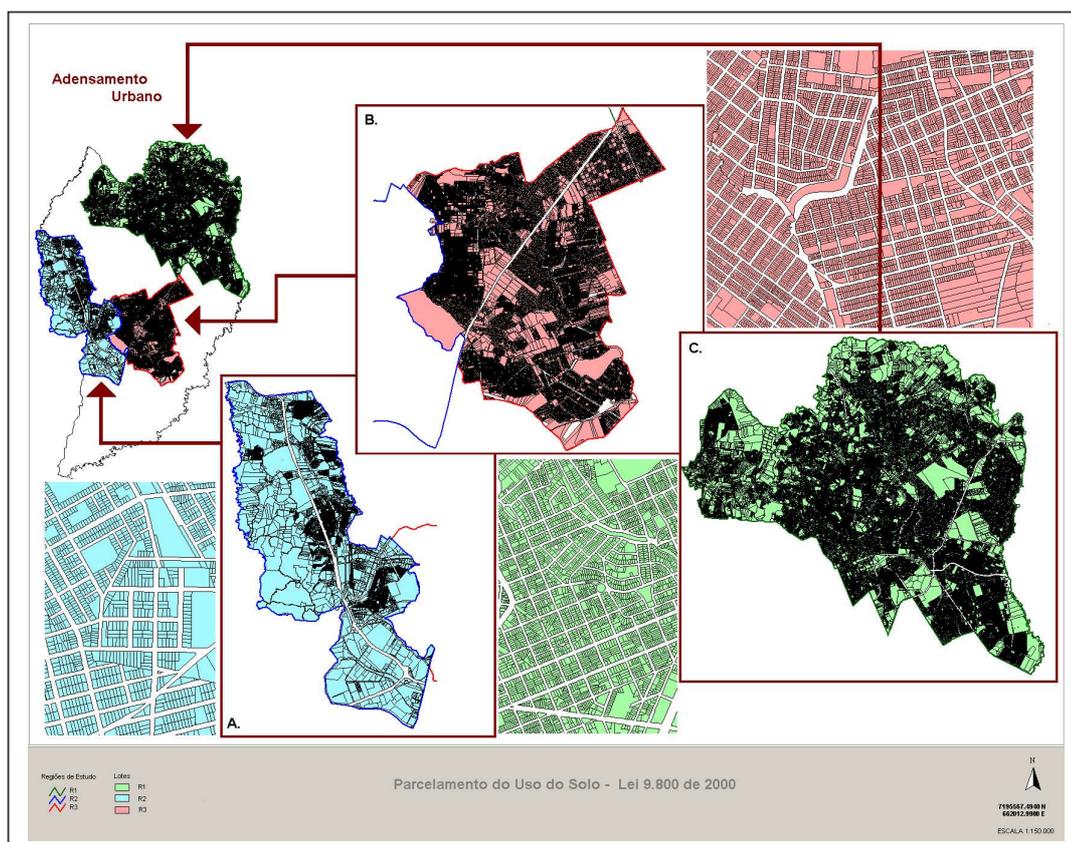


Figura 23: Parcelamento do solo nas regiões R1, R2 e R3

Observa-se a partir do traçado urbano que as regiões R1 (Figura 23C) e R3 (Figura 23B) apresentam densidades urbanas superiores à da região R2 (Figura 23A), uma vez que, o parcelamento do solo é mais concentrado devido ao fato de possuírem lotes com dimensões menores que os da região R2.

Obviamente, essa realidade não é homogênea por toda a extensão dessas regiões, devendo ser considerados fatores tais como, taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento, número de pavimentos, entre outros. Embora as regiões apresentem dimensões territoriais distintas, ainda assim, basicamente, analisando o desenho da malha urbana é possível notar diferenças significativas entre regiões no que se refere à configuração espacial.

Analisando em termos populacionais, como se pode observar na Tabela 16, a região que mais cresceu foi a região R2, em torno de 8,79% a.a no primeiro período analisado, 3,69% a.a. no período seguinte, totalizando cerca de 6,46% a.a. no período completo de 20 anos.

Tabela 16: População Total e Taxa de Crescimento populacional de cada região

Anos	Período analisado	Região R1		Região R2		Região R3	
		População Total (abs. a.)	Taxa Cresc. ¹⁰ (% a.a)	População Total (abs. a.)	Taxa Cresc. ¹⁰ (% a.a)	População Total (abs. a.)	Taxa Cresc. ¹⁰ (% a.a)
1980	1980/1991	441.553	1,38	47.485	8,79	184.024	2,35
1991	1991/2000	513.501	0,85	119.972	3,69	237.709	2,84
2000	1980/2000	553.971	1,14	166.192	6,46	305.882	2,57

Fontes: IBGE (Censos de 1980, 1991 e 2000); IPPUC (2003); organização Young (2004)

As demais regiões R1 e R3 apresentaram crescimentos inferiores, respectivamente, em torno de 1,14% a.a. e 2,57% a.a. no período total analisado. No caso da região R1 houve um decréscimo da taxa no período compreendido entre 1991 e 2000 (1,38% a.a. para 0,85% a.a.); sendo que, na região R3 houve um aumento da taxa, que passou de 2,35% a.a. no primeiro período (1980/1991) para 2,84% a.a. no período seguinte (1991/2000).

Apesar disso, em termos absolutos a região mais populosa é a região R1, seguida pela região R3 e finalmente a R2; de certa forma, coincidindo com a configuração espacial descrita anteriormente.

O bairro mais populoso da Região R1 é o Cajuru. A Cidade Industrial constitui o bairro mais populoso da região R2, sendo que, na região R3 o bairro denominado Sítio Cercado apresenta o maior número de habitantes (Figura 24).

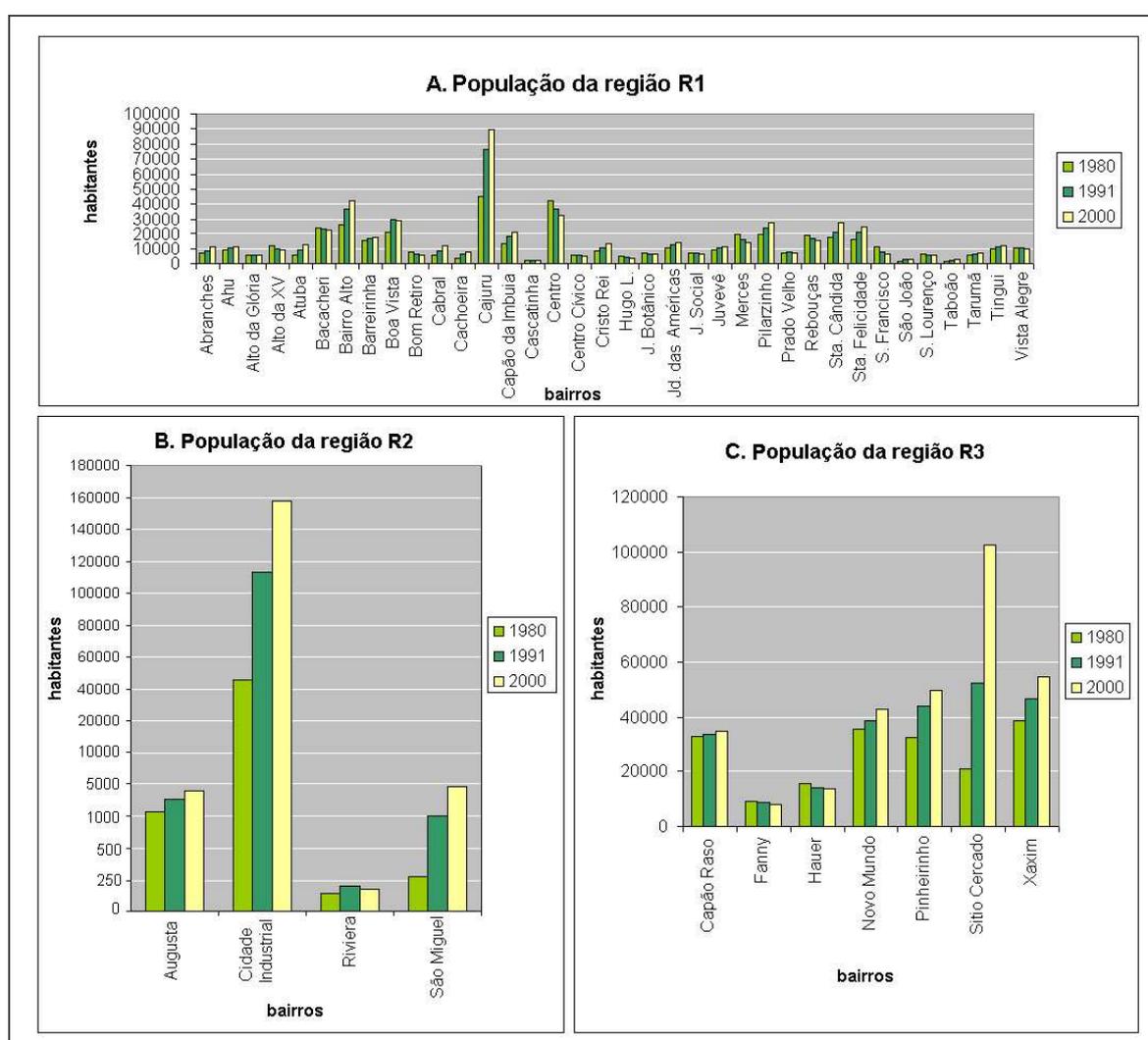


Figura 24: População absoluta por bairro em de cada região

Segundo o IBGE (Censo 1980), os bairros Cajuru, Cidade Industrial e Sítio Cercado são desde a década de 80, os mais populosos da cidade, e também os que apresentam maior número de domicílios e habitantes em áreas irregulares e/ou aglomerado subnormal¹, segundo os levantamentos realizados tanto pelo IBGE no Censo de 2000, quanto pelo IPPUC (2002).

Quando se comparam dados sobre o tamanho da população com o crescimento da área urbana, é possível notar, nas três regiões, que o crescimento populacional acompanha a tendência de crescimento da malha urbana (Figura 25).

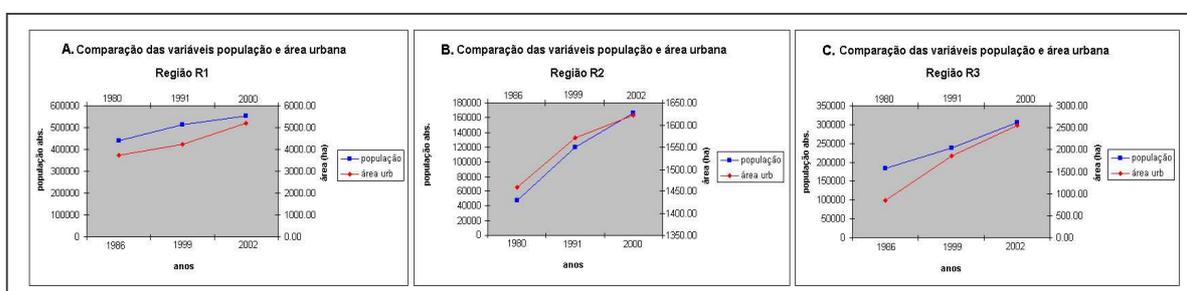


Figura 25: Comparação das variáveis população e área urbana

Por outro lado, ao se comparar com as áreas de vegetação, observam-se situações distintas em cada região, conforme demonstrado na tabela 17.

Tabela 17: População total, área de vegetação e área urbana em cada região

Anos Censo	Anos Imag Satél.	Região R1				Região R2				Região R3			
		Pop. abs	Área urb.	Área veg.	Var. veg. (%)	Pop. abs	Área urb.	Área veg.	Var. veg. (%)	Pop. abs	Área urb.	Área veg.	Var. veg. (%)
1980	1986	441.553	3737,72	1621,60	5,19	47.485	1458,83	1259,10	1,53	184.024	846,39	163,70	-1,59
1991	1999	513.501	4229,28	1705,70	15,68	119.972	1570,60	1278,40	-1,01	237.709	1856,16	161,10	-0,81
2000	2002	553.971	5190,30	1973,20	21,68	166.192	1622,64	1265,50	0,51	305.882	2551,60	159,80	-2,38

Fonte: IBGE – Censos 1980, 1991 e 2000; organização Young (2004)

Na região R1, é possível notar que população aumentou progressivamente nos três anos (1,14% a.a. no total) e que as áreas de vegetação também aumentaram, com uma variação em torno de 5,19% no primeiro período e 15,68% no período seguinte (Figura 26A).

¹ Aglomerados subnormais: ocupação em terrenos de propriedade alheia com favelas e assemelhados dispostos de forma desordenada e densa, carentes, em sua maioria, de serviços públicos essenciais (IPPUC, 2002).

Na região R2 houve um aumento significativo da população, conforme mencionado anteriormente, e uma diminuição da área de vegetação no período compreendido entre 1999 e 2000 (em torno de $-1,01\%$ ou 12,9 ha). Apesar disso, a variação das áreas de vegetação, no período compreendido entre 1986 e 2002, foi positiva ($0,51\%$) (Figura 26B).

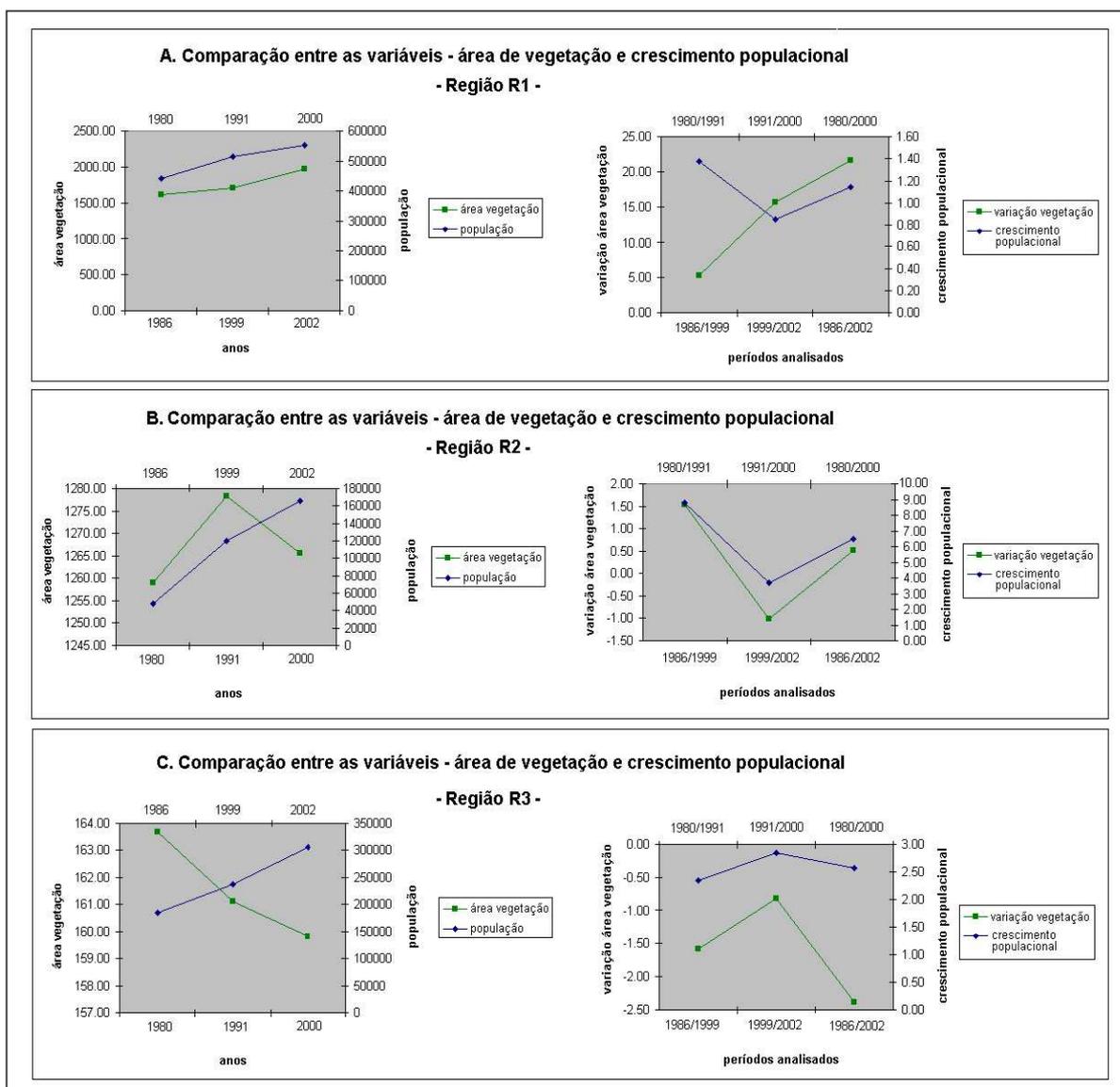


Figura 26: Representação dos dados de população e vegetação entre regiões

A região R3 apresenta uma realidade completamente diferente das anteriores (Figura 26C), a população sofreu aumentos progressivos no período compreendido entre 1980 e 2000, enquanto que, as áreas de vegetação sofreram diminuições significativas por causa dos avanços territoriais da malha urbana; em torno de $-1,59\%$ (1986/1999) e $-0,81\%$ (1999/2002), totalizando uma variação negativa de $-2,38\%$ para o período todo (1986/2002).

Em termos habitacionais, de modo geral, houve um aumento do número de domicílios em todas as regiões. Embora não exista relação direta, ocorreu também uma queda do número médio de habitantes por domicílio ao longo dos anos, conforme se observa na Tabela 18.

Tabela 18: Número de domicílios e média de habitantes por domicílio por região

Ano	Região R1		Região R2		Região R3	
	Num. dom.	Média Hab/dom	Num. dom.	Média Hab/dom	Num. dom.	Média Hab/dom
1980	108.876	4,06	9.790	4,85	40.354	4,56
1991	148.283	3,46	29.729	4,03	61.226	3,88
2000	171.483	3,23	46.194	3,59	87.005	3,51

Fonte: IBGE - Censos 1980, 1991 e 2000; organização Young (2004)

Assim sendo, comparando o número de domicílios com a projeção da área urbana é possível constatar um aumento progressivo da área urbana e, paralelamente, um crescimento significativo do número de domicílios nas três regiões (Figura 27).

Em contrapartida, situações distintas entre regiões são registradas quando se compara com as áreas de vegetação. Na região R1, por exemplo, foram registrados aumentos tanto do número de domicílios como das áreas de vegetação (Figura 27A).

Já na região R2, ocorreu um crescente aumento da área urbana e do número de domicílios em todo o período, sendo que, as áreas de vegetação apresentaram uma diminuição, com uma variação negativa de $-1,01\%$ no período compreendido entre 1999 e 2002 (Figura 27B). A região R3, por sua vez, sofreu um aumento do número de domicílios e uma diminuição das áreas de vegetação, coincidindo com a expansão da área urbana (Figura 27C).

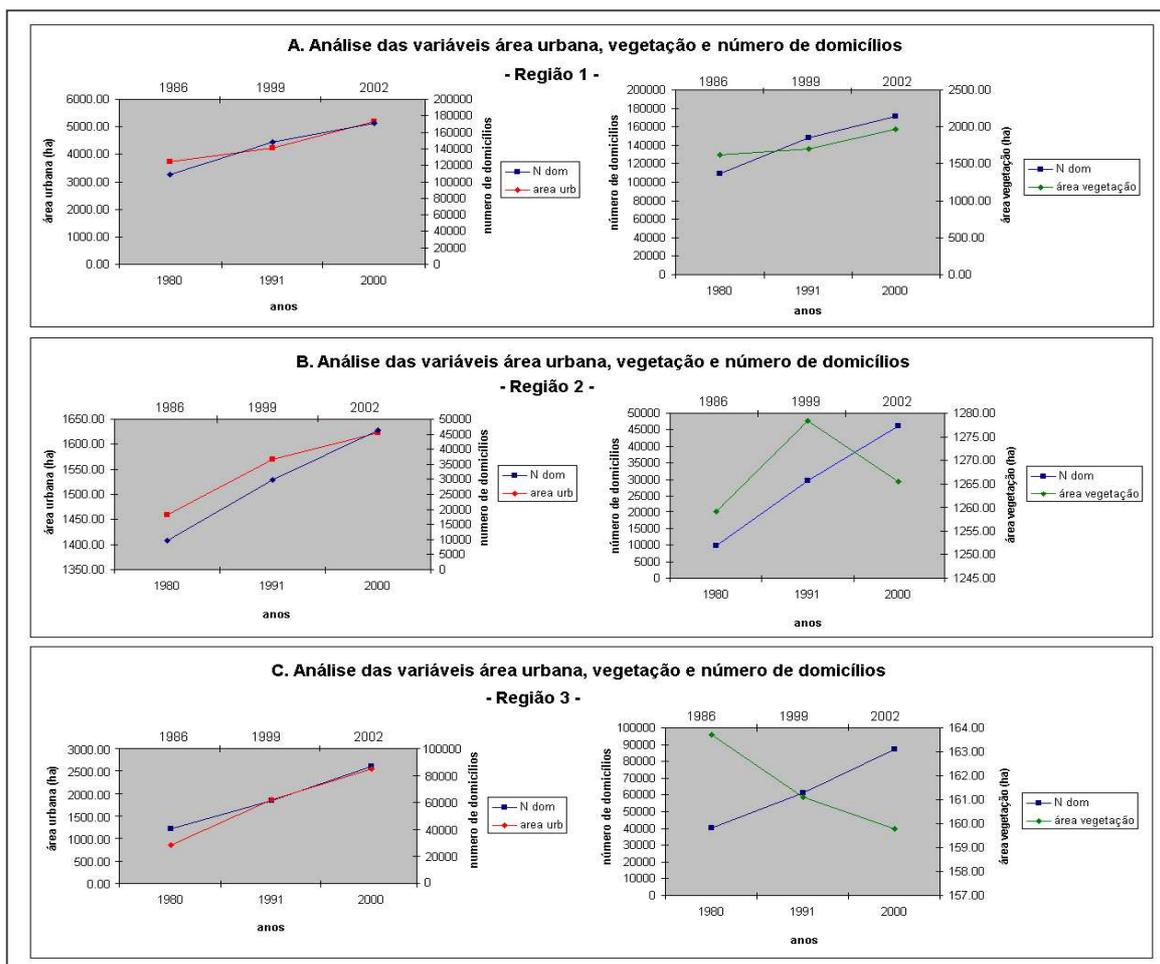


Figura 27: Comparação do número de domicílios com as projeções de área urbana e vegetação

Os dados relativos à alfabetização e nível educacional (anos de estudo), ainda que precários para uma análise mais profunda das condições de vida da população dessas regiões, revelaram, em geral, que houve uma tendência de melhoria dos níveis de alfabetização e educação no período analisado (Tabelas 19 e 20).

Tabela 19: População residente de 5 anos ou mais por alfabetização

Região	Anos					
	1980		1991		2000	
	Pop. alfab.	Represent. %	Pop. alfab.	Represent. %	Pop. alfab.	Represent. %
R1	327.733	74,22	413.537	80,53	502.663	90,74
R2	-	-	65.958	54,97	137.024	82,44
R3	27.187	14,77	166.395	69,99	259.057	84,69

Obs: Representatividade = (pop. alfab./ pop. abs) * 100

Constata-se ausência de dados em 1980 nas regiões R2 e R3 (dados indisponíveis sobre diversos setores censitários)

Fonte: IBGE – Censos de 1980, 1991 e 2000; organização Young (2004)

Tabela 20: Representatividade em % das categorias de anos de estudo por chefe de domicílio

Anos de Estudo	Região R1				Região R2				Região R3			
	1991	%	2000	%	1991	%	2000	%	1991	%	2000	%
s/ ins m 1 ^a	6.485	4.81	5.355	3.13	2.235	10.00	3.046	6.67	4.119	7.98	4.583	6.79
1 a 3 anos	13.356	9.91	13.720	8.02	3.966	17.75	6.387	13.98	8.905	17.26	11.132	16.49
4 a 7 anos	34.019	25.24	34.496	20.15	8.453	37.84	15.678	34.31	18.731	36.30	27.866	41.29
8 a 10 anos	19.451	14.43	24.316	14.21	3.977	17.80	9.189	20.11	8.242	15.97	16.712	24.76
11 a 14 anos	33.824	25.10	51.393	30.02	3.334	14.92	10.115	22.14	9.170	17.77	2.141	3.17
15 a ou mais	27.639	20.51	41.898	24.48	374	1.67	1.277	2.79	2.440	4.73	5.057	7.49
Ignorado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total de chefes	134.774	100.0	171.178	100.0	22.339	100.0	45.692	100.0	51.607	100.0	67.491	100.0

Obs: s/ inst.m 1a = sem instrução e menos de um ano

Fonte: IBGE – Censos de 1991 e 2000; organização Young (2004)

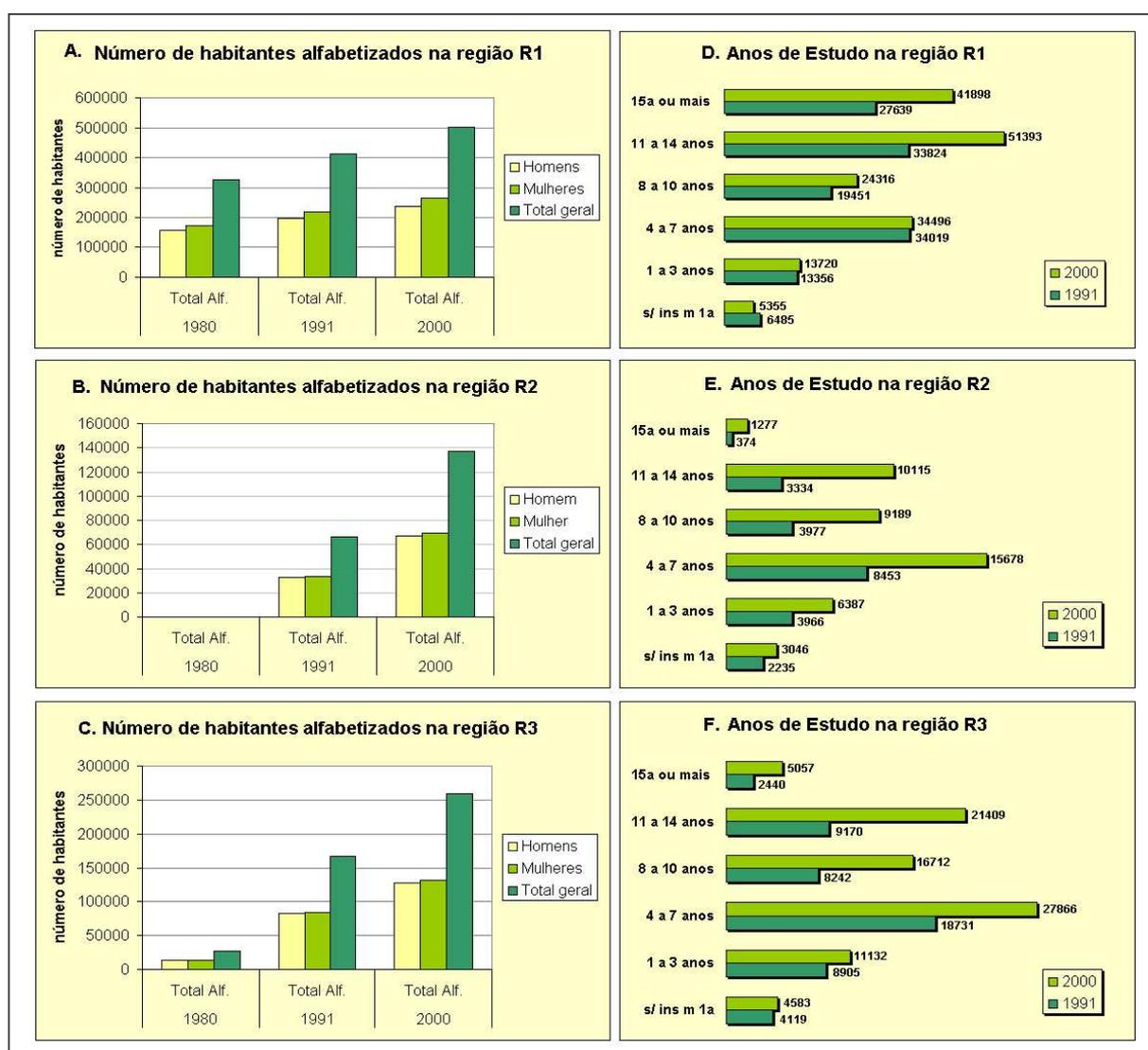


Figura 28: Representação dos dados de alfabetização e anos de estudo por região

Observa-se que, na região R1 (Figura 28A) ocorreu uma melhoria significativa dos níveis de alfabetização entre 1980 e 2000. O número de pessoas alfabetizadas representava cerca de 74,22% da população total da região em 1980, passando para 80,53 % em 1991 e 90,74% em 2000.

Nota-se também uma melhora relacionada ao nível educacional da região (anos de estudo). Houve uma redução dos menos instruídos, passando de 4,81% (em 1991) para 3,13% (2000) do total de responsáveis por domicílio. A melhor situação nessa região se refere aos chefes de domicílio com mais de 11 anos de estudo, seguida pela categoria dos chefes de domicílio com mais de 15 anos de estudo (Figura 28D).

Embora a região R2 não disponha de dados referentes ao ano de 1980, pode-se observar que entre 1991 e 2000 ocorreu uma mudança significativa do número de habitantes alfabetizados na região (Figura 28B), passando de 54,97% para cerca de 82,44% do total de habitantes (Tabela 19).

Com relação aos dados referentes à quantidade de anos de estudo, merece destaque o fato de que houve um aumento do número de pessoas sem instrução, que passou de 2.235 para 3.046 habitantes, provavelmente, provocado pelo aumento do número de habitantes e, principalmente, pelas ocupações de áreas irregulares (aglomerados subnormais) por habitantes de baixa renda, mencionadas anteriormente. Apesar disso, em 2000 houve uma melhora significativa da faixa que engloba de 4 a 7 anos de estudo, seguida pelas faixas de 11 a 14 anos e 8 a 10 anos (Figura 28E).

Apesar da precariedade dos dados de 1980 referentes à alfabetização da população na região R3, foi observada uma melhora significativa do número de habitantes alfabetizados, principalmente, entre 1991 e 2000. Com relação ao nível educacional dessa região, também houve um aumento do número de pessoas sem instrução. Além disso, foi verificadas uma

tendência de crescimento da faixa dos chefes de domicílios com 4 a 7 anos de estudo, seguida pelas faixas dos chefes com 11 a 14 anos de estudo e 8 a 10 anos de estudo (Figura 28F).

Comparativamente, a região R1 possui níveis educacionais e de alfabetização superiores aos das regiões R2 e R3, uma vez que, se trata de uma região de nível educacional mais elevado, com porcentagens mais altas em faixas de anos de estudo de níveis mais elevados. A região R3 viria em seguida, com números expressivos de chefes de domicílio acima de 4 anos de estudo; e finalmente a região R2, também com números expressivos acima de 4 anos de estudo.

Outro importante fator a ser considerado é a distribuição de renda por chefes de domicílio. Neste caso, a atenção não foi dada apenas para o número de chefes por faixa de renda, mas para a associação dessas faixas com o crescimento da malha urbana e, conseqüentemente, com a manutenção das áreas de vegetação, verificando a possibilidade de existência de uma relação entre nível de renda e variação das áreas de vegetação (Figura 29).

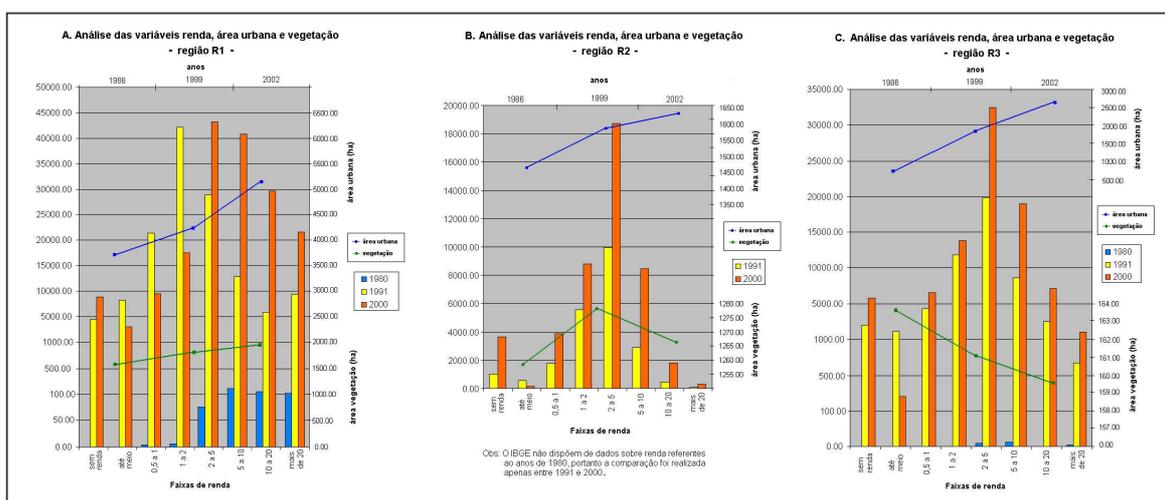


Figura 29: Relação entre faixas de renda, área urbana e de vegetação

Os dados da Tabela 21 demonstram ter ocorrido um aumento da renda nas três regiões, principalmente, da faixa de renda entre 2 a 5 salários mínimos.

Tabela 21: Faixas de renda por pessoa responsável por domicílio

Região	anos	Faixas de renda							
		sem renda	até meio sm	0,5 a 1 sm	1 a 2 sm	2 a 5 sm	5 a 10 sm	10 a 20 sm	mais de 20
R1	1980	-	-	5	3	73	159	123	110
	1991	4.465	8.212	21.445	42.176	28.895	12.869	5.838	9.384
	2000	8.895	3.072	9.483	17.488	43.232	40.769	29.645	21.601
R2	1991	1.004	562	1.754	5.558	9.971	2.890	435	65
	2000	3.665	136	3.871	8.802	18.733	8.468	1.803	302
R3	1980	-	-	-	-	11	14	-	3
	1991	1.753	1.481	4.331	11.846	19.902	8.649	2.876	668
	2000	5.825	183	6.511	13.823	32.470	19.010	7.123	2.060

Fonte: IBGE – Censos 1980, 1991 e 2000; organização Young (2004)

Na região R1 o aumento dessa faixa de renda (de 2 a 5 s.m.), principalmente em 2000, foi seguido pelo crescimento das faixas de renda de 5 a 10 s.m.; 10 a 20 e mais de 20 salários mínimos, respectivamente.

É interessante ressaltar que, entre 1991 e 2000, houve um aumento representativo do número de pessoas sem renda (99,21%). As demais faixas compreendidas entre os intervalos de até meio s.m.; meio a 1 s.m. e 1 a 2 s.m. sofreram diminuições, o que de certa forma é positivo, porque revela uma melhora no nível de renda da população dessa região. Essa região passou a ter um maior número de pessoas em faixas de renda de nível mais elevado.

Paralelamente, esse aumento de renda foi acompanhado pela expansão da área urbana e por um aumento significativo das áreas de vegetação. Como foi mencionado anteriormente, foram implantadas políticas de incentivo à preservação de áreas verdes e instalado um considerável número de parques urbanos; valorizando os terrenos e imóveis dessa região. A valorização dessa região provocou a atração de uma população com nível de renda mais elevado.

A região R2 caracterizada, essencialmente, pela presença da área industrial e da APA do Passaúna, sofreu um aumento expressivo da faixa de renda de 2 a 5 s.m. (entre 1991 e 2000). Esse aumento foi seguido pelas faixas de 5 a 10 s.m. e 1 a 2 s.m, respectivamente. Observou-se também que, entre 1991 e 2000, houve um aumento significativo do número de

chefes sem renda (265,04%). Assim sendo, no conjunto de observações sobre essa região, nota-se a presença de uma população de nível de renda menos elevado, principalmente se comparada com a região R1.

Como destacado anteriormente, o aumento progressivo da área urbana provocou uma redução das áreas de vegetação dessa região, evidenciado, principalmente, nos limites da APA do Passaúna durante os últimos anos (1999/2002), atraindo uma população de baixa renda, que se dirigiu para essa região em busca de opções de trabalho, emprego e prestação de serviços. A região, portanto, apresenta características urbanas peculiares (previstas no plano diretor e nas leis de zoneamento), que favoreceram esse tipo de ocupação.

Ao se comparar a região R3 com as demais regiões, observa-se em termos de faixa de renda, uma situação bem similar a da região R1, ou seja, um aumento da faixa de renda de 2 a 5 s.m., seguido pelo crescimento das faixas de renda de 5 a 10; 10 a 20 e mais de 20 salários mínimos, respectivamente. Também se observa um aumento do número de chefes sem renda em 2000, cerca de 232,28% em relação ao número observado em 1991.

Esse aumento de renda foi acompanhado pela expansão da área urbana e por um declínio das áreas de vegetação. Assim sendo, nota-se que durante o processo de consolidação da malha urbana, com a expansão das áreas comerciais e de serviços, houve um representativo aumento do nível de renda dessa região, porém em detrimento das áreas de vegetação, evidenciando, claramente, um conflito.

Cabe lembrar que essas observações sobre renda, expansão da área urbana e supressão das áreas de vegetação são complexas e demandariam outras análises conjuntas, principalmente, devido à constatação de níveis de renda discrepantes dentro e entre regiões.

Na Tabela 22 é apresentada uma síntese das mudanças ocorridas em cada região no período analisado.

Tabela 22: Síntese das transformações urbanas e populacionais ocorridas em cada região

Cenários (organizados hierarquicamente)	Traços característicos da evolução populacional	Características da expansão urbana	Ordenamento físico-territorial
R1	<p>Aumento progressivo da população absoluta. Foi caracterizada como a região mais populosa. O bairro mais populoso da região é o Cajuru (alvo de ocupações irregulares - aglomerados subnormais).</p> <p>Aumento do número de domicílios com diminuição do número de habitantes por domicílio ao longo do tempo.</p> <p>Melhoria do nível de alfabetização, com o atual índice de 90,74%.</p> <p>Melhoria do nível educacional (anos de estudo); com porcentagens atuais mais elevadas em faixas de anos de estudo de níveis mais altos; com redução dos menos instruídos.</p> <p>Aumento representativo do número de chefes sem renda (99,21%) entre 1991 e 2000; entretanto, com aumento do número de pessoas em faixas de renda de nível mais elevado.</p>	<p>Aumento significativo da área urbana (ocupação da antiga zona agrícola).</p> <p>Aumento significativo das áreas de vegetação (com implantação de parques urbanos).</p>	<p>Extremamente diversificada em termos de uso e ocupação do solo, variando desde setores institucionais e turísticos, passando por comércio e serviços até culminar em zonas residenciais.</p> <p>A Lei Municipal Nº 6.819/86 e Lei Municipal 8.353/93 de incentivos fiscais favoreceram a preservação de áreas verdes. Decreto nº 782/95 - as edificações podem ter altura superior à da zona do entorno com redução da taxa de utilização do terreno, garantindo a adequada preservação das áreas verdes.</p>
R3	<p>Aumento progressivo da população absoluta. Caracterizada como a segunda região mais populosa. O bairro mais populoso da região é o Sítio Cercado (também alvo de ocupações irregulares - aglomerados subnormais).</p> <p>Aumento do número de domicílios com diminuição do número de habitantes por domicílio ao longo do tempo.</p> <p>Melhoria do nível de alfabetização, com o atual índice de 84,69%.</p> <p>Aumento do número de pessoas sem instrução, entretanto, apresenta melhoria representativa do número de chefes de domicílio com 4 a 7 anos de estudo.</p> <p>Aumento representativo do número de chefes sem renda (232,28%) entre 1991 e 2000; entretanto, com aumento do número de pessoas em faixas de renda de nível mais elevado.</p>	<p>Aumento significativo da área urbana (zona intra-urbana).</p> <p>Diminuição progressiva das áreas de vegetação.</p>	<p>Conjugação das zonas residenciais, de serviços (de maior porte), setores estruturais e de transição, incluindo o setor do Linhão do Emprego e pequena parcela da zona industrial.</p> <p>Predominância de atividades de comércio e prestação de serviços.</p>
R2	<p>Aumento progressivo da população absoluta. Caracterizada como a terceira região mais populosa. O bairro mais populoso da região é a Cidade Industrial (também alvo de ocupações irregulares - aglomerados subnormais).</p> <p>Aumento do número de domicílios com diminuição do número de habitantes por domicílio ao longo do tempo.</p> <p>Melhoria do nível de alfabetização, com o atual índice de 82,44%.</p> <p>Aumento do número de pessoas sem instrução, entretanto, apresenta melhoria do número de chefes de domicílio com 4 a 7 anos de estudo.</p> <p>Aumento representativo do número de chefes sem renda (265,04%) entre 1991 e 2000; presença de uma população de nível de renda menos elevado.</p>	<p>Aumento significativo da área urbana (zona industrial).</p> <p>Aumento da área de vegetação no primeiro período (1986/1999) seguido por diminuição no período seguinte (1999/2002).</p>	<p>Apresenta uma diversidade de usos menor, mais direcionada para a atividade industrial.</p> <p>Apresenta baixa densidade residencial.</p> <p>Presença significativa da APA do Passaúna – área proteção ambiental.</p>

Assim sendo, resumidamente, a região R1 se configurou como uma das regiões mais populosas; com maior número de domicílios; maior nível de renda e educação, onde a expansão urbana seguiu uma lógica baseada na preservação das áreas de vegetação remanescentes, ainda que, como forma de valorização imobiliária dos espaços urbanos.

A região R3, por outro lado, apresentou melhorias no número de domicílios, nos níveis de renda e educação, entretanto, a expansão urbana dessa região suprimiu, praticamente, toda as áreas de vegetação remanescentes, gerando um conflito, principalmente, se considerada a relação “custo x benefício” (aumento dos custos de vida) em detrimento do conforto ambiental (equilíbrio termo-acústico; retenção da poluição; lazer social; entre outros aspectos, que envolveriam a preservação da vegetação e, conseqüentemente, da saúde populacional).

Por último a região R2 viria como a região que, comparativamente, apresentaria conflitos ainda mais evidentes, pois se trata de um território ocupado por uma população com menor nível de renda e educação, em uma área constituída como zona industrial e que possui uma área de proteção ambiental (APA do Passaúna). Esses três aspectos conjugados desafiam a manutenção da integridade dessa região, principalmente, das áreas ao redor da APA, pois é obvio que a atração desse tipo de população é provocada pela presença da zona industrial, que deverá constantemente dificultar os propósitos de conservação das áreas de vegetação. Essa população que vem em busca de oportunidades, deseja sobreviver num território que ofereça as melhores condições de vida, como qualquer outra população, não importando se para isso tenha que competir com as condições ambientais pré-existentes, sensíveis ou não.

7. Síntese das análises

Numa visão integrada dos elementos relacionados ao ecossistema urbano de Curitiba foram organizados alguns aspectos considerados importantes referentes às funções ambientais do zoneamento urbano que refletiram diretamente nos resultados da pesquisa.

Considerando o grande número de funções ambientais e a enorme variedade de características ambientais (componentes do meio e processos naturais), seria praticamente impossível produzir, em pouco tempo, uma matriz que incluísse e detalhasse todas as interações entre as características e funções ambientais de cada região estudada. Seriam necessários alguns anos a mais de pesquisa. Assim sendo, para se ter uma idéia rápida das características ambientais de cada região e prováveis funções do zoneamento urbano previsto foi elaborada uma espécie de tabela síntese (Tabela 23), com intuito de auxiliar da melhor forma possível esse entendimento.

Tabela 23: Principais funções ambientais do zoneamento urbano de cada região

Região	Características Espaciais / Ambientais Preeminentes	Funções ambientais do zoneamento			
		Regulação (processos ecológicos)	Suporte (infra-estrutura)	Produção	Informação
R1	Expressiva concentração de áreas verdes (parques urbanos, reservas, etc.); Áreas densamente ocupadas, principalmente, nos setores especiais de adensamento	Parques e a APA do Iguaçu	Setores Residenciais Setores Comércio e Serviços Setores do sistema viário		Parques e APA do Iguaçu Zona Especial Educacional Setor Especial Histórico
R2	Expressiva concentração de área verde (APA Passaúna); Presença área industrial como agente indutor de crescimento	APA do Passaúna Reservatório do Passaúna	Setores Residenciais Setores Comércio e Serviços Setores do Sistema viário Setores E. Conectores	Setor Industrial	APA do Passaúna
R3	Expressiva concentração de áreas densamente ocupadas; Ausência de cobertura vegetal		Setores Residenciais Setores Comércio e Serviços Setor Linhão Emprego Setores do sistema viário Setores E. Conectores		

Obs: Para as funções acima estabelecidas seguiu-se a definição teórica de Groot (1992)

Através das análises dos capítulos anteriores foi possível identificar que cada região possui uma organização espacial peculiar, resultando em estruturas completamente distintas. Na tabela 23 observa-se que as funções do zoneamento entre regiões são variáveis e dependem fundamentalmente da estrutura espacial, que por sua vez, foi definida com base na estrutura ambiental pré-existente.

Obviamente que essas estruturas e funções definiram arranjos que acabaram por repercutir nos índices de vegetação identificados durante o processo de mapeamento das superfícies e, conseqüentemente, nos diferenciais de temperatura da superfície. Do mesmo modo, as características populacionais de cada região estão diretamente ligadas a esses arranjos, como conseqüência do processo de espacialização e de definição funcional de cada elemento presente nas diferentes estruturas espaço-ambientais.

As interações entre os elementos de cada região também são regidas por esses arranjos, dependendo da presença ou ausência de conectividade entre estes, das funções desempenhas por cada um desses elementos e das relações de interdependência, gerando conexões que em muitos casos foram previstas pelo planejamento urbano de Curitiba, mas que em outros, foram subestimadas e acabaram por moldar estruturas ambientais incompatíveis com o Plano Diretor e extremamente impactantes.

Assim sendo, observa-se que na região R1 a interação entre os elementos (ex: áreas residências, parques, setores históricos, comerciais e de serviços) é maior do que na região R2, onde existiria “aparentemente” uma incompatibilidade de funções entre elementos distintos (APA do Passaúna e Cidade Industrial), mas que na verdade, necessitariam apenas especificações mais detalhadas quanto ao uso para garantir maior integração entre esses elementos, compensando as diferentes funções (através dos fluxos de energia de entrada e

saída que perpassam por cada um deles), auxiliando o funcionamento do sistema e evitando desajustes acentuados como aqueles causados pelas ocupações clandestinas e ocupações desordenadas.

Na realidade, desde o início do processo de planejamento da região industrial, o poder público considerou o fato de que a maior parte das indústrias da RMC estariam localizadas a oeste do centro de Curitiba e que com a predominância dos ventos a leste, na maioria das vezes as emissões industriais estariam sendo levadas para fora (a jusante) de Curitiba, sendo que a APA auxiliaria no processo de dissipação dessas emissões. No entanto, desconsiderar, mesmo que temporariamente, a presença da BR-277 associada à necessidade de implantação de moradias de baixa renda nessa região, foi prejudicial ao funcionamento do sistema, comprometendo, principalmente, a função da APA, ou seja, de preservação ambiental.

Na região R3 a interação entre os elementos da malha urbana é mais evidenciada (setores de residenciais, comércio e serviços / Linhão do Emprego), entretanto, incompatível com o equilíbrio do sistema, por causa da ausência de vegetação e água (fatores ligados à impermeabilização do solo) e das características topográficas. Por esse motivo, essa região se caracteriza por ser uma região sujeita a extremos de temperatura (com oscilações extremas), com baixa umidade relativa do ar (principalmente no inverno) e, sujeita a altos índices de poluição atmosférica e sonora, entre outros aspectos.

De modo geral, observa-se que em Curitiba o fenômeno das ilhas de calor é mais evidente nos eixos estruturais onde a concentração urbana é maior devido aos estímulos provocados pela seqüência de zoneamentos propostos ao longo dos anos, uma vez que, essas regiões, praticamente, se configuram como subcentros onde prevalece a concentração de um número elevado de pessoas por causa dos setores de comércio e serviço implantados.

A presença da zona industrial na R2 e dos setores comerciais da região R3, por exemplo, caracterizam o aumento da demanda por energia, evidenciando a entrada de um fluxo maior de energia nesses sistemas do que em outras regiões do município onde a malha urbana é permeada por diferentes usos e, principalmente, por vegetação (presença de parques urbanos, áreas verdes protegidas, entre outros).

Embora na região R2 a APA do Passaúna tenha a função de contrabalançar essa reação do sistema, seu formato linear de caráter concentrado (não distribuído pela superfície como um todo) expressa uma certa perda da relação da unidade com o todo, como numa totalidade orgânica. Já na região R3, a malha urbana apresenta-se como uma estrutura extensa e conectada, desempenhando um papel dominante no funcionamento (fluxos de energia e matéria) da paisagem.

Acredita-se que, esses aumentos dos fluxos de entrada de energia, quando não previstos, deveriam ser considerados disfunções de projeto, principalmente, se detectados desequilíbrios no sistema. Se o projeto provoca desequilíbrios, o processo que desencadeou esses desajustes deve ser considerado como disfunção, merecendo ajustes adequados.

Então, conclui-se que é necessário ter claramente reconhecido o elemento proposto e sua a função original (considerando o partido norteador do projeto), a estrutura na qual este se insere (descrição da região e componentes que se interligam) e os indivíduos que interagem no sistema (população), para então identificar onde se encontra a falha (incompatibilidade) do sistema, ou seja, se esta se refere ao elemento, a sua função, a estrutura no qual está inserido, ou até mesmo, aos indivíduos presentes.

Outro aspecto importantíssimo a ser considerado é o da mobilidade espacial da população. Isso pode ser observado claramente na região R2. A inserção da APA do Passaúna na zona industrial, ou seja, numa região, onde através de leis de zoneamento foi estabelecido o

uso industrial e especificado o aumento de número de habitações populares, não só promoveu o assentamento desejado dessa população de baixa renda, como também, provocou um aumento do fluxo migratório para a região. A oferta de empregos e oportunidade de trabalho associada da infra-estrutura do local delineou uma dinâmica econômica propícia a concentração de fluxos migratórios, que na ausência de espaços adequados para “novas ocupações”, acabou por gerar situações clandestinas nas áreas destinadas à proteção ambiental.

Assim sendo, analisando a configuração espacial e as características populacionais da região R2, conclui-se que, num cenário de dinamismo crescente, a migração, geralmente assume grande importância, refletindo a própria espacialização desigual das atividades econômicas, de emprego e renda, bem como, de proteção ambiental, que seriam as funções, propriamente ditas, desse sistema.

Quando o poder público não tem bem definido como proceder na manutenção da integridade de determinada área ou na ocupação de determinado território, a população acaba se apropriando do espaço e ocupando-o de alguma forma. Por exemplo, a APA de Sousas e Joaquim Egídio (Campinas-SP) foi ocupada clandestinamente por condomínios fechados, entre outros usos, caracterizando a apropriação do espaço por uma população de renda elevada. A ausência de ações efetivas e de fiscalização por parte do poder público acabou contribuindo para ocorrência desse processo de ocupação (Young, 2000).

8. Conclusões

De modo geral, os resultados constataram a evidência de que o desenvolvimento urbano, ainda que planejado, induz a mudanças significativas da superfície, neste caso, em particular, identificadas através das variações dos índices relativos propostos em função das alterações nos níveis de concentração urbana e de vegetação. Através da série de imagens de satélite Landsat TM e ETM+ foi possível visualizar e mapear essas alterações, compreender como se estabeleceram e de que forma alteraram a paisagem curitibana.

Primeiramente, a análise do índice de vegetação relativo NDVI-R promoveu o entendimento sobre as contribuições relativas em termos de vegetação e níveis de concentração urbana, em cada região, deflagrados durante o processo de expansão urbana. Na maioria dos casos, a presença significativa de vegetação foi um fator determinante para obtenção de valores de NDVI-R expressivos.

Os valores de DN-R identificados demonstraram uma variação no comportamento termal entre superfícies distintas do município. Observou-se que à medida que os níveis de concentração de vegetação e de área urbana aumentavam ou diminuam, os índices relativos “DN-R” e “NDVI-R” eram afetados em sentido contrário, apresentando tendência de correlação inversa e, portanto, confirmando o pressuposto de que ambos são sensíveis a mudanças relacionadas à vegetação e ao aumento de áreas construídas.

Assim sendo, se confirmam as hipóteses 1 e 2 de que ambos os índices propostos, tanto o de vegetação relativo, como o de temperatura, aplicados em regiões distintas dentro de um município podem auxiliar no entendimento da evolução temporal do uso do solo e, conseqüentemente, das transformações ocorridas na dinâmica espacial urbana.

Quanto à análise da distribuição espacial da população, apesar das dificuldades para obtenção de dados censitários mais antigos e consistentes, a análise referente às características populacionais em conjunto com os dados sobre as mudanças do uso do solo, expansão da área urbana e supressão da vegetação, permitiu a elaboração de cenários hierarquizados e a identificação dos principais conflitos entre usos distintos e atributos populacionais.

Além disso, os aspectos analisados fortaleceram o entendimento sobre como a estrutura espacial definida através do planejamento urbano (disponibilidade de infra-estrutura, acessibilidade, rede de equipamentos urbanos e oportunidades de emprego/trabalho) pode contribuir para o direcionamento de fluxos migratórios, embora muitas vezes as políticas não estejam voltadas explicitamente para esse objetivo (políticas migratórias).

Assim sendo a hipótese 3 se confirma, pois de fato as mudanças na dinâmica espacial urbana refletem significativamente no processo de distribuição espacial da população dentro do município.

A análise síntese dos aspectos relacionados às funções ambientais do zoneamento permitiu visualizar as relações estabelecidas entre os elementos e suas respectivas funções dentro da estrutura espacial de cada região. Essa visualização possibilitou identificar algumas falhas ou incompatibilidades, caracterizadas como disfunções do Plano Diretor, que repercutiram no sistema como um todo, e que poderiam ser chamadas de falhas do sistema de gerenciamento ambiental, caso este fosse devidamente implantado no município.

9. Considerações Finais

Em Curitiba, percebe-se um nítido entendimento sobre a necessidade de integração entre unidades espaciais específicas (ex: unidades de conservação; áreas de preservação, parques urbanos), como forma de impedir através da implantação de barreiras físicas a ocupação espacial inadequada de vazios urbanos existentes, combatendo a tendência ao adensamento populacional e ao aumento dos fluxos de energia “negativos” provocados pela impermeabilização indesejada.

Nos documentos oficiais aparecem medidas como a proposição do Anel Sanitário que envolverá a integração dos espaços destinados ao lazer e conservação de áreas verdes, permitindo que fluxos de energia, que poderiam ser considerados “positivos”, sejam acrescidos ao sistema na medida que passam a se concretizar como forma de expansão da rede ou malha que permeia o tecido urbano, favorecendo o equilíbrio do sistema.

Essa documentação oficial é extensa e apresenta uma preocupação constante com a manutenção dos Planos e Diretrizes propostos, entretanto, falta acrescer nesta documentação uma visão mais ecológica, propriamente dita, mais voltada para a medição dos efeitos ecológicos das ações previstas baseada nos fluxos de energia (trocas entre elementos do sistema urbano).

O poder público, através dos órgãos responsáveis, deveria adotar posturas que conduzissem a processos de investigação mais precisos com medições sobre a eficiência das ações praticadas, ou seja, com o cálculo de medidas mais diretamente relacionadas ao funcionamento do sistema ou ecossistema urbano, como por exemplo, aquelas relacionadas aos efeitos causados pelo aumento de áreas impermeabilizadas: aumento da poluição, aumento

do aquecimento urbano, aumento do consumo de energia, adensamento populacional, interceptação das linhas de drenagem natural, enchentes, entre outros, processados através dos ciclos biogeoquímicos e, obviamente, em conexão com outros sistemas através da relação solo-água-atmosfera.

As ações, ainda que estejam voltadas à proteção ambiental, apresentam traços de caráter político voltado para um enfoque sanitário viciado em posturas mais antigas da engenharia, que não estão sendo criticadas, mas que precisam evoluir para uma visão mais integrada com a ecologia. Acredita-se que a lógica estrutural da visão ecológica que também conduz a uma forma espacial, passaria a se basear no desempenho de um papel mais claro e evidente, que seria a garantia do equilíbrio do sistema, ou seja, a “chave” para que a estrutura espacial urbana possa funcionar adequadamente.

O objetivo principal da natureza é a manutenção do equilíbrio, enquanto que o homem parece estar em constante desequilíbrio, o que obviamente reflete no espaço e deve ser combatido intencionalmente através de medidas que conduzam a serenidade e, conseqüentemente, tragam equilíbrio ao ser humano.

Cidades mais tranqüilas, menos ruidosas, com fluxos de ar permanentes, com espaços menos agressivos ao ser humano não podem ser eternamente um objetivo inatingível, principalmente nos países em desenvolvimento, com espaços ainda disponíveis para uma ocupação mais equilibrada.

Muito se tem discutido sobre a importância do gerenciamento ambiental e sobre as dificuldades de implementação de critérios, normas e projetos que busquem verdadeiramente a qualidade físico-ambiental das cidades. Para muitos, isto seria impossível dentro do contexto de uma economia de mercado, onde todos os investimentos sempre buscam lucro máximo e, portanto, onde a lógica da qualidade ambiental não teria vez.

É evidente que apesar do aumento da conscientização sobre os problemas ambientais enfrentados atualmente, a degradação e a poluição do ambiente pelas atividades humanas ainda continua se propagando em grandes proporções. A humanidade tem sido incapaz de estabelecer relações de equilíbrio com a natureza. Nesse sentido, a constante necessidade humana de expansão territorial tem conduzido a ações de controle cada vez mais pertinentes a utilização dos recursos naturais.

É obvio que, além das muitas diferenças socioeconômicas e políticas (incluindo crescimento populacional, distribuição de recursos e bem estar), uma das principais razões para a permanente degradação e perda dos ecossistemas naturais é o fato de que a importância da natureza e do equilíbrio ambiental ainda não está completamente refletida no planejamento do uso do solo e no processo de tomada de decisão.

Providências nesse sentido tornam-se cada vez mais necessárias e, para tanto, novos estudos são necessários no intuito de se avançar para a melhoria do processo de planejamento e para uma atuação mais condizente com a realidade.

10.1. Referências Bibliográficas

AHERN J. Integration of landscape ecology and landscape design: an evolutionary process. **Landscape Ecology**. International Association of Landscape Ecology, Guelph, Ontario, Canada, pp. 119–123. 1999.

AKBARI, H.; ROSENFELD, A. and TAHA, H. Recent developments in heat island studies: Technical and policy. **In: Controlling Summer Heat Islands**, ed. K.Garbesi et al. Berkeley: Lawrence Berkeley Laboratory. 1990. p.259-279.

AKBARI, H.; KURN, D.M. BRETZ S.E.HANFORD, J. W. Peak power and cooling energy savings of shade tree. **Journal Energy and Buildings** 25, p. 139-148. 1997.

ASRAR, G., MYNENI, R. B., & KANEMASU, E. T. Estimation of plant canopy attributes from spectral reflectance measurements, Chap. 7. In G. Asrar (Ed.), **Theory and applications of optical remote sensing** (pp. 252–296). New York: Wiley. 1989.

BAENINGER, R. Espaços ganhadores e espaços perdedores na dinâmica migratória paulista. **In: Migração e Ambiente em São Paulo – aspectos relevantes da dinâmica recente**. NEPO, UNICAMP. 2000. p.173-229.

BARET, F. & GUYOT, G. Potential and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. **Remote Sensing of Environment**, 35, p. 161-173. 1991.

BONAN, G. Ecological Climatology. **In: Concepts and Applications**. Cambridge University Press. New York. 2002. p. 260-277.

BONDUKI, N. J.; ROLNIK, R. **Periferias: a ocupação do espaço e reprodução da força de trabalho**. São Paulo: PRODEUR/USP, 1979. (Cadernos de Estudos e Pesquisa, 2)

CAMPBELL, J. **Introduction to Remote Sensing**. New York : Guilford Press, 1987. 551p.

CARLSON, T.N., and SANCHEZ-AZOFEIFA, G.A.; Satellite Remote Sensing of Land Use Changes in around San José, Costa Rica. **Remote Sens. Environ.** Elsevier Science Inc. 70:247-256. 1999.

CARLSON, T.N., & ARTHUR, S.T. The impact of land use/land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: A satellite perspective. **Global and Planetary Change**, N°25, p.49-65, 2000.

CIHLAR, J., TCHEREDNICHENKO, I., LATIFOVIC, R., LI, Z., & CHEN, J. Impact of variable atmospheric water vapor content on AVHRR data corrections over land. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. 39, 173–180. 1997.

COSTA, S. M. F. da. **Metodologia alternativa para o estudo do espaço metropolitano, integrando as tecnologias de SIG e sensoriamento remoto – aplicação à Área Metropolitana de Belo Horizonte**. 1996. 200p. Tese de Doutorado em Informação Espacial – POLI/USP - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

CROSTA, A.P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Instituto de Geociências. Editora Unicamp. 1993. 170p.

- DAI, A.; TRENBERTH, K.E. & KARL, T.R. Effects of clouds, soil moisture, precipitation, and water vapor diurnal temperature range. **Journal of Climate**, 12, p. 2451-2473. 1999.
- DIMEYER, P.A.; DOLMAN, A. J.; & SATO, N. The pilot phase of the global soil wetness, project. **Meteorological Society**, 80(5), p. 851-878.1999.
- ELVIDGE, C. D.; CHEN, Z. Comparison of broad-band and narrow-band red and near-infrared vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 54, n. 1, p. 38-48, 1995.
- EPIPHANIO, J.C.N.; HUETE, A.R. Dependence of NDVI and SAVI on sun/sensor geometry and its effect on fAPAR relationships in alfalfa. **Remote Sens. Environ.**, v. 51, p. 351-360, 1995.
- GAO X., HUETE A. R., WENGE NI, and TOMOAKI M. Optical–Biophysical Relationships of Vegetation Spectra without Background. **Remote Sensing Environment**. 74:609–620 Elsevier Science Inc., New York, NY. 2000.
- GREENHILL, D.R., RIPKE, L.T. HITCHMAN, A.P., JONES, G.A., WILKINSON, G.G. Characterization of Suburban Areas for Land Use Planning Using Landscape Ecological Indicators Derived from Ikonos-2 Multispectral Imagery. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. Vol 41. n° 9. 2015-2021. 2003.
- GOWARD S. N., MARKHAM, B.; AND DYE, D. G.; DULANEY,W.; & YANG, A.J.Normalized difference vegetation index measurements from the Advanced Very High Resolution Radiometer. **Remote Sensing of Environment** , 35, p.257-277.1991.
- GROOT, R S.de. **Functions of Nature**. Evaluation of nature in environmental planning, management and decision making. Wolters-Noordhoff.1992.315p.
- HARTRANFT, S.T.A.; CARLSON, T.N.; CLARKE, K.C. Satellite and ground-based microclimate and hydrologic analyses coupled with a regional urban growth model. **Remote Sensing of Environment**, N°86, p.385-400, 2003.
- HOGAN, D.J.; CUNHA, J.M.P; CARMO,R.L.; OLIVEIRA, A. A. B. Urbanização e vulnerabilidade sócio ambiental: o caso de Campinas. **Migração e ambiente nas aglomerações urbanas**. NEPO. Editora da UNICAMP. 2001. 515p.
- HOOK, S. J., ABBOTT, E.A., GROVE, C., KAHLE, A. B., PALLUCONI, F. Use of Multispectral Thermal Infrared Data in Geological Studies. **Remote Sensing for the Earth Sciences: Manual of Remote Sensing**, 3 ed., Vol. 3, Chapter 2. 59-110, 1999.
- HUETE, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sens. Environ.**, v. 25, p. 53-70, 1988.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censos Demográficos** de 1980, 1991 e 2000.
- IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Monitoração da Gestão Urbana** – Gestão do Uso do Solo e Disfunções do Crescimento Urbano da Região Metropolitana de Curitiba – Relatório 2. Curitiba, PR. 187 p. 2000.
- IPPUC - Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. **Indicadores de Qualidade de Vida em Curitiba**. Curitiba, PR. 66 p.2001.

- IPPUC - Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. **Indicadores: Áreas Verdes**. 2002.
- IPPUC - Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. **Curitiba – Planejamento: um processo permanente**. 134p. 2002.
- IPPUC - Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. **Indicadores: domicílios em aglomerados subnormais e ocupações irregulares**. Curitiba, PR. 2002.
- JENSEN, J. R. **Introductory Digital Image Processing**. A Remote Sensing Perspective. Keith C. Clarke Series Editor. Second Edition. 1996. 318 p.
- JUSTICE, C.O.; TOWNSHEND, J. R. G.; HOLBEN, B. N.; AND TUCKER, C. J. Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. **Int. J. Remote Sens.** 6:1271-1318. 1985
- KEALY, P. S. and HOOK, S. J. Separating Temperature and Emissivity in Thermal Infrared Multispectral Scanner Data: Implications for Recovering Land Surface Temperatures. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol 31, N°6. November. 1993.
- KRAFTA, R. Modelling Intraurban configurational development. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 21. London: Pion, 67-82. 1994.
- LIMA, D.J.; e NELSON, B.W. Uso de índices de vegetação no monitoramento da cobertura verde no perímetro urbano da cidade de Manaus. **Anais XI SBSR**, Belo Horizonte, Brasil, 05, INPE, p 1827-1833. 2003.
- LYNCH, K. Planificación del sítio. Barcelona, **G. Gili**, 1980.
- MALINGREAU, J. P., TUCKER, C. J., AND LAPORTE, N. AVHRR for monitoring global tropical deforestation. **Int. J. Remote Sens.**, 10, p.855-867. 1989
- MARICATO, E. **Metrópole na periferia do capitalismo: ilegalidade, desigualdade e violência**. São Paulo: Hucitec, 1996.
- MARSH, W. M. **Landscape Planning – Environmental Applications**. John Wiley & Sons, Inc. 3rd Edition. University of Michigan, Flint. 1997. 312p.
- MATHER, P. M. **Computer Processing of Remotely-Sensed Images**. An introduction. Second Edition. John Wiley & Sons. School of Geography, The University of Nottingham, UK. 1999. 340p.
- McPHERSON, E.G. Cooling Urban Heat Islands with Sustainable Landscapes. In: **The Ecological City**. Edited by Rutherford H. Platt, Rowan A. Rowntree, and Pamela C. Muick. The University of Massachusetts Press, Amherst, 1994. p.151-171.
- MEIER, A.K.; Measured cooling savings from vegetative landscaping. **Energy Efficiency and the Environment: Forging the link**. Washington: American Council for an Energy Efficient Economy. 1991. 386 p.
- MENDONÇA, F.A. Abordagem interdisciplinar da problemática ambiental urbana da Região Metropolitana de Curitiba. **Revista de Meio Ambiente e Desenvolvimento – Cidade e Desenvolvimento Urbano**. Publicação quadrimestral do Programa de Doutorado da Universidade Federal do Paraná (UFPR). N° 3, p. 79-95, 2001.

- MOREIRA, R.da C. **Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação.** 2000. Dissertação de Mestrado. INPE.
- MYNENI, R.B.KEELING C.D.; TUCKER, C.J.Increase plant growth in the northern high latitudes from 1981-1991. **Nature**, 386, p.698-702. 1997.
- NASSAUER J.I. Culture as a means for experimentation and action. **Landscape Ecology**. International Association of Landscape Ecology, Guelph, Ontario, Canada, pp. 129–133. 1999.
- NOVO, E.M.L de Moraes. **Sensoriamento Remoto - Princípios e Aplicações.** 2^a Ed. 1992. 308p.
- ODUM, E. P. **Ecologia.** Tradução Christopher J. Tribe. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Editora Guanabara Koogan S.A.1988. 434 p.
- O’HARA,C.G.; King, J.H.C.; King, R.L. Multitemporal Land Use and Land Cover Classification of Urbanized Areas within Sensitive Coastal Environments. **IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing**.Vol 41, N° 9, pp. 2005-20014. 2003.
- OKE, T.R. **Boundary layer climates.** 2nd Edition, Routledge, New York.1993.171p.
- OLIVEIRA, M. de. A trajetória do discurso ambiental em Curitiba (1960-2000). **Revista Sociol. Polít.** Curitiba, 16, p.97-106. 2001.
- OPDAM P.; Verboom J.; Pouwels R. Landscape cohesion: an index for the conservation potential of landscapes for biodiversity. **Landscape Ecology**. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.pp.113–126. 2003.
- PETERSON, D. L., ABER, J. D., MATSON, P. A., CARD, D. H., SWANBERG, N., WESSMAN, C., & SPANNER, M. Remote sensing of forest canopy and leaf biochemical contents. **Remote Sensing of Environment**, 24, 85– 108. 1988.
- PLATT, R. H. The Ecological City: Introduction and Overview. **In:The Ecological City**. Edited by Rutherford H. Platt, Rowan A. Rowntree, and Pamela C. Muick. The University of Massachusetts Press, Amherst, 1994. p.1-17.
- PONZONI, F. J. Comportamento Espectral da Vegetação. **In: Sensoriamento Remoto – reflectância dos alvos naturais.** Capítulo 5. Editora UNB, 157-199. 2001. 262 p.
- PORTUGALI, J. **Self-organization and the city.** Berlin: Springer, 2000.148p.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. Lei Municipal de Zoneamento e Uso e Ocupação do Solo N° 5234/75 de 10 de Dezembro de 1975. **Diário Oficial**
- PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. Lei Municipal N° 6204/81. **Diário Oficial**
- PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. Lei Municipal N° 8.353/93 - Dispõe sobre o monitoramento da vegetação arbórea e estímulos à preservação de áreas verdes no município de Curitiba. **Diário Oficial**

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. Decreto Municipal N° 782/95 – Dispões sobre a definição dos índices de uso e ocupação do solo. **Diário Oficial**

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. Lei Municipal de Zoneamento e Uso e Ocupação do Solo. N° 9.800/2000 de 03 de Janeiro de 2000. **Diário Oficial**

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. Decreto Municipal N° 193/2000. **Diário Oficial**

Qi, J.; HUETE, A.H.; MORAN, M.S.; CHEHBOUNI, A.; JACKSON, R.D. Interpretation of vegetation indices derived from multi-temporal SPOT images. **Remote Sens. Environ.**, v. 44, p. 89-101, 1993.

RIBEIRO, L. C. Q.; LAGO, L. **Reestruturação nas Grandes Cidades Brasileiras: o modelo Centro/Periferia em questão**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano e Regional da UFRJ, 1994.

ROLNIK, R; **A Cidade e a Lei: legislação, política urbana e territórios na cidade de São Paulo**. Livros Studio Nobel. São Paulo.1997. 239 p.

ROMERO, M.A.B.; Caracterização do clima. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. Ed. Projeto; 1997. p18-43.

ROMERO, M.A.B.; Desenho Urbano. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. Ed. Projeto; 1997. p86-123.

ROUSE J.W., HAAS R.H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS, **Proceedings, 3rd ERTS Symposium**, D. C.: NASA. Goddard Space Flight Center, vol.1, p. 309-317. 1973.

ROTH, M.; OKE, T.R.; & EMERY, W.J. Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the urbanization of such data in urban climatology. *International Journal of Remote Sensing*, 10,(11), p.1699-1720. 1989.

SABINS, F.F. **Remote Sensing – Principles and Interpretation**. 3rd ed. W. H. Freeman and Company. New York. 1999. 494 p.

SANEPAR. Os mananciais de Abastecimento do Sistema Integrado da Região Metropolitana de Curitiba (RMC). SANARE – **Revista Técnica da SANEPAR**. V.12 N°12 Julho a Dezembro. p 1-17. 1999.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental – Teoria e Prática**. Oficina dos Textos. São Paulo. 2004.184p.

SIMEPAR Instituto Tecnológico SIMEPAR. **Dados Meteorológicos sobre o Município de Curitiba**. Relatório.2003.

SMMA – Secretaria Municipal de Meio Ambiente. Educação Ambiental – Parques e Bosques de Curitiba. **Publicação - Gerencia de Educação Ambiental**. Curitiba. Paraná. 1997.

SHORT, N. M. The Warm Earth – Thermal Remote Sensing. **Science Systems & Applications, Inc.**, NASA.GSFC. Section 9. US. Government Printing Office. 2003.

- SMALL, C. Estimation of urban vegetation abundance by spectral mixture analysis, **Int. J. Remote Sensing**, vol. 22, n° 7. 1305-1334. 2001.
- SUITS, G.H. **The nature of electromagnetic Radiation**. In: manual of remote sensing. 2nd ed. American Society of Photogrammetry, Falls Church, Va. 1983.
- TEKLEMBURG, J.;TIMMERMANS, H.; BORGES, A. Design tools in a integrated CAD-GIS environment: space syntax as an example. In: H. Timmermans (Ed), **Decision support systems in urban planning**. London: E & FN Spon, 261-276. 1997.
- TORRENS, P.; O’SULLIVAN, D. Cellular automata and urban simulation: were do we go from here? **Environment and Planning B: Planning and Design**. Vol. 28. London: Pion, 163-168. 2001.
- TOWNSHEND, J. R. G., JUSTICE, C., LI, W., GURNEY, C. AND MCMANUS; Global land cover classification by remote sensing: present capabilities and future possibilities. **Remote Sens. Environ.** 35:243–256. 1991.
- TOWNSHEND, J. R. G.; JUSTICE, C. O.; SKOLE, D.; The 1 km resolution global data set: needs of the International Geosphere Biosphere Programme. **Int. J. Remote Sens.** 15:3417-3441. 1994
- TUCKER, C. J., TOWNSHEND, J. R. G., & GOFF, T. E. African land-cover classification using satellite data. **Science**, 227, 369–375. 1985.
- TUCKER, C. J., AND SELLERS, P. J. Satellite remote sensing of primary productivity. **Int. J. Remote Sens.** 7:1395-1416. 1986.
- VILLAÇA, F. **Espaço intra-urbano no Brasil**. São Paulo: Studio Nobel, 1998.
- VITOUSEK, P.M.; EHRLICH, P.; EHRLICH, A.; and MATSON, P.M. Human domination of the Earth’s ecosystems. **Science**, 277, p.494-499. 1997.
- YOUNG, A.F. **Análise Comparativa da Qualidade e Zoneamento Ambiental de duas microbacias urbano-rurais: uma contribuição metodológica**. 2000. 325p. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Agrícola. UNICAMP.
- WESTMORELAND S., and STOW D. A. Category Identification of Changed Land- use Polygons in a Integrated Image Processing/GIS. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, 58(11):1593-1599. 1992.
- WHITFORD, V.; ENNOS, A.R.; HANDLEY, J.F. City form and natural process – indicators for the ecological performance of urban areas and their application to Merseyside, UK. **Landscape and Urban Planning**. V.57. 91-103. 2001.
- ZHANG. X.; MARK A F.; CRYSTAL, B. S.; STRAHLER, A.H.; SCHNEIDER A. The footprint of urban climates on vegetation phenology. **Geophysical Research Letters**, vol.31, L12209, doi: 10.1029/2004GL02137, 2004.
- ZHANG. X.; MARK A F.; CRYSTAL, B. S.; STRAHLER, A.H. Climate controls on vegetation phenological patterns in northern mid and high latitudes inferred from MODIS data. **Global Change Biology**, 10, p.1133-1145. 2004.

ZHOU, Y.; NARUMALANI, S.; WALTMAN, W. J.; PALECKY, M. A. . A Gis-based Spatial Pattern Analysis Model for eco-region mapping and characterization, **Int.J. Geographical Information Science**. Vol 17. N 5, July-August, 445-462. 2003.

10.2. Bibliografia Consultada

EPIPHANIO J. C. N. and HUETE A.R. Dependence of NDVI and SAVI on Sun/Sensor Geometry and Its Effect on fAPAR Relationships in Alfalfa. **Remote Sens. Environ.** vol.51, pp351-360. Elsevier Science Inc. 1995.

BARSI, J.A.; SCHOTT, J.R.; PALLUCONI, F.D.; HELDER, D.L.; HOOK, S.J.; MARKHAM, B.L.; CHANDER, G.; and O'DONNELL, E.M. Landsat TM and ETM+ thermal band calibration **Can. J. Remote Sensing**, Vol. 29, No. 2, p. 141–153, 2003

HOGAN, D.J.(org.). **Population Change in Brazil – contemporary perspective**. NEPO. UNICAMP. 2001.362p.

HOGAN, D.J.(org.). **Population and Environment in Brazil: Rio +10**. NEPO. UNICAMP. 2002. 311p.

HOGAN, D.J; BAENINGER, R; CUNHA, J.M.P.da; CARMO, L.R.do. **Migração e Ambiente nas Aglomerações Urbanas**. NEPO. UNICAMP. 2001. 515p.

HOLBEN, B.N. and JUSTICE, C.O. “An examination of spectral band rationing to reduce the topographic effect on remotely sensed data”. **Int. J. Remote Sens.**, vol. 2, pp 115-133. 1981.

HOOK, S.J ; GABELL, A. R.; GREEM A.A.; KEALY, P.S. A Comparison of Techniques for Extracting Emissivity Information from Thermal Infrared Data for Geologic Studies. **Remote Sens. Environ.**, 42, p.123-135. 1992.

HOOK, S.J; KEALY, P.S. Separating Temperature and Emissivity in the Thermal Infrared Multispectral Scanner Data: Implications for Recovering Land Surface Temperatures. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 31, N°6, p. 1155-1164.1993.

HUETE, A.R.; HUA, J. Qi; CHEHBOUNI, A. and van LEEUWEN, W.J.D. Normalization of multidirectional red and NIR reflectance with the SAVI, **Remote Sens. Environ.**, vol.41, pp 143-154. Elsevier Science Inc. 1992.

PAES, F. C. ; FERREIRA, S. dos A. P.; DUTRA, L .V. Um estudo exploratório para a obtenção de índices de qualidade de vida urbana (IVQ) utilizando imagens de alta resolução do satélite IKONOS II. **Anais XI SBSR**, Belo Horizonte, Brasil, INPE, p. 1907 - 1914. 2003.

ROBERTS, D. A.; GREEN, R. O.; ADAMS, J. B. Temporal and spatial patterns in vegetation and atmospheric properties from AVIRIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 62, n. 3, p. 223-240, 1997.

TOWNSHEND, J. R. G.; GOFF, T. E.; TUCKER, C. J. Multitemporal Dimensionality of images of normalized difference vegetation index at continental scales. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 23, n. 6, p. 888-895, 1985.

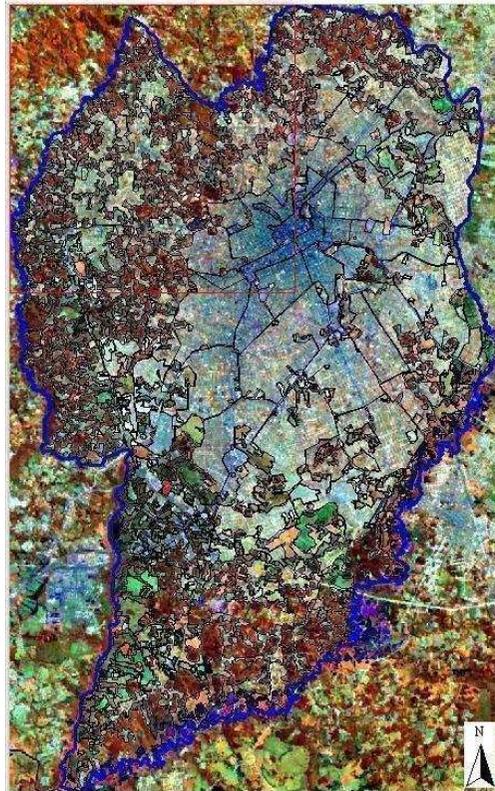
Anexo 1 - Mapeamento da evolução do uso do solo em Curitiba (PR)

MAPEAMENTO DO USO DO SOLO - 1986

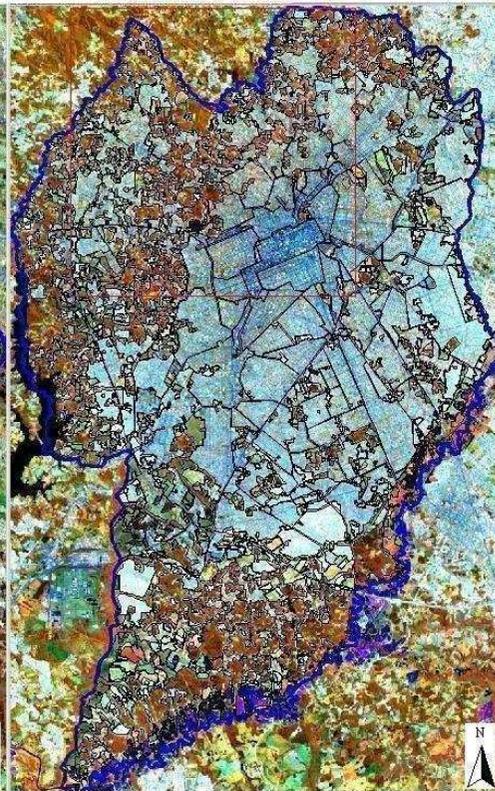
MAPEAMENTO DO USO DO SOLO - 1999

MAPEAMENTO DO USO DO SOLO - 2002

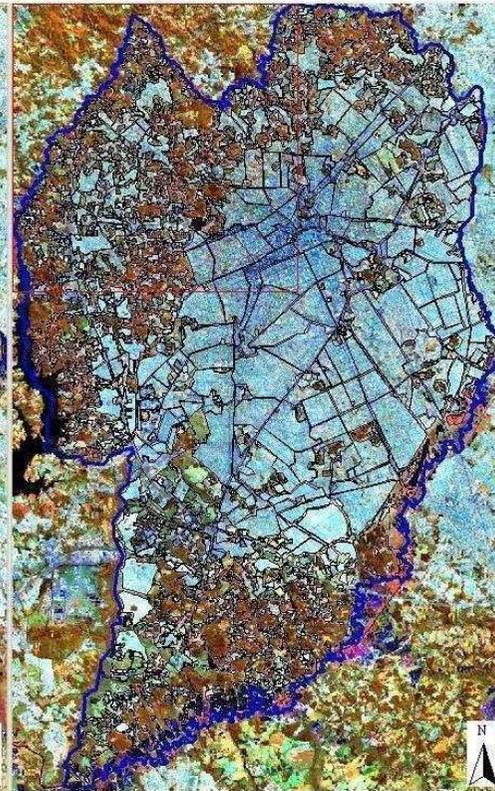
100



7195567.4940N 662012.9900 E 22 Sul SAD 69



7195567.4940N 662012.9900 E 22 Sul SAD 69



7195567.4940N 662012.9900 E 22 Sul SAD 69

LEGENDA

- Limite Município
- água
- campo/pasto
- solo exposto
- urb (área urbana)
- urb_concentrada
- urb_veg
- várzea
- vegetação exótica
- vegetação (maciços)