

**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE**  
**Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto**  
**Disciplina: Análise Espacial – SER-301-3**

**Professores:** Dr. Antônio Miguel Vieira Monteiro.

**Aluno:** Járvis Campos.

**Atividade:** Proposta para o trabalho prático.

---

### **Objetivo do trabalho**

Na minha tese de doutoramento (em fase de elaboração), vou identificar as tendências da distribuição espacial da população brasileira. Para tanto, vou fazer uso de informações dos últimos censos demográficos para uma análise de diagnóstico do processo recente de (re)distribuição da população. Num segundo momento, vou construir um modelo de projeção multirregional, de modo a identificar as tendências futuras; e, para isso, nas metodologias do modelo multirregional, faz-se uso de informações sobre as tendências recentes (das últimas décadas), das componentes fecundidade, mortalidade e migração, bem como das taxas de crescimento das unidades territoriais em análise (no caso, os municípios), para a construção dos cenários de projeção.

Sendo assim, a aplicação de métodos de estimação populacional intercensitária, para o nível dos municípios, tem o potencial de gerar informações que não são restritas à escala decenal dos censos demográficos, fornecendo dados anuais de população – em particular para aqueles municípios que apresentaram taxa de crescimento positivo – o que constitui numa base de informações fundamental para a construção de cenários de projeção populacional mais preciso. Portanto, faz-se necessária a utilização de um método de boa confiabilidade, e que ao mesmo tempo permita a sua aplicação na escala regional, para diversos municípios.

O período a que se pretende estimar a população corresponde às décadas anteriores ao último censo (a década de 2000 e talvez a década de 90), de forma que já se tem os dados de população nos extremos (inicial e final) do período intercensitário em análise; o que talvez facilite a estimação da população, na medida em que os erros implícitos, se apresentados de forma homogênea para cada ano, nesse caso bastaria fazer um ajuste aos valores extremos observados, dado que o interesse, muito mais do que a obtenção precisa dos valores de população para cada município, é a identificação de tendências sobre o ritmo de crescimento na década em análise (para

cada município), num contexto em que os dados oficiais (do IBGE) apresentam um crescimento linear (a partir da taxa média anual de crescimento). A aplicação de estimativas populacionais intercensitárias torna-se ainda mais útil quando se trabalha em níveis desagregados como os municípios, muitos dos quais não apresentam tendências de (de)crescimento linear ao longo de uma década, podendo, portanto, fornecer informações relevantes para a tomada de decisão quanto à construção dos cenários de projeção populacional (ex.: as curvas anuais de crescimento populacional).

No item “estado da arte”, são apresentados os métodos de estimação populacional, onde fica claro que o método de maior precisão corresponde à contagem das unidades domiciliares a partir de imagens de sensores de alta resolução espacial. Entretanto, este método não é replicável para a escala de análise regional, seja pela dificuldade de obtenção das imagens, seja pelo processamento das imagens de alta resolução para extensas áreas, e principalmente pelos métodos que demandam a identificação e construção, para cada município, de áreas de densidade populacional homogênea (a partir de características socioeconômicas intraurbanas), o que é incompatível com a escala de análise regional, do meu trabalho.

Nesse sentido, os métodos baseados em pixel usualmente utilizam de imagens de média resolução espacial, de acesso gratuito e replicável para vários municípios, além de apresentarem resultados confiáveis no agregado municipal. Entre os trabalhos que utilizam de modelos de estimação baseados em pixels individuais, destaca-se o trabalho de Harvey (2002b), e nesse sentido, o presente trabalho propõe a replicação da metodologia de Harvey para o município de Ribeirão das Neves (MG), município este marcado por elevadas taxas de crescimento populacional nas décadas de 90 e 2000.

### **Estado da Arte**

Wu et al (2005) apresenta uma revisão sobre os métodos de estimação populacional existentes na literatura em sensoriamento remoto e no geoprocessamento. Os métodos podem ser agrupados entre duas categorias principais: *métodos interpoladores de área* (que ainda podem ser subdivididos entre os que utilizam ou não de dados auxiliares, como é o caso das técnicas de mapeamento dasimétrico); e os *métodos de modelagem estatística* que, por sua vez, podem ser agrupados em 5 categorias baseadas no relacionamento entre populações e “áreas urbanas”, “uso da

terra”, “unidades domiciliares”, “outra característica física ou socioeconômica” e “características baseadas no pixel”.

Os métodos de interpoladores de área são destinados aos problemas de transformação de áreas (também conhecido como MAUP), no qual envolve a transformação de dados de um conjunto de unidades espaciais para outra unidade espacial. Essa abordagem usa de dados censitários como input e aplica técnicas de interpolação ou desagregação para a obtenção de superfícies populacionais mais refinadas. Por outro lado, as técnicas de modelagem estatística é usualmente utilizada para a inferência do relacionamento entre população e outras variáveis, para a estimação da população total de uma dada área, e os dados censitários são utilizados não como input, mas para o processo de treinamento. Embora esta abordagem seja destinada para a estimação de populações intercensitárias ou para populações de difícil enumeração, a modelagem estatística pode também ser incorporada no processo de interpolação (WU et al, 2005).

O uso do sensoriamento remoto na modelagem estatística teve início na década de 1950, quando pesquisadores aplicaram diversos métodos para a estimação populacional em diferentes escalas, a partir de diferentes tipos de imagens de sensores remotos (WU et al, 2005). A categoria “áreas urbanas” trata-se, resumidamente, de uma abordagem entre áreas urbanas e tamanho populacional, e geram, normalmente, estimadores de regressão com resultados mais imprecisos. A categoria “uso da terra” se baseia na estimação populacional através da correlação entre contagem da população e diferentes usos da terra. Baseado na aplicação de métodos dasimétricos, essa categoria produz resultados mais precisos que a anterior, muito embora sua precisão na estimação populacional seja quanto maior e mais acurados forem os diferentes usos da terra classificados previamente. A categoria de “unidades domiciliares” estima a população a partir da multiplicação do número total de unidades domiciliares com o número de pessoas que normalmente vivem nessas unidades, sendo que esses métodos tornaram-se possíveis com os avanços dos sensores de alta resolução espacial. Na categoria “outra característica física ou socioeconômica”, diversas variáveis podem ser incorporadas na estimação populacional, tais como o LandScan Global Population Project (DOBSON et al, 2000 apud WU et al, 2005), diversas coberturas da terra derivadas de vários tipos de sensores remotos, bem como outros tipos de informações demográficas, topográficas e de redes de transportes (WU et al, 2005). Por fim, a categoria “características

baseadas no pixel” estima a densidade populacional através da correlação entre os valores de reflectância espectral dos pixels das imagens de sensores remotos.

Entre os diversos trabalhos sobre estimação populacional baseado em pixels individuais, destaca-se Harvey (2002b), que propõe um método de desagregação de populações contidas em áreas agregadas, a partir da associação das populações associadas a cada pixel da imagem, para as províncias australianas de Ballarat e Geelong.

Harvey (2002b) utiliza pixels de imagem Landsat TM que foram classificadas como residencial ou não residencial. Para os pixels definidos como residencial, o aumento da densidade populacional tende a estar associada a uma maior reflectância nas bandas 1 e 7 (indicando a predominância de superfícies construídas), enquanto que a menor reflectância na banda 5 indica a predominância de superfícies naturais. As bandas 2, 3 e 4, por sua vez, apresentam uma resposta marcadamente inferior, na discriminação dos elementos citados anteriormente.

O algoritmo *expectation-maximization* (EM) foi usado para a construção e reestimação de uma regressão iterativa dos pixels populacionais. A validade preditiva do modelo também foi testada a partir da aplicação da equação ajustada da regressão na segunda imagem (do segundo distrito, como em Harvey, 2002a). O modelo baseado em pixel se mostrou mais robusto em áreas de densidade populacional extremas (muito alto ou muito baixa densidades)<sup>1</sup>. Harvey (2002b) conclui que o modelo gerado não foi validado para aplicação em qualquer área geográfica, ou para diferentes variações temporais ou culturais, sendo necessário pesquisar e incorporar em novos modelos as dissimilaridades de cada região, além de uma cuidadosa calibração nas classificações das fases da construção do modelo.

Os trabalhos de Harvey são amplamente citados na literatura e, nesse sentido, vale ressaltar o trabalho de Reis (2005), que aplica as técnicas apresentadas em Harvey (2002a e 2002b), na estimação das populações por setores censitários de Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais, Brasil, para o ano de 1996, e com auxílio do sensor TM Landsat 5 (bandas 1 a 5 e 7), além dos dados do cadastro urbano do município. Os resultados mostraram que os pixels classificados como urbanos tiveram

---

<sup>1</sup> O erro relativo para a população total urbana foi estimada em menos de 2% para as duas áreas em estudo, enquanto que o erro médio relativo por zona individual foi de 25% na primeira área e de 21% na segunda área.

desempenho pior no nível micro (com erro relativo mediano de 30,4% contra 14% no trabalho de Harvey, 2002b), mas bem superior no nível agregado (erro relativo total de 0,47% contra -4,8% em Harvey). Portanto, assim como em Harvey (2002b) “os problemas de superestimação e subestimação da população dos setores (nível micro) tendem a se concentrar nos setores menos e mais densos, respectivamente” (REIS, 2005). Reis (2005) conclui que a incorporação de uma variável auxiliar como indicação de densidade populacional permitiria que os modelos fossem ajustados separadamente para setores muito densos e pouco densos.

**Observação:** *Professor Miguel, ao invés de propor novamente um método não relacionado ao que vou trabalhar na tese, ao contrário, defini o uso do SER na tese e já proponho para esta disciplina. Porém, tenho a opinião que replicar o método de Harvey não é nada trivial, aliás, é bem mais complicado do que um método convencional de análise espacial (na minha opinião). Isso porque envolve modelos de regressão – que preciso revisar – além de trabalhar com SER de uma forma que eu não tenho experiência ainda. Contudo, para ser objetivo e para atender à necessidade (que você tanto reiterou comigo) de conciliar as disciplinas com a tese, faço da proposta desse curso meu objeto principal de pesquisa... mas, PROPONHO: se eu não conseguir reproduzir completamente o trabalho de Harvey (pois na minha opinião vai muito além do tempo disponível para o trabalho final da disciplina, e do que a mesma exige, acredito), eu apresento os meus avanços em termos de tratamento de dados, além de uma revisão sólida sobre o estado da arte desses métodos, e em especial, uma forte apresentação do método que adotei para a tese. É razoável? Assim, passo a focar exatamente no método que vou trabalhar, o que é ótimo, mas sem a necessidade de mostrar os resultados na disciplina, o que seria desproporcional em função do tamanho e complexidade deste trabalho e do tempo.*

### **Bibliografia básica**

HARVEY, J. T. Estimating census district populations from satellite imagery: some approaches and limitations. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 10, p. 2071-2095, 2002a.

\_\_\_\_\_. Population estimation models based on individual TM pixels. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v. 68, n. 11, p. 1181-1192, 2002b.

REIS, I. A. Estimação da população dos setores censitários de Belo Horizonte usando imagens de satélite. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia. **Anais...** XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 1, p. 2741-2748, 2005.

WU, S.; QIU, X.; WANG, L. **Population Estimation Methods in GIS and Remote Sensing: A Review**. *GIScience & Remote Sensing*, 42, n.1, p.80-96, 2005.