

USO DE IMAGENS ORBITAIS DE MÉDIA RESOLUÇÃO E DE INDICADORES SÓCIO-ECONOMICO NA ANÁLISE DA DINAMICA DO USO DO SOLO DO MUNICÍPIO DE MARINGÁ-PR, ENTRE O PERÍODO DE 1987 e 2005

EDUARDO SOUZA DE MORAIS¹
MANOEL LUÍS DOS SANTOS²

RESUMO: Considerando as transformações ocorridas no espaço do município de Maringá e o livre acesso a imagens orbitais por intermédio de *download* na Internet, este estudo se propõe a monitorar as mudanças ocorridas no uso do solo do município, entre os anos de 1987 e 2005. Este trabalho classifica os diferentes usos do solo de acordo com a resolução oferecida pelos satélites CBERS 2-CCD, Landsat 5-TM e Landsat 7-ETM+. Os resultados dessa análise demonstram que a malha urbana apresentou um crescimento de 78%, esse crescimento ocorreu predominantemente na parte Sul do sítio urbano. As áreas destinadas à agropecuária apresentaram uma diminuição do seu tamanho em 8%, no período da análise. A vegetação natural continua a ser degradada com o processo de desmatamento, promovendo uma redução de 38% de sua área nos últimos 18 anos. A análise comparativa entre a variação do consumo de energia e do Produto interno bruto PIB do município com as alterações do uso do solo no período estudado, corroboram com os dados levantados por este estudo.

PALAVRAS-CHAVES: Maringá, Uso do Solo, Análise Multitemporal, Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT: Since several changes have occurred within the space comprehending the municipality of Maringá PR Brazil and due to the fact that access to orbital images and image processing programs are available on the Internet, current research monitors modifications in the use of soil within the municipality's limits in the 1987-2005 period. After image treatment, different use of soils are classified according to image resolutions given by satellites CBERS 2-CCD, Landsat 5-TM and Landsat 7-ETM+. Results show that the city network had a 78% growth, predominantly in its southern area. Areas reserved to cash crops and animal stock decreased by 8% during the period. Natural vegetation is still degraded by deforesting, totaling a 38% decrease. Comparative analysis between variations of energy consumption and of the municipal Gross Internal Product and changes in soil use during the period under analysis corroborate data found in current investigation.

KEY WORDS: Maringá PR Brazil; use of soil; multi-temporal analysis; remote sensing.

Introdução

¹ Bolsista PIBIC/CNPq do curso de Geografia da Universidade Estadual de Maringá.

² Docente do departamento de Geografia da Universidade Estadual de Maringá.

O crescimento das áreas urbanizadas e o aumento demográfico contribuíram com mudanças nas estruturas espaciais e sociais das cidades. Para que o desenvolvimento gerado com a intensificação do processo de urbanização assegure uma infra-estrutura adequada, o gerenciamento do crescimento urbano e da mobilidade do uso do solo são essenciais para o planejamento municipal.

A cidade de Maringá, localizada no Norte do estado do Paraná (Figura 1), se formou a partir da década de 1940, contida dentro do processo de colonização do norte paranaense. O município atravessou por uma intensa fase de crescimento em um período relativamente curto desde a sua criação até os dias atuais. O processo de povoamento dessa região foi efetivado com a colonização privada, como a empresa Companhia de Terras do Norte do Paraná que atuou em Maringá. Essa companhia obteve grandes porções de terra no norte paranaense, na qual desenvolveu a colonização rural e urbana incentivando a vinda de migrantes paulistas e mineiros, que ocuparam a região em busca dos férteis solos para o prolongamento da cultura do café (Alegre & Moro, 1986; Moro, 1988; Serra 1992; Luz, 1997).

A construção do espaço edificado da cidade de Maringá foi projetada pela companhia colonizadora, sobre os divisores topográficos das bacias hidrográficas do rio Pirapó e do rio Ivaí. A cidade se desenvolveu em terrenos suavemente ondulados recobertos por solos espessos desenvolvidos, em sua maior parte, sobre as eruptivas básicas da Formação Serra Geral (K). A atividade da cafeicultura concentrou a população do município em pequenos lotes usados para o cultivo do café e pequenas culturas de subsistência, este contexto permaneceu inalterado até a década de 1960 (Alegre & Moro, 1986). Segundo Moro (1988) na década de 1970 o êxodo rural alavancou as mudanças na composição demográfica do município, tendo a cidade de Maringá apresentado o excepcional crescimento populacional de 59,23%.

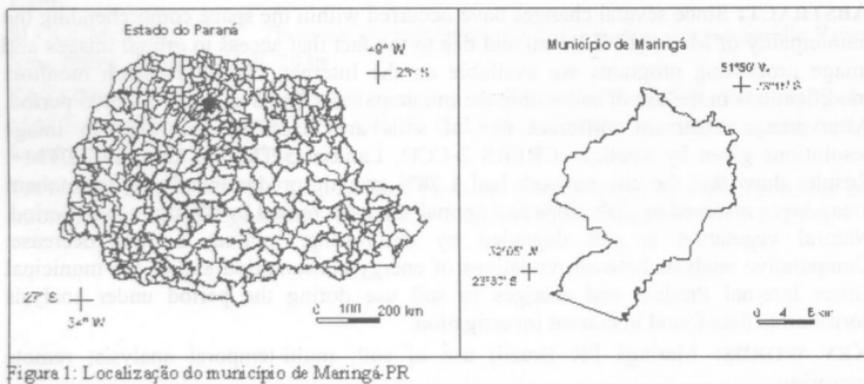


Figura 1: Localização do município de Maringá-PR

Na região de Maringá, a exemplo do norte paranaense, a crise na cafeicultura provocada pela grande produção nacional e por catástrofes climáticas locais, promoveu a substituição dessa cultura por culturas temporárias. A incorporação de tecnologias para o plantio de culturas como a soja e o milho foram acompanhados de inovações que exigiram maior capital, favorecendo a concentração fundiária, o que representou mudanças no contexto urbano do município de Maringá (Mendes, 1992).

Segundo Endlich (1998) a partir de 1980 houve uma diversificação mais intensa da economia maringense visando atender os estímulos do mercado, os incentivos do

Estado e das agroindústrias regionais, especialmente daquelas atreladas as cooperativas. As mudanças no rumo da economia da cidade impuseram uma nova dinâmica no uso do solo do município. Esse fato resultou, conseqüentemente, em modificações no espaço com o crescimento urbano, diversificação das áreas destinadas à agricultura e a pecuária e, acelerou os processos de desmatamento das matas residuais ainda presente no município. Essas transformações no município perduram, gradualmente movidas pelos interesses e concentrações do capital sobre a tutela das políticas do Estado.

No Perfil da Cidade de Maringá (1996) está demonstrado que as áreas urbanas de ocupação mais recentes apresentam características mais diversas do plano original. A cidade tem concentrado seu crescimento com o processo de verticalização na zona central, enquanto que nas áreas periféricas tem desenvolvido um crescimento de loteamentos populares desprovidos de infra-estrutura.

A utilização de imagens de Sensoriamento Remoto têm contribuído de forma imprescindível nas tomadas de decisões referente ao planejamento e as questões ambientais. Esses dados orbitais auxiliam na interpretação de impactos, monitoramentos e levantamentos de informações espaciais. A quantificação e a localização de mudanças ocorridas na paisagem, a partir de imagens orbitais, constituem uma importante ferramenta de informações no estudo da Geografia de diversas áreas.

No município de Maringá o uso de imagens orbitais para o mapeamento de fragmentos de mata nativa, foi realizado recentemente por Marques (2004). Este autor faz uma interessante abordagem sobre a ecologia da paisagem do município, de extrema utilidade para o gerenciamento tanto da área urbana quanto rural. A análise multitemporal, uma das variadas técnicas de Sensoriamento Remoto, compara as informações de duas ou mais imagens de uma mesma área com diferentes datas de passagem do satélite. Esta técnica foi utilizada, neste estudo, a fim de se obter dados sobre a mobilidade do uso do solo de Maringá, buscando quantificar e localizar as mudanças ocorridas e ainda mapear o crescimento urbano do município, entre os anos 1987 e 2005.

Materiais e Métodos

Para esta análise foram utilizadas três imagens orbitais de duas diferentes resoluções. A primeira do satélite Landsat 5 (sensor TM, datada de 27/08/1987), distribuída pela University of Maryland (<http://gloisf.umiacs.umd.edu/index.shtml>). A segunda imagem é do satélite Landsat 7 (sensor ETM+) datada de 04/11/1999. Ambas imagens possuem resoluções espaciais de 30 metros. A terceira imagem é do satélite CBERS 2 (sensor CCD), de 03/08/2005 com resolução espacial de 20 metros, adquirida via Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) através do site <<http://www.dgi.inpe.br>>. A diferente resolução dessas imagens segundo Moreira et al. (2005) não implica em interferências na análise digital dos alvos desses sensores. As operações referentes ao geoprocessamento das imagens foram realizadas no Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRIG), software de domínio público, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Utilizou-se ainda parte do mosaico Landsat 5 disponibilizado pela NASA (<http://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid>) como base para a correção geométrica das três imagens. No caso de estudos multitemporais, como este, faz-se necessário o ajuste das imagens para garantir o mesmo posicionamento dos objetos no espaço conforme a projeção e o datum. O registro procedeu-se a partir da determinação de 6 a 10 pontos de controle no terreno, buscando uma margem de erro menor que 1 pixel ou 1 RMS (erro quadrático

médio). O método de processamento adotado para o ajuste das imagens foi o de convolução cúbica, considerado de maior interesse pela sua relevância com a perda de qualidade visual da imagem (Centeno, 2003).

As imagens de sensoriamento remoto utilizadas neste estudo possuem 8 bits, concentrando seus níveis de cinza em pequenas faixas (de 0 a 255), o que às vezes dificulta a discriminação dos elementos presentes nas imagens. Para suprir esta deficiência e gerar uma imagem com boa visualização foi necessário aplicar técnicas de contraste. Empregou-se o realce a partir do balanceamento das bandas em modo monocromático, optando-se pelo modo linear de ajuste do contraste manipulando-se o histograma de modo a se obter uma boa qualidade de visualização das imagens (Lillesand, 1994). Isto é possível devido a existência de diversas técnicas presentes em SIG's com o realce de informações texturais, morfológicas e geométricas a partir da manipulação do contraste nas imagens orbitais.

O recorte do limite municipal de Maringá foi realizado sobre as imagens, a partir do vetor adquirido com a digitalização das cartas topográficas dos municípios de Maringá, Mandaguaçu e Ivaté, produzida pelo IBGE em 1972.

Considerando-se que o trabalho foi realizado em uma área de estudo conhecida adotou-se o método de classificação supervisionada, pois assim, as regiões de interesse pertinentes a cada classe constam de maior confiabilidade para o processamento do mapa temático. Constam como métodos de classificação supervisionada: paralelepípedo, distância mínima e máxima verossimilhança. Sendo utilizado o último, devido a maior confiabilidade em generalização estatística conforme o objetivo do estudo.

Para o mapeamento temático das imagens orbitais foram escolhidas quatro grandes classes: a agropecuária, o urbano, a vegetação e os corpos d'água. A divisão dessas classes obedeceu à escala do trabalho permitida pela qualidade das imagens orbitais estudadas, com 20 e 30 metros de resolução espacial. Os temas definidos para a análise multitemporal das imagens orbitais do município foram:

Urbano - considerou-se a malha urbana de Maringá e o distrito de Iguatemi.

Agropecuária - esta classe abriga os espaços destinados a pecuária (pastagens) e a agricultura (presença de solo exposto ou de culturas).

Vegetação - considerou-se a mata de grande porte e densa, como exemplo de amostra o Parque do Ingá de Maringá-PR.

Corpo d'água - presença de água, lagos e represas.

Depois da finalização dos mapas temáticos de 1987, 1999 e 2005, efetuou-se processamento do mapa síntese da expansão urbana. Esse foi construído através de operações matemáticas, na qual isolou-se somente a classe pertencente ao sítio urbano. Aplicou-se uma operação matemática de soma da classe urbana de 1987 com a mesma classe de 2005. Esse método consiste no cruzamento dos mapas temáticos referentes a estes anos e, tem como resultado um mapa síntese que identifica as áreas de expansão desse período.

O registro das imagens adequadas a uma mesma referência geográfica, para a uma justa comparação multitemporal, obedeceu aos valores do erro quadrático médio envolvido (RMS). Para a imagem do ano de 2005 o valor do RMS foi de 0.62, justificado pela melhor resolução dentre as imagens registradas e, os valores de 0.87 e 0.91 para os anos de 1987 e 1999, ambos da série de satélites Landsat. Esses valores são considerados satisfatórios para a escala de trabalho utilizada, como preconizado por Crosta (1998).

Discussão e Resultados

A imagem do satélite Landsat (1987), apresentou maior necessidade de ajuste do contraste em comparação com a outras duas. Após a realização da classificação identificou-se que, nesta época, o município de Maringá contava com 88.75% de sua área destinada a agropecuária. Nesse ano aproximadamente 10% da área do município era ocupada por edificações urbanas e, as pequenas manchas residuais da vegetação nativa representavam 4.5% da área total, distribuídas esparsamente no município (Figura 2).

No intervalo de 1987 a 1999 notam-se mudanças significativas no uso do solo do município. O crescimento da malha urbana foi de aproximadamente 65%, os fragmentos de vegetação diminuíram aproximadamente em 5% e a área destinada a agropecuária reduziu-se 7 %. Após o realce do contraste da imagem de 2005, a visualização da malha urbana torna-se mais nítida quando comparada com as imagens da série Landsat. Porém em todas imagens observou-se que os *pixels* presentes na malha urbana possuem reflectância muito próxima as do solo exposto, o que desprendeu cuidadosa escolha na amostragem para o processamento das imagens. Em 2005 a área ocupada pela agropecuária permaneceu praticamente inalterada, ocupando 79% do município. Nesse ano o processo de crescimento urbano registrou um aumento de sua área em 10 Km² e, os fragmentos de vegetação diminuíram em aproximadamente 23% da área ocupada por matas em 1999 (Figura 2).

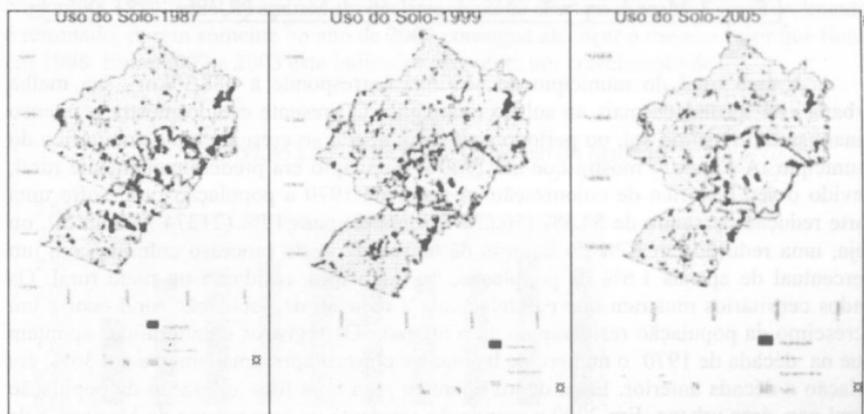
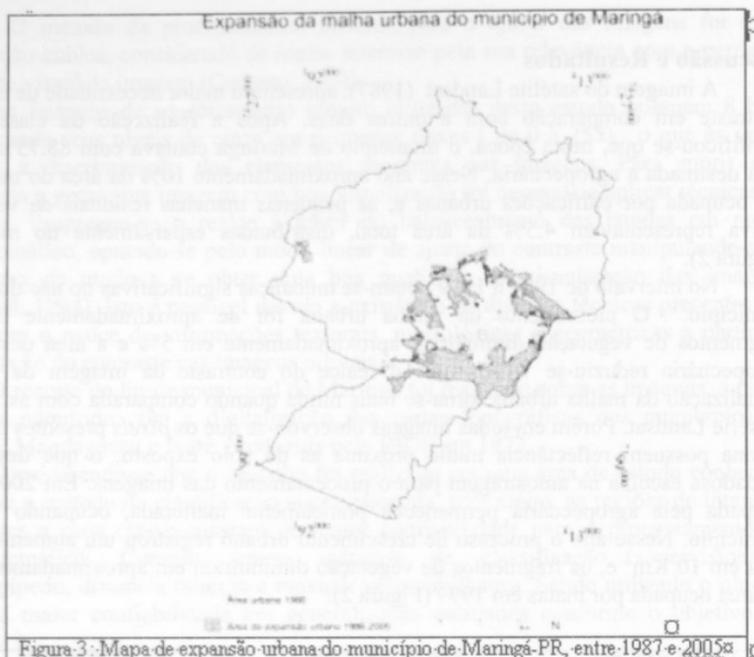
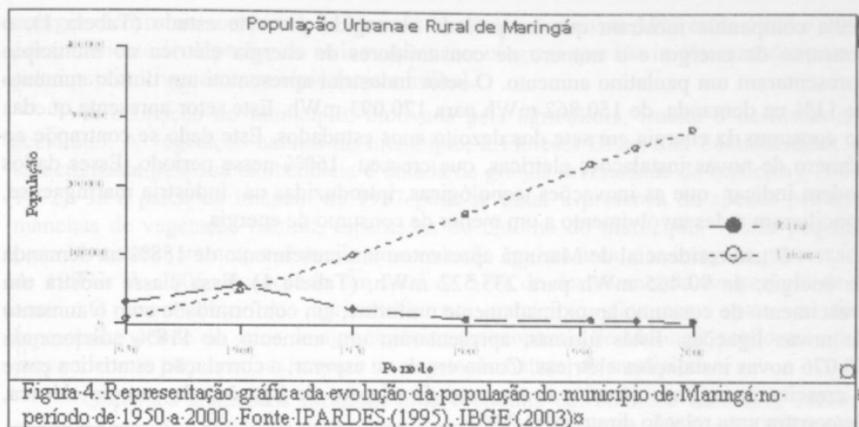


Figura 2: Evolução do uso do solo do município de Maringá-PR, entre 1987 e 2005

No período compreendido por esse estudo a ocupação do município de Maringá promoveu o significativo aumento da malha urbana, que cresceu em 78% de sua área entre os anos de 1987 e 2005. No mapa síntese da expansão urbana do município de Maringá (Figura 3) pode-se observar que o crescimento urbano teve maior intensidade nos sentidos sul e noroeste do município.



A área total do município de Maringá corresponde a 488,19km², sua malha urbana está localizada mais ao sul do município. O presente estudo mostra o intenso dinamismo no uso do solo, no período analisado, aliado ao crescimento demográfico do município. A Figura 4 mostra que até 1960 o município era predominantemente rural, devido o seu histórico de colonização. A partir de 1970 a população rural sofre uma forte redução passando de 54.3% (56.539 habitantes) para 17% (21274 habitantes), ou seja, uma redução em 37% do numero de habitantes. Este processo culmina com um percentual de apenas 1.6% da população, do município, residindo no meio rural. Os dados censitários mostram que paralelamente a redução da população rural ocorre um acréscimo da população residente no sítio urbano. Os registros demográficos apontam que na década de 1970 o numero de habitantes cresceu aproximadamente em 36%, em relação a década anterior. Estes dados apontam para uma forte migração da população rural para área urbana. Em 2000 a população residente na área urbana de Maringá é de 283.978 habitantes, o que representa cerca de 98% do total de habitantes do município.



O desenvolvimento da economia maringaense pode ser observado a partir dos dados da evolução do produto interno bruto (PIB), que representa a síntese da produção monetária de uma unidade, funcionando como principal indicador econômico de uma dada região. A Figura 5 reflete a evolução do PIB de Maringá no período de 1985 a 2003. Nela podemos observar um crescimento contínuo deste índice até o ano de 1998. No ano de 1999 o PIB apresenta um declínio de 21%. Nos anos seguintes o crescimento é retomado, porem somente no ano de 2002 consegue alcançar o mesmo valor que tinha em 1998. Entre 2002 e 2003 este indicador apresenta um crescimento de 7%.



Figura 5. Evolução do produto interno bruto do município de Maringá, no período de 1985 a 2003.

A demanda de energia elétrica também se constitui em um bom indicador do crescimento demográfico e econômico de um município. Em Maringá a energia elétrica é distribuída pela Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL). Os relatórios

desta companhia mostram que no período abrangido por este estudo (Tabela 1), o consumo de energia e o número de consumidores de energia elétrica no município apresentaram um paulatino aumento. O setor industrial apresentou um tímido aumento de 11% na demanda, de 150.862 mWh para 170.093 mWh. Este setor apresenta quedas no consumo de energia em sete dos dezoito anos estudados. Este dado se contrapõe ao número de novas instalações elétricas, que cresceu 160% nesse período. Esses dados podem indicar que as inovações tecnológicas, introduzidas na indústria maringense, conciliaram o desenvolvimento a um menor de consumo de energia.

O uso residencial de Maringá apresentou um crescimento de 158% na demanda de energia, de 90.465 mWh para 233.522 mWh, (Tabela 1). Essa classe mostra um crescimento de consumo aproximadamente uniforme, em conformidade com o aumento de novas ligações. Estas últimas, apresentaram um aumento de 118% adicionando 58.076 novas instalações elétricas. Como era de se esperar, a correlação estatística entre o crescimento urbano (área) e o aumento do número de ligações de energia elétrica, demonstra uma relação direta ($r^2 = 0.98$).

O crescimento demográfico impulsionado por mudanças na economia regional resultou no aumento da malha urbana e mudanças no interior da cidade como o processo de verticalização apontado por Mendes (1992). Os dados orbitais demonstraram que inicialmente o espaço urbano de Maringá consumia aproximadamente 10% do solo do município.

No mesmo período a zona rural do município apresentou um acréscimo de consumo de 35% (5.364 mWh para 7293mWh) e, a quantidade de novas ligações elétricas aumentou apenas 12% (862 para 965). Estes dados podem estar refletindo a continuidade do processo de modernização agrícola, onde se observa um aumento do consumo de energia relacionado a despeito do pequeno aumento de novas ligações. O setor de comércio teve um aumento de 245% no consumo de energia, de 55.795 mWh para 192.541 mWh e, um acréscimo de 8.871 novas instalações elétricas, somando um aumento de 150% no período estudado.

TABELA 1

Estes dados demonstram a vocação comercial do município, com um alto número de novas ligações para este setor. A agricultura desde o início mostrou-se como a principal atividade econômica do município, atravessando mudanças na incorporação do solo desde o ciclo do café. No mapa temático referente a imagem de 1987 pode-se verificar a importância da atividade agrícola, que ocupava nessa época, 418,67 km², representando 85% da área total do município. No entanto as áreas destinadas a agricultura permaneceram em declínio nas outras duas imagens processadas, chegando a 382,47 km² em 2005, cerca de 78% da área total.

A análise comparativa entre os consumos de energia da atividade rural e a urbana, mostra que em 1987 o consumo de energia na área rural representava 17% do total consumido pelo município. Em 2005 este valor se reduz para apenas 1.25% do total consumido pelo município. Estes valores corroboram com a perda de áreas cultivadas em razão do crescimento da cidade, representado pelo aumento no consumo de energia pelas residências e pelo aumento da atividade comercial e industrial do município. O sítio urbano avança sobre as áreas cultivadas e não mais ocupa as áreas de matas, como no início do processo de colonização da região. No entanto o consumo de

energia elétrica na zona rural, em termos absolutos aumentou 35% entre 1987 e 2005, possivelmente acompanhando as inovações tecnológicas que são implementadas para os principais cultivos do município (soja e milho).

A ocupação do município, motivada pela agricultura, trouxe o desmatamento acelerado. A vegetação natural do município, a Floresta Estacional Semidecidual, era caracterizada pela sua exuberância e dotada de grande diversidade de espécies (IBGE, 1972). Já a partir da imagem de 1987 pode-se notar a presença de apenas pequenas manchas de vegetação natural, espalhadas no entorno do município. Estas pequenas parcelas continuaram apresentando uma redução em sua área, nas imagens processadas de 1999 e de 2005, alcançando um total de 37% de desmatamento no período de 18 anos. O incremento da agricultura no município favoreceu para a forte representatividade do setor de agronegócios na economia de Maringá, sendo esse fator preponderante para o esfacelamento da vegetação natural do município.

Os dados analisados mostram uma economia em contínua ascensão, exceto a queda no ano de 1998, esse dinamismo econômico é apontado por Clark (1985) como preponderante para o crescimento urbano. O município entre 1987 e 1999 teve um acréscimo de 66% na área ocupada pelo sítio urbano (Tabela 2), aliado a um aumento do PIB de 36% neste período. O período que se estende de 1999 a 2005, demonstrou menores mudanças na classe urbana, porém apresentando continuidade do processo de crescimento areal que alcançou 13%, nesse intervalo.

TABELA 2

Considerações Finais

A utilização de imagens orbitais gratuitas, de média resolução, dos satélites CBERS 2, Landsat 5 e Landsat 7 integradas a técnicas de processamento em softwares livres, mostrou-se eficiente para o monitoramento do uso do solo. Estudos como esse contribuem para o planejamento municipal e auxiliam no gerenciamento e execução de políticas públicas, além de permitirem a fiscalização de possíveis irregularidades. Recomenda-se a continuidade dos estudos, obedecendo um menor intervalo de tempo, devido a velocidade das mudanças constatadas no crescimento da área urbana e na redução da vegetação natural.

Bibliografia

- ALEGRE, M. & MORO, D. A., 1986. A mobilidade da população nas antigas áreas cafeeiras do Norte do Paraná. *Boletim de Geografia*. Ano 4 (1): 28-72.
- CENTENO, J. S., 2003. *Sensoriamento remoto e processamento de imagens digitais*. Curitiba: UFPR.
- ENDLICH, A. M., 1998. *Maringá e o tecer da rede urbana regional*. Dissertação de Mestrado, Presidente Prudente. FCT. UNESP. 1998.
- INSTITUTO BRASILEIRO de GEOGRAFIA e ESTATISTICA, 1992 *Manual Técnico da Vegetação Brasileira*. Rio de Janeiro: IBGE (Séries Manuais Técnicos de Geociências I).

- LILLESAND, T. M. E KIEFER, R. W., 1994. *Remote sensing and image interpretation*. New York: John Wiley e Sons, Inc.
- LUZ, F., 1997. *O fenômeno da rede urbana numa zona pioneira: Maringá*. Maringá: Prefeitura Municipal de Maringá.
- MARQUES, A. J.. 2004. *Mapeamento de fragmentos de mata no município de Maringá, PR: Uma abordagem da ecologia da paisagem*. Dissertação de Mestrado, UNESP. 2004, 103p..
- MENDES, C. M., 1992, *O edifício no jardim: um plano destruído, a verticalização de Maringá*. Tese de doutorado, São Paulo: FFLCH, USP.
- MENDES, C. M., 1992. A verticalização, um dos processos de ocupação da terra e a organização pioneira do espaço agrário no Paraná. *Boletim de Geografia*. Ano 10 (1): 51-58.
- MOREIRA, M. A., 2003. *Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologia de aplicação*. Viçosa: UFV.
- MOREIRA, M. A. CARDOSO, V. FREITAS; R. M., RUDORFF, B. F. T., 2005. *Comparação da resposta espectral de alvos em imagens CBERS-2/CCD e LANDSAT-5/TM in Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Goiânia.
- MORO, D. A., 1988. O êxodo rural e crescimento populacional da cidade de Maringá no período de 1970 a1980. *Boletim de Geografia*. Ano 6 (1): 19-72.
- NOVO, E. M. L. M, 1988. *Sensoriamento remoto princípios e aplicações*. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1.
- SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, 1996. *Perfil da cidade de Maringá*. Maringá. Gráfica Municipal.
- SERRA, E., 1992. Os primeiros processos de ocupação da terra e a organização pioneira do espaço agrário no Paraná. *Boletim de Geografia*. Ano 10 (1): 61-93.