

Luzes noturnas do sensor VIIRS para a identificação de atividades humanas na Amazônia Brasileira: observações de uma região na Transamazônica (PA)

Silvana Amaral¹

Vinícius Etchebeur Medeiros Dória^{1,2}

Ana Paula Dal'Alasta¹

Antônio Miguel Vieira Monteiro¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
viniciusdoria@dsr.inpe.br / {silvana, anapdalasta, miguel}@dpi.inpe.br

²Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
Av. Brasil, 15.671, Parada de Lucas, CEP 21241-051 - Rio de Janeiro- RJ, Brasil

Abstract. Remote sensing data based on night time lights have been widely used for urbanization studies. Stable lights mosaic images from the Operational Linescan System (OLS) sensor - Defense Meteorological Satellites Program (DMSP) have been related to impervious surface mapping, human population estimates, regional economic modeling, and electric power consumption studies. With better spectral and spatial resolution, Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) sensor is an alternative to night time light images applications. As the Amazon region is over a dynamic process of occupation and urbanization, this paper describes a first validation of night time lights polygons from a VIIRS image, comparing to field work description and census population data. Along Transamazônica and PA-415 roads, 20 VIIRS polygons were verified. VIIRS data managed to detect sites with more than 450 inhabitants, and presented a general linear correlation with urban population. However, there were VIIRS polygons without any resident population. Instead, they were associated to brick factory, sawmill, electricity substation, dam under construction, and also to some highly illuminated yards like soccer court and companies patio. These activities also promoted the blooming of the VIIRS polygons on the main cities. Even though VIIRS night time lights should not be used as direct predictor of urban population, it showed to be very useful to detect human presence and activities over the region. The fieldwork was essential to indicate the main factors that resulted in stable lights, providing basic information for a further statistic validation based on high resolution images.

Keywords: nocturne remote sensing, nighttime lights, VIIRS, human settlements, population estimates, Brazilian Amazon, Pará, Transamazônica.

1. Introdução

O sensoriamento remoto de sensores ópticos e imageamento noturno utiliza-se das regiões do infravermelho e do microondas do espectro eletromagnético para detectar os alvos da superfície terrestre. Surgidos na década de 1960, os sensores de imageamento noturno possibilitaram observar aspectos imperceptíveis durante o dia como as auroras, focos de incêndios florestais, luzes de cidades e chamas provenientes da queima de gases (FOSTER, 1983; ELVIDGE et al., 1997a).

Croft (1978) apresentou inicialmente na década de 1970 a possibilidade de uso do sensoriamento remoto noturno para estudos relacionados à urbanização. Desde então, outros estudos se seguiram para diferentes propósitos, como mapeamento de áreas urbanas (ELVIDGE et al., 1997a; IMHOFF et al., 1997), medidas de extensão de áreas peri-urbanas e rurais para todo os Estados Unidos (WEIER 2000), modelagem de economia regional (DOLL et al., 2006; MA et al., 2012), estimativas de população humana (ELVIDGE et al., 1997b; SUTTON et al., 2001), ou mesmo estimativas do consumo de energia elétrica (ELVIDGE et al., 2001; LETU et al., 2010).

O *Earth Observing Group* (EOG) da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) geram anualmente os mosaicos globais de luzes estáveis livres de nuvens em grades

de 1 km, provenientes do sensor *Operational Linescan System* (OLS) do *Defense Meteorological Satellites Program* (DMSP) de 2,7 km de resolução espacial. Estes mosaicos têm sido explorados como alternativas para estudos relacionados à urbanização (ELVIDGE et al., 1997a; 1997b; 1999; 2001; SUTTON et al., 1997; SMALL et al., 2005; DOLL, 2008; DOLL e PACHAURI, 2010; ZHANG e SETO, 2011). Na Amazônia Brasileira, os dados de luzes do DMSP/OLS também foram discutidos como alternativas para identificar a presença de população, definição de áreas urbanizadas e consumo de energia (AMARAL, 2003; AMARAL et al., 2005; 2006).

Em 2011, o sensor *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite* (VIIRS) surgiu como uma possibilidade de melhora do imageamento noturno pela perspectiva de resoluções espacial e radiométrica refinadas (ELVIDGE et al., 2013). Dentre as 22 bandas espectrais entre 0,40 e 12,43 μm , a banda *Day/Night Band* (DNB) realiza medições durante a órbita diurna e noturna do satélite, no intervalo espectral de 0,5 a 0,9 μm , com resolução espacial de 500 metros (LEE et al., 2006).

Considerando-se o dinamismo em que o processo de ocupação da região Amazônica tem evoluído, com mais de 70% da população total residindo em áreas caracterizadas como urbanas (IBGE, 2010), imagens de luzes noturnas do sensor VIIRS apresentam-se como alternativa para estudo e monitoramento da região. Sabendo-se da validade do uso de luzes noturnas como indicador do processo de urbanização em escalas globais ou mesmo em regiões metropolitanas (DORIA et al., 2014), surge a necessidade de avaliar a aplicação dos mosaicos VIIRS como inferência de população, ou de áreas urbanizadas para a escala local/regional, especialmente para a Amazônia, onde o urbano é tão particular (BECKER, 2013).

Este artigo tem por objetivo descrever o resultado da validação feita em campo quanto ao uso de mosaico de luzes noturnas estáveis do sistema VIIRS como indicador de atividades de ocupação humana na região Amazônica, quanto ao potencial e limitações desta fonte de dados.

2. Área de Estudo

A área de estudo compreende a região do sudoeste paraense percorrida durante a expedição de campo do Projeto UrbisAmazônia¹, realizada de 06 a 18 de outubro de 2014: de Uruará a Anapu, ao longo da Rodovia Transamazônica (BR-230) e vicinais; e de Altamira a Vitória do Xingu (PA-415). A Figura 1 apresenta o trajeto realizado, com as localidades visitadas e os polígonos do trajeto.

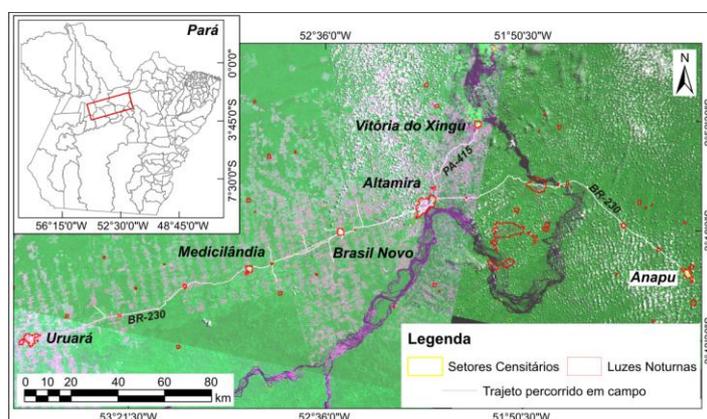


Figura 1. Região do Pará visitada em campo e polígonos de luzes noturnas VIIRS (2012).

¹ Projeto UrbisAmazônia. Qual a Natureza do Urbano na Amazônia Contemporânea? *O Urbano Extensivo e os Circuitos da Economia: O Papel das Redes na Construção dos Lugares e na Configuração Multi-escala do Urbano Amazônico*. [http://www.dpi.inpe.br/urbisAmazonia]

3. Materiais e Métodos

A partir da imagem VIIRS selecionada, procedeu-se a identificação de polígonos de luzes estáveis que a princípio seriam considerados indicadores de núcleos de população. Estes polígonos foram verificados em campo buscando-se identificar as diferentes formas socioespaciais que representam e as características de cada uso da terra associadas a estes polígonos, e foram também comparados a dados secundários de população (Figura 2). Estas etapas metodológicas são detalhadas a seguir.

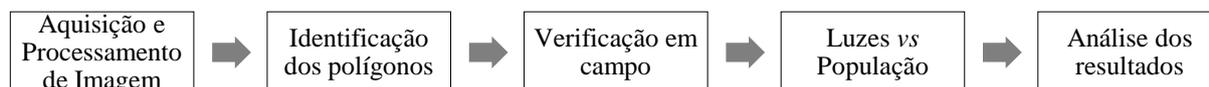


Figura 2. Procedimento metodológico adotado.

3.1. Aquisição e Processamento de Imagem VIIRS

O EOG da NOAA-NGDC disponibilizou o primeiro mosaico global de imagens de luzes noturnas sem cobertura de nuvens do VIIRS, com resolução espacial de 15 segundos de arco, o equivalente a aproximadamente 500 metros. A composição foi gerada usando dados coletados pela banda DNB no ano de 2012, mais especificamente de 18 a 26 de abril e de 11 a 23 de outubro de 2012 (BAUGH et al., 2013).

A imagem do VIIRS utilizada neste trabalho foi adquirida diretamente do site do EOG/NOAA², sobre a qual foi realizado um processamento para remover os ruídos inerentes ao sistema sensor (*background noise*). Estes ruídos se apresentam em pequenos conjuntos de pixels com valores anômalos (muito altos) espalhados por toda a imagem.

O procedimento de remoção dos ruídos consiste na definição de um limiar do número digital do pixel considerado como informação válida, limiar este definido a partir da observação geral das áreas urbanas mais consolidadas presentes na região de estudo, e remoção dos pixels acima desse valor, desconsiderando-os nos processos seguintes. No caso deste estudo, o valor do número digital do pixel considerado como limiar foi 200.

3.2. Identificação dos polígonos de luzes estáveis

Para identificar os polígonos de luzes estáveis, foi realizada uma classificação não-supervisionada da imagem de luzes do VIIRS utilizando o algoritmo de agrupamento ISODATA (*Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique*), no software ENVI.

O método de classificação não supervisionada ISODATA é uma coleção de técnicas iterativas que utiliza a distância euclidiana como uma medida de similaridade para agrupar os elementos em diferentes classes, considerando o padrão espectral dos pixels (BALL e HALL, 1965; DHODHI et al., 1999). O algoritmo em si é baseado no algoritmo K-médias (MacQUENN, 1967) com parâmetros adicionais que gerenciam a separação ou junção das classes de agrupamento. Após a classificação da imagem, as classes foram agrupadas manualmente com o objetivo de manter somente duas classes, a classe de luzes e a classe de não-luzes (*background*). Posteriormente, o raster proveniente da classificação foi convertido para o formato vetorial para a execução das etapas seguintes deste trabalho.

3.3. Verificação de campo e comparação com os dados populacionais

As dificuldades de deslocamento e disponibilidade de tempo para realização do trabalho de campo impossibilitaram a definição de um desenho amostral ideal para a verificação dos polígonos de luzes. Adotou-se como critério, analisar todos os polígonos que estivessem acessíveis pelo trajeto realizado. Sendo esta uma missão conjunta de pesquisadores do Projeto

² <https://www.ngdc.noaa.gov/eog/viirs.html>

UrbisAmazônia (MONTEIRO e CARDOSO, 2012), haviam outros objetivos e atividades que deveriam ser contemplados.

Um banco de dados geográfico foi preparado para permitir a navegação em tempo real no campo, buscando a localização dos polígonos de luzes noturnas e a caracterização dos mesmos. Imagens dos sensores Landsat 8/OLI_TIRS (cenas 225_62 de 28/07/14, 226_62 e 226_63 de 20/08/14), acessadas da base EarthExplorer³ (USGS) foram mosaicadas na composição colorida (R5G4B3) de modo a compreender toda área de estudo. Outras referências como vetores identificando as estradas principais (Transamazônica e PA-414) e vicinais ("travessões"), limites da malha municipal e setores censitários (IBGE, 2010) compuseram o banco de dados geográfico (TerraView).

Com o uso de GPS e câmera fotográfica, os polígonos foram identificados e caracterizados, buscando-se compreender quais as fontes luminosas que poderiam ser responsáveis pela sensibilização do sensor. Nas áreas urbanas das sedes de municípios buscou-se ainda identificar os limites nos quais havia iluminação pública, ao longo dos transectos de caracterização dos padrões intraurbanos, conforme realizado em trabalhos anteriores (DAL'ASTA et al., 2012).

Com a localização geográfica dos pontos GPS e das fotos de campo, procedeu-se a análise de cada polígono de luzes estáveis, através de inferência geográfica com dados disponíveis no banco de dados. Adicionalmente, imagens do sensor RapidEye, adquiridas a partir do Geocatálogo, da base do Ministério do Meio Ambiente (MMA), bem como as imagens de alta resolução disponíveis no GoogleEarth, foram utilizadas para complementar a análise e reconhecimento de algumas feições de uso e cobertura da terra dos polígonos de luzes.

Os limites dos setores censitários urbanos e rurais do Censo Demográfico IBGE (2010) foram sobrepostos aos polígonos de luzes. Através de consulta geográfica, computou-se como referência da quantidade de população, a soma dos valores da variável (V002) "Moradores em domicílios particulares permanentes ou residente em domicílios particulares permanentes" (IBGE, 2011), para os setores urbanos e rurais com exceção dos setores de código 8 (Zona rural, exclusive aglomerado rural) que interceptaram cada polígono de luz.

Para cada polígono visitado obteve-se assim, a dimensão (área) do polígono, calculada a partir da imagem; a descrição de uso/cobertura da terra e da presença ou ausência de iluminação pública, e a possível causa preponderante para a identificação das luzes noturnas estáveis, observadas em campo; e as informações de população referentes ao Censo 2010 da base de dados geográficos.

4. Resultados

Nesta expedição, foi possível verificar apenas 20 polígonos de luzes estáveis ao longo do trajeto percorrido. Este número de amostras restringe nossa análise para uma abordagem qualitativa e descritiva dos processos e dos limites e potencialidades do uso de luzes noturnas para identificar atividades de ocupação humana na região.

A Tabela 1 apresenta os polígonos de luzes verificados, com suas respectivas áreas, localização, descrição de uso/cobertura e cálculo de população (residente), conforme descrito na metodologia.

³ <http://earthexplorer.usgs.gov/download>

Tabela 1 - Descrição dos polígonos de luzes noturnas VIIRS verificados em campo.

ID	Área (km ²)	Localização	Descrição Cobertura/uso	População (IBGE, 2010)
142	45,471	Altamira	Sede de município - mancha urbana	76.695
150	35,449	Barragem da UHE Belo Monte	Obras da barragem e vilas residenciais adjacentes	191
67	18,127	Uruará	Sede de município - mancha urbana	24.05
100	10,252	Anapu	Sede de município - mancha urbana; polígono de luzes ampliado pela presença de serrarias, carvoarias e olarias	10.32
162	7,261	Vitória do Xingu	Se de município; serrarias a leste e oeste expandem o polígono de luzes	5.328
123	6,830	Brasil Novo	Sede de município - mancha urbana	6.887
102	6,401	Medicilândia	Sede do município; serrarias a leste e oeste expandem o polígono de luzes	8.626
63	3,625	Próximo a Uruará	Cerealista, madeiras, áreas de ocupação popular e parque de exposição	-
127	2,910	Entrada para Surubim	Serraria desativada	-
93	1,707	União da Floresta	Iluminação pública; serraria e quadra de esportes com iluminação	876
112	1,495	Próximo a Sucupira	Serraria	163
95	1,068	Sul de Anapu	Olaria	-
146	1,067	norte de Altamira	Subestação de energia de Altamira e fazenda com luzes externas	-
98	0,853	Vila Pacal	Usina de cana-de-açúcar (desativada) e vila adjacente	628
75	0,853	km 140	Vila com alguma iluminação pública e serraria	1.113
105	0,640	Nova Fronteira	Vila com iluminação pública; áreas alagadas no entorno	684
147	0,427	Próximo à comunidade Belo Monte	Subestação de energia elétrica; setor censitário deslocado	657
141	0,214	Leonardo da Vinci	Vila com iluminação pública; holofotes no pátio da empresa - Sotreq	422
122	0,213	Agrovila Carlos Pena Filho	Luzes na rua e uma quadra com holofotes potentes	432
66	0,213	Próximo a Uruará	Poucas casas, iluminação pública, quadra de esportes com holofotes	-

A análise de dispersão (Figura 3a) entre os dados de população e a área dos polígonos de luzes indica a existência de um valor atípico *outlier*, referente à Barragem da Usina Hidrelétrica (UHE) de Belo Monte (polígono 150). Como exemplificado na Figura 4, a iluminação da barragem e dos alojamentos criados para hospedar os trabalhadores satura o polígono de luzes, o que é potencializado pela proximidade a extensos corpos d'água (rio Xingu). Eliminando-se este *outlier* e Altamira, para melhor visualizar a dispersão, obtém-se uma relação linear entre população e área dos polígonos de luzes noturnas (Figura 3b).

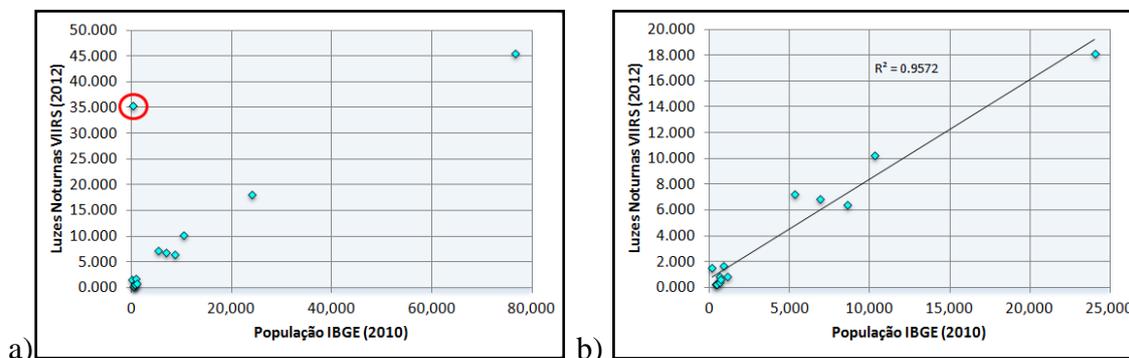


Figura 3. Dispersão: (a) moradores IBGE (2010) e área dos polígonos de luzes VIIRS (2012); (b) excluindo-se a barragem de Belo Monte e Altamira.



Figura 4. Barragem de Belo Monte: a) Polígono (150) de luzes e setor censitário (hachurado); b) foto panorâmica da barragem da UHE Belo Monte.

Quatro, dos 20 polígonos verificados, não apresentaram correspondência com os dados de núcleos populacionais, representados pelos setores censitários (não-estritamente rurais). Ainda que haja diferença de dois anos entre o Censo IBGE (2010) e a imagem VIIRS (2012), o que se observou no campo, é que mais que indicar a presença de população, os polígonos de luzes mostraram-se relacionados às atividades econômicas existentes.

O limite populacional inferior identificável pelos polígonos de luzes foi de aproximadamente 450 moradores, uma vez que outras sete localidades visitadas, referentes aos setores censitários não-estritamente rurais, com população entre 121 e 375, não foram detectadas por polígonos de luzes. Contudo, na vila Leonardo da Vinci, onde o polígono de luzes teve menor valor de população associado (422), há uma empresa (Sotreq) cujo pátio é intensamente iluminado (Figura 5). Observa-se que o arruamento da vila, por onde há iluminação pública, se estende para o sul, como apresentado no limite do setor censitário, enquanto que o polígono de luzes se restringe à área próxima à rodovia, local da empresa.



Figura 5. Vila Leonardo da Vinci: a) Polígono (141) de luzes e setor censitário (hachurado); b) iluminação pública; e c) pátio da Sotreq.

O mesmo padrão de arruamento deslocado em relação à localização do polígono de luz foi observado para a Agrovila Carlos Pena Filho (423 moradores), onde há uma quadra iluminada. Tanto na quadra, como no pátio da empresa Sotreq, a iluminação é feita com holofotes de lâmpadas (brancas-azuladas) de iodetos metálicos ou de vapor de sódio de alta pressão, de alta potência, que são indicadas para iluminação externa, em contraste às lâmpadas (amareladas) de vapor de mercúrio da iluminação pública. Iluminação semelhante em uma quadra em localidade próxima a Uruará foi observada em campo no menor polígono (66) de luzes verificado.

Polígonos de luzes aos quais não se observou população associada indicaram diferentes atividades econômicas, principalmente: serraria (polígonos 127, 112), olaria (95) e subestação de energia (146). As serrarias têm por prática a queima de restos de madeira em grandes fogueiras mantidas diariamente; nas olarias e carvoarias, supõe-se que a alta temperatura constante dos fornos sejam emissões suficientes para sensibilizar os sensores VIIRS; e as subestações são plantas intensamente iluminadas, com o mesmo tipo de lâmpadas dos holofotes descritas anteriormente.

Verificou-se que polígonos com dados de população associados também foram expandidos pela iluminação de holofotes, como nos casos dos polígonos 93, 98 e 122; pela presença de subestação de energia (polígono 147) e pela presença de serrarias, olarias e carvoarias que ampliam o polígono de luzes para além dos arruamentos da mancha urbana, como observado em Brasil Novo, Vitória do Xingu e Anapu, correspondentes aos polígonos 123, 162 e 100 respectivamente, apresentados na Figura 6.

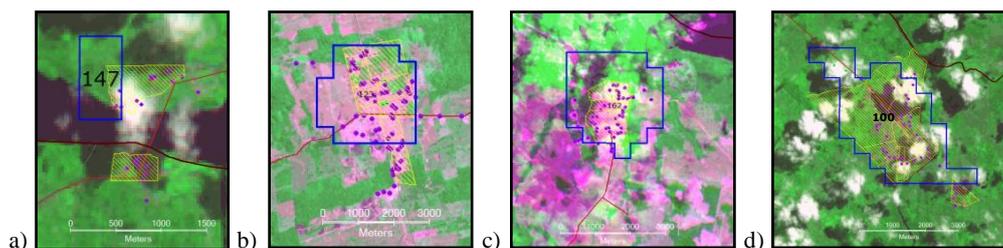


Figura 6. Exemplos de ampliação de polígono de luzes por efeito de atividades econômicas: a) presença de subestação de energia - polígono (141); b) Brasil Novo; c) Vitória do Xingu; d) Anapu.

5. Considerações Finais

A análise integrada das observações de campo e os dados de censo demográfico referentes aos polígonos de luzes noturnas indicaram que dados VIIRS têm potencial para detectar núcleos com população superior a 450 moradores, e que há uma relação linear entre luzes noturnas e população "não-rural". Contudo, esta relação é válida desde que se verifique a consistência do tipo de uso e cobertura da terra para os polígonos de luzes, em concordância ao anteriormente descrito para luzes resultantes de imagens DMSP/OLS (AMARAL et al, 2005;2006). Na região de Altamira, por exemplo, há outros e significativos polígonos de luzes noturnas associados à construção da barragem da UHE Belo Monte (polígonos na volta grande do Xingu, apresentados na Figura 1), que não têm relação com a concentração de população, mas com o contexto de desenvolvimento atual.

Como a economia nesta região do Pará é bastante apoiada nas atividades relacionadas ao setor madeireiro, serrarias são frequentes nas regiões peri-urbanas das cidades do Pará, além de olarias e carvoarias que também exercem efeito sobre a detecção das luzes. A presença de fontes luminosas externas, principalmente as de lâmpadas de iodetos metálicos ou de vapor de sódio são melhores detectadas que a iluminação pública convencional, e podem comprometer a delimitação dos núcleos populacionais. Estes fatores devem ser considerados para qualquer relação direta entre área urbanizada, identificável pelo arruamento/superfícies impermeáveis das cidades, e luzes noturnas.

Desta forma, conclui-se que dados de luzes noturnas VIIRS são interessantes para detecção da presença humana na região Amazônica, não diretamente para estimativas populacionais, mas como indicadoras de diferentes atividades que condicionam o processo de urbanização e ocupação regional.

As informações de campo foram essenciais para reconhecer os fatores que condicionaram a definição dos polígonos de luzes, e serão úteis para uma validação extensa e criteriosa que deverá ser feita baseada em imagens de alta resolução espacial e procedimentos estatísticos para validação dos dados de luzes noturnas VIIRS.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Projeto UrbisAmazônia pelo financiamento do trabalho de campo, aos colegas que também participaram da expedição (Isabel Escada, Juliana Siqueira, Fernanda Rocha, Anielli de Souza, Bruna Neves e Johnny), à CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela bolsa de mestrado para um dos autores, e ao INPE pelo suporte ao projeto.

Referências

AMARAL, S. *Geoinformação para estudos demográficos: Representação Espacial de Dados de População na Amazônia Brasileira*. São Paulo. 166 p. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da USP. Universidade de São Paulo. (2003). <<http://www.dpi.inpe.br/teses/silvana/>>.

- AMARAL, S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V.; QUINTANILHA, J.A. and ELVIDGE, C.D. Estimating population and energy consumption in Brazilian Amazônia using DMSP night-time satellite data. **Computers, Environment and Urban Systems**, v.29, n.2, p.179-195, 2005.
- AMARAL, S.; MONTEIRO, A. M. V.; CAMARA, G. and QUINTANILHA, J. A. DMSP/OLS night-time light imagery for urban population estimates in the Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v.27, n.5-6, p.855-870, 2006. <<Go to ISI>://WOS:000237112700003 >.
- BALL, G. H.; HALL, D. J. **ISODATA, a novel method of data analysis and pattern classification**. Menlo Park, Stanford Research Institute, 1965. 79p.
- BECKER, B. K. **A Urbe Amazônica: entre a floresta e a cidade**. Rio de Janeiro, Garamond, 2013. p.
- CROFT, T.A. Nighttime images of the earth from space. **Scientific America**, v.239, p.86-98, 1978.
- DAL'ASTA, A. P.; BRIGATTI, N.; AMARAL, S.; ESCADA, M. I. S.; MONTEIRO, A. M. V. Identifying Spatial Units of Human Occupation in the Brazilian Amazon Using Landsat and CBERS Multi-Resolution Imagery. **Remote Sensing of Environment**, v.4, p.68-87, 2012.
- DHODHI, M. K.; SAGHRI, J. A.; AHMAD, I.; UL-MUSTAFA, R. D-ISODATA: a distributed algorithm for unsupervised classification of remotely sensed data on network of workstations. **Journal of Parallel and Distributed Computing**, v.59, n.2, p.280-301, 1999.
- DOLL, C. N. H.; MULLER, J.; MORLEY, J.-P. G. Mapping regional economic activity from night-time light satellite imagery. **Ecological Economics**, v.57, n.1, p.75-92, 2006.
- DOLL, C. N. H.; PACHAURI, S. Estimating rural populations without access to electricity in developing countries through night-time light satellite imagery. **Energy Policy**, v.38, n.10, p.5661-5670, 2010.
- DÓRIA, V. E. M.; AMARAL, S. and MONTEIRO, A. M. V.. Avaliação do potencial das imagens de luzes noturnas para a 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). In: XIX Encontro Nacional de Estudos Populacionais, São Pedro, SP, 2014. **Proceedings. ABEP**, v., p.20.
- ELVIDGE, C. D.; BAUGH, K.; ZHINZHIN, M.; HSU, F. C. Why VIIRS data are superior to DMSP for mapping nighttime lights. **Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network**, v.35, p.62-69, 2013.
- ELVIDGE, C.D.; BAUGH, K.E.; HOBSON, V.H.; KIHN, E.A.; KROEHL, H.W.; DAVIS, E.R. and COCERO, D. Satellite inventory of human settlements using nocturnal radiation emissions: A contribution for the global toolchest. **Global Change Biology**, v.3, p.387-395, 1997b.
- ELVIDGE, C.D.; BAUGH, K.E.; KIHN, E.A.; KROEHL, H.W. and DAVIS, E.R. Mapping city lights with nighttime data from the DMSP Operational Linescan System. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.63, n.6, p.727-734, 1997a.
- ELVIDGE, C.D.; IMHOFF, M.L.; BAUGH, K.E.; HOBSON, V.R.; NELSON, I.; SAFRAN, J.; DIETZ, J.B. and TUTTLE, B.T. Night-time Lights of the World: 1994-95. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v.56, p.81-99, 2001b.
- FOSTER, J. L. Observations of the Earth using nighttime visible imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v.4, p.785-791, 1983.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**. [on line]. 2010. In: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão <http://www.ibge.gov.br/servidor_arquivos_est/>.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base de informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário - Documentação do Arquivo**. [on line]. 2011. In: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão <ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Resultados_do_Universo/Agregados_por_Setores_Censitarios/>.
- IMHOFF, M. L.; LAWRENCE, W. T.; STUTZER, D. C. and ELVIDGE, C. D. A technique for using composite DMSP/OLS "city lights" satellite data to map urban area. **Remote Sensing of Environment**, v.61, n.3, p.361-370, 1997.
- LEE, T. E.; MILLER, S. D.; TURK, F. J.; SCHUELER, C.; JULIAN, R.; DEYO, S.; DILLS, P.; WANG, S. The NPOESS VIIRS day/night visible sensor. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.87, n.2, p.191-199, 2006.
- LETU, H.; HARA, M.; YAGI, H.; NAOKI, K.; TANA, G.; NISHIO, F.; SHUHEI, O. Estimating energy consumption from night-time DMSP/OLS imagery after correcting for saturation effects. **International Journal of Remote Sensing**, v.31, n.16, p.4443-4458, 2010.
- 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.
- MACQUEEN, J. B. Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations, Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability. Berkeley, University of California Press, 1:281-29, 1967
- MONTEIRO, A. M. V.; CARDOSO, A. C. D. Project URBIS Amazônia: what is the nature of the urban phenomenon in the contemporary Amazônia? Cities, places, and networks in the multi-scale configuration of the urban setting in contemporary Amazônia. **GLP NewsLetter**, n.3, 2012.
- SMALL, C.; POZZI, F.; ELVIDGE, C. D. Spatial analysis of global urban extent from DMSP-OLS night lights. **Remote Sensing of Environment**, v.96, n.3-4, p.277-291, 2005.
- SUTTON, P. Modeling population density with night-time satellite imagery and GIS. **Computer Environment and Urban Systems**, v.21, n.3/4, p.227-244, 1997.
- SUTTON, P.; ROBERTS, D.; ELVIDGE, C. and BAUGH, K. Census from Heaven: An estimate of the global human population using night-time satellite imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v.22, n.16, p.3061-3076, 2001.
- WEIER, J. **Bright lights, big city**. 2000. Disponível em: <<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Lights/lights.php>>. Acesso em: 25 fev. 2014.
- ZHANG, Q.; SETO, K. C. Mapping urbanization dynamics at regional and global scales using multi-temporal DMSP/OLS nighttime light data. **Remote Sensing of Environment**, v.115, n.9, p.2320-2329, 2011.