

VIII Congresso Internacional da Associação Latino Americana de População

População e desenvolvimento sustentável: Políticas públicas e avanços na medição sociodemográfica

Tema: Projeções e produção de dados demográficos

Registros administrativos e imagens noturnas de satélite: alternativas para a realização de estimativas populacionais subnacionais?

Palavras-chave: estimativas populacionais; registros administrativos; variáveis sintomáticas.

Autores:

Luiz Felipe Walter Barros^{*}
Suzana Cavenaghi[†]
Silvana Amaral[‡]

Puebla, México, 23 a 26 de outubro de 2018

^{*} Tecnologista em Informações Geográficas e Estatísticas do IBGE, Brasil.

[†] Professora e Pesquisadora do Programa de Pós-Graduação em População, Território e Estatísticas Públicas da Escola Nacional de Ciências Estatísticas – ENCE/IBGE, Brasil.

[‡] Professora e Pesquisadora do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Brasil.

Nota: O IBGE e o INPE estão isentos de qualquer responsabilidade pelas opiniões, informações, dados e conceitos emitidos neste trabalho, que são de exclusiva responsabilidade dos autores.

Introdução

A atualização dos totais populacionais nos diferentes níveis geográficos de um país permanece um dos grandes desafios dos institutos de estatística em todo o mundo (UNITED NATIONS, 2011). No Brasil, a estratégia adotada para a manutenção das cifras populacionais municipais atualizadas tem como base a realização de censos decenais e contagens da população no meio da década. No período intercensitário, a população dos municípios é atualizada a partir de estimativas, utilizando-se o método matemático denominado *apportionment method*, mais conhecido no Brasil por AiBi (MADEIRA; SIMÕES, 1972). Notoriamente, essa metodologia proporciona boas estimativas nos primeiros anos após a realização dos censos (BRITO; CAVENAGHI; JANNUZZI, 2010; BORGES; ERVATTI; SILVA, 2011), mas depende das contagens da população para continuar fornecendo boas estimativas até o final da década. Por esse motivo, essa estratégia tem se mostrado pouco eficiente, uma vez que as contagens da população não têm sido levadas a campo com a periodicidade e qualidade necessárias para a manutenção do modelo, devido principalmente a questões financeiras. Assim, este cenário tem motivado a busca por novas metodologias para a realização de estimativas populacionais, destacando-se como as principais vertentes a utilização de dados provenientes de registros administrativos e de sensoriamento remoto.

Neste sentido, o objetivo desse estudo é analisar as potencialidades e identificar os desafios na utilização de dados provenientes de registros administrativos e de imagens noturnas de satélite para o cálculo de estimativas populacionais municipais no Brasil no período intercensitário. Para isso, busca-se neste trabalho comparar o desempenho dessas duas fontes de informação na predição dos totais populacionais municipais, avaliando também o desempenho conjunto dessas duas fontes para a realização de estimativas no período intercensitário.

Projeções e estimativas populacionais subnacionais no período intercensitário

Segundo Long (1993), existem basicamente duas abordagens para se realizar estimativas populacionais subnacionais com base em dados de registros administrativos. A primeira delas se dá por meio da utilização de variáveis do tipo “*flow data*”, ou dados de fluxo. Nessa abordagem, as variáveis se relacionam diretamente com as componentes

da dinâmica demográfica (nascimentos, óbitos e migração – interna e externa), sendo as estimativas da população realizadas de forma direta, utilizando-se a equação básica/compensadora da demografia: $P_t = P_{t_0} + N_{t-t_0} - O_{t-t_0} + (I_{t-t_0} - E_{t-t_0})$. A segunda abordagem, ainda de acordo com o autor, se dá por meio da utilização de variáveis do tipo “*stock data*”, ou dados de estoque. Nesse caso, as variáveis estariam correlacionadas diretamente com o tamanho da população, e variações nesses dados estariam associados a variações nos totais populacionais.

O Brasil, assim como os demais países da América Latina, ainda não conta com estatísticas vitais com a qualidade necessária para sua utilização direta nas estimativas populacionais. Nesses casos, os métodos tradicionalmente utilizados para a realização de estimativas populacionais subnacionais podem ser divididos em basicamente dois grandes grupos: i) métodos matemáticos (ou estatísticos); e ii) métodos baseados em variáveis sintomáticas (WALDVOGEL, 1997; BAY, 1998; JARDIM, 2001, 2003; PITTA; DINI; JANNUZZI, 2010; GONZÁLEZ; TORRES, 2012). Apesar de os estudos existentes utilizarem, em geral, um número reduzido de variáveis sintomáticas nas análises e sua abrangência territorial normalmente ser restrita a alguns poucos estados ou regiões, os resultados têm apontado sempre na mesma direção: no curto prazo, não há diferenças expressivas entre os métodos (matemáticos/estatísticos comparados com os que utilizam variáveis sintomáticas); no longo prazo, no entanto, diferenças começam a surgir em favor dos métodos que utilizam variáveis sintomáticas, uma vez que os métodos matemáticos são incapazes de captar variações conjunturais ao longo do tempo, especialmente aquelas que afetam a migração.

Dentre os métodos que utilizam variáveis sintomáticas, o que tem apresentado os melhores resultados no curto e médio prazos, especialmente no Brasil, é o método de correlação de razões (BRITO; CAVENAGHI; JANNUZZI, 2010; BORGES; ERVATTI; SILVA, 2011), que utiliza informações de uma ou mais variáveis sintomáticas como preditoras do total populacional do município em um modelo de regressão linear múltipla (JARDIM, 2001, 2003; SWANSON, DAVID A; TAYMAN, 2011).

Uso de dados de sensoriamento remoto nas estimativas populacionais

Desde a década de 1970, com o advento dos sensores da série Landsat, imagens de satélite são utilizadas com sucesso para auxiliar no monitoramento e quantificação de diversos fenômenos, especialmente no que se refere a mudanças na cobertura e no uso do

solo (*land-cover e land-use change*). Alguns anos mais tarde, pesquisadores perceberam que esses mesmos dados poderiam ser utilizados para a contagem de unidades residenciais individuais e para medidas de expansão de áreas urbanas (SHERBININ *et al.*, 2002). Nesse sentido, as imagens diurnas de satélite de alta resolução apresentam grande potencial para a realização de estimativas populacionais, seja pela identificação e contagem de domicílios, por medidas de expansão urbana, ou mesmo por meio de classificações de uso e cobertura do solo (JENSEN; COWEN, 1999). Apesar da utilidade destes dados para estudos de natureza demográfica, uma série de fatores restringem sua aplicação a pequenas extensões territoriais, como a disponibilidade de imagens com resolução suficientemente elevada, o custo elevado, a complexidade e a demanda de recursos humanos (pessoal capacitado) e computacionais, dentre outros. Assim, apesar das potencialidades, sua aplicação ainda se limita a pequenas extensões territoriais, em geral municípios ou áreas intramunicipais.

Ainda no campo do sensoriamento remoto, outra abordagem tem apontado resultados otimistas para a realização de estimativas populacionais: a utilização de imagens noturnas de satélite. Esse tipo de imagem torna-se muito útil por representar um dado sintético, uma sumarização de toda a informação disponível em cada pixel, traduzida em um único valor, o *Digital Number* (ou Número Digital – ND), que representa a intensidade luminosa captada pelo satélite. Quanto maior o valor do ND, maior a intensidade luminosa captada pelo satélite, o que nas áreas urbanizadas pode se traduzir em áreas de maior adensamento populacional⁵.

Dados de imagens noturnas provenientes do sensor *Operational Linescan System (OLS)* de satélites do *Defense Meteorological Satellite Program – DMSP* (Departamento de Defesa Norte Americano) começaram a ser captados em meados da década de 1970. Desde então, diversos estudos foram realizados para se avaliar a potencialidade destas imagens para outros fins que não o meteorológico, envolvendo diversos fenômenos relacionados à atividade humana (BENNETT; SMITH, 2017), especialmente estimativas populacionais e estudos sobre a urbanização (ELVIDGE *et al.*, 1997; SUTTON *et al.*, 2001; AMARAL, 2003; AMARAL *et al.*, 2005, 2006; BALK *et al.*, 2006; DOLL, 2008; JOSHI *et al.*, 2011; DÓRIA; AMARAL; MONTEIRO, 2014; LIU *et al.*, 2015; STATHAKIS; TSELIOS; FARASLIS, 2015; DÓRIA, 2015; HUANG *et al.*, 2016).

⁵ Considerando-se, nesse caso, apenas áreas residenciais, sem a presença de grandes parques industriais, por exemplo.

No que se refere especificamente à utilização desses dados para realização de estimativas populacionais, apesar dos diversos estudos apontando seu potencial, não há um consenso na literatura sobre as potencialidades desse tipo de informação. Se por um lado há autores que defendem a existência de relações consistentes entre as séries históricas desses dados e os totais populacionais (MA *et al.*, 2012; ELVIDGE *et al.*, 2014), alguns estudos sugerem que as relações que se verificam entre as luzes e os totais populacionais em análises transversais não se sustentam ao se analisar as variações em ambas as variáveis ao longo do tempo (BUSTOS; HALL; ANDERSSON, 2015; ZHOU; HUBACEK; ROBERTS, 2015; BENNETT; SMITH, 2017). Para o caso do Brasil, em especial, não foram encontrados estudos que fizessem uma análise dessas variações no tempo.

O uso de dados provenientes de imagens noturnas de satélite tem se intensificado e se diversificado no período recente. Vários estudos foram conduzidos no país no sentido de se utilizar essas imagens para diferentes propósitos, como a estimativa do total populacional; a distribuição da população dentro de uma área; a previsão da direção da expansão de manchas urbanas; e até mesmo estimativas do consumo de energia elétrica (AMARAL, 2003; AMARAL *et al.*, 2005, 2006, UMBELINO, 2012, 2014; LORENA, 2013; UMBELINO; MÁXIMO, 2014; DÓRIA; AMARAL; MONTEIRO, 2014, 2016; DÓRIA, 2015; AMARAL; DAL'ASTA; RIBEIRO, 2017).

Para as estimativas populacionais municipais, alguns estudos demonstraram ser possível obter coeficientes de determinação R^2 entre 0,8 e 0,9 a partir de regressões lineares simples, correlacionando-se a área iluminada com a população municipal em municípios da região norte do país para os anos de 1996 e 2000 (AMARAL, 2003; AMARAL *et al.*, 2005, 2006).

Os estudos que utilizaram dados de imagens noturnas até o final da década de 2000 ficavam restritos à série DMSP/OLS, que possui baixa resolução espacial. Sabe-se que imagens noturnas com maior resolução espacial proporcionam melhores resultados para estudos demográficos e socioeconômicos (LEVIN; DUKE, 2012). Assim esse quadro começa a mudar no início da década de 2010, quando um novo sensor foi colocado em órbita, o *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite – VIIRS*. Esse sensor fornece, desde 2012, imagens com maior resolução que a de seu antecessor, permitindo a obtenção de resultados mais precisos (ELVIDGE *et al.*, 2013), apesar de serem poucos os trabalhos desenvolvidos utilizando-se esses dados.

Em suma, se por um lado vários estudos apontam o sensoriamento remoto, e em especial as imagens noturnas de satélite, como um importante campo a ser explorado na quantificação e monitoramento das tendências de crescimento da população em pequenas e grandes áreas, por outro lado a maioria desses estudos, especialmente os realizados no Brasil, se baseiam apenas em análises transversais. Dessa forma, permanece a ser elucidado o real potencial desses dados para a realização de estimativas populacionais no país. Neste sentido, esse estudo se propõe a aprofundar essa discussão ao incorporar a componente temporal a essas análises e comparar o desempenho destes dados com os dados de outros registros administrativos para a realização de estimativas populacionais municipais no Brasil. Os métodos, as estratégias, bem como o escopo geográfico e os detalhes operacionais adotados serão apresentados na próxima seção.

Fontes de dados e métodos

Foram analisados os dados dos 3.580 municípios existentes em 1990 e que não foram afetados pela criação de novos municípios até 2010, o que representa, em 2010, aproximadamente 65% do total de municípios e 75% da população total.

A seleção dos registros administrativos que foram analisados nesse estudo envolveu a busca por variáveis que pudessem estar correlacionadas de alguma forma com as variações populacionais, as denominadas variáveis sintomáticas – a maioria delas já utilizada por outros autores. Inicialmente foi realizado um levantamento sobre quais variáveis estariam disponíveis para realização desse estudo no período de interesse, e foram então selecionadas, levantadas e organizadas em um banco de dados as variáveis descritas no Quadro 1, cujos microdados estão disponíveis publicamente online⁶.

No Quadro 2 é possível visualizar a série histórica dos dados disponíveis, onde as células hachuradas indicam a existência do dado para o respectivo ano. Nota-se que para diversas variáveis não existem informações para o período completo analisado. Em alguns casos, havia dados apenas para a década de 2000, como é o caso das variáveis do INSS e dos estabelecimentos de emprego, da RAIS.

⁶ Com exceção dos totais municipais de nascimentos e óbitos do Registro Civil na década de 1990, que foram obtidos por meio de solicitação ao IBGE.

Quadro 1: Lista com os dados provenientes de registros administrativos e suas respectivas fontes e produtores.

Dados	Fontes de Dados - Produtores
População Municipal	Censos Demográficos - IBGE
Nascimentos	Sistema de Inf. sobre Nascidos Vivos (SINASC) - MS/SVS/DASIS
	Registro Civil – IBGE
Óbitos	Sistema de Inf. sobre Mortalidade (SIM) –MS/SVS/CGIAE
	Registro Civil – IBGE
Eleitores	Cadastro de Eleitores – TSE
Matrículas Escolares	Censo Escolar – INEP
Vínculos Trabalhistas	Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) – MTE
Estabelecimentos de Emprego	Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) – MTE
Beneficiários	Estatísticas Municipais - INSS
Arrecadação	Estatísticas Municipais - INSS

Nota: MS = Ministério da Saúde; SVS = Secretaria de Vigilância em Saúde; DASIS = Departamento de Análise da Situação de Saúde; CGIAE = Coordenação Geral de Informações e Análises Epidemiológicas; TSE = Tribunal Superior Eleitoral; INEP = Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Anísio Teixeira; MTE = Ministério do Trabalho e Emprego; INSS = Instituto Nacional do Seguro Social.

Quadro 2: Série histórica dos dados disponíveis.

Dados	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
População (Censos Demog.)																						
Nascimentos (SINASC)																						
Nascimentos (Reg. Civil)																						
Óbitos (SIM)																						
Óbitos (Reg. Civil)																						
Eleitores (TSE)																						
Matr. Escolares (Censo Esc.)																						
Vínculos Trabalhistas																						
Est. de Emprego (RAIS)																						
Beneficiários (INSS)																						
Arrecadação (INSS)																						

A partir da discussão feita na revisão da literatura, se incluem nesse estudo as informações originárias das imagens noturnas de satélite. Para este estudo, foram utilizados os dados do mosaico *stable lights* (luzes estáveis) provenientes do sensor *Operational Linescan System* (OLS), do Programa de Satélites Meteorológicos de Defesa norte-americano (*Defense Meteorological Satellite Program – DMSP*) operado pela *National Oceanic and Atmospheric Administration’s* (NOAA).

Os dados gerados a partir dessas imagens buscam fornecer dois indicadores que foram posteriormente utilizados como variáveis sintomáticas: 1) o total de intensidade luminosa captada pelo sensor (que deu origem à variável sintomática “soma dos pixels”); e 2) a área iluminada a partir de um certo limiar de intensidade luminosa para cada município (que deu origem à variável sintomática “número de pixels maiores ou iguais a dez”). A série histórica está disponível até 2013, como mostra o Quadro 3, com dados provenientes do satélite F10 e mais cinco satélites colocados em órbita ao longo desse período.

Quadro 3: Série histórica completa dos satélites DMSP com os sensores OLS.

Sat./A no	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013		
F10																								
F12																								
F14																								
F15																								
F16																								
F18																								

Fonte: National Oceanic and Atmospheric Administration's.

Devido a diferenças nas órbitas dos satélites ou mesmo à degradação dos sensores com o tempo, os valores registrados para um mesmo pixel no mesmo momento por diferentes satélites podem variar expressivamente. Assim, para se trabalhar com a série histórica das imagens DMSP/OLS é necessário realizar uma intercalibração dos NDs, que são os valores associados ao brilho de cada pixel nos mosaicos de luzes estáveis. Optou-se neste estudo por se utilizar a metodologia proposta por Elvidge *et al.* (2009), cuja eficácia foi corroborada por diversos trabalhos publicados posteriormente (ELVIDGE *et al.*, 2011; SMALL; ELVIDGE, 2013; HAN *et al.*, 2014; DÓRIA, 2015; XIAOYONG *et al.*, 2015; BENNETT; SMITH, 2017), tendo-se como mosaico de referência o do satélite F18 no ano de 2012, e como área de referência o município de Salvador-BA.

Foram selecionadas também algumas informações disponíveis no Atlas do Desenvolvimento Humano de 2013 para avaliar o impacto de algumas características sociodemográficas dos municípios sobre as correlações entre as variações na população e nas variáveis sintomáticas. Os indicadores utilizados para a realização dessas análises foram: tamanho do município (população); taxa de urbanização; razão de dependência

(total, de idosos e crianças); taxa de fecundidade; rendimento domiciliar *per capita* médio; e IDHM.

Para avaliar as relações longitudinais entre as variáveis sintomáticas e a população, optou-se por se utilizar uma metodologia desenvolvida por Barros (2017) para se trabalhar com séries históricas com grande variabilidade anual nos dados e/ou com dados incompletas, denominada método dos Coeficientes Angulares Ponderados (CAP). A alternativa proposta utiliza os coeficientes angulares de retas ajustadas a partir um modelo de regressão linear simples para cada variável sintomática em cada década com os dados de toda a série histórica. O mesmo procedimento é realizado para a população nos anos censitários. Estes coeficientes são então divididos pelos valores estimados no meio da série histórica a fim de se obter os denominados coeficientes angulares ponderados. O coeficiente angular da reta é uma medida da taxa média de variação anual do evento no período em análise, e pode ser considerado como *proxy* das taxas de crescimento linear anual. Essa metodologia pode também ser utilizada para a realização de estimativas populacionais por meio de um modelo de regressão linear múltipla, semelhante ao método de correlação de razões, e será utilizada, neste trabalho, para comparar os resultados das estimativas populacionais provenientes do método AiBi com aqueles oriundos da utilização de variáveis sintomáticas.

Análises transversais: a relação entre as variáveis sintomáticas e a população em diferentes momentos do tempo

A maioria dos estudos que sugerem a potencialidade das imagens noturnas de satélite para a realização de estimativas populacionais, especialmente no Brasil, se baseiam em resultados de análises transversais, ou seja, análises que correlacionam a soma dos NDs dos pixels ou a área iluminada de diferentes municípios com sua população total em um determinado momento no tempo (AMARAL, 2003; AMARAL *et al.*, 2005; LORENA, 2013; DÓRIA, 2015; DÓRIA; AMARAL; MONTEIRO, 2016). Analisando-se os gráficos de dispersão entre os logaritmos naturais da população total e de cada uma das variáveis sintomáticas para o ano de 2010, observa-se que todas as variáveis analisadas possuem uma relação linear ou ao menos aproximadamente linear com os totais populacionais (Gráfico AN1, anexo). Essa relação em alguns casos é muito forte, chegando a apresentar, após o ajuste de uma reta de tendência, coeficientes de determinação R^2 da ordem de 0,98, como no caso dos eleitores e das matrículas escolares.

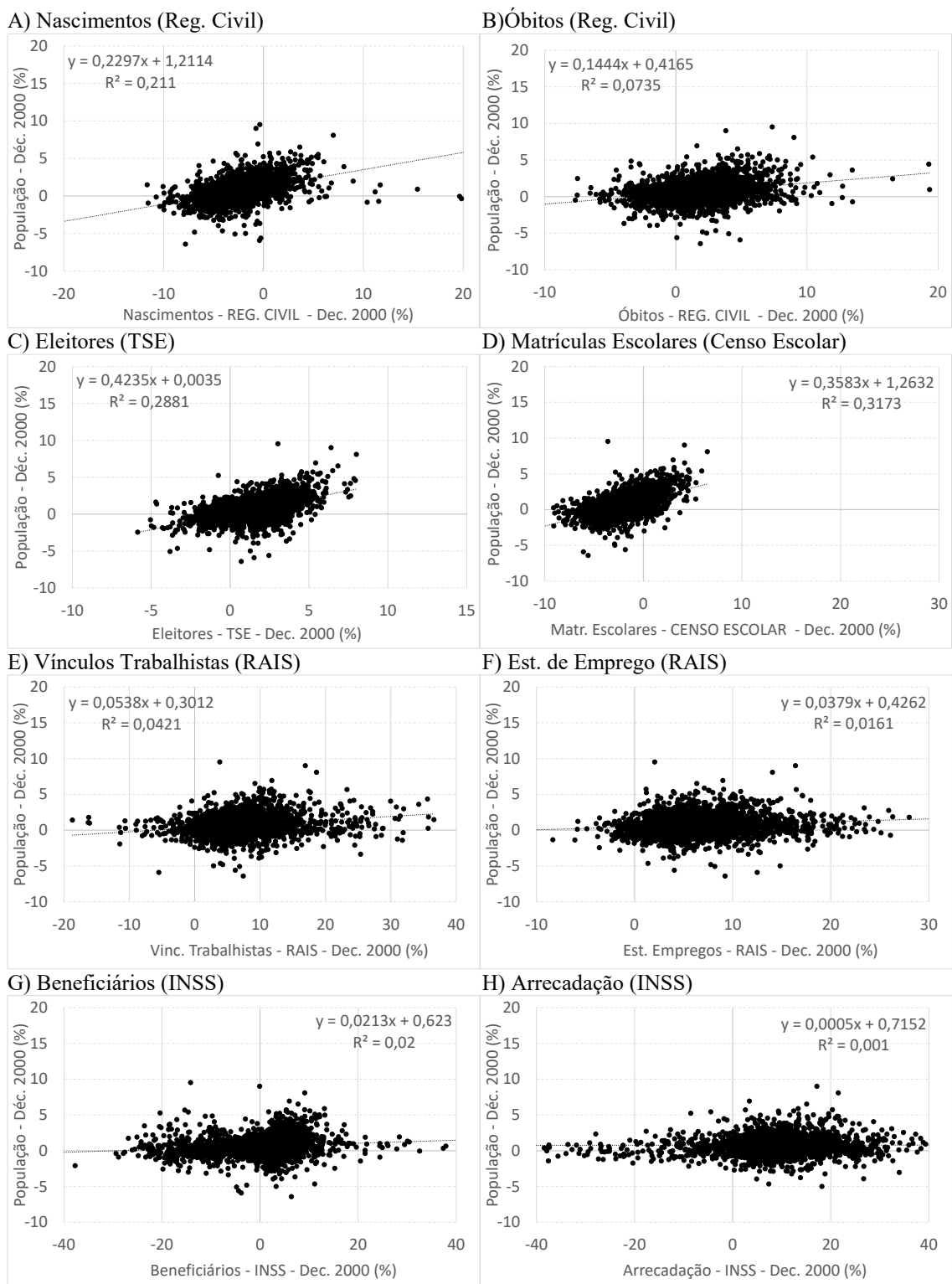
As variáveis número de nascimentos e de óbitos também apresentaram R^2 bastante elevados, na maioria dos casos superiores a 0,8. As demais variáveis apresentaram valores mais baixos, destacando-se neste sentido o número de estabelecimentos de emprego da RAIS – da ordem de 0,5. As variáveis provenientes das imagens noturnas também apresentaram uma relação aproximadamente linear com a população municipal, porém é possível perceber que essa relação não é tão forte como a de muitas variáveis oriundas dos registros administrativos, ficando seus R^2 entre 0,5 e 0,7.

Apesar da existência de uma forte relação entre o tamanho da população e o volume dos eventos medidos em cada uma das variáveis sintomáticas em um momento específico do tempo, essas relações, observadas a partir de análises transversais, não são suficientes para se avaliar o potencial de predição das variações populacionais ao longo do tempo, uma vez que os métodos que utilizam variáveis sintomáticas para a realização de estimativas populacionais (como o método de correlação de razões, o de correlação de diferenças, dentre outros) partem do princípio de que são as variações nos eventos é que devem estar, de alguma forma, correlacionadas com as variações populacionais. Assim, o próximo passo foi avaliar as relações entre as variações de cada uma das variáveis sintomáticas em relação às variações populacionais. Os indicadores utilizados para expressar as variações desses dados serão os coeficientes angulares ponderados, que, como mencionado anteriormente, são *proxies* das taxas de crescimento linear anual.

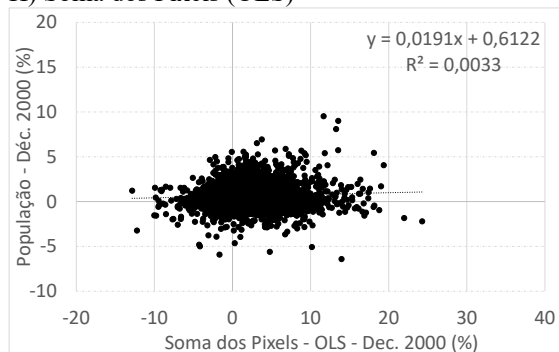
Apesar da consistente relação entre os totais populacionais e os totais das variáveis sintomáticas que se observou em análises transversais, ao observar a relação entre as variações na população e nos dados de cada variável sintomática o cenário é bem distinto. A suave distribuição dos pontos ao redor das retas de tendência ajustadas dá lugar a uma nuvem de pontos com tendências muitas vezes pouco definidas (Gráfico 1). Os coeficientes de determinação R^2 dos ajustes lineares das retas de tendência, que nas análises transversais foram da ordem de até 0,9, não chegam agora a 0,4, mesmo para as variáveis sintomáticas tradicionalmente utilizadas para a realização de estimativas populacionais, como o número de nascimentos, óbitos, matrículas escolares e eleitores.

No caso das variáveis provenientes das imagens DMSP/OLS, os resultados para o Brasil corroboram aqueles apontados em outros estudos (BUSTOS; HALL; ANDERSSON, 2015; ZHOU; HUBACEK; ROBERTS, 2015; BENNETT; SMITH, 2017), não indicando a existência de uma relação clara entre as variações destes dados em comparação com as variações populacionais (Gráfico 1 H e I).

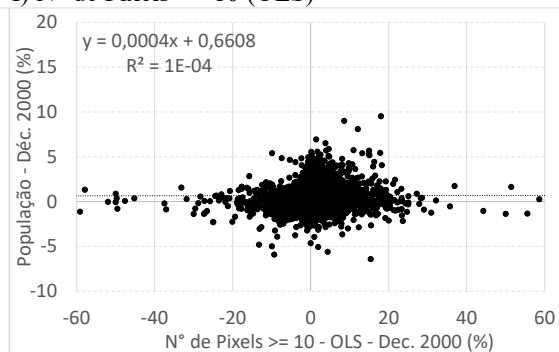
Gráfico 1: Gráficos de dispersão e ajustes lineares entre os coeficientes angulares ponderados da população e das variáveis sintomáticas dos municípios em análise. Brasil, década de 2000.



H) Soma dos Pixels (OLS)



I) N° de Pixels >= 10 (OLS)



Fonte: IBGE, Censos Demográficos de 2000 e 2010, Registro Civil de 2000 a 2010; TSE, Cadastro de Eleitores de 2000 a 2010; INEP, Censo Escolar de 2000 a 2010; INSS, Estatísticas Municipais de 2000 a 2010; MTE, RAIS de 2000 a 2010; NOAA, imagens DMSP/OLS de 1992 a 2010. Notas: 1) dados provenientes dos 3.580 municípios existentes em 1991 e que não foram afetados pela criação de novos municípios.

Estimando a população municipal: ajuste dos modelos lineares múltiplos

Como visto na revisão da literatura, o método da correlação de razões, aqui substituído pelo método CAP, apresenta melhores resultados para a realização de estimativas populacionais municipais quando comparado com o método utilizado nas estimativas oficiais brasileiras (método AiBi) para períodos intercensitários mais afastados da data de realização do censo. Na presença de uma contagem populacional no meio da década, no entanto, o cenário é distinto, como já apontado por outros autores (BORGES; ERVATTI; SILVA, 2011). De fato, ao comparar os resultados do método CAP com aqueles oriundos do método AiBi no final da década de 2000, foram encontrados resultados mais próximos do Censo Demográfico de 2010 para as estimativas realizadas pelo método AiBi do que pelo método CAP.

Para se chegar neste resultado, adotou-se o ano de 2009 como referência para as análises e comparou-se as distâncias entre as populações estimadas para 2009 com aquelas observadas no Censo Demográfico de 2010 para ambos os métodos. Os resultados das estimativas para o método AiBi foram obtidos diretamente das estimativas oficiais do IBGE, que utilizam os dados provenientes do Censo Demográfico de 2000 e da Contagem Populacional de 2007 como pontos de apoio (IBGE, 2008), enquanto o método CAP foi aplicado sem a utilização dos dados das contagens⁷.

⁷ Para a realização das análises desta seção, foram consideradas apenas as variáveis disponíveis simultaneamente nas duas décadas. Foram retirados da análise os municípios que possuíam dados ausentes para qualquer uma das variáveis (*missings*) e também alguns *outliers*, resultando numa relação de 3.136 municípios que atenderam a esses critérios.

Comparando-se as diferenças (erros) entre as populações municipais estimadas a partir de cada um dos métodos e a população observada no censo por tamanho de município (Tabela 1), verifica-se que elas são menores, para todos os recortes investigados, para as estimativas oficiais do IBGE realizadas a partir do método AiBi. É possível perceber, por exemplo, que para 90% (P90) dos municípios analisados o EPM ficou abaixo de 9,6% a partir das estimativas oficiais do IBGE, uma cifra que só é alcançada por cerca de 75% (P75) dos municípios que tiveram suas estimativas populacionais realizadas a partir do método dos coeficientes angulares ponderados.

Uma vez que as tendências das variáveis sintomáticas podem mudar de uma década para a outra, é razoável inferir que tais mudanças tenham impacto nos resultados das estimativas populacionais realizadas a partir de modelos que utilizam estes dados. Assim, buscando-se compreender como estas mudanças nas tendências podem ter levado ao pior desempenho do método CAP frente às estimativas populacionais oficiais do IBGE (método AiBi), foram analisados os resultados dos ajustes dos modelos de regressão do método CAP para as duas décadas, comparando-se as variáveis que foram significativas nos ajustes realizados com dados de cada década, assim como os R^2 ajustados e os erros encontrados entre as populações estimadas e observadas para os anos de 2000 e 2010.

Para auxiliar na comparação entre os resultados dos modelos, o Quadro 4 apresenta, em forma de representação por cores, as variáveis que foram significativas apenas na década de 1990 (em vermelho – 17 casos), somente na década de 2000 (em azul – 37 casos), e as que foram significativas nas duas décadas (em amarelo – 38 casos). O Quadro 4 apresenta também os valores dos coeficientes padronizados estimados para cada variável significativa, os R^2 ajustados e os EMPM para cada Unidade da Federação para as duas décadas.

Os resultados mostram que o conjunto de variáveis que foram significativas nos ajustes realizados varia muito, tanto de uma Unidade da Federação para a outra, quanto de uma década para a outra, assim como os valores dos R^2 ajustados e os respectivos EMPM. Para maioria das Unidades da Federação, apenas duas ou três das variáveis sintomáticas analisadas foram significativas, normalmente provenientes de registros administrativos. De fato, em apenas quatro estados na década de 1990 e em dez estados na década de 2000 alguma das variáveis sintomáticas provenientes das imagens DMPS/OLS foram significativas.

Tabela 1: Número de municípios (N) e estatísticas descritivas (média, mínimo, mediana, máximo e percentis selecionados) dos erros percentuais (EP) e dos erros percentuais em módulo (EPM) entre a população municipal estimada em 2009 a partir dos métodos dos coeficientes angulares ponderados e AiBi e observada no Censo Demográfico de 2010 segundo tamanho do município. Brasil.

Erro	População municipal	N	Método dos coeficientes angulares									Método AiBi (estimativa oficial do IBGE)						
			Média	Mín	P10	P25	P50	P75	P90	Máx	Média	Mín	P10	P25	P50	P75	P90	Máx
	Brasil	3136	0,7	-72,9	-10,1	-4,9	0,2	5,7	11,7	86,8	1,0	-30,0	-5,7	-2,0	1,0	4,0	7,3	55,0
EP	Até 5.000	550	1,2	-55,1	-11,8	-4,6	1,0	7,2	13,5	41,8	2,0	-19,6	-5,4	-1,1	2,1	5,0	8,8	55,0
	De 5.001 a 10.000	759	0,3	-45,7	-10,9	-6,0	-0,1	6,5	12,7	59,5	1,6	-24,3	-5,4	-1,3	1,8	4,8	8,5	35,6
	De 10.001 a 20.000	882	1,3	-72,9	-9,4	-4,5	0,3	6,2	13,2	86,8	1,0	-30,0	-5,4	-2,2	1,2	4,1	7,2	39,1
	De 20.001 a 50.000	647	0,4	-53,8	-9,4	-4,7	-0,2	4,9	10,2	75,8	-0,2	-26,6	-6,9	-2,8	0,0	2,5	5,1	53,4
	De 50.001 a 100.000	178	-1,1	-28,7	-8,6	-4,8	-1,2	3,3	7,3	19,3	-0,5	-12,3	-4,9	-2,2	-0,1	1,7	3,4	9,2
	100.001 ou mais	120	-0,2	-21,9	-6,5	-4,4	0,4	3,5	6,0	29,2	0,3	-17,6	-5,9	-3,4	-0,6	3,4	6,5	26,6
	Brasil	3136	7,4	0,0	0,9	2,5	5,3	9,5	16,0	86,8	4,4	0,0	0,6	1,4	3,2	5,7	9,6	55,0
EPM	Até 5.000	550	7,9	0,0	1,0	2,6	5,9	11,4	16,9	55,1	4,8	0,0	0,6	1,6	3,8	6,5	10,3	55,0
	De 5.001 a 10.000	759	7,9	0,0	1,1	2,9	6,3	10,2	16,4	59,5	4,6	0,0	0,6	1,6	3,4	6,3	10,0	35,6
	De 10.001 a 20.000	882	7,9	0,0	0,9	2,5	5,2	9,4	17,8	86,8	4,6	0,0	0,6	1,6	3,3	5,6	10,0	39,1
	De 20.001 a 50.000	647	6,9	0,0	0,8	2,3	4,8	8,8	13,8	75,8	4,0	0,0	0,5	1,0	2,6	5,0	8,5	53,4
	De 50.001 a 100.000	178	5,3	0,1	0,8	2,4	4,2	7,3	10,2	28,7	2,5	0,0	0,3	1,0	1,9	3,4	5,7	12,3
	100.001 ou mais	120	4,7	0,1	0,7	1,9	4,0	5,8	9,0	29,2	4,5	0,0	0,6	1,6	3,4	5,7	9,3	26,6

Fonte: IBGE, Censos Demográficos de 1991 a 2010, Registro Civil de 1990 a 2010, Estimativas Populacionais de 2009; TSE, Cadastro Eleitoral de 1990 a 2010; INEP, Censo Escolar de 1990 a 2010; MTE, RAIS de 1990 a 2010; INSS, Estatísticas Municipais de 1990 a 2010; NOAA, imagens DMSP/OLS de 1990 a 2010. Notas: 1) P10, P25, P75 e P90 são os percentis 10, 25, 75 e 90, respectivamente; 2) Método AiBi: proveniente das estimativas oficiais do IBGE.

Quadro 4: Esquema comparativo entre as variáveis significativas, os valores dos coeficientes padronizados estimados, os R^2 ajustados e erros médios percentuais em módulo (EMPM) entre as populações estimadas a partir do método dos coeficientes angulares ponderados (ajustados com dados das décadas de 1990 e 2000 por Unidades da Federação) e observadas nos Censos Demográficos de 2000 e 2010. Brasil e Unidades da Federação.

Unidades da Federação	Valor dos coeficientes padronizados para as variáveis que foram significativas apenas na década de 1990 (em vermelho), apenas na década de 2000 (em azul), e em ambas (em amarelo)														R^2 Ajustados		EMPM				
	Nascim. (Reg. Civil)		Óbitos (Reg. Civil)		Eleitores (TSE)		Matr. Escolares (Cens. Escol.)		Vinc. Trabalh. (RAIS)		Soma dos Pixels (OLS)		Nº de Pixels ≥ 10 (OLS)								
	1990's	2000's	1990's	2000's	1990's	2000's	1990's	2000's	1990's	2000's	1990's	2000's	1990'	2000'	1990'	2000'	1990'	2000'			
Brasil																		7,06	5,48		
Amazonas	0,52			0,29														0,25	0,07	18,60	12,72
Pará	0,31		0,37				0,41				0,41							0,31	0,41	11,63	9,12
Tocantins		0,31	0,23		0,78		0,59				-0,24							0,87	0,68	8,73	5,53
Maranhão				0,32	0,36		0,41											0,12	0,30	7,95	7,41
Piauí						0,49			0,43			0,42	0,45	-0,53				0,17	0,39	6,09	4,18
Ceará		0,33			0,32	0,19	0,25	0,29						0,19				0,20	0,40	5,94	5,11
Rio Grande do Norte	0,19	0,25			0,43	0,19	0,17	0,62						-0,13				0,34	0,56	6,92	4,67
Paraíba	0,41	0,21					0,55				-0,21							0,22	0,36	7,00	5,39
Pernambuco	0,26	0,26			0,21	0,20	0,17	0,31						0,16				0,13	0,36	6,40	5,55
Alagoas			0,31		0,45	0,36		0,38										0,29	0,37	7,68	6,57
Sergipe	0,49	0,30			0,29			0,43						-0,27	0,42			0,41	0,38	6,14	4,38
Bahia	0,35	0,23			0,14	0,11		0,28						-0,24	0,26			0,19	0,22	11,37	8,84
Minas Gerais	0,39	0,39			0,36	0,30	0,18	0,30		0,06	-0,09							0,48	0,58	6,03	4,45
Espírito Santo		0,42	0,34		0,42	0,36	0,39							0,21				0,68	0,49	4,97	5,00
Rio de Janeiro	0,44			0,55			0,52	0,40										0,64	0,70	4,60	4,51
São Paulo	0,43	0,29		0,22	0,41	0,30	0,19	0,25										0,73	0,54	4,84	4,21
Paraná	0,18	0,23	0,08	0,10	0,40	0,13	0,38	0,48		0,19								0,74	0,55	6,57	4,91
Santa Catarina	0,23	0,34		0,11	0,55	0,25	0,24	0,38		0,11								0,80	0,82	5,45	4,35
Rio Grande do Sul	0,24	0,22		0,07	0,57	0,39	0,18	0,42	0,09	0,14			0,10		-0,07			0,79	0,86	5,57	3,42
Mato Grosso do Sul	0,44	0,26		0,21	0,30	0,24	0,26	0,40										0,78	0,80	6,69	4,08
Mato Grosso	0,42				0,58			0,82										0,91	0,66	8,47	8,59
Goiás	0,61	0,23				0,15	0,22	0,56		0,09	0,15							0,58	0,67	8,42	6,20

Nota: variáveis em amarelo: significativas nas duas décadas; variáveis em vermelho: significativas na década de 1990, mas não na de 2000; variáveis em azul: significativas na década de 2000, mas não na de 1990.

Em geral, além de serem significativas em um número reduzido de estados, as variáveis sintomáticas oriundas das imagens DMSP/OLS apresentam os menores valores dos coeficientes padronizados, o que indica uma menor contribuição na explicação da variável resposta no modelo (Quadro 4).

Percebe-se ainda que há uma grande variação tanto nas variáveis sintomáticas que foram significativas em cada década quanto no valor dos coeficientes estimados pelos modelos de regressão. As variáveis que foram significativas simultaneamente nas duas décadas no maior número de estados foram o número de nascimentos (12 estados), de eleitores (12 estados) e as matrículas escolares (11 estados) (Quadro 4). Ainda assim, é interessante observar que são expressivas as diferenças nos valores dos coeficientes estimados entre as décadas em vários estados, especialmente entre o número de eleitores e de matrículas escolares⁸.

Tanto a variável sobre o número vínculos trabalhistas quanto as variáveis sintomáticas provenientes das imagens DMSP/OLS foram significativas em um número reduzido de Unidades da Federação nas duas décadas, sendo, em geral, significativas em apenas uma delas. Os valores dos coeficientes ajustados em geral também são menores para essas variáveis, apontando uma menor importância dessas variáveis sintomáticas para a previsão das variações populacionais nas duas décadas (Quadro 4).

Quando se compara os valores dos R^2 ajustados e os EMPM entre as duas décadas, é possível perceber uma redução generalizada dos erros e um aumento dos R^2 ajustados, apesar de alguns R^2 terem diminuído no período. Os ganhos mais expressivos nos R^2 estão concentrados nos estados do Nordeste, e podem ter alguma relação com a melhora na qualidade e/ou na cobertura de alguns registros administrativos. Dentre os estados que tiveram maior redução no R^2 , destaca-se o Mato Grosso, que passou de 0,91 para 0,66 no período, apresentando ainda um ligeiro aumento no EMPM, da ordem de 0,12 pontos percentuais (Quadro 4).

É importante notar que as mudanças observadas tanto nas variáveis sintomáticas que foram significativas nos modelos quanto nos valores dos coeficientes estimados em cada década contribuem para explicar os erros encontrados ao estimar a população municipal de 2009 com base nos ajustes realizados com dados da década de 1990, e,

⁸ Como os coeficientes apresentados são padronizados, quanto maior o valor do coeficiente maior a importância relativa da variável no modelo. Assim, como houve uma redução do valor dos coeficientes para o número de eleitores e um aumento para as matrículas escolares na maioria dos estados entre as duas décadas, pode-se concluir que houve uma redução na importância relativa dos eleitores e um aumento na importância das matrículas escolares para a previsão das variações populacionais.

consequentemente, o pior desempenho frente ao método AiBi. De fato, ao realizar essas estimativas utilizou-se, muitas vezes, variáveis sintomáticas que não deveriam estar sendo utilizadas para aquela década (como o número de nascimentos para os estados do Amazonas, Pará, Rio de Janeiro e Mato Grosso) por não apresentarem significância estatística para prever as variações populacionais na década de 2000. Por outro lado, muitas variáveis capazes de explicar tais variações foram deixadas de fora dos modelos, como o número de matrículas escolares, que passaram a ser significativas em oito estados na década de 2000, figurando entre aquelas com os maiores coeficientes estimados (maior poder de explicação das variações populacionais) dentre as variáveis sintomáticas significativas na década de 2000. Por fim, para as variáveis que foram significativas em ambas as décadas, percebe-se variações expressivas nos coeficientes estimados em muitos casos, o que contribui para piorar a qualidade das estimativas realizadas.

Todos esses fatores certamente têm impactos importantes na qualidade das estimativas populacionais realizadas com base no método CAP (ou qualquer outro método que utilize variáveis sintomáticas), e alertam para o desafio de utilizá-los em contextos de mudanças demográficas e de mudanças nos níveis de qualidade e cobertura das variáveis sintomáticas utilizadas, como ocorreu no Brasil no período analisado. Apesar disso, vale registrar que a melhoria na qualidade e cobertura dos registros administrativos associada a mudanças menos bruscas na dinâmica demográfica podem fazer com que as variáveis sintomáticas passem a apresentar um comportamento mais estável e um maior potencial para prover estimativas populacionais municipais no Brasil no futuro, especialmente em contextos onde não se dispõe de alternativas melhores.

Conclusões

As conclusões deste estudo podem ser sintetizadas destacando-se dois pontos. O primeiro deles se refere às potencialidades das variáveis sintomáticas provenientes das imagens noturnas de satélite em comparação com aquelas oriundas dos registros administrativos. Pode-se concluir, com base nos resultados encontrados, que os dados das imagens DMSP/OLS, apesar de correlacionados com os totais populacionais, se mostraram inferiores aos registros administrativos em diversos aspectos para a realização de estimativas populacionais municipais no Brasil.

O segundo ponto a ser destacado está relacionado com a realização de estimativas populacionais com base em variáveis sintomáticas de uma forma geral. Mesmo para as

variáveis que são tradicionalmente utilizadas como sintomáticas da variação populacional, problemas relacionados à qualidade e cobertura dos registros e suas variações no tempo podem ter impactos expressivos no desempenho de cada uma delas para a realização de estimativas populacionais. Além disso, foi possível perceber que as mudanças nas componentes da dinâmica demográfica (fecundidade, mortalidade e migração), com conseqüente alteração na estrutura etária da população, podem impactar negativamente essas estimativas, tornando-se complexa a tarefa de se realizar estimativas populacionais em populações que ainda não completaram a transição demográfica.

De forma geral, os resultados desse estudo contribuem para evidenciar a existência de grandes desafios e de um longo caminho a ser percorrido para que se possa utilizar informações provenientes de variáveis sintomáticas para a realização de estimativas populacionais municipais, especialmente em um país de dimensões continentais e com tamanha desigualdade interna como o Brasil.

Referências

- AMARAL, S. **Geoinformação para estudos demográficos: representação espacial de dados de população na amazônia brasileira**. 2003. Tese de Doutorado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- AMARAL, S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; QUINTANILHA, J. A.; ELVIDGE, C. D. Estimating population and energy consumption in Brazilian Amazonia using DMSP night-time satellite data. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 29, n. 2, p. 179–195, 2005.
- AMARAL, S.; DAL’ASTA, A. P.; RIBEIRO, R. M. Potencial de mosaicos mensais DNB-VIIRS para detecção de atividades humanas e áreas urbanizadas na Amazônia Brasileira - um estudo no Sudoeste do Pará. **XVIII SBSR, Santos**, 2017.
- AMARAL, S.; MONTEIRO, A. M. V.; CAMARA, G.; QUINTANILHA, J. A. DMSP/OLS nighttime light imagery for urban population estimates in the Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 5, p. 855–870, mar. 2006.
- BALK, D. L.; DEICHMANN, U.; YETMAN, G.; POZZI, F.; HAY, S. I.; NELSON, a. Determining Global Population Distribution: Methods, Applications and Data. **Advances in parasitology**, v. 62, n. August 2005, p. 119–156, 2006.
- BARROS, L. F. W. **Potencialidades e desafios na utilização de registros administrativos e de imagens noturnas de satélite para a realização de estimativas populacionais municipais intercensitárias no brasil**. 2017. Tese de Doutorado - Escola Nacional de Ciências Estatísticas - ENCE/IBGE, Rio de Janeiro, 2017.
- BAY, G. El uso de variables sintomáticas en la estimación de la población de áreas menores. **Notas de población**, n. 67–68, p. 181–208, 1998.
- BENNETT, M. M.; SMITH, L. C. Advances in using multitemporal night-time lights satellite imagery to detect, estimate, and monitor socioeconomic dynamics. **Remote**

Sensing of Environment, v. 192, p. 176–197, 2017.

BORGES, G. M.; ERVATTI, L. R.; SILVA, L. G. de C. Desafios para o IBGE nas estimativas populacionais dos municípios brasileiros: aplicação de distintas metodologias. **Seminário Internacional “Estimaciones y Proyecciones de Población: Metodologías, Innovaciones y Estimación de Grupos Objetivo de Políticas Públicas”**. Rio de Janeiro – RJ – Brasil, p. 35, 2011.

BRITO, L. P. G. de; CAVENAGHI, S.; JANNUZZI, P. de M. Estimativas e projeções populacionais para pequenos domínios: uma avaliação da precisão para municípios do Rio de Janeiro em 2000 e 2007. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 27, n. 1, p. 35–57, jun. 2010.

BUSTOS, M. F. A.; HALL, O.; ANDERSSON, M. Nighttime lights and population changes in Europe 1992-2012. **Ambio**, v. 44, n. 7, p. 653–665, 2015.

DOLL, C. N. H. CIESIN Thematic Guide to Night-time Light Remote Sensing and its Applications. **Earth Science**, p. 1–41, 2008.

DÓRIA, V. E. M. **Sensoriamento remoto de luzes noturnas para estimativas populacionais em escalas regional e local : os casos do distrito florestal sustentável da br163 (pa) e da região metropolitana de são paulo**. 2015. Dissertação de Mestrado - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2015.

DÓRIA, V. E. M.; AMARAL, S.; MONTEIRO, A. M. V. Avaliação do potencial das imagens de luzes noturnas para estimativa e distribuição espacial de população urbana: um estudo para a região metropolitana de São Paulo, Brasil, com o sensor Visible Infrared Imaging radiometer Suite (VIIRS). **XIX Encontro Nacional de Estudos Populacionais - São Pedro/SP**, p. 21, 2014.

DÓRIA, V. E. M.; AMARAL, S.; MONTEIRO, A. M. V. Estimativa e distribuição espacial de população urbana com imagens de satélite de luzes noturnas: um estudo para a região metropolitana de São Paulo, Brasil, com o sensor Visible/Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS). **Geografia (Rio Claro. Impresso)**, v. 41, p. 527–547, 2016.

ELVIDGE, C. D.; BAUGH, K. E.; KIHN, E. a.; KROEHL, H. W.; DAVIS, E. R.; DAVIS, C. W. Relation between satellite observed visible-near infrared emissions, population, economic activity and electric power consumption. **International Journal of Remote Sensing**, v. 18, n. 6, p. 1373–1379, 1997.

ELVIDGE, C. D.; BAUGH, K.; ZHIZHIN, M.; HSU, F. C. Why VIIRS data are superior to DMSP for mapping nighttime lights. **Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network**, p. 62–69, 2013.

ELVIDGE, C. D.; SUTTON, P. C.; BAUGH, K. E.; ZISKIN, D.; GHOSH, T.; ANDERSON, S. National Trends in Satellite Observed Lighting: 1992–2009. **Remote Sensing**, v. 3, n. c, p. 18, 2011.

ELVIDGE, C. D.; ZISKIN, D.; BAUGH, K. E.; TUTTLE, B. T.; GHOSH, T.; PACK, D. W.; ERWIN, E. H.; ZHIZHIN, M. A fifteen year record of global natural gas flaring derived from satellite data. **Energies**, v. 2, n. 3, p. 595–622, 2009.

ELVIDGE, C.; HSU, F.-C.; BAUGH, K.; GHOSH, T. National Trends in Satellite-Observed Lighting: 1992-2012. **Global Urban Monitoring and Assessment through Earth Observation**, p. 97–120, 2014.

GONZÁLEZ, L. M.; TORRES, E. Estimaciones de población en áreas menores en América Latina: Revisión de métodos utilizados. In: **Estimaciones y proyecciones de**

población en América Latina: desafíos de una agenda pendiente. Brasil, Asociación Latinoamericana de Población. 1. ed. Rio de Janeiro: Serie e-Investigaciones N. 2 / ALAP Editor, 2012. p. 105–138.

HAN, P.; HUANG, J.; LI, R.; WANG, L.; HU, Y.; WANG, J.; HUANG, W. Monitoring Trends in Light Pollution in China Based on Nighttime Satellite Imagery. **Remote Sensing**, v. 6, p. 5541–5558, 2014.

HUANG, Q.; YANG, Y.; LI, Y.; GAO, B. A Simulation Study on the Urban Population of China Based on Nighttime Light Data Acquired from DMSP/OLS. **Sustainability**, v. 8, n. 6, p. 521, 2016.

IBGE. Metodologia das estimativas das populações residentes nos municípios brasileiros para 1º de julho de 2008: uma abordagem demográfica para estimar o padrão histórico e os níveis de subenumeração de pessoas nos censos demográficos e contagens da população. p. 30, 2008.

JARDIM, M. de L. T. Uso de variables sintomáticas para estimar la distribución espacial de la población aplicación a los municipios de Rio Grande do Sul, Brasil. **Notas de población**, v. 28, n. 71, p. 21–49, 2001.

JARDIM, M. de L. T. Metodologia de estimativas e projeções populacionais para o Rio Grande do Sul e seus municípios. **Documentos FEE n. 56**, p. 68, 2003.

JENSEN, J.; COWEN, D. Remote sensing of urban suburban infrastructure and socio-economic attributes. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 65, n. 5, p. 611–622, 1999.

JOSHI, P. K.; BAIRWA, B. M.; SHARMA, R.; SINHA, V. S. P. Assessing urbanization patterns over India using temporal DMSP – OLS night-time satellite data. **SCIENTIFIC CORRESPONDENCE**, v. 100, n. 10, p. 1479–1482, 2011.

LEVIN, N.; DUKE, Y. High spatial resolution night-time light images for demographic and socio-economic studies. **Remote Sensing of Environment**, v. 119, p. 1–10, 2012.

LIU, X.; ZHU, X.; PAN, Y.; MA, Y.; LI, T.; CHEN, S. Mapping population distribution by integrating night-time light satellite imagery and land-cover data. p. 2186–2189, 2015.

LONG, J. F. Postcensal Population Estimates: States, Counties, and Places. **Population Division Working Paper**, v. 3, p. 10, 1993.

LORENA, R. B. Avaliação da potencialidade das imagens de luzes noturnas DMSP/OLS para a construção de indicadores socioeconômicos para o estrado do Espírito Santo. **Anais XVI Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil**, p. 1355–1362, 2013.

MA, T.; ZHOU, C.; PEI, T.; HAYNIE, S.; FAN, J. Quantitative estimation of urbanization dynamics using time series of DMSP/OLS nighttime light data: A comparative case study from China's cities. **Remote Sensing of Environment**, v. 124, p. 99–107, 2012.

MADEIRA, J. L.; SIMÕES, C. C. da S. Estimativas preliminares da população urbana e rural segundo as Unidades da Federação, de 1960/1980 por uma nova metodologia. **Revista Brasileira de Estatística, Rio de Janeiro: IBGE**, v. 33, n. 129, p. 3–11, 1972.

PITTA, M. T.; DINI, N. P.; JANNUZZI, P. D. M. Modelos para produção de estimativas demográficas para bairros e domínios intraurbanos: a experiência para o município de São Paulo. **XVII Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP, Caxambú-**

MG, p. 13, 2010.

SHERBININ, A. de; BALK, D.; YAGER, K.; JAITEH, M.; POZZI, F.; GIRI, C.; WANNEBO, A. A CIESIN Thematic Guide to Social Science Applications of Remote Sensing. **Social Science**, n. January, p. 1–68, 2002.

SMALL, C.; ELVIDGE, C. D. Night on earth: Mapping decadal changes of anthropogenic night light in asia. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 22, n. 1, p. 40–52, 2013.

STATHAKIS, D.; TSELIOS, V.; FARASLIS, I. Urbanization in European regions based on night lights. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 2, p. 26–34, 2015.

SUTTON, P.; ROBERTS, D.; ELVIDGE, C.; BAUGH, K. Census from Heaven: an estimate of the global human population using night-time satellite imagery. **Int. J. Remote Sensing**, v. 22, n. 16, p. 3061–3076, 2001.

SWANSON, DAVID A; TAYMAN, J. On the ratio-correlation regression method. **Subnational Population Estimates**, p. 1–33, 2011.

UMBELINO, G. J. de M. **Simulações de distribuição espacial domiciliar e projeções demográficas intraurbanas com apoio de geotecnologias**. 2012. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG / Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional - CDEPLAR, Belo Horizonte, 2012.

UMBELINO, G. J. de M. Autômatos celulares aplicados à simulação da expansão urbana na RMBH entre 2010 e 2030. **XIX Encontro Nacional de Estudos Populacionais - São Pedro/SP**, p. 19, 2014.

UMBELINO, G.; MÁXIMO, G. Geotecnologias aplicadas a estimativas e projeções demográficas de Mesorregiões. **XIX Encontro Nacional de Estudos Populacionais - São Pedro/SP**, p. 13, 2014.

UNITED NATIONS. Report on the Results of a Survey on Census Methods used by Countries in the 2010 Census Round. **Working Paper: UNSD/DSSB/1**, p. 69, fev. 2011.

WALDVOGEL, B. Técnicas de projeção populacional para o planejamento regional. **Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar. ESTUDOS CEDEPLAR 1**, 1997.

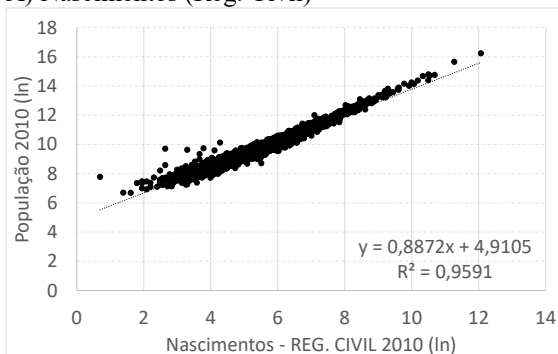
XIAOYONG, Z.; ZHIJIE, Z.; YUGUANG, C.; ZHENGCHAO, C. An estimation model of population in China using time series DMSP night-time satellite imagery from 2002-2010. v. 9808, n. 1, p. 98080D, 2015.

ZHOU, N.; HUBACEK, K.; ROBERTS, M. Analysis of spatial patterns of urban growth across South Asia using DMSP-OLS nighttime lights data. **Applied Geography**, v. 63, p. 292–303, 2015.

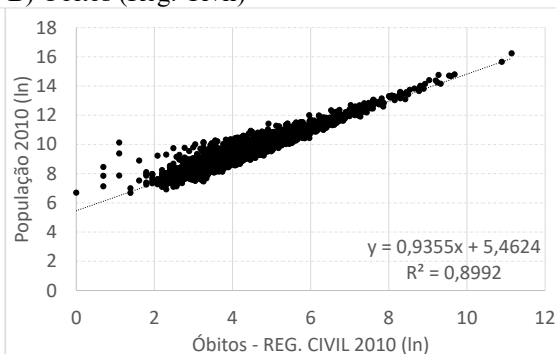
Anexo

Gráfico AN1: Dispersão (e coeficientes do ajuste linear) entre o logaritmo natural (ln) da população municipal e o ln das variáveis sintomáticas. Brasil, 2010.

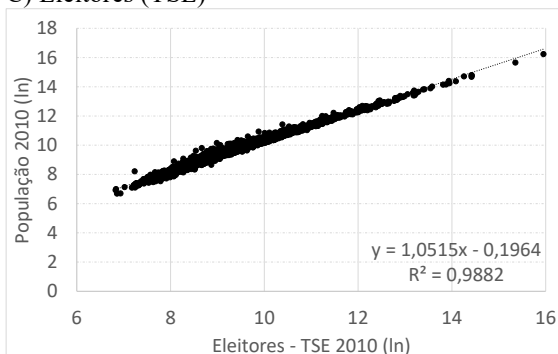
A) Nascimentos (Reg. Civil)



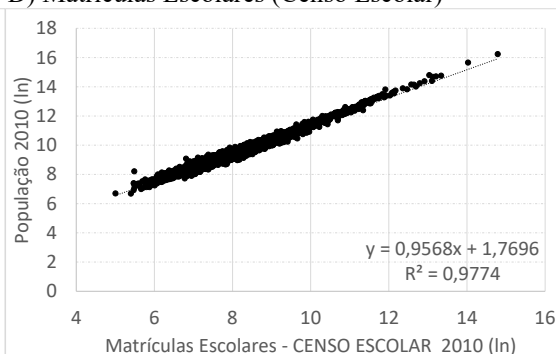
B) Óbitos (Reg. Civil)



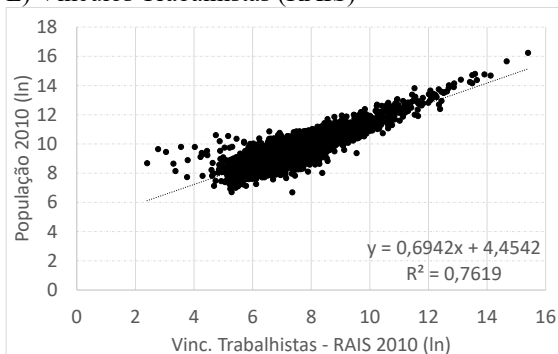
C) Eleitores (TSE)



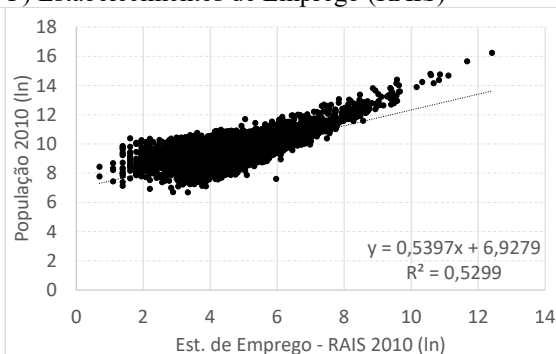
D) Matrículas Escolares (Censo Escolar)



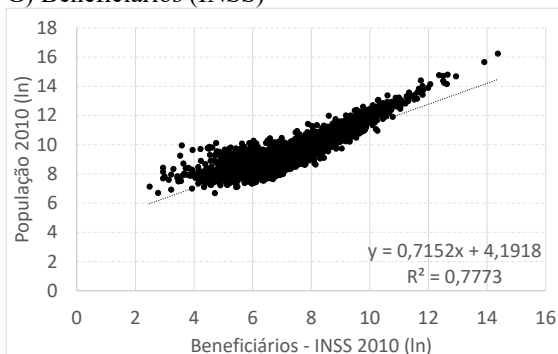
E) Vínculos Trabalhistas (RAIS)



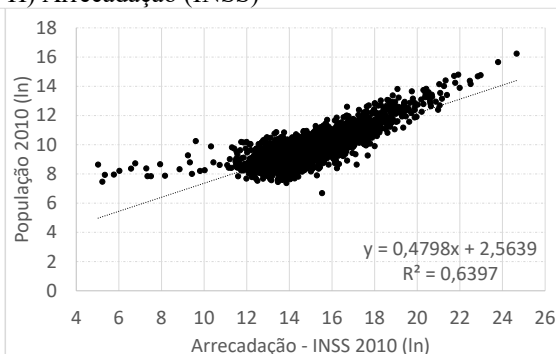
F) Estabelecimentos de Emprego (RAIS)



G) Beneficiários (INSS)

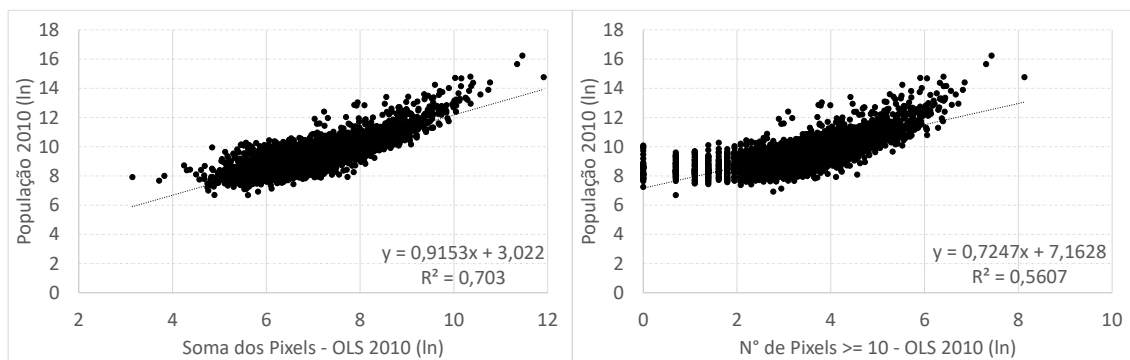


H) Arrecadação (INSS)



I) Soma dos Pixels (OLS)

J) Nº de Pixels >= 10 (OLS)



Fonte: IBGE, Censos Demográficos de 2010, e Registro Civil de 2010; TSE, Cadastro de Eleitores de 2010; INEP, Censo Escolar de 2010; INSS, Estatísticas Municipais de 2010; MTE, RAIS de 2010; NOAA, imagens DMSP/OLS de 2010.

Notas: 1) dados provenientes dos 3.580 municípios existentes em 1991 e que não foram afetados pela criação de novos municípios.