

Revista Brasileira de Cartografia (2014) N^o 66/6: 1395-1411
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

MÉTODO DASIMÉTRICO INTELIGENTE: UMA APLICAÇÃO NA MESORREGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM

Intelligent Dasymetric Method: an Application in Mesorregião Metropolitana de Belém

Vitor Oliveira França¹; Julia Celia Mercedes Strauch^{1,2} & Cesar Ajara¹

¹Escola Nacional de ciências Estatísticas – ENCE
Programa de pós-graduação *Stricto Sensu* em População, Território e Estatísticas Públicas
Rua André Cavalcanti, 106, sala 503 B, Brasil.
{vitor.franca, julia.strauch, cesar.ajara}@ibge.gov.br

²Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ
Faculdade de Engenharia- Departamento de Cartografia
Rua São Francisco Xavier, 524 - sala 4024, Brasil.

Recebido em 27 de Junho, 2014/ Aceito em 30 de Agosto, 2014
Received on June 27, 2014/ Accepted on August 30, 2014

RESUMO

Este trabalho investiga as técnicas dasimétricas e aplica o algoritmo do Mapeamento Dasimétrico Inteligente proposto por Mennis (2003) para desagregar a variável população total do Censo Demográfico 2010. Como área de estudo foi selecionada a Mesorregião Metropolitana de Belém e como dados auxiliares para o método foi utilizado o mapa de uso e cobertura da terra adquirido através do Projeto TerraClass, desenvolvido pelo INPE, que mapeou na escala 1:100.000 as áreas desflorestadas da Amazônia Legal. Como resultado observou-se que o mapa dasimétrico produzido pelo método inteligente, além de estar em conformidade com a escala cartográfica do dado auxiliar utilizado, oferece um detalhamento da distribuição espacial da população, principalmente, na área rural.

Palavras chaves: Mapeamento Dasimétrico, Interpolação Zonal, Estimativa em Pequenas Áreas.

ABSTRACT

This paper investigates the dasymetric techniques and the use of Intelligent Dasymetric Mapping algorithm, proposed by Mennis, (2003) to disaggregate the total population variable from 2010 Census. As the study area, we selected the Belém Metropolitan Region and we used as auxiliary data for the method the land use and cover map acquired through TerraClass Project, developed by INPE, which mapped at 1:100,000 scale deforested areas of Legal Amazon. As a result, we observed that dasymetric map produced by intelligent method besides comply with the cartographic scale of the auxiliary data used provides a breakdown of population spatial distribution, especially in rural areas.

Keywords: Dasymetric Mapping, Zonal Interpolation, Estimates for Small Areas.

1. INTRODUÇÃO

Informações detalhadas sobre a estrutura e a distribuição espacial das populações humanas são imprescindíveis para tomada de decisões em uma variedade de domínios. A principal e mais completa fonte dessas informações são os recenseamentos de população ou de habitação, complexos levantamentos estatísticos realizados por quase todos os países em intervalos regulares.

Os recenseamentos são motivados pela necessidade de informações demográficas para planejamento de políticas públicas a médio e longo prazo, o que não impede que os dados obtidos sejam utilizados em uma ampla variedade de análises. Entretanto, variáveis censitárias possuem limitações relacionadas às suas escalas espacial e temporal que comprometem sua utilização em algumas aplicações, como meio ambiente, defesa civil, saúde pública e *geomarketing*.

Em relação à escala espacial, os dados censitários representam totais ou médias de unidades de um zoneamento censitário. A agregação constitui uma forma de retirar a individualidade e a identidade das informações individuais, de forma a preservar a sua confidencialidade, além de reduzir o volume de dados. Em muitos países as unidades de agregação do censo são definidas de forma a facilitar a coleta. Portanto a área varia inversamente à densidade populacional. Em consequência, existe grande incerteza quanto à distribuição da população no interior das unidades do censo, sobretudo nas áreas rurais.

Zoneamentos censitários frequentemente não coincidem com outras regiões de análise, como unidades da paisagem, bacias hidrográficas, regiões administrativas de ensino e saúde etc. A alteração de limites das unidades censitárias ao longo do tempo também dificulta a realização de análises sobre a dinâmica sociodemográfica, pois os dados não podem ser diretamente comparados entre os censos.

Na maioria dos países, os censos são realizados com periodicidade decenal, o que é suficiente para atender à sua principal demanda, mas insuficiente para algumas aplicações críticas. Nos períodos intercensitários, a população pode ser determinada através de contagens ou estimada a partir de projeções, porém com

menor detalhamento espacial. Normalmente, a população de referência dos censos é a população residencial (ou noturna), que não é adequada, por exemplo, para estimar a população diurna atingida por uma catástrofe. Dessa forma, existe também grande incerteza quanto à distribuição da população fora do período de referência.

Em conjunto com a base cartográfica do zoneamento censitário, as variáveis demográficas podem ser estruturadas em bancos de dados geográficos, tratadas e analisadas por meio dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), não apenas para representação cartográfica, como também para obtenção de estimativas quantitativas usadas em análises espaciais e no cálculo de taxas e indicadores. Devido à inerente agregação dos dados censitários, a técnica cartográfica mais utilizada para representar e analisar dados socioeconômicos é a técnica coroplética. Dados agregados em zonas coropléticas inevitavelmente introduzem viés em análises espaciais, pois a técnica assume o pressuposto da distribuição uniforme da variável no interior de cada unidade do zoneamento, o que raramente ocorre com a população. Quanto maior a unidade, maior o viés introduzido, maior a perda em detalhe e especificidade, maior a propagação de erros nos cálculos subsequentes. Dados agregados, e, por conseguinte, mapas coropléticos, estão fadados a *Falácia Ecológica* (ROBINSON, 1950 e 2009) e ao *Problema da Unidade de Área Modificável* (LAM, 1983), frequentemente citados na literatura.

Essas limitações podem ser contornadas pela geração de dados demográficos com resolução espacial e/ou temporal mais detalhada, que representem a distribuição populacional de forma mais realista. Nesse sentido, muitos métodos foram propostos para estimar população. Uma importante contribuição provém do geoprocessamento e do sensoriamento remoto. Na literatura específica, os métodos de estimativa populacional são divididos em duas grandes categorias: modelagem estatística (por regressão) e interpolação zonal (WU *et al.*, 2005).

Os métodos de regressão estatística buscam estabelecer uma relação entre a população e outras variáveis, sobretudo aquelas derivadas de sensoriamento remoto, para estimar a população em períodos intercensitários ou em áreas de difícil recenseamento. Já a interpolação zonal

é utilizada para compatibilizar dados entre zoneamentos distintos ou para desagregar variáveis demográficas. Os métodos mais recentes utilizam informações auxiliares. Mapeamento dasimétrico é um tipo específico de interpolação zonal, baseada em uma técnica cartográfica, que utiliza informações auxiliares para desagregar variáveis demográficas como população total e densidade populacional.

Nas duas últimas décadas, diversas abordagens do método dasimétrico foram desenvolvidas, refinadas e comparadas em diferentes escalas. Classes de uso da terra derivadas de imagens de satélite constituem a informação tradicionalmente utilizada (MENNIS, JEREMY; HULTGREN, 2004; MOON; FARMER, 2001; WEBER, 2010), mas diferentes insumos geoespaciais foram propostos, incluindo luzes noturnas obtidas a partir de imagens de satélites meteorológicos (DMSP/OLS) (ELVIDGE *et al.*, 1999), bases de arruamento (REIBEL; BUFALINO, 2005), bases cadastrais de prefeituras (MAANTAY *et al.*, 2007), cadastros de endereços (ZANDBERGEN, PAUL A, 2011) e modelos digitais de superfície derivados de perfilamento laser (LIDAR) (LWIN; MURAYAMA, 2011). Algumas iniciativas foram realizadas para utilizar várias fontes de dados auxiliares (BHADURI *et al.*, 2007), em uma abordagem multidimensional.

Apesar de grande produção científica, ainda existem algumas barreiras que impedem o uso generalizado de métodos dasimétricos. Não existe consenso na literatura em relação ao melhor e poucos estudos abordam a exatidão proporcionada pelos diferentes métodos. Também são poucos e recentes os algoritmos disponibilizados para facilitar a aplicação desses métodos nos aplicativos SIG. No Brasil, apesar de relevantes trabalhos acerca do tema (AMARAL *et al.*, 2005, 2012; DUTENKEFER, 2010), não se tem conhecimento de uma iniciativa para produção sistemática de modelos detalhados da distribuição espaço-temporal da população, representativos do território nacional ou parte dele.

Ressalta-se que, ainda que seja utilizada quase que exclusivamente para representar e analisar a população residente ou a densidade populacional, a interpolação dasimétrica pode ser aplicada para desagregar qualquer variável

quantitativa, desde que se tenha disponível um conjunto de dados auxiliares fortemente correlacionados com esta variável.

Desta forma, este trabalho busca contribuir para o estado da arte dos métodos dasimétricos, uma vez que a crescente oferta de dados geográficos e os métodos desenvolvidos tornam viável a representação mais detalhada da distribuição espacial da população. Para isto é selecionada a Mesorregião Metropolitana de Belém e aplicado o algoritmo proposto por Mennis (2003) de forma a avaliar o mapeamento produzido pelo método dasimétrico inteligente.

Para melhor compreensão deste trabalho, na **seção 2** é apresentada a evolução da malha territorial utilizada no Censo demográfico do Brasil; na **seção 3** é efetuada uma revisão nos métodos de estimativa populacional em pequenas áreas; na **seção 4** é apresentada a área de estudo; na **seção 5** é descrito os materiais e métodos utilizados; na **seção 6** são descritos os resultados e, finalmente, na **seção 7** são apresentadas as conclusões deste trabalho.

2. MÉTODOS DE ESTIMATIVA POPULACIONAL EM PEQUENAS ÁREAS

Várias áreas de aplicação da informação demográfica requerem dados em escala espacial e/ou temporal mais detalhada do que as disponibilizadas pelos censos. Essas informações podem ser estimadas através de modelos demográficos. Entretanto, conforme observado por Qiu *et al.* (2010), o emprego de tais modelos envolve considerável conhecimento especialista em análise demográfica e, a qualidade das estimativas depende fortemente da qualidade dos dados e do conhecimento do desempenho do modelo em situações anteriores, nem sempre disponíveis. Portanto, os modelos demográficos para estimativa em pequenas áreas possuem maior aplicação na área de projeções populacionais.

Como alternativa, diversos métodos de estimativa populacional foram propostos na literatura de geoprocessamento e sensoriamento remoto. Em uma extensa revisão dos métodos até então descritos, Wu, Qiu e Wang (2005) os classificaram em duas grandes categorias: interpolação zonal e modelagem estatística.

A interpolação zonal é tradicionalmente utilizada como solução para a transferência

de valores de uma variável entre diferentes conjuntos de unidades espaciais, e, para tanto pode ou não fazer uso de informações auxiliares. Já a modelagem estatística busca estabelecer uma estimativa com base na relação entre população e outras variáveis, utilizando obrigatoriamente informações auxiliares.

2.1 Interpolação Zonal

Em matemática, denomina-se interpolação o método que permite construir um novo conjunto de dados a partir de um conjunto discreto de dados pontuais previamente conhecidos, normalmente obtidos a partir de amostragem. Métodos de interpolação espacial são essenciais para a estimativa de variáveis biofísicas e socioeconômicas em diversas disciplinas. São especificamente desenvolvidos para determinado tipo de dado ou variável (LI e HEAP, 2008).

Interpolação zonal é um tipo de interpolação espacial aplicado para estimar valores de uma ou mais variáveis em um conjunto de unidades espaciais (zonas de destino) a partir de valores existentes em outro conjunto de unidades (zonas de origem) na mesma área de estudo (LAM, 1983). É utilizada para tratamento e análise de dados de diferentes fontes, coletados ou agregados em zoneamentos distintos, assim como para a desagregação espacial, ou seja, para decomposição de uma variável de zonas maiores em zonas menores. Como exemplo, sejam as seguintes situações, para as quais a interpolação zonal pode prover resultados mais exatos na análise de dados demográficos:

- Uma empresa possui dados referentes às suas unidades operacionais e precisa conhecer o total de pessoas que vivem sob a área de influência destas unidades.
- Um órgão de Defesa Civil necessita estimar o número de pessoas potencialmente atingidas por uma catástrofe natural, como uma enchente.
- Um cientista social quer analisar uma série temporal de dados agregados por setores censitários, mas as malhas de setores possuem diferentes delimitações entre os censos.
- Um órgão de planejamento necessita calcular o tempo de deslocamento da população aos serviços de saúde ou educação.

Existem muitos métodos de interpolação

zonal e cada um deles está baseado em pressupostos assumidos em relação à distribuição espacial do fenômeno analisado. A escolha de um método deve ser realizada observando-se o tipo de dado utilizado, a facilidade de implementação, a exatidão desejada, o esforço computacional e a disponibilidade de dados e tempo (HAWLEY e MOELLERING, 2005). Nenhum método garante resultados totalmente precisos, pois sempre há alguma limitação associada às hipóteses assumidas. A exatidão da estimativa depende de fatores como a qualidade dos dados originais, os pressupostos assumidos sobre a distribuição original dos objetos e a relação espacial imposta no processo de interpolação (LAM, 1983).

Os métodos de interpolação zonal podem ser classificados por diferentes critérios. Rase (2001) propôs uma classificação baseada em cinco categorias de acordo com o propósito da operação: agregação, desagregação, compatibilização, suavização e para criar superfícies contínuas a partir de pontos. Entretanto, a classificação mais adotada na literatura foi proposta por Wu, Qiu e Wang (2005). Segundo esses autores, os métodos distinguem-se inicialmente entre os que não utilizam e os que utilizam dados auxiliares. Os métodos que utilizam dados auxiliares são denominados dasimétricos (Fig. 1).

Interpolação zonal sem Informação auxiliar

Os métodos sem uso de informações auxiliares foram os primeiros desenvolvidos em função da necessidade de manipulação de dados em sistemas computacionais. Podem ser baseados em pontos ou em áreas. A interpolação zonal baseada em pontos não utiliza integralmente as zonas originais. Uma etapa preliminar consiste em transformá-las em um conjunto de pontos representativos, como centroides. Em seguida, cria-se uma grade regular e estimam-se os valores dos pontos da vizinhança com base nos valores conhecidos. Os métodos exatos priorizam a preservação dos valores originais, enquanto outros priorizam o ajuste se uma função global para a área, sem preservar obrigatoriamente os valores originais (SILVA, 2009; WU *et al.*, 2005).

Os métodos baseados em pontos apresentam sérias deficiências no trato de variáveis socioeconômicas. A seleção arbitrária de pontos representativos não considera a complexa

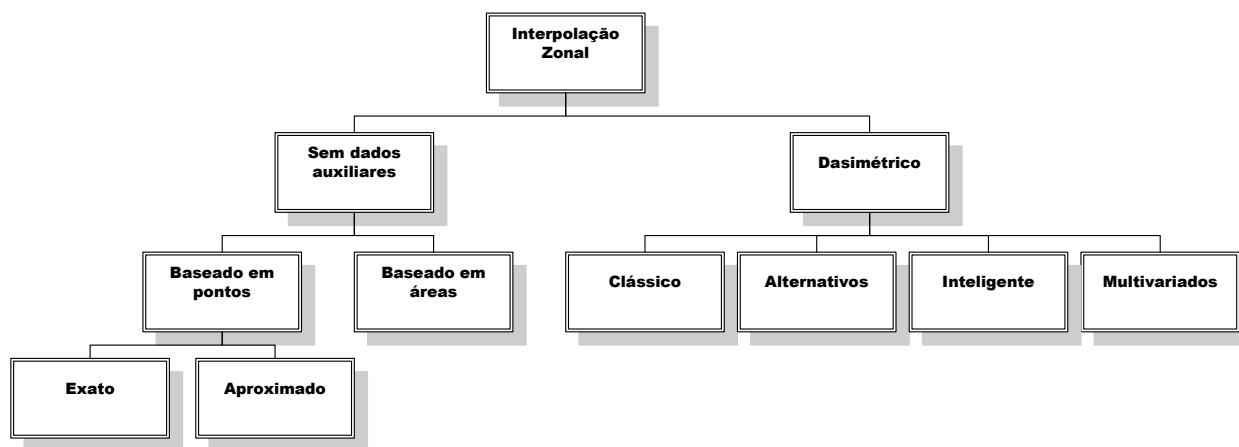


Fig. 1 - Classificação dos métodos de interpolação zonal. Fonte: Adaptado de (SILVA, 2009; WU *et al.*, 2005)

geometria das unidades de enumeração. Além disso, esses métodos assumem pressupostos em relação à superfície interpolada que muitas vezes não se adequam ao complexo fenômeno geográfico subjacente, como descrever uma variável demográfica através de uma função determinística, como no caso dos métodos ponderados pela distância (WU; QIU; WANG, 2005). Dentre as várias técnicas de interpolação baseadas em ponto disponíveis, a krigagem é o melhor estimador linear não enviesado, caso a distribuição da população possa ser descrita pelo semivariograma (GARCIA, 2003 apud SILVA, 2009).

Para compensar os problemas do mapeamento censitário do Reino Unido, Bracken e Martin (1989) desenvolveram uma técnica conhecida como método dos centroides para produzir superfícies de densidade populacional com um algoritmo de Kernel, que realiza uma ponderação baseada na função de decaimento da distância entre o centroide da zona de origem e célula da grade. O algoritmo de Martin foi amplamente usado no Reino Unido para espacializar dados censitários. A formulação básica do seu modelo é dada por:

$$\hat{P}_i = \sum_{j=1}^C P_j \cdot W_{ij} \quad \dots(\text{Equação 1})$$

Onde:

\hat{P}_i = população estimada para a célula da grade i ;

P_j = população associada ao centroide j ;

C = número de centroides na área mapeada,

W_{ij} = peso associado à distância entre i e j , especificado por uma função de decaimento da distância f_j que considera a dispersão dos centroides na janela Kernel que é fornecido pela seguinte equação:

$$w_{ij} = f_j(d_{ij} / \sum_{i=1}^k \bar{d}_{ij}) \quad \dots(\text{Equação 2})$$

Uma propriedade desejável dos métodos de interpolação zonal é a preservação de volumes, ou propriedade picnofilática (TOBLER, 1979). Quando o método atende a esta propriedade, a soma dos valores estimados nas zonas de destino se mantém igual ao valor da zona original correspondente. A preservação de volume garante que “pessoas não sejam destruídas ou fabricadas no processo de interpolação” (LANGFORD & UNWIN, 1994), e, portanto, constitui uma característica essencial para obtenção de estimativas populacionais confiáveis.

Os métodos baseados em área são mais eficientes na preservação de volume, ou seja, o somatório do valor da variável nas zonas de destino mantém-se igual ao valor da variável na zona de origem que as contém. A ponderação zonal simples, também conhecida como método “overlay” (LAM, 1983), estima uma variável com base na relação espacial das zonas de origem e destino, de acordo com a Equação 3. Cada zona de origem contribui com uma fração correspondente ao percentual da área de interseção com as zonas de destino correspondente. Seja a zona coroplética de origem o e a zona de destino d :

$$\hat{P}_d = \sum_{o=1}^n P_o \left[\frac{A_{o \cap d}}{A_o} \right] \quad \dots(\text{Equação 3})$$

Onde:

\hat{P}_d = valor estimado da variável (população) na zona de destino;

P_o é o valor da variável em “o”

$A_{o \cap d}$ = a área de interseção entre “o” e d;

A_o é a área da zona de origem;

N é o número “o” que intersectam d.

Quando cada zona d intersecta apenas uma zona de o, a equação pode ser simplificada para:

$$\hat{P}_d = \frac{P_o A_d}{A_o} \quad \dots(\text{Equação 4})$$

A maioria dos aplicativos SIGs possui algoritmos para interpolação zonal baseado na ponderação zonal simples, que tem como vantagens a facilidade de execução e a utilização integral das zonas de origem, mas o inconveniente de assumir uma distribuição uniforme da variável no interior das mesmas. A principal deficiência da ponderação zonal simples é o fato de assumir distribuição homogênea da variável no interior das zonas de origem, o que raramente acontece na realidade geográfica.

2.3 Mapeamento dasimétrico

A interpolação dasimétrica possui diversas abordagens e pode ser realizada com diferentes fontes de informação auxiliar. Os métodos convencionais são baseados na informação sobre o uso e cobertura da terra.

O método dasimétrico binário é o mais simples de todos (LANGFORD *et al.*, 1991). Consiste em separar as classes de uso da terra em relação à presença ou ausência de população para redistribuí-la somente entre as classes habitáveis. Fischer e Langford (1995) observaram, através da simulação de Monte Carlo, que esse método apresentou melhor desempenho quando comparado com a ponderação zonal simples e outros três métodos baseados em regressão estatística. O método binário é bastante utilizado, muitas vezes combinado com outros métodos. Sua maior deficiência é a incapacidade de considerar as variações de densidade populacional dentro das

áreas habitadas.

Eicher e Brewer (2001) avaliaram o método binário e propuseram duas outras abordagens, o método das três classes e o método da variável limitante. O primeiro é uma extensão do método binário que redistribui percentualmente a população de uma zona de origem entre as classes de uso da terra nela contidas, por exemplo: 70% para áreas urbanas, 20% para áreas agrícolas, 10% para floresta e 0% para massa d'água. Sua deficiência consiste em não considerar a área relativa das classes de uso/cobertura da terra dentro de cada zona de origem, o que influencia significativamente as razões relativas entre as densidades resultantes.

O método da variável limitante estabelece limiares de densidade populacional para algumas das classes e, no caso a densidade de alguma zona de origem exceder este limiar, o excesso é redistribuído para as classes que não tiveram limiar definido. O método da variável limitante possui a vantagem de considerar a área relativa de cada classe auxiliar dentro da zona de origem.

Eicher e Brewer (2001) verificaram através do valor quadrático médio (ou RMS, do inglês *Root Mean Square*) que o método da variável limitante produziu resultados significativamente mais exatos que o método binário e método das três classes. Os autores também verificaram diferenças nos resultados em relação ao tipo de estrutura de dados utilizada (vetorial ou matricial). Os mesmos métodos apresentaram erros menores quando desenvolvidos usando uma estrutura vetorial, embora a diferença não fosse significativa.

A aplicação correta, tanto do método das três classes quanto da variável limitante, requer que percentagens (para o método das três classes) ou densidades (para o método da variável limitante) sejam adequadamente especificadas. Eicher e Brewer (2001) definiram subjetivamente as percentagens em sua demonstração do método de três classes, mas analisaram empiricamente os dados para especificar limiares na abordagem da variável limitante. Nesse último, as densidades populacionais das zonas censitárias que estavam completamente dentro de uma categoria específica de cobertura da terra foram usadas para definir a densidade máxima para essa categoria.

MENNIS (2003) aperfeiçoou o método das três classes adicionando a amostragem empírica

para estimar percentagens adequadas e ajustando as contagens finais com base na área relativa de cada classe auxiliar na zona de origem. Seu método, alcunhado de Mapeamento Dasimétrico Inteligente (IDM), utiliza uma estimativa do percentual da densidade populacional em cada classe auxiliar, que pode ser pré-definida pelo analista ou obtida através de amostragem.

Em seguida, Mennis e Hultgren (2005) desenvolveram algoritmo IDM, em linguagem *Visual Basic for Applications* para o ambiente de geoprocessamento do software ArcGIS. O código permite que o usuário especifique os parâmetros de amostragem de acordo com critérios de localização das zonas de origem e destino. Além disso, o usuário pode optar por ignorar a amostragem, e atribuir um valor pré-determinado para uma classe (ex. 0% para massa d'água).

Na última década, muitos artigos foram publicados com referência ao método multiclasse proposto por Mennis (2003). A partir do primeiro código em domínio público, outros *scripts* foram publicados em diferentes linguagens de programação, tanto para estrutura de dados vetorial (SLEETER; GOULD, 2007; WEBER, 2010) como para matricial (HULTGREN, 2004). Através desses *scripts*, as etapas envolvidas na produção do mapa dasimétrico são automatizadas com o aplicativo de geoprocessamento ArcGIS. Dessa forma, funções como *Intersect*, *Combine* e *Calculate Field* existentes no aplicativo são sequenciadas para realização dos procedimentos. As etapas básicas envolvidas na confecção de um mapa dasimétrico através IDM podem ser resumidas de acordo com o diagrama apresentado na Fig. 2.

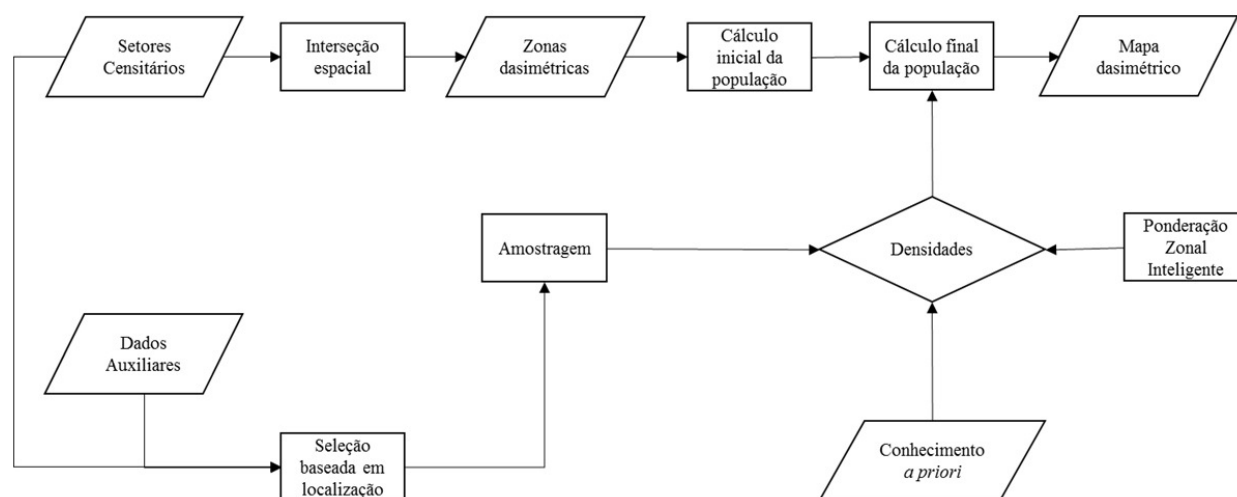


Fig. 2 - Fluxo básico para produção de um mapa dasimétrico através do IDM.

Zonas dasimétricas são criadas pela intersecção espacial entre setores censitários e classes auxiliares representados em um plano de informação. Em seguida calcula-se a população das zonas dasimétricas, em duas etapas. Uma estimativa preliminar é obtida multiplicando-se a área da zona pela densidade da classe auxiliar, que pode ser definida a priori ou estimada por amostragem. Os valores obtidos são ajustados para garantir que a soma da população das zonas dasimétricas seja igual à população da zona original (propriedade picnofilática), além de manter a proporção da contagem inicial.

Destarte, considerando setores censitários denotando suas áreas coropléticas por A_t e um

plano de informação com classes auxiliares denotados por D_c , a premissa básica do IDM é expressa da seguinte forma (Mennis, 2003):

$$\hat{P}_d = P_o \left(\frac{A_t \bar{D}_c}{\sum (A_t \bar{D}_c)} \right) \dots \text{(Equação 5)}$$

Onde:

P_o P_o é a população observada,

\hat{P}_d \hat{P}_d é a população estimada,

t é a interseção entre s e a classe auxiliar c ($t = s \cap c$),

\bar{D}_c \bar{D}_c é a densidade estimada para a classe c , que pode ser arbitrariamente definida ou estimada amostrando-se as zonas s parcial ou completamente contidas em uma classe c .

Existem três opções disponíveis para seleção de amostras, com base na relação espacial entre as unidades (MENNIS; HULTGREN, 2005, p. 181), conforme ilustrado na Fig. 3.

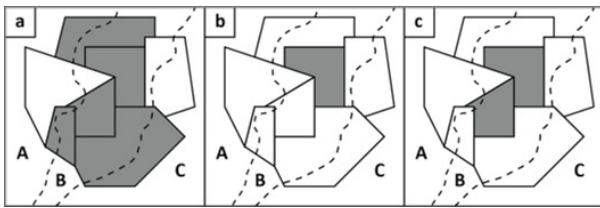


Fig. 3 - Métodos de amostragem do algoritmo IDM. As zonas censitárias em cinza selecionadas para a classe auxiliar B, em cada uma das opções acima. Fonte: (WEBER, 2010).

- Centroide contido: A unidade censitária é considerada representativa caso seu centroide esteja contido no interior da classe auxiliar
- Inteiramente contido: A unidade censitária é considerada representativa caso esteja inteiramente contida na classe auxiliar.
- Percentual de cobertura: A unidade do censo é considerada representativa caso esteja parcialmente contida na classe auxiliar. O usuário especifica um limiar para definir a seleção, por exemplo, 90%.

Além disso, o usuário pode optar por ignorar o procedimento de amostragem e especificar valores de densidade para uma ou mais classes auxiliares, baseado no conhecimento a priori da área de estudo. Dessa forma, é possível também realizar uma filtragem binária, uma vez que se pode definir densidade zero para as classes que não possuem ocupação, como hidrografia.

Uma vez que uma zona coroplética tenha sido selecionada como representativa de uma classe c, a densidade dessa classe é estimada pela seguinte equação:

$$\tilde{D}_c = \sum_{s=1}^m P_o / \sum_{s=1}^m A_o \quad \dots(\text{Equação 6})$$

Onde:

m' é número de zonas coropléticas associadas com a classe auxiliar c.

É possível que, para uma ou mais classes auxiliares, nenhuma zona censitária representativa seja selecionada na amostragem. Quanto mais seletivo o critério de amostragem

selecionado ou quanto maior o número de classes, maior a probabilidade que isso ocorra. Nesse caso, a população dessa classe (denotada por u) é temporariamente calculada pelo que Mennis e Hultgren (2006) chamaram de Ponderação Zonal Inteligente dada por:

$$\hat{P}_{d(u)} = \left[P_o - \sum_{r(k) \in s} (\tilde{D}_k A_{r(k)}) \right] \left[A_{d(u)} / \sum_{r(u) \in s} A_{d(u)} \right] \dots(\text{Equação 7})$$

Onde:

$\hat{P}_{d(u)} \hat{P}_{d(u)}$ = População estimada para a classe auxiliar u

$\tilde{D}_k \tilde{D}_k$ = densidade estimada da classe amostrada k;

$A_{d(k)} = A_{d(k)}$ = Área da zona dasimétrica associada com a classe k; e

$A_{d(u)} = A_{d(u)}$ = Área da zona dasimétrica associada à classe não amostrada u;

Uma vez calculada a população inicial, a densidade estimada da classe u é estimada pela seguinte fórmula:

$$\tilde{D}_u = \sum_{r(u)=1}^p \hat{P}_{d(u)} / \sum_{r(u)=1}^p A_{d(u)} \quad \dots(\text{Equação 8})$$

Onde:

$\tilde{D}_u \tilde{D}_u$ = densidade estimada da classe u; e

p = número de zonas dasimétricas associadas com a classe u.

Esse procedimento é realizado para todas as classes não amostradas e a população é recalculada para todas as zonas no mapa, considerando as novas densidades estimadas para as classes não amostradas. Caso amostras não sejam obtidas para nenhuma classe auxiliar, e nenhuma densidade seja informada pelo usuário, o algoritmo do IDM redistribui as contagens através da ponderação zonal simples (Equação 3), que não caracteriza uma interpolação dasimétrica.

O IDM foi utilizado em diversos trabalhos. Por exemplo, Sleeter (2004) o utilizou para produzir um mapa dasimétrico da região da Baía de São Francisco, na Califórnia. Wang (2012) utilizou para melhorar a visualização cartográfica da oferta de empregos em uma região dos EUA. Além disso, o IDM tem sido integrado com outros métodos e fontes de dados numa abordagem “multidimensional”, como nos projetos LandScan USA (BHADURI et al., 2007) e no Gridded Population Database of China (YANG et al., 2009).

Uma importante contribuição ao IDM foi dada por Eric Weber (2010), que organizou o código em módulos e incorporou uma função para arredondar as contagens

dasimétricas para valores inteiros e preservando a propriedade picnofilática. Além disso, incluiu um módulo para testar e comparar mapas produzidos com diferentes parâmetros de amostragem. Como não havia limite quanto ao número de classes utilizadas, o autor concluiu que o método de Mennis seria mais bem denominado como método Multiclasse Corrigido pela Área (do inglês, *Area Corrected Multi Class - APMC*).

2.4 Avaliação da exatidão na interpolação dasimétrica

É senso comum que o resultado da interpolação dasimétrica é mais exato que o dado original agregado. No entanto, tal como outros produtos cartográficos os mapas dasimétricos não estão isentos de erros e incertezas. A avaliação da exatidão não é uma tarefa simples, pois em uma situação real de aplicação da técnica, deseja-se desagregar os dados a partir da menor unidade existente, e por consequência, não existem dados de referência para comparar com os resultados.

Para avaliar o desempenho de cada técnica, trabalhos anteriores utilizaram dois níveis hierárquicos de agregação das variáveis censitárias. (EICHER e BREWER, 2001; MENNIS e HULTGREN, 2005; TAPP, 2010; WEBER, 2010). Inicialmente, mapas dasimétricos foram criados a partir dos dados agregados em uma unidade espacial maior e comparados com a realidade conhecida na unidade menor Assim, os resultados podem ser avaliados através de estatísticas como o erro médio absoluto, coeficiente de variância e o Erro Médio Quadrático (RMSE).

Pode-se recorrer à abordagem em dois níveis e assumir a hipótese que o método com melhor desempenho no maior nível de agregação também será melhor no nível mais detalhado (WEBER, 2010).

3. ÁREA DE ESTUDO

A Mesorregião Metropolitana de Belém (MMB) ilustrada na Fig. 4, conforme classificação do IBGE, é composta por onze municípios e 2.432 setores censitários, dos quais 228 são rurais e 2204 urbanos. Trata-se de uma região situada entre os paralelos 0° 59,29'S e 1° 50,48'S e os meridianos 47° 58,32'W Gr e 48° 50,26'W Gr, com uma área de 6.785 km², e população de 2.433.983 habitantes, segundo o Censo Demográfico 2010 (IBGE, 2010).



Fig. 4 - Enquadramento geográfico da área de estudo.

Os municípios de Belém, Ananindeua, Marituba, Santa Bárbara, Benevides e Santa Izabel do Pará constituem atualmente a Região Metropolitana de Belém, instituída por Lei Complementar Federal em 1973, originalmente com dois municípios, e alterada em 1996 e em 2010. Os demais municípios são predominantemente rurais, com pequenos enclaves urbanos.

A escolha da MMB para área de estudo foi motivada por se tratar de uma região com padrões de ocupação humana diversificados, incluindo áreas de intenso adensamento populacional e ocupações rurais isoladas, bem como a presença de vazios demográficos. Outro fator decisivo para definição desta área de estudo foi a existência de uma base de dados de uso e cobertura da terra para toda Amazônia Legal.

4. MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS

- O tratamento e análise dos dados foram realizados com o auxílio de alguns softwares, abaixo explicitados com seus respectivos usos:
- PostgreSQL com cartuxo espacial PostGIS – Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) utilizado para armazenar, tratar e consultar dados do universo, base territorial e cadastro de endereços do Censo Demográfico.
- SAFE *Feature Manipulation Engine* (FME) – ferramenta de ETL espacial (*Extract Load and Transform*) utilizada para facilitar a transformação e tratamento dos dados geospaciais. Este software foi utilizado para auxiliar a carga de dados do censo na base

construída no Postgre/PostGIS.

- ArcGIS 9.3 – Aplicativo SIG utilizado para implementar e automatizar os procedimentos de interpolação dasimétrica, através do componente *Model Builder*. Além disso, foi utilizado para confecção dos mapas e gráficos.
- PythonWIN – Ambiente de programação para edição e execução dos algoritmos em linguagem Python.
- Algoritmo do *Intelligent Daysimetric Mapping* (IDM) – Código desenvolvido por Mennis e Hultgren (2005) para estrutura matricial disponibilizado na página do autor.

Tendo em vista a dificuldade de encontrar dados auxiliares que oferecessem uma ampla cobertura para a região foram selecionados os seguintes conjuntos de dados:

- Dados do Censo Demográfico de 2010, incluindo a Base Territorial, Dados do Universo por Setores Censitários;
- Mapa de uso da terra elaborado pelo projeto TerraClass que foi utilizado em conjunto com os dados do Censo para a elaboração do mapa dasimétrico;

4.1 Censo Demográfico

A base territorial do CD2010 compreende todos os setores censitários do Brasil, separados por Unidades da Federação em estrutura de dados vetorial no formato shapefile (ESRI, 1998). Os arquivos se encontram em sistema de coordenadas geodésicas e *datum* horizontal SIRGAS 2000, obtidos no sítio da Diretoria de Geociências do IBGE (<ftp://geoftp.ibge.gov.br/>). Estes dados em conjunto com os respectivos memoriais descritivos de setores foram importados para o banco de dados PostGIS com auxílio de um fluxo de transformação e carga de dados elaborado com o software Safe FME. Após a importação, realizou-se uma validação topológica que removeu áreas de auto interseção e vazios entre os setores. Também foi executado um ajuste espacial, de forma que as arestas da malha vetorial de setores coincidisse com os eixos de logradouros. Para isso foi empregada uma tolerância máxima de 25 metros que permitisse o deslocamento dos vértices dos setores.

Os resultados do Universo do Censo Demográfico 2010 por setor censitário foram disponibilizados pelo IBGE através de conjuntos de planilhas divididas de acordo com as variáveis de domicílio, pessoa e responsável. Para a finalidade deste trabalho, apenas três planilhas referentes ao estado do Pará foram importadas para o banco PostgreSQL, sendo duas planilhas de domicílio e uma planilha com descrição das unidades territoriais. O procedimento de importação incluiu a conversão das colunas de algumas variáveis para tipo de dados numérico, a fim de facilitar análises subsequentes.

Através de uma consulta em linguagem SQL (*Structured Query Language*) a malha vetorial de setores censitários foi recuperada e realizada uma união (*join*) com as variáveis selecionadas do conjunto de dados do Universo. O campo geocódigo existente nas duas bases foi utilizado como chave para realização do “*join*”. Verificou-se que, dos 2.432 setores da base territorial na área de estudo, não foi possível recuperar os atributos correspondentes aos dados do universo em apenas oito setores. O resultado foi então convertido para o formato *shapefile* na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) fuso 22, no sistema de referência geodésico SIRGAS 2000, assim como os demais dados utilizados no trabalho.

4.2 Mapas de uso e cobertura da Terra

O mapa de uso e cobertura da terra utilizado neste trabalho, ilustrado na Fig. 5, foi adquirido através do projeto TerraClass, que mapeou na escala 1:100.000 as áreas desflorestadas da Amazônia Legal. O projeto é uma parceria do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). O TerraClass mapeou os 18% da floresta amazônica já desmatados, gerando uma classificação dos diversos usos e situações em cada um dos nove estados da região. As análises foram feitas a partir de informações resultantes do PRODES (Projeto de Monitoramento do Desflorestamento na Amazônia Legal). Os dados divulgados são referentes à classificação de imagens adquiridas no ano de 2008. Os arquivos vetoriais em formato Shapefile, recortados segundo a grade de ponto/órbita do LANDSAT podem ser obtidos

na página http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass.php. Para este trabalho, foram utilizados os arquivos das cenas 223/061 e 224/061 as quais foram unidas em um mosaico da região. A seguir, o mosaico foi recortado conforme o limite da área de estudo e efetuado uma generalização para suavizar o efeito escada na imagem proveniente da conversão raster-vetor do mapa de uso da terra.

Os dados contemplam 15 classes de uso e cobertura da terra, delimitadas por diferentes metodologias de classificação de imagens

LANDSAT. Para o mapeamento da vegetação secundária foi aplicado um Modelo Linear de Mistura Espectral. O mapeamento das pastagens foi efetuado através da interpretação analógica. Para mapeamento da agricultura anual foi realizada uma classificação espectral-temporal de imagens do índice de vegetação do satélite MODIS e detalhamento com imagens LANDSAT. Para as demais modalidades de uso da terra foi realizada a segmentação de imagens LANDSAT e classificação supervisionada.

Estes dados são utilizados neste trabalho no

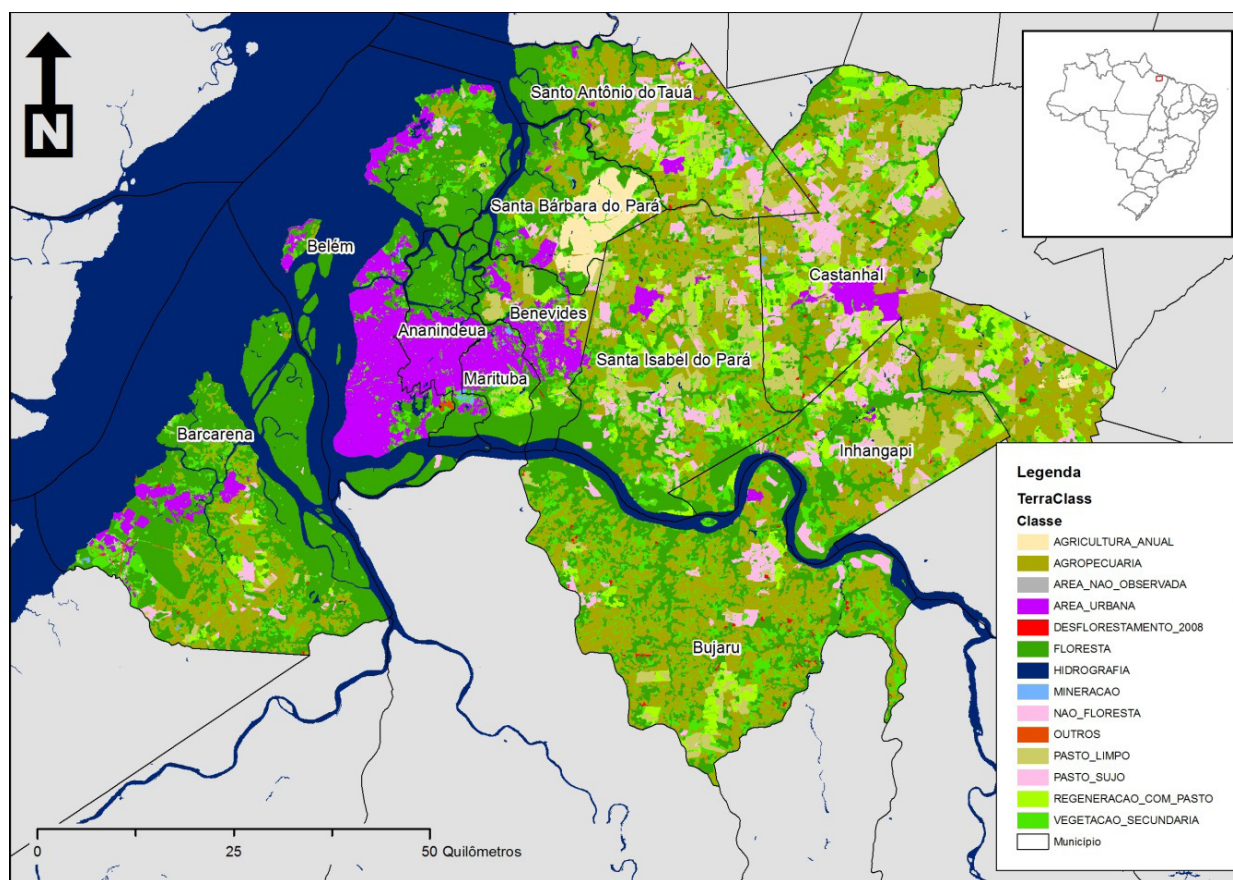


Fig. 5 - Recorte da classificação do TerraClass na área de estudo.

mapeamento dasimétrico inteligente (MENNIS & HULTGREN, 2005). As 15 classes de uso e cobertura da terra propostas pelo TerraClass foram agrupadas em quatro para aumentar a probabilidade de seleção de amostra para estimativa da densidade das classes. Estas quatro classes são: inabitada, agropecuária, vegetação e área urbana.

4.3 Método Avaliado

Para atingir o objetivo proposto, o presente trabalho avaliou a aplicação do método de

interpolação zonal para desagregar a variável população residente a partir do conjunto de dados do Universo do Censo 2010, o mapeamento dasimétrico inteligente (MENNIS e HULTGREN, 2005). A seguir o método foi avaliado

Nesse sentido, foi utilizada a ferramenta *Model Builder* do ambiente que proporcionou a construção visual do modelo e a geração do código elaborado na linguagem de programação *Python*.

Para efeito de análise dos resultados

obtidos, utilizou-se a mesma abordagem adotada em trabalhos anteriores. As contagens originalmente agrupadas por setor censitário foram agregadas em uma unidade hierárquica maior (subdistritos ou bairros, quando existentes) e este conjunto de unidades foi utilizado como zona de origem. A população por setores censitários (zona de destino) foi estimada através dos métodos selecionados e comparada com o valor conhecido no setor.

4.4 Mapeamento dasimétrico inteligente

Para viabilizar o mapeamento dasimétrico inteligente neste trabalho, foi utilizado o algoritmo do Mapeamento Dasimétrico Inteligente desenvolvido por Mennis & Hultgren (2005) para a estrutura de dados vetorial aplicado ao nível de subdistrito. Neste algoritmo o operador define os pesos (densidades) das classes auxiliares ou especifica os parâmetros para a seleção de amostras que podem ser o centroide ou percentual de cobertura. Deste modo, as áreas definidas como inabitadas, no caso os corpos d'água, receberam peso igual a 0 (zero), e as demais classes tiveram as densidades definidas por amostragem

Na execução do algoritmo foram informados os dados de entrada, um arquivo com a população total agregada por subdistrito e outro com a classificação de uso da terra "recortada" por setores censitários, além do método e o percentual de cobertura para seleção de amostras (95%). A partir do mapa dasimétrico obtido, a população nos setores foi estimada pelo reagrupamento dos valores obtidos no interior dos setores. Dessa forma, pôde-se avaliar a exatidão dos resultados através da comparação com a população conhecida no setor. Além da aplicação do método ao nível de subdistrito foi produzido um mapa dasimétrico a partir dos dados agregados por setor censitário, a fim de possibilitar a análise visual e comparação com resultados obtidos com os outros métodos.

Para melhor compreensão, a Fig. 6 apresenta o fluxograma com toda a sequência de operações realizadas desde a aquisição do mapa de uso da terra do TerraClass, o ajuste das classes e dos setores até a elaboração dos mapas dasimétricos a nível de subdistrito e setores e a

comparação dos resultados obtidos para efetuar a avaliação do método de amostragem usado no mapeamento dasimétrico inteligente.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

O mapa dasimétrico da Mesorregião Metropolitana de Belém, ilustrado na Fig. 7, foi produzido com o algoritmo do IDM descrito no fluxograma da Fig. 6. Este mapa foi gerado a partir da contagem da população por subdistrito e desagregada com auxílio das classes de uso e cobertura da terra.

A densidade da classe "inabitada" foi predefinida com valor zero, a densidade populacional na classe vegetação e urbana foi estimada por amostragem e a classe agropecuária foi estimada pela ponderação zonal simples. Estas duas últimas foram decididas automaticamente pelo algoritmo enquanto a primeira foi informada ao programa.

Utilizou-se o mapa produzido para reagrupar a população por setor censitário e comparar com a contagem do Censo. O erro bruto, ou verdadeiro, foi obtido subtraindo-se a população estimada da população conhecida no setor.

A distribuição do erro verificado nos setores rurais e urbanos na MMB e por município é apresentada na Tabela 1. Valores negativos indicam que a população foi superestimada. Pode-se verificar que os valores apresentaram distribuição bastante assimétrica

O dado de uso da terra aplicado neste método apresenta baixa resolução espacial uma vez que é resultado do processo de classificação de imagens LANDSAT 5. Isto não permitiu detalhar a distribuição da população nas áreas urbanas devido a sua concentração.

Neste método os municípios de Ananindeua, Castanhal e Marituba apresentaram na Tabela 2 o maior desvio padrão nos setores urbanos enquanto os municípios de Barcarema e Benevides apresentaram nos setores rurais.

Para melhor compreensão, a Fi. 8 apresenta a distribuição do erro no método dasimétrico inteligente e a Fig. 9 apresenta o mapa da região com a distribuição espacial do erro em termos de desvio padrão. A distribuição do erro apresenta-se enviesada a direita.

Tabela 1: Estatísticas de resumo para o erro verificado no método de mapeamento dasimétrico inteligente

Mesorregião	Tipo	Setores	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Metropolitana de Belém	Rural	228	-7.119,55	1.304,35	12,86	869,47
	Urbano	2204	-19.971,91	1.746,68	-20,85	1.005,83
Municípios	Tipo	Setores	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Ananindeua	Rural	2	-397,44	0,00	-198,72	281,03
	Urbano	488	-19.971,91	1.031,61	-19,90	1.464,50
Barcarena	Rural	70	-7.119,55	1.304,35	-30,09	1.339,13
	Urbano	34	-2.695,85	625,39	28,86	628,93
Belém	Rural	17	-770,88	508,00	74,77	341,65
	Urbano	1303	-6.421,93	1.574,80	-22,18	635,97
Benevides	Rural	26	-4.461,33	861,14	91,59	1.081,39
	Urbano	31	-3.429,95	742,15	-80,33	919,52
Bujaru	Rural	21	-410,15	568,41	37,57	249,67
	Urbano	8	-580,13	240,92	-95,42	283,31
Castanhal	Rural	28	-608,17	505,75	-34,00	320,23
	Urbano	164	-11.588,79	696,84	-6,75	1.320,21
Inhangapi	Rural	10	-240,68	377,09	109,52	204,42
	Urbano	5	-152,66	198,28	4,79	128,17
Marituba	Rural	3	-193,70	210,69	24,98	204,20
	Urbano	107	-11.472,28	802,00	-25,74	1.680,49
Santa Bárbara do Pará	Rural	16	-1.620,58	792,04	65,99	645,82
	Urbano	6	-1.138,37	800,86	-217,79	752,20
Santa Isabel do Pará	Rural	20	-694,91	547,68	11,66	351,62
	Urbano	41	-1.961,57	1.746,68	8,65	733,55
Santo Antônio do Tauá	Rural	15	-936,91	584,43	-34,11	456,62
	Urbano	17	-2.623,58	968,64	-16,55	801,98
TOTAL		2432	-19.971,91	1.746,68	-17,69	993,53

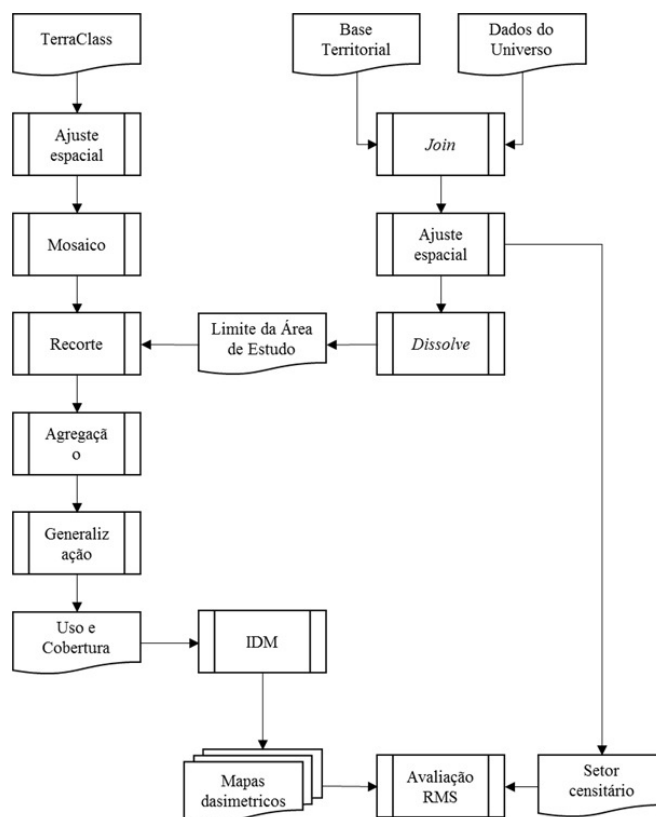


Fig. 6 - Fluxograma metodológico para avaliação do método dasimétrico inteligente e produção do mapa dasimétrico.

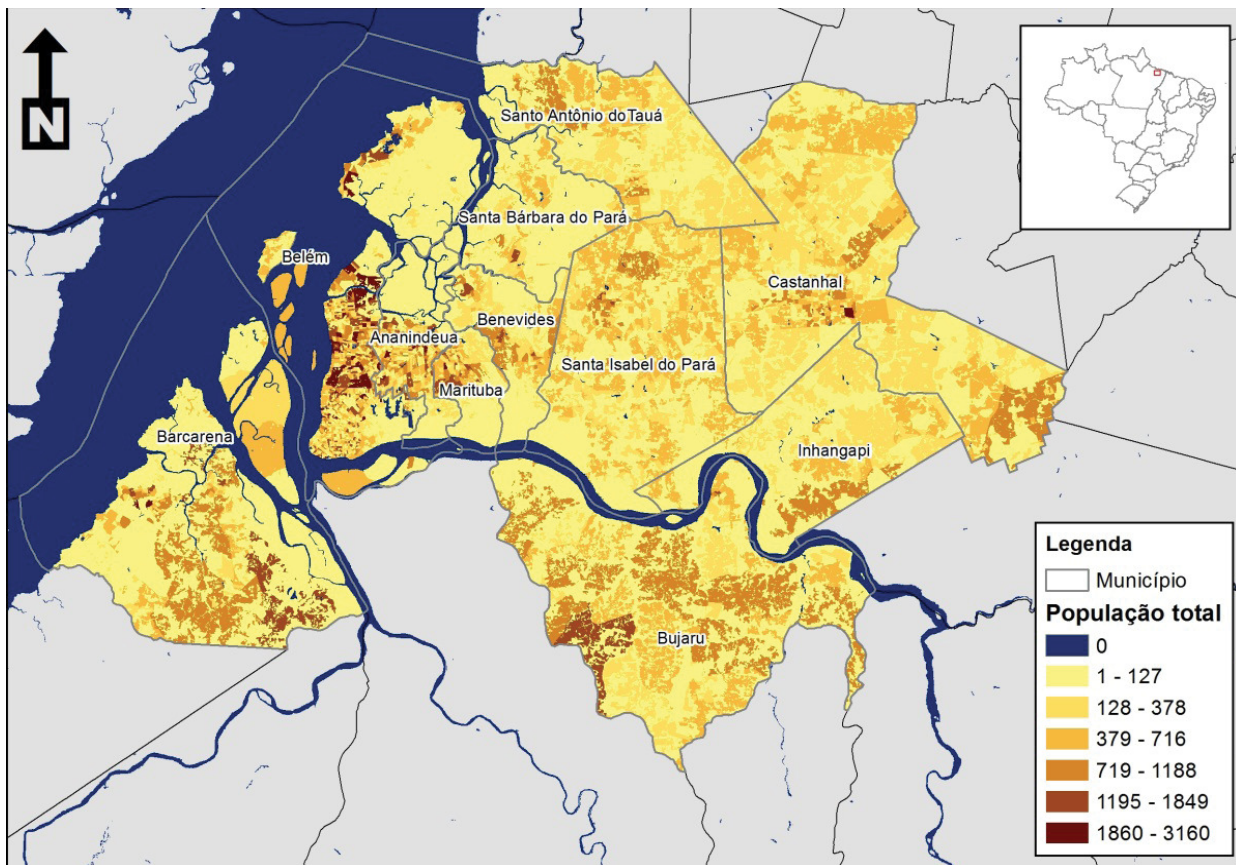


Fig. 7 - Mapa dasimétrico da Mesorregião Metropolitana de Belém produzido com o algoritmo do IDM a partir dos dados agregados por subdistrito.

CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido teve como objetivo a avaliação do método dasimétrico inteligente para estimativa populacional em pequenas áreas. Este combina o conhecimento especialista (usando valores de densidade predefinidos), com uma estimativa estatística (amostragem empírica) para estabelecer uma relação funcional entre as classes auxiliares de uso e cobertura da terra e a superfície estatística subjacente analisada. Além disso, a informação obtida por esses procedimentos possibilita estimar densidades para as classes cuja densidade não é conhecida nem pode ser estimada por amostragem. Outra característica do método é que ele oferece uma variedade de opções para parametrização da amostragem.

Dessa forma, é possível criar um conjunto de mapas cujo desempenho pode ser comparado estatisticamente. Entretanto ressalta-se que este não foi o objetivo deste trabalho. A grande vantagem desse método é que ele é facilmente

operacionalizado através de algoritmos em domínio público, tanto para a estrutura de dados vetorial quanto para estrutura matricial, que podem livremente ser modificados e adaptados.

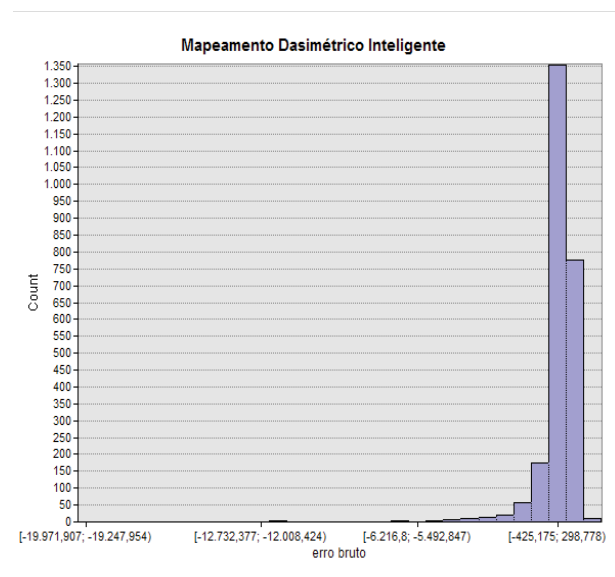


Fig. 8 - Distribuição do erro na interpolação dasimétrica inteligente

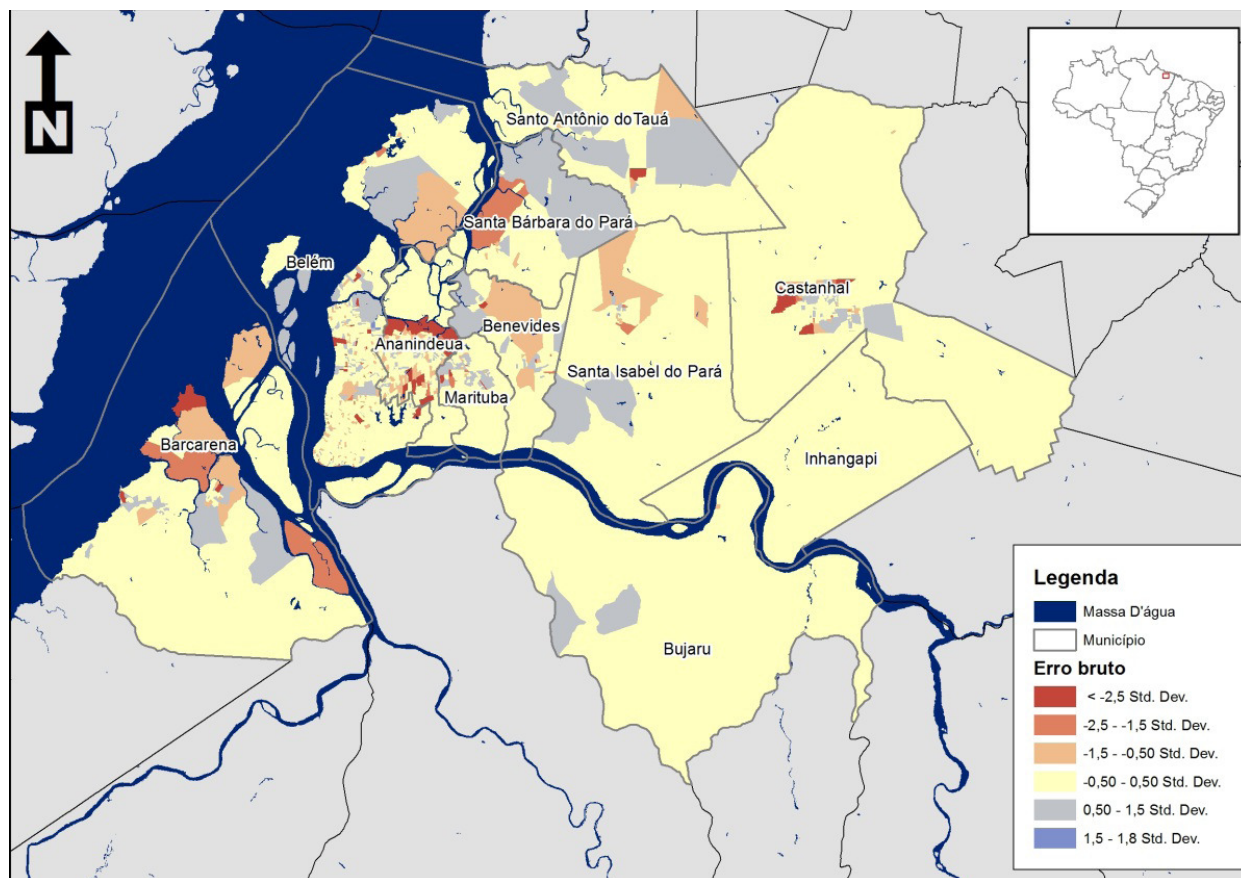


Fig. 9 - Distribuição espacial do erro por setor produzido com o algoritmo do IDM.

Os resultados verificados com o método inteligente estão em conformidade com a escala cartográfica do dado auxiliar utilizado no trabalho. Os mapas de uso e cobertura da terra do projeto TerraClass são derivados de imagens de média resolução espacial e não possibilitam a distinção adequada dos tipos de uso da terra em áreas urbanas. Entretanto, pôde-se verificar que o algoritmo proporcionou um detalhamento da distribuição espacial da população que melhora a qualidade do dado produzido em relação aos mapas coropléticos. Nos setores rurais, onde a densidade populacional é baixa, o método apresentou melhor desempenho, proporcionando uma visualização cartográfica mais intuitiva e coerente com a realidade. Além disso, o método contribui para atenuar os efeitos do problema da unidade de área modificável (MAUP). Em situações em que não existem dados de melhor resolução, o método tem grande utilidade.

Em função da eficiência verificada, acredita-se que o método pode ser uma alternativa ao método das áreas mínimas comparáveis, que ao contrário do primeiro, agrega os dados em

grandes unidades espaciais para poder comparar séries temporais de dados demográficos. Em virtude disso, sugere-se a utilização do método inteligente para desagregar e compatibilizar dados de censos anteriores. A existência de longas séries temporais de imagens de sensoriamento remoto como a dos programas de observação da terra norte americano LANDSAT e do indiano IRS (*Indian Remote Sensing*), que recentemente foram disponibilizadas em domínio público, pode viabilizar a solução para este problema recorrente na análise de séries temporais. O acervo destes programas possui cerca de três décadas de imagens, que certamente viabilizaria a produção de superfícies dasimétricas referentes aos censos de 1990 e 2000. Projetos semelhantes existem nos Estados Unidos e na China.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, S.; MONTEIRO, A. M. V.; CÂMARA, G.; QUINTANILHA, J. A. 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. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2005. p. 765-774. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. (INPE-12611-PRE/7904).
- AMARAL, S.; GAVLAK, A. A.; ESCADA, M. I. S.; MONTEIRO, A. M. V. Using remote sensing and census tract data to improve representation of population spatial distribution: case studies in the Brazilian Amazon. **Population & Environment**, p. 1-29, 2012.
- BHADURI, B.; BRIGHT, E.; COLEMAN, P.; URBAN, M. L. LandScan USA: A high-resolution geospatial and temporal modeling approach for population distribution and dynamics. **Geo Journal**, v. 69, n. 1, p. 103-117, 2007.
- BRACKEN, I.; MARTIN, D. The generation of spatial population distributions from census centroid data. **Environment and Planning A**, v. 21, n. 4, p. 537-543, 1989
- DUTENKEFER, EDUARDO. **Representações do espaço geográfico: mapas dasimétricos, anamorfozes e modelização gráfica**. 2010. Dissertação – USP, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, São Paulo, Brasil, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8136/tde-25022011-115539/pt-br.php>>.
- EICHER, C. L.; BREWER, C. A. Dasymeric mapping and areal interpolation: implementation and evaluation. **Cartography and Geographic Information Science**, v. 28, n. 2, p. 125-138, 2001.
- ELVIDGE, C. D.; BAUGH, K. E.; DIETZ, J. B.; BLAND, T.; SUTTON, P. C.; KROEHL, H. W. Radiance calibration of DMSP-OLS low-light imaging data of human settlements. **Remote Sensing of Environment**, v. 68, n. 1, p. 77-88, 1999.
- ESRI, URL. **ESRI Shapefile Technical Description**. [S.l.]: URL: <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf> [29th March 2005], 1998.
- HAWLEY, K.; MOELLERING, H. A comparative analysis of areal interpolation methods. **Cartography and Geographic Information Science**, v. 32, n. 4, p. 411-423, 2005.
- HULTGREN, T. Raster-based automated dasymetric mapping. **Proceedings: UCGIS Assembly 2004**, 2004.
- IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Base de informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário**. Documentação do Arquivo. [S.l: s.n.]. Acesso em: 20 dez. 2011, dez. 2011
- IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010 - Resultados gerais da amostra**. [S.l: s.n.], 2012.
- LAM, N. S.N. Spatial interpolation methods: a review. **Cartography and Geographic Information Science**, v. 10, n. 2, p. 129-150, 1983.
- LANGFORD, M.; MAGUIRE, D. J; UNWIN, D. J. The areal interpolation problem: estimating population using remote sensing in a GIS framework. **Handling geographical information: Methodology and potential applications**, p. 55-77, 1991.
- LANGFORD, M.; UNWIN, D. J. Generating and mapping population density surfaces within a geographical information system. **Cartographic Journal**, The, v. 31, n. 1, p. 21-26, 1994.
- LI, JIN; HEAP, ANDREW D. A review of spatial interpolation methods for environmental scientists. Canberra: **Geoscience Austrália**, 2008. Disponível em: <http://www.ga.gov.au/image_cache/GA12526.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2011. (, 23).
- LWIN, K. K; MURAYAMA, Y. **Estimation of Building Population from LIDAR Derived Digital Volume Model**. Spatial Analysis and Modeling in Geographical Transformation Process. [S.l: s.n.], 2011. p. 87-98. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/q1061606w7445543/>>.
- MAANTAY, J. A.; MAROKO, A. R.; HERRMANN, C. Mapping population distribution in the urban environment: the cadastral-based expert dasymetric system (CEDS). **Cartography and**

- Geographic Information Science**, v. 34, n. 2, p. 77-102, 2007.
- MENNIS, J. Generating surface models of population using dasymetric mapping. **Professional Geographer**, v. 55, n. 1, p. 31-42, 2003.
- MENNIS, J.; HULTGREN, T. Dasymetric mapping for disaggregating coarse resolution population data. **Proceedings of the 22nd Annual International Cartographic Conference**, p. 9-16. 2005.
- MENNIS, JEREMY; HULTGREN, TORRIN.. Intelligent dasymetric mapping and its application to areal interpolation techniques, AutoCarto 2006 (CD). v. 33, n. 3, Vancouver. **Proceedings**. p. 26-28, 2006.
- MOON, Z. K; FARMER, F. L. Population density surface: a new approach to an old problem. **Society & Natural Resources**, v. 14, n. 1, p. 39-51, 2001.
- QIU, F.; SRIDHARAN, H.; CHUN, Y. Spatial autoregressive model for population estimation at the census block level using LIDAR-derived building volume information. **Cartography and Geographic Information Science**, v. 37, n. 3, p. 239-257, 2010.
- RASE, W. D. Volume-preserving interpolation of a smooth surface from polygon-related data. **Journal of Geographical Systems**, v. 3, n. 2, p. 199-213, 2001.
- REIBEL, M.; BUFALINO, M. E. Street-weighted interpolation techniques for demographic count estimation in incompatible zone systems. **Environment and Planning A**, v. 37, n. 1, p. 127-139, 2005.
- ROBINSON, W. S. Ecological correlations and the behavior of individuals. **International journal of epidemiology**, Reprinted with permission, v. 38, n. 2, p. 337, 2009.
- ROBINSON, W. S. Ecological Correlations and the Behavior of Individuals. **American Sociological Review**, v. 15, n. 351-357, 1950.
- SILVA, F. B. Modelação cartográfica e ordenamento do território: Um ensaio metodológico de cartografia dasimétrica aplicado à região Oeste e Vale do Tejo. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Letras da Universidade do Porto. 2009.
- SLEETER, R. Dasymetric mapping techniques for the San Francisco Bay region, In: Urban and Regional Information Systems Association, Annual Conference, California. **Proceedings**. p. 7-10, 2004.
- SLEETER, R.; GOULD, M. Geographic information system software to remodel population data using dasymetric mapping methods. **US Geological Survey, Techniques and Methods**, p. 11-C2, 2007.
- TAPP, A. F. Areal interpolation and dasymetric mapping methods using local ancillary data sources. **Cartography and Geographic Information Science**, v. 37, n. 3, p. 215-228, 2010.
- TOBLER, W. R. Smooth pycnophylactic interpolation for geographical regions. **Journal of the American Statistical Association**, p. 519-530, 1979.
- WANG, S. **Job density and employment sub centers in the four US metropolitan areas**. Northern Illinois University, 2012.
- WEBER, E. M. **DasyTools: A user-friendly dasymetric mapping toolkit with automated accuracy assessments**. Thesis (M.A.)--University of Kansas, Publication Number: AAI1482591; ISBN: 9781124281100; 105 p., 2010.
- WU, S.; QIU, X.; WANG, L. Population estimation methods in GIS and remote sensing: a review. **GIScience & Remote Sensing**, v. 42, n. 1, p. 80-96, 2005.
- YANG, X.; HUANG, Y.; DONG, P.; JIANG, D.; LIU, H. An updating system for the gridded population database of China based on remote sensing, **GIS and spatial database technologies. Sensors**, v. 9, n. 2, p. 1128-1140, 2009.
- ZANDBERGEN, P. A. Dasymetric Mapping Using High Resolution Address Point Datasets. **Transactions in GIS**, v. 15, p. 5-27, 2011.