

Estimativa da distribuição espacial da população na Amazônia brasileira com o uso de Sensoriamento remoto orbital: Contribuições das imagens CCD/CBERS no caso do município de Marabá-PA.

Silvana Amaral¹
Antonio Miguel Vieira Monteiro¹
Gilberto Câmara¹
José Alberto Quintanilha²

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{silvana, miguel, gilberto}@dpi.inpe.br

²Escola Politécnica da USP – POLI/USP
Av. Almeida Prado, Trav. 2, nº 83 - CEP 05508-900 - São Paulo - SP, Brasil
jaquinta@usp.br

Abstract. This paper aims to support studies of population and the environmental changes in such dynamic region as the Brazilian Amazonia. It describes the methodological procedure developed to built population density surfaces taking remote sensing imagery data as main information source to represent the spatial heterogeneity. CCD/CBERS1 image data from a region in the municipality of Marabá, state of Pará, was the base of the methodological proposition. The digital image classification of forest, water bodies and sand island areas indicated the places with restriction to human population presence, which corresponded to the non-populated cells in the density surface. The percent of forest area in each cell was used as a variable, in conjunction to distance to river, distance to roads, distance to urban centers, and slope to distribute population estimates in the final population density surface. Once this methodological procedure was developed one can apply the same approach to the entire municipality. Population density surfaces are a substantial data source to represent the population distribution in space, what is one of the main focuses of the population and environment relationships debate.

Palavras-chave: geoprocessing, remote sensing, demography, density surface, population data, Brazilian Amazonia, CCD/CBERS, geoprocessamento, sensoriamento remoto, demografia, superfícies de densidade, distribuição populacional, Amazônia brasileira, CCD/CBERS.

1. Introdução

Durante muito tempo, a visão predominante em estudos sobre população e ambiente considerava apenas a pressão de números da população sobre os recursos naturais. As discussões não abordavam a dinâmica populacional como determinante ou conseqüência de fatores ambientais (Hogan, 1989). Na visão atual, o crescimento demográfico não é mais o determinante de problemas ambientais, visto a estabilização da taxa média de fecundidade brasileira de 2,1 filhos por mulher. Mais importante que o crescimento demográfico é a localização, a concentração e a mobilidade das populações, o que gera a demanda por recursos e as conseqüentes alterações e interações com o ambiente (Hogan, 2004).

Segundo o censo 2000 (IBGE, 2001), dos 21,1 milhões de habitantes da Amazônia Legal Brasileira, 69% encontram-se nas áreas urbanizadas, onde os baixos índices de saúde, educação e salários aliados à falta de equipamentos urbanos, expressam a baixa qualidade de vida da população local (Becker, 1995; Monte-Mór, 1998). A presença humana na região, ao mesmo tempo em que condiciona alterações ambientais, é influenciada pelo ambiente resultante, a ponto da condição de vida nos assentamentos humanos ser considerado um dos maiores e piores problemas ambientais na região Amazônica (Becker, 2001).

A maioria dos trabalhos científicos na região que abordam a questão humana e o meio ambiente integrados por técnicas de sensoriamento remoto, ou trabalham na escala micro, ou têm na população¹ a grande variável independente. Neste trabalho, a propriedade explorada da população é sua alocação e distribuição no espaço, para a qual, as ferramentas de geoinformação, enquanto sensoriamento remoto e análise espacial, se aplicam.

O mapeamento da densidade da população urbana através de características obtidas da análise das imagens de sensoriamento remoto tem sido proposto como alternativa às técnicas convencionais de representação da população (Green (1957), Iisaka e Hegedus (1982), Lo (1995), Chen et al. (2000), Marques e Foresti (2001), Harvey (2002), Faure et al., (2003)). Estas técnicas são interessantes ao se considerar cidades ou pequenas áreas, porém são inviáveis ao se considerar os custos em aplicá-las em nível regional ou nacional. De modo geral, o sensoriamento remoto será mais eficiente em aplicações onde se pretende alocar a densidade populacional para uma dada área, de população conhecida, ao invés de estimar a contagem da população propriamente dita (Sutton et al., 1997).

A densidade da população pode ser representada através de uma estrutura mais refinada que somente os polígonos para os quais se obteve o dado de contagem e amostragem, ou seja, em superfícies regulares que descrevem a densidade por unidade de área. Há vários métodos para se representar dados censitários através de superfícies de densidade. Uma síntese destes métodos é apresentada por Amaral et al. (2002). Porém, a chave para interpolar dados sócio-econômicos de uma representação para outra é estimar uma superfície contínua intermediária que suporte e seja a base para distribuir a variável em questão (Goodchild et al., 1993). Dados geográficos, como os provenientes de sensoriamento remoto, descrevem a heterogeneidade espacial e possibilitam a redistribuição mais apropriada da densidade de população, em métodos combinados, como descrito por Langford e Uwin (1994).

Este trabalho tem por objetivo apresentar a metodologia utilizada na construção de superfícies de densidade de população para uma região do município de Marabá-PA, ressaltando a contribuição de dados provenientes do sistema CCD/CBERS1 (Câmera Imageadora de Alta Resolução, Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) para representar a heterogeneidade espacial interna aos setores censitários.

2. Área de estudo

O município de Marabá foi exemplo da intensa mobilidade humana da década de 80, e ainda hoje representa processos de mobilidade rural-urbana e ocupação de terras apesar de ser considerada uma região onde a fronteira encontra-se consolidada. Por sua importância e influência regional, o município configura-se como uma capital regional, sendo citado popularmente como a futura capital do estado de Carajás. Marabá localiza-se no sudeste do estado do Pará (**Figura 1**), e com seus 15.111,26 km² de extensão, apresenta seu núcleo urbano na confluência dos rios Tocantins e Itacaiúnas e das estradas PA-150T e Transamazônica.

Trabalhos recentes na região de Marabá indicam que comparativamente aos períodos anteriores, o fluxo de entrada e saída de famílias tem se mostrado mais lento com uma tendência de permanência das famílias nos assentamentos (Oliveira et al., 2001). O estudo dos fluxos de famílias em 6 localidades destacou o movimento interno nos municípios: entre as sedes de localidades e a área rural, ou mesmo entre diferentes regiões na zona rural. Regiões mais antigas, com melhor infra-estrutura e próximas a centros urbanos são atratoras de fluxo.

¹ Neste trabalho, o conceito de população é limitado à estimativa de pessoas residentes, uma vez que os dados utilizados para caracterizar a população, são os valores de censo demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Movimentos de entrada de famílias de outros estados são observados em áreas com presença de mata por intermédio de parentes.

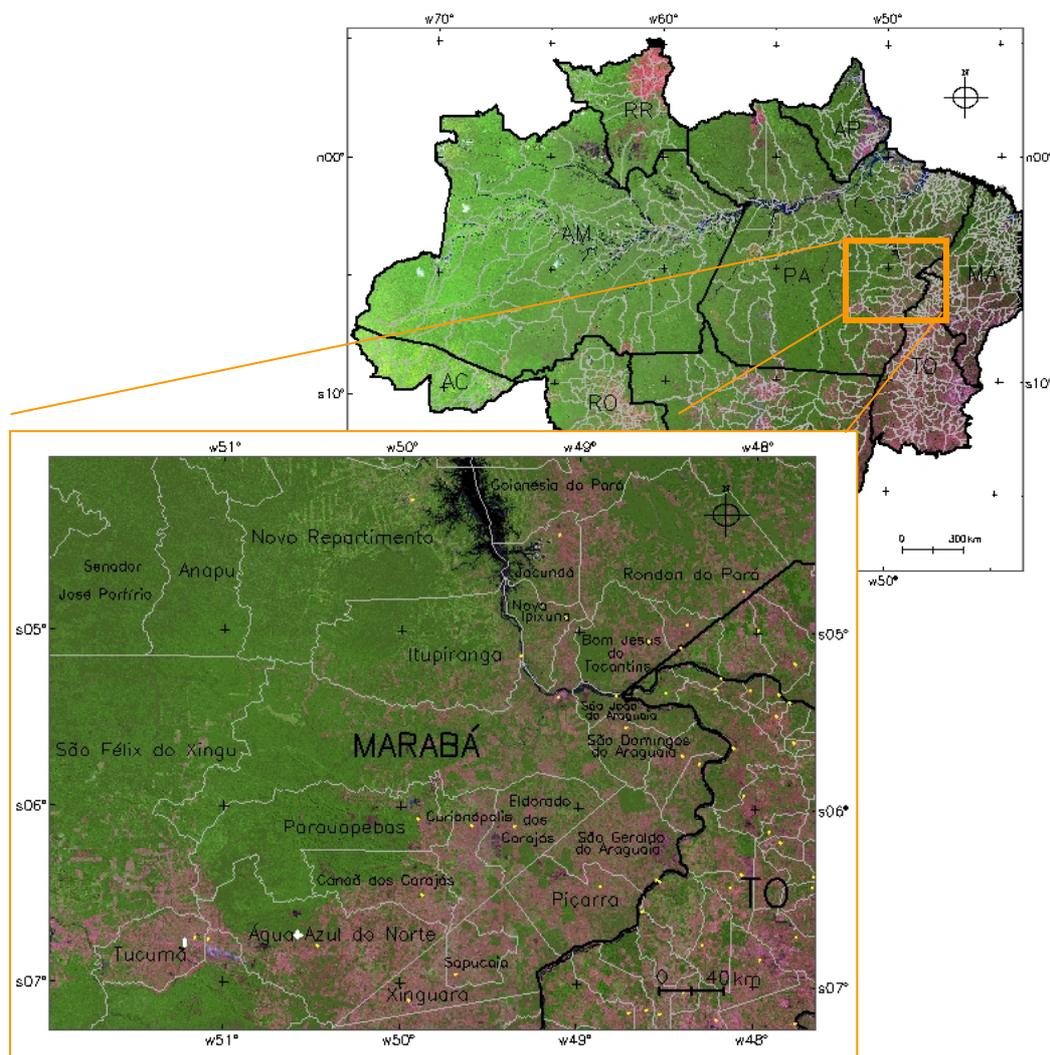


Figura 1 – Localização de Marabá no estado do Pará.

Dentre os movimentos de saída destacam-se em números inferiores aos de entrada, o destino para outros estados e a troca de lotes dentro do mesmo município e dentro da mesma localidade. A infra-estrutura é apontada como o principal fator para a saída das famílias, expressa pela ausência de escola, más condições de manutenção das estradas e pela política agrícola vigente que dificultam o acesso ao crédito e assistência técnica. Enquanto o índice de saída (IS) de famílias observado em regiões de fronteira são de 60 a 80%, para a região de Marabá o índice de saída não ultrapassou a 3% indicando uma dinâmica diferente da estratégia da fronteira. Há indícios que a fronteira estaria se deslocando para oeste em direção a Novo Repartimento (Oliveira et al., 2001).

3. Proposta metodológica para desagregar população nos setores censitários.

Para gerar uma superfície de densidade populacional para o município de Marabá foi desenvolvido um procedimento híbrido dos métodos dasimétrico e multivariável com atribuição de pesos para variáveis indicadoras. O método foi desenvolvido inicialmente para uma região menor, próxima à sede, com imagem CCD/CBERS1, visando a extensão posterior para toda a área do município, com imagens Landsat.

O objetivo foi desagregar os valores de população atribuídos aos limites dos setores censitários, redistribuindo-os em células de 1 km x 1 km. A necessidade de se detalhar a representação da população a partir dos setores censitários decorre da heterogeneidade, tanto em relação à área dos 39 setores, variando de 1,17 km² a 1955,21 km² (com média de 387,47 km²), quanto à presença e intensidade da atividade humana observável no mosaico de classes de cobertura da terra.

Considerando-se que o detalhamento possível com imagens do sistema CCD/CBERS1 é de 20 m e com imagens do sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) do Landsat7 é de 30 m, definiu-se a grade de 1 km x 1 km como um compromisso adequado entre a base de dados e a superfície desejada. Assim, uma grade foi estruturada através de células de 1 km x 1 km de resolução espacial para o município de Marabá. Cada célula da grade correspondeu a um registro, contendo atributos não espaciais associados a tabelas no banco de dados em um sistema de informação geográfica. Apenas as células completamente contidas no limite do município (área igual a 1km²) foram consideradas válidas. Todo cálculo para a geração da superfície de densidade populacional utilizou as células como unidade de análise.

Para gerar a superfície de densidade de população distribuindo-se o valor de contagem da população criteriosamente dentro do setor censitário, considerou-se que:

- 1) não há população associada às áreas de corpos d'água e de floresta;
- 2) há variáveis que indicam a presença ou ausência de população no espaço e que podem ser usadas para sugerir a ocorrência e distribuição da população;
- 3) a relação entre estas variáveis indicadoras gera uma superfície potencial de ocorrência de população que permite a redistribuição dos valores censitários.

Assim, desenvolveu-se um método híbrido composto de três etapas básicas: (i) através de um método dasimétrico, eliminou-se as áreas de floresta e corpos d'água, para as quais não haveria habitantes; (ii) informações adicionais indicadoras de presença humana foram usadas para gerar uma superfície de ocorrência potencial de população (superfície adjacente), com uso de inferência Fuzzy (Zadeh, 1965) e método de interpolação multivariado; (iii) redistribuiu-se os valores de contagem populacional do setor censitário em cada célula proporcionalmente a um potencial de ocorrência de população definido pelas variáveis indicadoras. Desta forma, a densidade de população inicialmente representada nos limites dos setores censitários (poligonais), foi redistribuída em células de acordo com as relações definidas entre as variáveis indicadoras da presença da população (**Figura 2**).

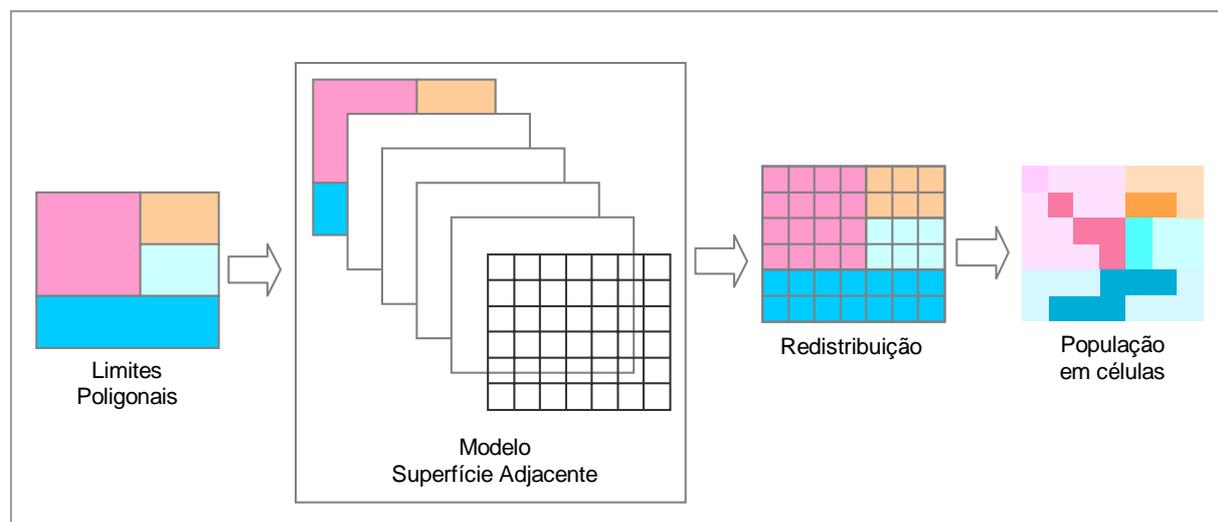


Figura 2 – Representação esquemática do procedimento para redistribuição da população nos setores censitários.

Este documento restringe-se a descrição da metodologia e resultados da primeira etapa de trabalho, onde as informações de sensoriamento remoto, especificamente de imagem CCD/CBERS, foram imprescindíveis. Consultar Amaral (2003) para o trabalho completo.

3.1 Método dasimétrico – restrição a áreas não habitadas através de imagens CBERS

O objetivo foi identificar as células onde não haveria possibilidade de ocorrência de população, basicamente os corpos d'água e áreas de floresta densa, o que se alcançou com o uso de um método dasimétrico baseado em imagens de satélite.

Foi utilizada uma imagem CCD/CBERS1, órbita-ponto 161/106, de 12/08/2002, nas bandas 1 (0,45 - 0,52 μm), 2 (0,52 - 0,59 μm), 3 (0,63 - 0,69 μm), e 4 (0,77 - 0,89 μm) de 20 m de resolução espacial e 113 km de faixa de imageamento. A imagem foi registrada tomando-se como referência os vetores dos limites dos setores censitários, com erro de aproximadamente 1,5 pixel (30 m) para um polinômio de primeiro grau, utilizando-se o interpolador bilinear para reamostrá-la para a projeção UTM/SAD-69 (Universal Transversa de Mercator, South America Datum – 1969).

Como o objetivo final não era o mapeamento das classes de cobertura do solo, mas sim a detecção das regiões potencialmente inabitadas, técnicas básicas de classificação digital de imagens foram empregadas sobre as bandas CCD/CBERS1. Após uma análise exploratória da resposta espectral, em termos de níveis digitais (ND), para as classes de interesse, foram aplicados limiares sobre as bandas para a classificação, ou o Método do Paralelepípedo (Richards, 1993).

4. Resultados

A distinção entre as áreas de remanescentes florestais e áreas ocupadas por cultivos e pastagens pode ser facilmente discriminada na composição colorida das bandas CBERS1/CCD utilizada, conforme apresentado na **Figura 3**.

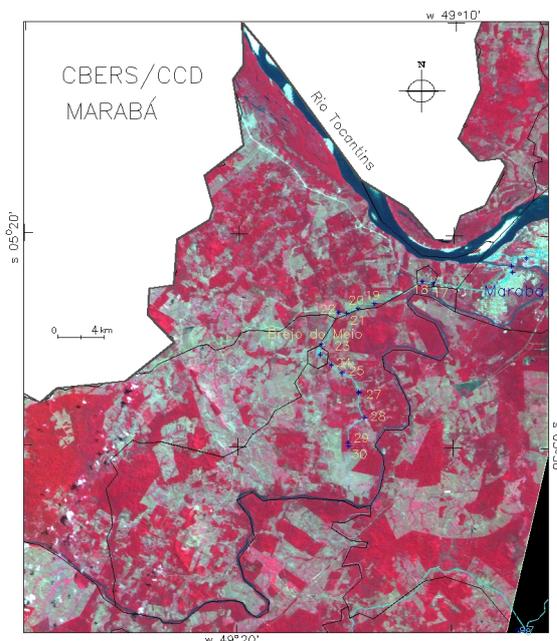


Figura 3 – Composição colorida (4R3G2B) da imagem CCD/CBERS1 para região próxima à sede de município de Marabá.

A banda 4 (infravermelho próximo) possibilitou a detecção de corpos d'água e a banda 3 (vermelho) identificou as ilhas arenosas. Para identificar as regiões de floresta densa foi definido um limiar sobre o histograma da razão de bandas conhecida como índice de

vegetação de diferença normalizada, a partir das bandas 4 e 3. A **Tabela 1** apresenta os valores de níveis digitais e as classes definidas. A Figura 4 apresenta a imagem classificada resultante.

Tabela 1 – Limiares para detecção de classes nas bandas CCD/CBERS1.

Classe	Banda Espectral	Limiar
Corpos d'água	Banda 4 – Infravermelho Próximo (0,77 - 0,89 μm)	ND < 118
Ilhas arenosas	Banda 3 – Vermelho (0,63 - 0,69 μm)	ND > 200
Floresta	Razão = (Banda4 – Banda3)/(Banda4 + Banda3)	ND > 107

A possibilidade de se classificar as áreas de floresta e superfícies de corpos d'água a partir da imagem CCD/CBERS1 auxiliou a construção de superfícies de densidade de população para a região a oeste da sede do município. Esta região foi parcialmente visitada durante trabalho de campo realizado em maio de 2003, cujo percurso encontra-se registrado na **Figura 4**. Apesar de não ter sido possível realizar uma análise estatística da classificação, pode-se verificar a equivalência entre as feições classificadas na imagem CCD/CBERS1 e os alvos no campo.

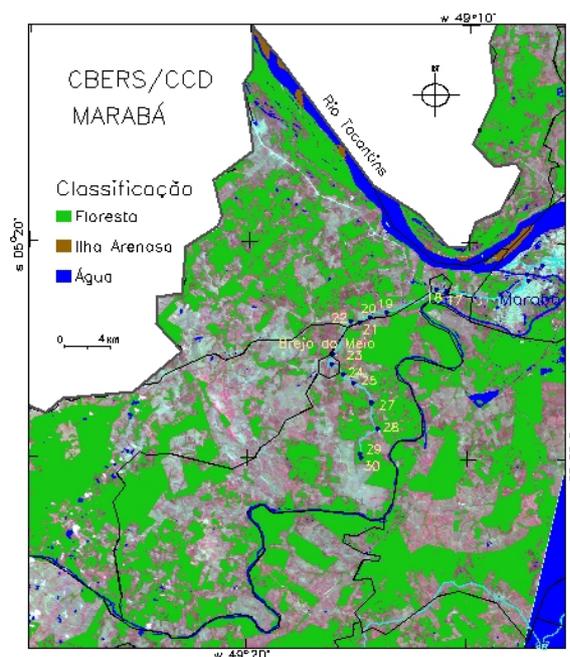


Figura 4 – Classificação digital resultante de aplicação de limiares sobre as bandas da imagem CCD/CBERS1 para região próxima à sede de município de Marabá.

Com a classificação das áreas de floresta, corpos d'água e ilhas arenosas, verificou-se em quais células da grade a somatória destas áreas classificadas atingiram 95% da área da célula. Estas células então receberam um valor de potencial de ocorrência de população igual a zero e foram excluídas do cálculo de densidade demográfica do setor censitário. A classificação da imagem foi o primeiro critério para distribuir a população eliminando células com nenhum valor potencial de população associado.

Para construir a superfície de densidade de população foram ainda consideradas as variáveis distância a vias, distância a rios, distância a núcleos urbanos, declividade e percentagem de floresta. A proporção de área florestada em cada célula também foi estimada a partir da classificação digital da imagem CCD/CBERS1.

Para finalmente redistribuir a população nas células da superfície de densidade, estas variáveis foram relacionadas com o uso de diferentes operadores como média simples, média

ponderadas, fuzzy mínimo, fuzzy máximo e fuzzy gama. A título de ilustração, apresenta-se na **Figura 5** as superfícies geradas através dos operadores média ponderada e fuzzy mínimo. Observa-se que as regiões homogêneas dos setores censitários (limites em preto) tiveram seus valores de densidade populacional redistribuído em células. Desta forma, a variabilidade espacial encontra-se representada na superfície de densidade de população.

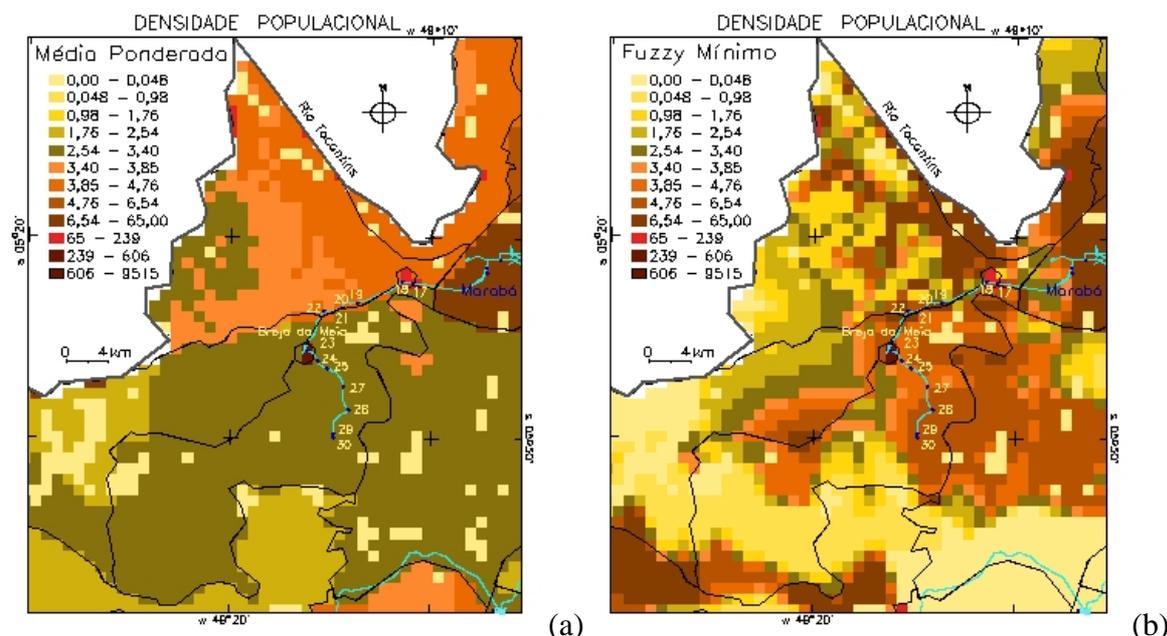


Figura 5 – Mapa temático das superfícies de densidade de população obtidas pelos operadores: Média Simples (a) e Fuzzy Mínimo (b) para a região a oeste da sede do município de Marabá. (Valores de densidade populacional em habitantes/km²).

A ausência de imagens CCD/CBERS1 livres de cobertura de nuvens para a região de Marabá, para datas mais próximas ao censo 2000, impossibilitou o uso destas imagens para distribuir a população de todos os setores censitários do município. Assim, imagens do sensor ETM+ a bordo do satélite Landsat 7 foram utilizadas como alternativa, numa segunda fase de construção de superfície de densidade populacional, resultado alheio ao escopo deste trabalho.

5. Considerações Finais

Este trabalho apresentou o procedimento desenvolvido para construir superfícies de densidade de população, ressaltando a contribuição de dados de sensoriamento remoto para capturar a heterogeneidade espacial da região.

Dados resultantes da classificação digital de imagem CCD/CBERS1 constituíram a base da proposta metodológica. Foi através da classificação de imagem que as áreas de floresta, corpos d'água e ilhas arenosas puderam ser computadas e assim indicar as áreas de restrição do modelo, ou seja, as células para as quais não se deveriam atribuir ocorrência de população. Da classificação digital também foi obtida a percentagem de floresta em cada célula, variável que foi utilizada para ponderar a redistribuição dos valores de densidade populacional. E finalmente, a partir do procedimento desenvolvido com imagens CCD/CBERS1 para a região apresentada, foi possível estender a metodologia para todo o município.

Este trabalho foi desenvolvido anteriormente a disponibilização das imagens CBERS2 e dos algoritmos de calibração radiométrica e correção atmosférica atuais. Vislumbra-se que com estes recursos, aliados a procedimentos de restauração de bandas, a classificação de imagens CBERS possibilitará a caracterização espectral e a consequente distinção mais detalhada da heterogeneidade espacial da superfície.

A possibilidade de se representar a distribuição da população em superfícies de densidade com apresentado neste trabalho permite análise temporal da evolução dos padrões de alocação no espaço, e indiretamente mobilidade populacional. Desta forma, são oferecidos dados adicionais para análise, para enriquecer o debate e os estudos integrados sobre população e meio ambiente na região Amazônica.

Referências

- Amaral, S. **Geoinformação para estudos demográficos: Representação Espacial de Dados de População na Amazônia Brasileira**. 2003, 166 p. Tese de Doutorado -Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- Amaral, S.; Monteiro, A. M. V.; Câmara, G.; Quintanilha, J. A. Interpoladores Espaciais para Geração de Superfícies de Densidade Populacional na Amazônia Brasileira: problemas e perspectivas. In: Simpósio Brasileiro de Geoinformática, IV., 2002. Caxambu. **Anais...** Belo Horizonte: GEOINFO, 2002. p. 73-82.
- Becker, B. K. 1995, Undoing Myths: The Amazon - An Urbanized forest. In **Brazilian Perspectives on sustainable development of the Amazon region - Man and Biosphere Series**, edited by G. M. Clüsener, Sachs, I. (Paris: UNESCO e Parthenon Publish Group Limited), p. 53-89.
- Becker, B. K. **Revisão das políticas de ocupação da Amazônia: é possível identificar modelos para projetar cenários?** (versão preliminar). Laboratório de Gestão do Território/UFRJ, Rio de Janeiro.2001, 23 p.
- Chen, S.; Zeng, S.; Xie, C. Remote sensing and GIS for urban growth analysis in China. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 66, p. 593-598, 2000.
- Faure, J. F.; Tran, A.; Gardel, A.; Polidori, L. Sensoriamento remoto das formas de urbanização em aglomerações do litoral Amazônico: elaboração de um índice de densidade populacional. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003. Belo Horizonte. **Anais...** São José dos campos: INPE, 2003., p. 1771-1779.
- Goodchild, M. F.; Anselin, L.; Deichmann, U. A framework for the areal interpolation of socioeconomic data. **Environment and Planning A**, v. 25, p. 383-397, 1993.
- Green, N. E. Aerial photographic interpretation and the social structure of the city. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 23, p. 89-96, 1957.
- Harvey, J. F. Population estimation models based on individual TM pixels. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 68, p. 1181-1192, 2002.
- Hogan, D. J. População e Meio Ambiente. Textos NEPO 16. Campinas, Núcleo de Estudos Populacionais - NEPO / UNICAMP, 1989. 86 p.
- Hogan, D. J. Mobilidade populacional e mudanças ambientais. Palestra INPE - Comunicação pessoal. 2004.
- IBGE. **Censo Demográfico 2000**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2001.
- Iisaka, J.; Hegedus, E. Population estimation from Landsat Imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 12, p. 259-272, 1982.
- Jensen, J. R.; Cowen, D. C. Remote Sensing of Urban/Suburban Infrastructure and Socio-Economic Attributes. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 65, p. 611-622, 1999.
- Langford, M.; Unwin, D. J. Generating and mapping population density surfaces within a geographical information system. **The Cartographic Journal**, v. 31, p. 21-26, 1994.
- Lo, C. P. Automated population and dwelling unit estimation from high-resolution satellite images: a GIS approach. **International Journal of Remote Sensing**, v. 16, p. 17-35, 1995.
- Marques, M. L.; Foresti, C. Análise espacial da estrutura urbana da cidade litorânea de Itanhaém (SP). **Geografia**, v. 26, p. 7-35, 2001.
- Monte-Mór, R. L. M. 1998, Health, the Environment and Urban-Rural Relations in Amazonia. In **Environment and Health in Developing Countries**, edited by M. Chatterji, M. Munasinghe and R. Ganguly (New Delhi, India: A.P.H. Pub. Corporation), p. 149-156.

Oliveira, M. C. C.; Silva, W. R.; Santos, W. A. **Estudo sobre o processo de migração de agricultores familiares na área rural da região de Marabá**, LASAT - Laboratório Sócio-Agrônomo do Tocantins, 2001. 46 p.

Richards, J. A. **Remote sensing digital image analysis. An introduction**, Second, revised and enlarged edition, Berlin: Springer-Verlag, 1993, 340 p.

Sherbinin, A.; Balk, D.; Yager, K.; Jaiteh, M.; Pozzi, F.; Giri, C.; Wannebo, A. **A CIESIN Thematic Guide to Social Science Applications of Remote Sensing**. Center for International Earth Science Information Network (CIESIN) of Columbia University, Palisades, NY. 2002. 69 p.

Sutton, P.; Roberts, C.; Elvidge, C.; Meij, H. A comparison of nighttime satellite imagery and population density for the continental united states. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 63, p. 1303-1313, 1997.

Zadeh, L. A. Fuzzy Logic. **Computer**, v. 21, p. 83-92, 1988.