Avaliação da potencialidade das imagens de luzes noturnas DMSP/OLS para a construção de indicadores socioeconômicos para o estrado do Espírito Santo

Rodrigo Borrego Lorena [1]

[1] Instituto Jones dos Santos Neves - IJSN
Av. Marechal Mascarenhas de Moraes, 2.524 - Vitória - ES - CEP: 29052-015
rodrigo.lorena@ijsn.es.gov.br

Abstract. Remote sensing by airborne or orbital instruments, has been used effectively since the 70's as a tool for research, planning and management in diverse areas of knowledge. Currently there are numerous different types of sensor systems being used with very specific purposes. Among these options of remote sensing products, the images produced by sensors that detect artificial night lights in particular are considered one of the most original sources of remote sensing data, because they offer a unique view of human activities on the earth's surface. Within this context, the objective of this study was to evaluate the potential of images of nighttime lights both for the construction of economic, social and territorial, and for monitoring the development of the state of Espírito Santo. The results suggest a strong linear relationship between night lights DMSP / OLS outbreaks and the variables "urbanized area", " energy consumption ", "population" and "gross domestic product". Despite the positive results, this study should be considered only as introductory. The results open doors for an extensive research agenda, where each variable should be better investigated and the temporal component should be integrated. The analysis of the temporal component will really determine the possibility of construction of socio economic data from night lights

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, Imagens de luzes noturnas DMSP/OLS, Indicadores Sócio econômicos

1. Introdução

O sensoriamento remoto através de instrumentos orbitais ou aerotransportados, vem sendo aplicado efetivamente desde a década de 70 como ferramenta de pesquisa, planejamento e gestão em diversas áreas do conhecimento. Entre outras vantagens deste tipo de tecnologia estão, além da visão sinóptica, a obtenção de dados confiáveis a distância sobre grandes áreas do terreno e a obtenção de informações especificas sobre diferentes alvos na superfície terrestre de acordo com sua resposta espectral.

Atualmente existem inúmeros tipos de sistemas sensores diferentes sendo utilizados com finalidades bastante específicas. Dentre estas opções de produtos de sensoriamento remoto, as imagens produzidas pelos sensores que detectam luzes noturnas artificiais em especial, são consideradas uma das mais originais fontes de dados de sensoriamento remoto, pois oferecerem uma visão única das atividades antrópicas sobre a superfície da Terra (Doll, 2006).

Desde a sua liberação para o grande público a partir da década de 70, as imagens de luzes noturnas vêem sendo utilizadas para os mais diversos fins incluindo: estudos urbanos (Small et all., 2005; Doll e Muller, 1999; Imnhoff et.al., 1997; Sutton, 2003), atividades econômicas (Elvidge et al. 1997; Henderson et al., 2009; Doll e Muller, 2000; Ebener et. al., 2005; Sutton e Costanza, 2002, Doll et. al. 2006), estudos populacionais (Sutton , 1997; Sutton et.al., 1997; Dobson et al., 2000, Sutton et. al.,2001; Amaral et. al.,2003), emissões de gases do efeito estufa (Saxon et al., 1997; Toenges-Schuller et al., 2006); poluição luminosa (Cinzano et al., 2001; Rich e Longcore, 2006; Salmon et al. 2000; Salmon, 2006; Montevecchi, 2006), gerenciamento de desastres (Kiran Chand et al. 2006; Kohiyama et al., 2004), entre outras aplicações.

Dentro deste contexto, estes dados provenientes de imagens orbitais de luzes noturnas, podem contribuir de forma significativa para a construção de novos indicadores socioeconômicos e por consequência, para implementação de políticas públicas. Assim, o objetivo do presente trabalho é o de avaliar a potencialidade das imagens de luzes noturnas

tanto para a construção de indicadores econômicos, sociais e territoriais, quanto para o monitoramento do desenvolvimento do estado do Espírito Santo.

2. Metodologia de trabalho

2.1 Área de Estudo

A área utilizada para o estudo compreende o estado do Espírito Santo, localizado na região Sudeste do país, fazendo fronteira com os estados do Rio de Janeiro ao sul, Minas Gerais a oeste e Bahia ao norte, entre as coordenadas17°53' a 21°19' Sul de latitude, e de 39°39' e 41°52' Oeste de longitude. O estado possui uma área de 46.077,5 km2 abrigando uma população de cerca de 3,5 milhões de habitantes, distribuídos em 78 municípios (Figura 1).

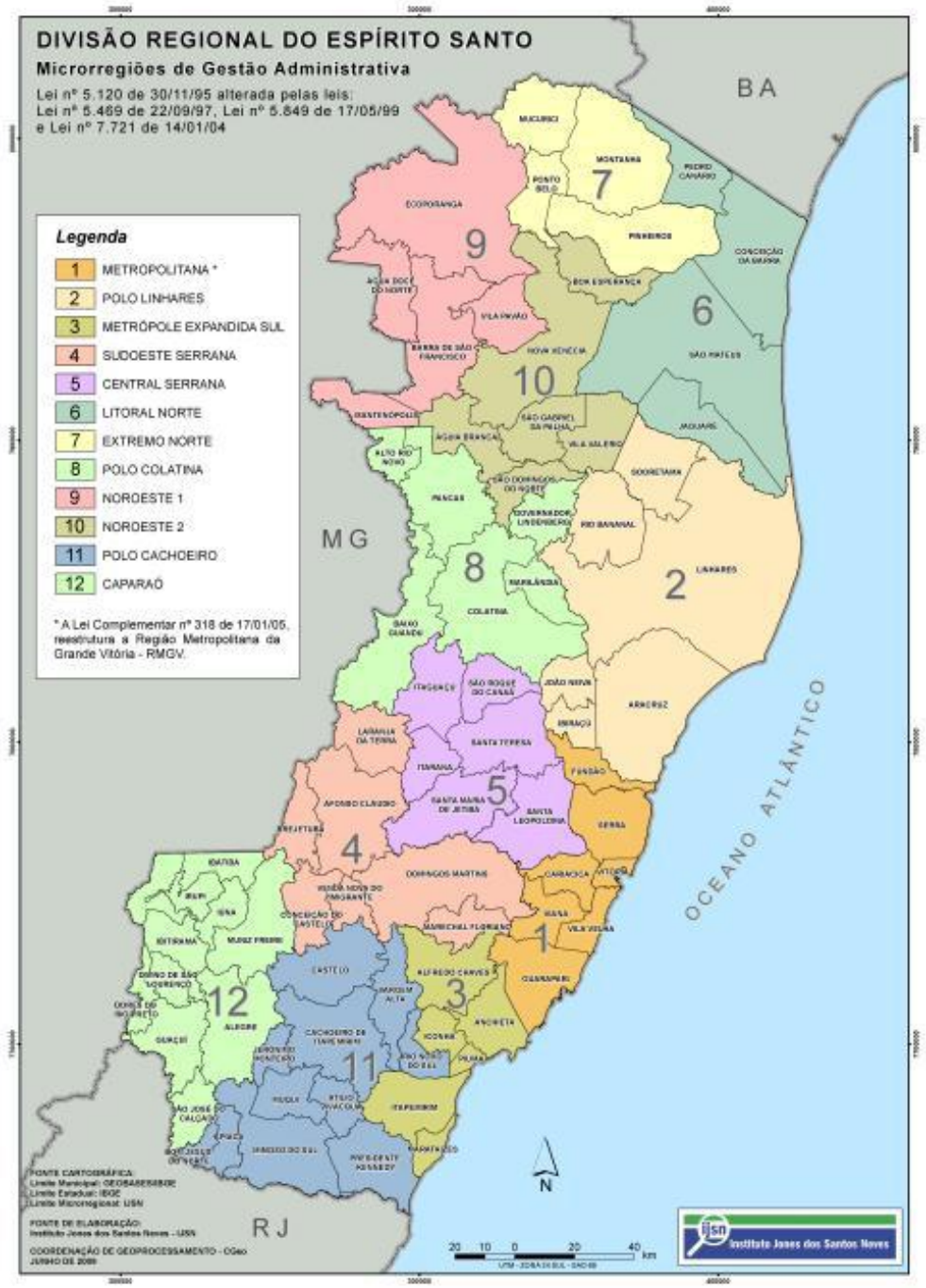


Figura 1. Mapa de Localização e Microrregiões do Espírito Santo.

2.2 Materiais e Métodos

Para realização desde trabalho foram utilizadas imagens orbitais DMS/OLS, ano 2008 disponibilizadas pela Agência Nacional de Atmosfera e Oceanos dos Estados Unidos, a NOAA, através do endereço http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp/downloadV4composites.html. Além dos dados orbitais, foram utilizados ainda dados de população (IBGE contagem 2008), Produto Interno Bruto (PIB municipal produzido pelo IJSN, 2008), consumo de energia (Agência de Serviços Públicos de Energia do Espírito Santo – ASPE) e tamanho da área urbana dos municípios do Espírito Santo, extraída de fotografias aéreas ortorretificadas. Para o processamento digital das imagens de satélite foi utilizado software de processamento de Imagens SPRING e para as análises estatística o Excel 2007.

Para verificar a potencialidade das imagens de luzes noturnas para a construção de indicadores econômicos, sociais e territoriais para o Estado do Espírito Santo, a metodologia empregada contou com duas etapas principais: 1) extração de informações das imagens de luzes noturnas; 2) análise exploratória das relações entre as áreas dos focos de luzes noturnas e as variáveis mancha urbana, consumo de energia, população e produto interno bruto municipal.

A principal informação a ser extraída das imagens de luzes noturnas DMSP refere-se ao tamanho da área iluminada e sua intensidade detectada pelo satélite. Porém, como as imagens disponibilizadas ao público, são na verdade um produto construído a partir de várias imagens com o intuito de eliminar a cobertura de nuvens e aquelas áreas com fonte de iluminação não estável, como focos de incêndio por exemplo, elas normalmente apresentam uma área iluminada muito maior que a verdadeira, conhecido como efeito "overglow". Para eliminar este efeito, é necessário atribuir um limiar de detecção às imagens. Neste caso, o grande desafio é determinar um limiar que corresponda ao mesmo tempo as bordas das áreas urbanizadas dos grandes centros sem comprometer a detecção das áreas iluminadas das pequenas cidades. Assim, foram testados empiricamente vários limiares, sendo definido o limiar de 70%. Toda via, este limiar não foi suficiente para detectar todas as áreas urbanizadas do Estado do Espírito Santo, porém foi a que melhor preservou os limites das áreas urbanas com o menor prejuízo para a detecção das pequenas cidades.

Após o processo de extração informações das imagens DMSP/OLS, um banco de dados foi estruturado contendo as informações de focos de luzes noturnas (n de pixels), mancha urbana (m^2), consumo de energia (kWh), população (n de pessoas) e produto interno bruto municipal (R$) para cada um dos municípios do Estado do Espírito Santo. A partir daí, procedeu-se então as análises para verificar a relação entre a variável "focos de luzes noturnas" e as demais variáveis. Para tanto foram utilizadas técnicas de análise exploratória de dados como a correlação e a regressão linear.

De acordo com Lira(2004), enquanto a análise de correlação que é um indicador que atende á necessidade de se estabelecer a existência ou não de uma relação entre essas variáveis sem que haja a necessidade de ajuste de uma função matemática, a regressão linear, como a correlação, tem por objetivo estimar a relação entre duas variáveis, porém, neste caso, com a finalidade de fazer predições ou previsões. Ou seja, além de indicar se as variáveis possuem uma correlação entre si, indicam ainda se uma variável dependente pode ser estimada a partir de uma variável independente (Merril & Fox, 1980).

3. Resultados

A primeira etapa do trabalho "extração de informações das imagens de luzes noturnas" gerou resultados em termos de localização e quantificação das áreas dos focos de luzes. Os resultados obtidos são referentes ao limiar empregado de 70%, determinado empiricamente a partir da análise visual das imagens. A Figura 2 apresenta o mosaico de luzes noturnas DMSP/OLS, para o ano de 2008, antes (a) e depois (b) de aplicado o limiar.

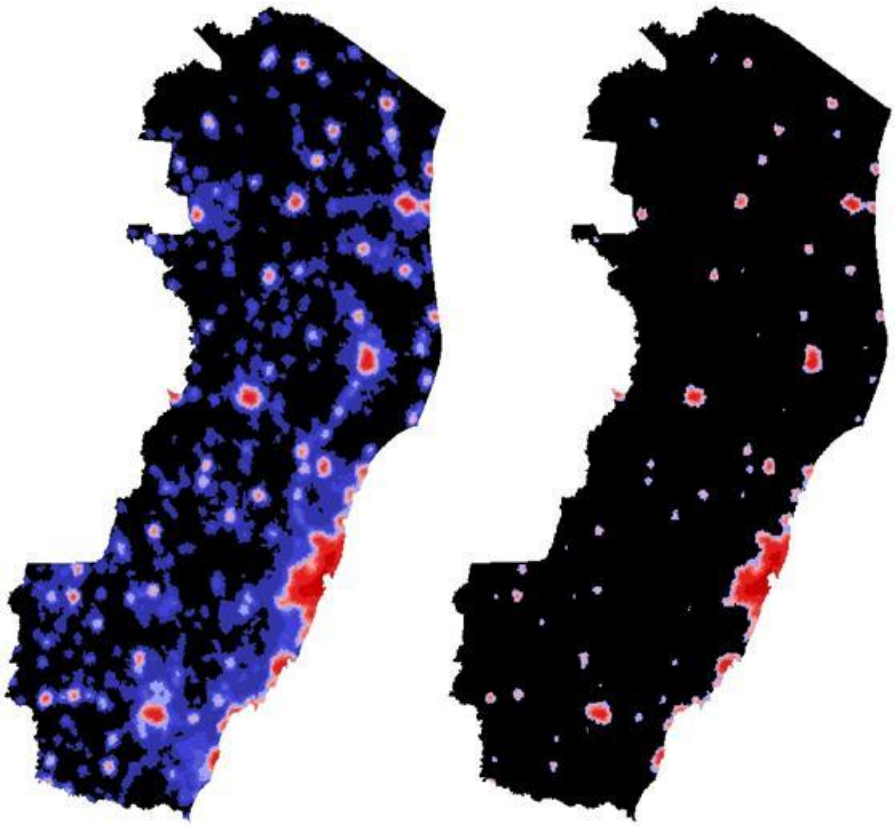


Figura 2. Aspecto do mosaico de Luzes noturnas (a) antes do limiar e (b) depois de aplicado o limiar

Como pode ser observado, há aparentemente uma grande perda de informação, porém como já destacado anteriormente, as áreas que foram eliminadas com a aplicação do limiar fazem parte do efeito de "overglow" e não estão associadas a uma fonte de iluminação específica, ou seja, são pixels que acabam sendo iluminados devido a vários fatores como sobreposição das imagens, tamanho dos pixels, interferência de outras áreas iluminadas, etc.
Após a aplicação do limiar foi possível então verificar a correspondência entre os focos de luzes e a localização das fontes iluminadoras e também verificar a área iluminada pelo foco e a área urbanizada dos municípios. A Tabela 1 apresenta os números de focos de luzes para cada fonte iluminadora reconhecida nas fotografias aéreas.

Tabela 1. N° de focos de luzes e seus respectivos usos

Fontes iluminadoras	**N° Focos**
Sede de municípios	61
Núcleos urbanos (localidades)	5
Exploração de petróleo	2
Áreas industriais	2

A partir do limiar empregado, foram detectados focos de luzes noturnas para 61 dos 78 municípios do estado do Espírito Santo. A área dos focos de luzes noturnas referentes a esses municípios detectados foi então comparada às variáveis "área urbanizada", "consumo de energia", "população" e "produto interno bruto", utilizando-se as técnicas estatísticas de

correlação e regressão linear, sendo todas as regressões significantes a 95 % de intervalo de confiança. O resultados sugerem uma forte relação linear entre a área dos focos de luzes e as variáveis analisadas como demonstra a Tabela 2 e a Figura 3.

Tabela 2. Valores de correlação (R), Regressão linear (R^2) e Valor P entre os dados de luzes noturnas e as demais variáveis.

Variável	R	R^2	Valor-P
Área Urbana	0,9241	0,854	0,000159654
C. Energia	0,9241	0,8541	0,002371935
População	0,9263	0,852	0,033404243
PIB	0,8991	0,8085	4,33388

Pode ser observado a alta correlação (R) e o bom resultado da regressão linear (R^2) entre as variáveis e os dados de luzes noturnas evidenciando assim uma relação linear entre esses dados. Apesar do alto valor P para a variável PIB, esta não deve ser descartada e sim melhor investigada em função dos altos valores de R e R^2.

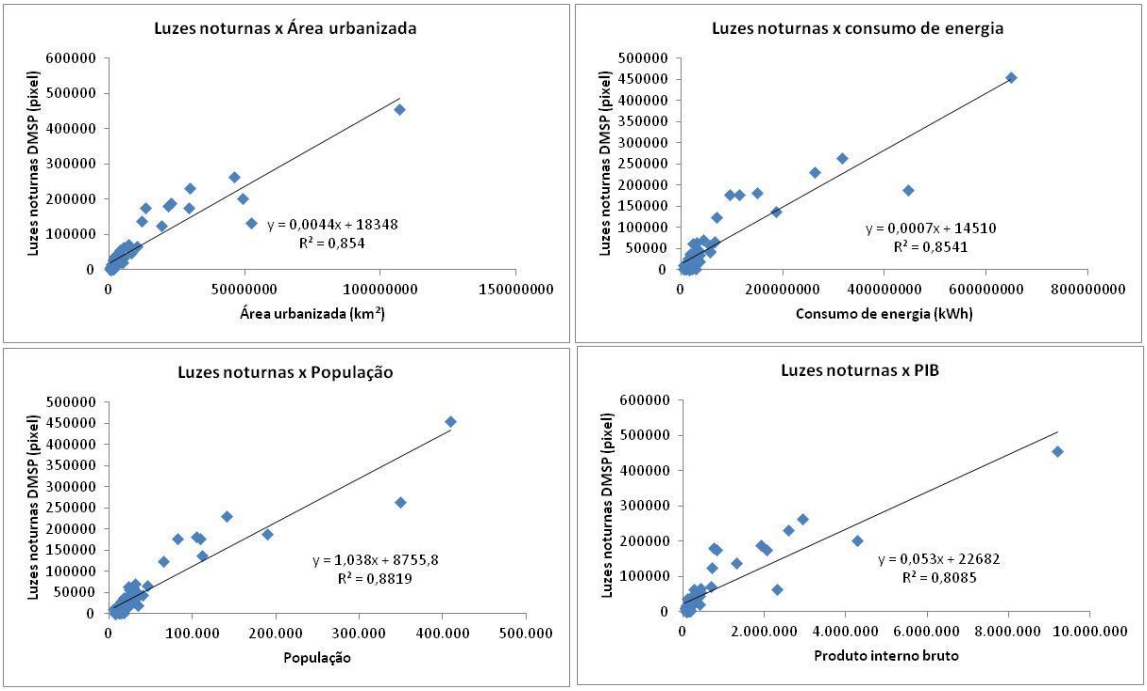


Figura 3. Relação entre área da mancha urbana e luzes noturnas DMSP verificada para todos os municípios do estado do Espírito Santo

Com relação a variável "área urbanizada", Esta é uma das relações mais investigadas quando se trata de focos de luzes noturnas. Ela é baseada na hipótese de que a presença de luzes noturnas, detectadas através do sistema DMSP, estão diretamente relacionadas à extensão da mancha urbana. O resultado demonstra que a presença de luzes noturnas no Estdo do Espírito santo esta diretamente relacionada à extensão da área urbana de seus municípios. Amaral (2003), argumenta que na zona rural, normalmente a presença de luzes não possui intensidade suficiente para sensibilizar pixel de 1 km de mosaico DMSP, sugerindo assim que os focos de luzes relacionados a assentamentos humanos em geral estão relacionados, na sua grande maioria, apenas com a área compreendida pela infraestrutura urbana, como os arruamentos, casas, áreas industriais e demais construções civis que emitam luz.

Uma outra relação buscada com freqüência quando se trabalha com os dados de focos de luzes é a relação entre a área dos focos de luzes noturnas e o consumo de energia dos municípios das áreas estudadas. O resultado obtido através da regressão linear sugere que é possível inferir o consumo de energia a partir da detecção dos focos de luzes nos mosaicos DMSP. Amaral (2003) argumenta que, para uma boa relação entre consumo de energia e focos de luzes é necessário fazer algumas considerações iniciais como eliminar os casos atípicos por exemplo. Neste caso, o único caso atípico eliminado desta análise foi a cidade de vitória, que possui um limite municipal bastante restrito, não possuindo nem mesmo área rural.

A variável população também apresentou uma relação bastante interessante com as imagens de luzes noturnas. Observou-se que, dos municípios que não foram detectados através dos focos de luzes DMSP, praticamente todos se encontram na faixa de população até 25.000 pessoas. A partir de número de habitantes, todos os municípios foram detectados, menos Domingos Martins que esta na faixa entre 30.000 e 40.000 pessoas. Uma das hipóteses para isto, é que apesar de possuir em torno de 31.000 residentes, a maioria destes, cerca de 75 % da população, é moradora da área rural. Além disso, o consumo de energia da área rural é maior do que a soma do consumo de energia residencial, comercial e industrial do município. Como a área do município é enorme, esta entre os 10 maiores municípios do estado em área (7°) e o único desta categoria que não foi detectado a partir dos focos de luzes noturnas DMSP, supõe-se que tanto sua população quanto a energia gasta por ela estão pulverizadas pela área do município, não havendo nenhum ponto de concentração que gere luz suficiente (consumo) capaz de sensibilizar os sensores do satélite.

Por fim, mas não menos importante, a variável PIB, como as outras variáveis, esta também obteve altos coeficientes de correlação e determinação sugerindo assim forte ligação entre os dados. Porém, diferente das outras variáveis, esta apresentou um valor P muito alto, o que sugere uma inconsistência nos dados. Apesar disso, seria interessante avançar em estudos mais aprofundados sobre esta relação, pois a análise dos resultados para esta variável também sugere uma certa relação entre essas variáveis. Observou-se que que os municípios com até 50.000 reais de produto interno bruto, independente da população, do consumo de energia, e da área urbana, não foram detectados através das imagens de luzes noturnas. Na classe seguinte, de 50.000 a 100.000 reais, 8 dos 20 municípios que compõem esta classe não foram detectados. Assim, a partir de um PIB de 100.000 reais, praticamente todos os municípios são detectados, salvo as exceções que se encaixam naquela situação onde a maior parte da população e do consumo de energia esta diluída nas áreas rurais dos municípios, não gerando assim uma área de concentração populacional capaz de consumir energia suficiente para sensibilizar o sensor OLS do satélite DMPS, como é o caso de Domingos Martins, que se encontra na classe entre 200.000 a 300.000 reais de PIB. Observa-se também que a partir de 300.000 reais de PIB todos os municípios são detectados, com exceção de Presidente Kennedy, que se encontra na classe acima de 1.000.000 de PIB. Esta talvez seja a situação mais interessante, pois apesar de um PIB relativamente alto (esta entre os 10 maiores do estado), praticamente todo relacionado ao recebimento de royalties de petróleo, este é um município que continua sendo praticamente rural, com a menor densidade demográfica urbana do estado, com um dos menores consumos de energia do estado (entre os 10 menores) e com cerca de apenas 38% das casas com saneamento básico. Esta situação colabora com a hipótese de que muitos dos municípios que recebem royalties de petróleo (Presidente Kennedy recebeu cerca de 315 milhões de reais nos últimos 4 anos de janeiro de 2008 até julho de 2012, segundo a ANP), estão empregando estes recursos de forma equivocada.

4. Conclusão

O mosaico de imagens de luzes noturnas DMSP/OLS é sem dúvida um dos instrumentos mais interessantes para a detecção de atividades humanas através do globo. Os resultados obtidos por este trabalho se configuram como uma evidencia cientifica de que esses dados estão relacionados com algumas características específicas das áreas de interesse (neste caso os municípios), como o tamanho da área urbana, o consumo de energia, a população e o Produto Interno Bruto e sugerem que os dados de focos de luzes possam ainda ser utilizados como subsidio na inferência para cada uma das variáveis estudadas.

Dentre as variáveis estudadas, a área urbanizada foi a que se mostrou mais restritiva com relação a detecção ou não pelas imagens de luzes noturnas, detectando todos os municípios com uma área urbanizada mínima de 2000 m² sem exceção. As outras variáveis, apesar de apresentarem certa coerência na relação entre as classes e o número de municípios detectados, todas apresentaram exceções. Isto sugere que, apesar da boa relação encontrada entre as variáveis, a detecção ou não dos municípios através das imagens de luzes noturnas depende, na maior parte das vezes, da combinação de determinadas características das variáveis em conjunto, e não de apenas uma só, como no o caso da variável "área urbanizada"

Apesar dos resultados positivos, este trabalho pode ser considerado apenas como introdutório. Os resultados obtidos abrem portas para uma extensa agenda de pesquisa, onde não só cada uma das variáveis devem ser melhor investigadas, como a componente temporal deva ser integrada, pois é a análise desta componente que vai realmente determinar a possibilidade de construção de indicadores sócio econômicos a partir dos dados de luzes noturnas.

5. Referências Bibliográficas

Amaral, S. **Geoinformação para estudos demográficos: representação espacial de dados de população na Amazônia Brasileira**. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, 2003.

Cinzano, P., Falchi, F., Elvidge, C.D. The first world atlas of the artificial night sky brightness. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, 328 (3), 689-707, 2001.

Dobson, J., Bright, E.A., Coleman, P.R., Durfee, R.C. and Worley, B.A. LandScan: A global population database for estimating populations at risk. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.** 66 (7), 849-857, 2000.

Doll, C.N.H., J-P Muller. An evaluation of global urban growth via comparison of DCW and DMSP-OLS satellite data. In: **Proceedings** of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS99). Hamburg, Germany 28 June 2 July. 1134-1136, 1999.

Doll, C.N.H., Muller, J-P. A comparison of different techniques applied to the UK to map socio-economic parameters: implications for modelling the human dimensions of global change. In: **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, GITC bv: Amsterdam, The Netherlands, 33 (B4), 222-229, 2000.

Doll, C.N.H, Muller, J-P., Morley, J.G. Mapping regional economic activity from night-time light satellite imagery. **Ecological Economics**. (57) 75-92, 2006.

Ebener, S., Murray, C., Tandon, A., Elvidge, C. From wealth to health: modeling the distribution of income per capita at the sub-national level using nighttime lights imagery. **International Journal of Health Geographics**, 4:5, 2005.

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**, 18 (6), 1373-1379, 1997.

Handerson, V.J., Storeygard, A., Weil, N.D. **Measuring Economic Growth from Outer Space**. NBER Working Paper No. 15199, National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA, 2009.

Imhoff, M.L., Lawrence, W.T., Stutzer, D.C., Elvidge, C.D. A Technique for using composite DMSP-OLS "City Lights" satellite data to map urban area. **Remote Sensing of Enviroment**, 61, 361-370, 1997.

Kiran Chand. T.R., Badarinath. K.V.S., Krishna Prasad, V., Murthy. M.S.R., Elvidge. C.D., Tuttle. Benjamin, T. Monitoring forest fires over the Indian region using Defense Meteorological Satellite Program Operational Linescan System nighttime satellite data. **Remote Sensing of Environment.** (103) 165-178, 2006.

Kohiyama, M., Hayashi, H., Maki, N., Higashida, M., Kroehl, H.W., Elvidge, C.D., Hobson, V.R. Early damaged area estimation system using DMSP-OLS night-time imagery. **International Journal of Remote Sensing**. 25 (11) 2015-2036, 2004.

Lira, S.A. **Análise de correlação: abordagem teórica e de construção dos coeficientes com a aplicações**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

Merrill, W. C. & Fox, K. A., **Estatística Econômica: Uma Introdução**, São Paulo, Editora Atlas, 1980.

Montevecchi, W. A. Influences of artificial lights on marine birds. In C. Rich and T. Longcore (eds.), **Ecological Consequences of Artificial Night Lighting**. Island Press, Washington D.C, 2006.

Rich, C, & Longcore, T (Eds.) **Ecological consequences of artificial night lighting**. Island Press, Washington, D.C, 2006.

Salmon, M., Witherington, B. E., Elvidge, C. D. Artificial lighting and the recovery of sea turtles. Pages 25-34 in N. Pilcher and G. Ismail (eds.), **Sea turtles of the Indo-Pacific: research, management and conservation.** Asian Academic Press, London, 2000.

Salmon, M. Protecting sea turtles from artificial night lighting at Florida's oceanic beaches. In C. Rich and T. Longcore (eds.), **Ecological Consequences of Artificial Night Lighting**. Island Press, Washington D.C, 2006.

Saxon, E.C., Parris, T., Elvidge, C.D., **Satllite Surveillance of National CO2 Emissions from Fossil Fuels.** Development Discussion Paper No. 608. Harvard Institute for International Development, Harvard University, USA, 1997.

Small, C., Pozzi, F. C. D. Elvidge, C.D. Spatial analysis of global urban extent from DMSP-OLS night lights. **Remote Sensing of Environment** (96) 277-291, 2005.

Sutton, P.C. 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.C., Roberts D, Elvidge C,D., Baugh, K., Census from Heaven: An estimate of the global human population using night-time satellite imagery, **International Journal of Remote Sensing**, 22 (16), 3061-3076, 2001.

Sutton, P.C. & Costanza, R. Global estimates of market and non-market values derived from nighttime satellite imagery, landcover and ecosystem service valuation. **Ecological Economics**, 41, 509-527, 2002.

Sutton, P. C. A scale-adjusted measure of "urban sprawl" using nighttime satellite imagery. **Remote Sensing of Environment** 86: 353-363, 2003.

Sutton, P.C., Roberts, C., Elvidge, C.D., Meij, H. A comparison of nighttime satellite imagery and population density for the continental united states. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,** 63 (11), 1303-1313, 1997.

Toenges-Schuller, N., Stein, O., Rohrer, F., Wahner, A., Richter, A., Burrows, J.P., Beirle, S., Wagner, T., Platt, U., Elvidge, C.D. Global distribution pattern of anthropogenic nitrogen oxide emissions: Correlation analysis of satellite measurements and model calculations. **Journal of Geophysical Research**, 111, D05312, 2006.