

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

MATEUS MENEGOSSI PORTO

**A cidade e suas luzes:** análise das relações entre luzes noturnas e variáveis socioeconômicas no Estado de São Paulo utilizando imagens de satélite geradas pelo VIIRS/DNB

**The city and its lights:** study about the relations between night lights and socioeconomic variables in State of São Paulo using satellites images from VIIRS/DNB

São Paulo  
2020

MATEUS MENEGOSSI PORTO

**A cidade e suas luzes:** análise das relações entre luzes noturnas e variáveis socioeconômicas no Estado de São Paulo utilizando imagens de satélite geradas pelo VIIRS/DNB

Trabalho de Graduação Integrado (TGI) apresentado ao Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Área de Concentração: Geografia Física

Orientador: Prof. Dr. Fernando Shinji Kawakubo

São Paulo

2020

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catalogação na Publicação

Serviço de Biblioteca e Documentação

Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

Porto, Mateus  
P839c      A cidade e suas luzes: análise das relações entre  
luzes noturnas e variáveis socioeconômicas no Estado  
de São Paulo utilizando imagens de satélite geradas  
pelo VIIRS/DNB / Mateus Porto ; orientador Fernando  
Kawakubo. - São Paulo, 2020.  
55 f.

TGI (Trabalho de Graduação Individual) - Faculdade  
de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da  
Universidade de São Paulo. Departamento de  
Geografia. Área de concentração: Geografia Física.

1. Luz Noturna. 2. Sensoriamento Remoto. 3.  
Urbano. 4. Indicadores. I. Kawakubo, Fernando,  
orient. II. Título.

Dedico este  
trabalho aos meus avós,  
que tanto desejaram me  
ver formado e nunca  
faltaram com amor e  
carinho nessa jornada.

## AGRADECIMENTOS

Escrever uma dedicatória e um agradecimento tem se mostrado mais difícil que escrever o trabalho em si.

Mesmo que tenha sido brevemente, muitas pessoas impactaram a trajetória que me trouxe até esse degrau da vida. Não pude citar todos que deveria, mas todos os que colaboraram estão, de certa forma, no meu coração sempre.

Um obrigado aos meus pais, Aparecido e Deise, pela oportunidade e privilegio de chegar até aqui graças a seu apoio incondicional e exemplo que desde pequeno tenho em casa. Não teria crescido tão bem sem vocês.

A minha amiga de alma e coração Beatriz que com seu companheirismo e presença tornou a faculdade (e a vida!) muito mais leve e interessante. Não seria quem sou sem você.

Ao meu amigo Giovanne, obrigado por discutir e rir comigo dos percalços da vida, sempre buscando o melhoramento. Não teria aprendido tanto sem você.

A minha amiga Daniele, pelo amor e carinho sempre presentes, e por me escutar e apoiar não importa a situação (ou a hora). Não estaria aqui sem você.

Aos amores e desamores que pontuam a vida, com riso ou choro. Tudo contribuiu para que esse agradecimento pudesse ser escrito.

Aos meus amigos de infância que ainda persistem nessa amizade duradora, e aos meus amigos da Geografia que fiz nesses últimos anos, não tem como agradecer o suficiente por terem me dado o prazer de conhecê-los.

Obrigados aos colegas profissionais, Poloni, Luana, Thiago, Afonso e tantos outros. Seus conselhos sempre estão comigo, me guiando pelo melhor caminho.

E finalmente obrigado professor Fernando, por ter despertado o interesse nessa disciplina que é a base desse trabalho, e pela orientação e apoio de sempre.

*Ente os arranha-céus, onde o ouro mora,  
e o ferro dos trens é posto fora,  
um avião urrou e caiu duro  
E o olho do sol escorreu sangue escuro.*

(MAIAKÓVSKI, Vladimir, 1913.)

## RESUMO

**PORTE, M.M. A cidade e suas luzes:** análise das relações entre luzes noturnas e variáveis socioeconômicas no Estado de São Paulo utilizando imagens de satélite gerado pelo VIIRS/DNB . 2020. 55 f. Trabalho de Graduação Individual (TGI) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

Com o crescimento das cidades surge a necessidade de o Sensoriamento Remoto lidar com indicadores que melhor representem o ambiente urbano. Usando do dado de luz noturna obtida através do sensor VIIRS/DNB abordo do satélite Suomi NPP o trabalho buscou estudar as correlações entre essa variável e outras que expressem o ambiente urbano através da somatória do valor de pixels calculado para cada município do Estado de São Paulo e encontrando a equação de regressão quadrada com as variáveis PIB, renda per capita, consumo elétrico, população total, total de veículos, IDH Municipal, grau de urbanização e quantidade de agências bancárias. Os resultados foram em grande parte satisfatórios e tiveram correlação positiva, com algumas notáveis exceções como IDHM, renda per capita e grau de urbanização. Ainda assim, o uso das imagens de luzes noturnas para estimar outras variáveis com precisão é possível e pode oferecer apoio em estimativas em anos sem um censo demográfico urbano.

Palavras-chave: Luz Noturna. Sensoriamento Remoto. Urbano. Indicadores.

## ABSTRACT

PORTO, M.M. **The city and its lights**: study about the relations between night lights and socioeconomic variables in State of São Paulo using satellites images from VIIRS/DNB. 2020. 55 f. Trabalho de Graduação Individual (TGI) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

With the growth of cities, there is a need for Remote Sensing to deal with indicators that best represent the urban environment. Using the night light data obtained through the VIIRS/DNB sensor from the Suomi NPP satellite, this paper sought to study the correlations between this variable and others that represent the urban environment through the sum of the pixel value calculated for each municipality in the State of São Paulo and finding the square regression equation with the variables GDP, per capita income, electricity consumption, total population, total vehicles, Municipal HDI, degree of urbanization and number of bank branches. The results were largely satisfactory and had a positive correlation, with notable exceptions being the data on Municipal HDI, per capita income and degree of urbanization. Even so, the use of images of night lights to estimate other variables with precision is possible and can offer support in estimates in years without an urban demographic census.

Keywords: Night Light. Remote Sensing. Urban. Indicators.

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Distribuição dos imigrantes que passaram pela Hospedaria São Paulo	15
Figura 2 - Principais cidades do Estado de São Paulo	16
Figura 3 - Região Metropolitana de São Paulo	17
Figura 4 - Imagem noturna do Estado de São Paulo	24
Figura 5 - Representação gráfica do método	28
Figura 6 - Resultados prévios	29
Figura 7 - Mapa de emissão de luz por município	30
Figura 8 - Mapa de população por município	33
Figura 9 - Mapa de PIB por município	35
Figura 10 – Mapa de renda per capita por município	38
Figura 11 – Mapa de frota de veículos por município	40
Figura 12 – Mapa de consumo elétrico por município	42
Figura 13 – Mapa de agências bancárias por município	44
Figura 14 – Mapa de Grau de Urbanização por município	46
Figura 15 – Mapa de IDHM por município	48

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 – BRILHO X POPULAÇÃO	32
Gráfico 2 – BRILHO X PIB	35
Gráfico 3 – BRILHO X RENDA PER CAPITA	38
Gráfico 4 – BRILHO X FROTA DE VEÍCULOS	40
Gráfico 5 – BRILHO X CONSUMO ELÉTRICO	42
Gráfico 6 – BRILHO X AGÊNCIAS BANCÁRIAS	44
Gráfico 7 – BRILHO X GRAU DE URBANIZAÇÃO	46
Gráfico 8 – BRILHO X IDHM	48

## LISTA DE PRINCIPAIS ABREVIATURAS E SIGLAS

→ PIB	Produto Interno Bruto
→ IMP	Informações dos Municípios Paulistas
→ SEADE	Sistema Estadual de Análise de Dados
→ IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
→ IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
→ NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
→ DMSP - OLS	Defense Meteorological Satellite Program – Operational Linescan System
→ VIIRS	Visible Infrared Imaging Radiometer Suite
→ DNB	Day/Night Band
→ Suomi NPP	Suomi National Polar-orbiting Partnership
→ GIS ou SIG	Geographic Information System ou Sistema de Informações Geográficas
→ FIG	Figura

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	12
<b>1.1 OCUPAÇÃO DO TERRITÓRIO PAULISTA</b>	13
<b>1.1.1 CONTEXTOS DA URBANIZAÇÃO DO ESTADO DE SÃO PAULO</b>	13
<b>1.1.2 CONTEXTOS DA URBANIZAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO</b>	17
<b>1.2 SENSORIAMENTO REMOTO</b>	19
<b>1.2.1 BREVE HISTÓRIA</b>	19
<b>1.2.2 APLICAÇÕES ATUAIS</b>	19
<b>1.3 A LUZ NOTURNA</b>	21
<b>2 METODOLOGIA</b>	26
<b>2.1 MATERIAIS USADOS</b>	26
<b>2.1.1 DADOS ESTATÍSTICOS</b>	27
<b>2.1.2 DADOS RASTER</b>	27
<b>2.1.3 SOFTWARES UTILIZADOS</b>	27
<b>2.2 MÉTODOS UTILIZADOS</b>	28
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	30
<b>3.1 LUZ</b>	30
<b>3.2 LUZ E POPULAÇÃO</b>	31
<b>3.3 LUZ E PIB</b>	33
<b>3.4 LUZ E RENDA PER CAPITA</b>	36
<b>3.5 LUZ E FROTA DE VEÍCULOS</b>	39
<b>3.6 LUZ E CONSUMO ELÉTRICO</b>	41
<b>3.7 LUZ E AGÊNCIAS BANCÁRIAS</b>	43
<b>3.8 LUZ E GRAU DE URBANIZAÇÃO</b>	45
<b>3.9 LUZ E IDHM</b>	47
<b>4 CONCLUSÃO</b>	49
<b>5 REFERÊNCIAS</b>	50

## 1 INTRODUÇÃO

Com constante crescimento urbano das cidades brasileiras surge cada vez mais a necessidade de um olhar mais crítico e analista para os espaços que já concentram a maior parte da população, e cuja tendência é atingir graus cada vez maiores de urbanização e aglomeração (ONU, 2018), só o estado de São Paulo já comporta hoje aproximadamente 46 milhões de habitantes segundo estimativas do IBGE (2019).

O adensamento urbano apresenta aspectos positivos e negativos: Cidades maiores são mais eficazes e tem custos menores por habitante em quesito transporte e sistemas de infraestruturas que cidades menores (BATTY, 2013). A população (que em muitos casos migrou recentemente do campo para a cidade) porém sofre de sedentarismo e tem um regime alimentar altamente calórico (GONG, 2012).

Megacidades também enfrentam problemas de escassez, como déficit hídrico (ONU, 2018) e questões sociais como a segregação urbana e a favelização e marginalização de populações mais vulneráveis as rápidas mudanças estruturais que atingem todo o terceiro mundo (DAVIS, 2006).

São Paulo é um estado especialmente interessante para análises dos aspectos urbanos, uma vez que possui como capital o município mais populoso da América Latina e um dos estados mais economicamente ativos do Brasil, apesar de suas origens serem tão conturbadas quanto os de outros estados diversos processos foram exclusivos do estado que deram certas características únicas para seu histórico de colonização e ocupação. Das 100 cidades mais populosas do Brasil, o Estado de São Paulo tem 28 em seu território e cerca de 20% da população total do país (IBGE, 2019).

Em um contexto global cada vez mais consciente das questões relacionadas com a proteção ambiental, surge a necessidade de pensar a cidade de outras formas, e através de novas técnicas poder oferecer um novo caminho para uma urbanização mais humana e mais abrangente para seus habitantes.

O sensoriamento remoto é uma das possíveis formas de atingir novos panoramas. A possibilidade de coletar dados frequentemente é um dos pontos mais fortes que a ciência pode fornecer. O objetivo desse trabalho é buscar obter possíveis correlações com dados visuais e índices que sejam pertinentes a cidade. A intenção, portanto, não é comparar as variáveis entre si ou seu valor individual para políticas urbanas, mas estudar a associação entre diferentes tipos de dados com os índices de luzes noturnas.

## **1.1 OCUPAÇÃO DO TERRITÓRIO PAULISTA**

### **1.1.1 CONTEXTOS DA URBANIZAÇÃO DO ESTADO DE SÃO PAULO**

A história da ocupação de São Paulo é curiosa e cheia de atores distintos. Para Monbeig (1984), o pioneiro original foi o índio, já que foi aquele que primeiro ocupou o território. A presença do indígena foi severamente afetada pela ocupação europeia, dizimada pelas doenças e pelos avanços dos bandeirantes caçadores. Pouco resta da presença inicial do indígena no estado, com exceção de algumas reservas e da forte influência da língua Tupi no português.

Os primeiros a chegarem e tomarem posse de algumas propriedades, e deram início aos primeiros povoados propriamente ditos, foram mineiros que emigraram de Minas Gerais que escapavam da crise que assolava as economias dos estados antigos e do recrutamento para a guerra do Paraguai. O café, produto que transformou as bases do estado no que é hoje só se estabeleceria com a chegada das estradas de ferro (MONBEIG, 1984).

Outra força pioneira importante foram as Bandeiras, que adentraram o território para escravizar os nativos e pilhar qualquer riqueza que interessasse ao seu criador. Esses empreendimentos foram responsáveis pelo surgimento de pequenos vilarejos e do florescimento de um comércio que ligou a província paulista a sua capital (MONBEIG, 2004).

Apesar da colonização causada pelo avanço das bandeiras, o Estado de São Paulo não apresentou grande desenvolvimento econômico, quando comparado com a atividade econômica de outras províncias contemporâneas. Foi o começo do

plantio do café no estado que deu fim na estagnação ocasionada pelo fim das bandeiras e iniciou uma nova fase para o estado (MONBEIG, 1984).

Logo chegaram as estradas de ferro, acompanhando as rotas já estabelecidas pelos colonos e possibilitando o avanço do cultivo do café, antes limitado as regiões vizinhas dos portos, para o interior. O café demandava mão de obra, o trabalho escravo se tornou caro com as diversas leis que dificultavam a importação da mão de obra cativa. A solução que os fazendeiros encontraram foi favorecer a imigração estrangeira (MONBEIG, 1984).

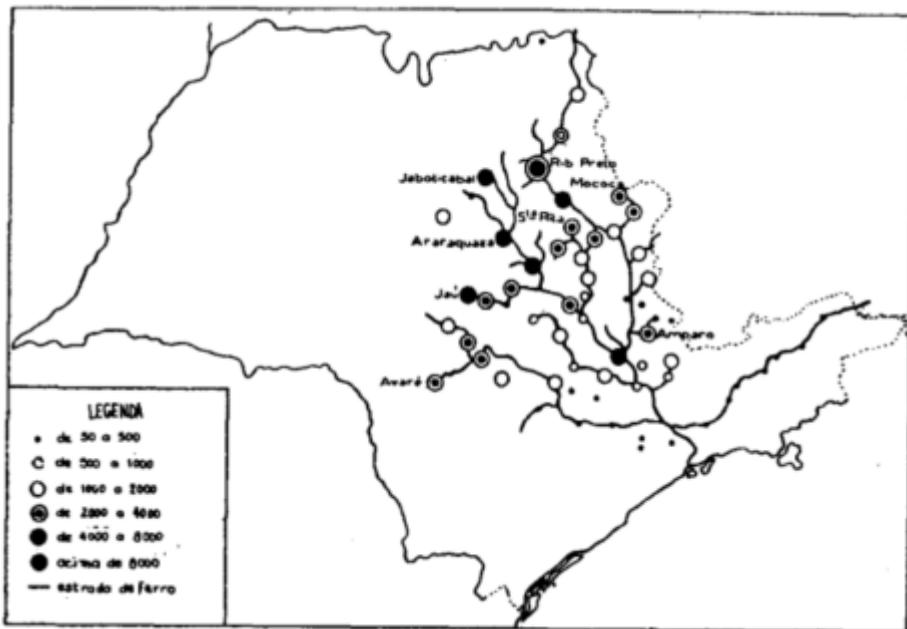
Imigraram para São Paulo entre 1827 e 1936 aproximadamente 3 milhões de trabalhadores e suas famílias (MONBEIG, 1984, p 147), parte dos custos de transporte foi subsidiada pelo governo, mas grande parte dos esforços foi financiada por associações de fazendeiros que dependiam dessa mão de obra para plantar e colher o café. Não vieram apenas estrangeiros, grande parte do contingente populacional foi recrutado nos estados do Nordeste, especialmente do estado da Bahia.

Esses viajantes chegavam principalmente através das linhas de trem, desembarcando nos povoados que eventualmente se tornaram as principais cidades do Estado de São Paulo. Monbeig (1984) descreve bem a importância das estações de trem:

Desde que tomou pé nos planaltos ocidentais, prosseguiu a vaga pioneira em sua marcha infatigável, sacudida pelas crises econômicas, acelerada às vezes pelo jogo das circunstâncias políticas mundiais. Incessantemente engrossada por elementos novos, a multidão dos plantadores e dos pioneiros não cessou de progredir, mais ou menos depressa, mas sem fatigar-se. **Testemunham avanços sucessivos as cidades, que se sucedem como contas de um rosário, ao longo das ferrovias.** Por toda parte, traz a paisagem a marca dessa ofensiva continuam nos restos de florestas que subsistem, sobre os solos talados por essa cultura devastadora.

(MONBEIG 1984, p.125. Grifo próprio).

Mesmo hoje é possível observar esse traçado relatado por Monbeig, as marcas de colonização e urbanização ainda persistem no território, como testemunho do avanço da colonização para o oeste. (MONBEIG, 1984).



**FIGURA 1** - Distribuição do destino dos imigrantes que passaram pela Hospedaria de Imigrantes de São Paulo, no período 1898-1902 (MONBEIG, 1984).

Com a crise de 1929 e a consequente queda do preço do café, os latifundiários encontraram no loteamento de suas propriedades a solução para encontrar um capita rápido. As pequenas propriedades eram divididas e vendidas principalmente perto de locais de acesso e de infraestrutura, como as ferrovias, rodovias e armazéns, criando assim o esqueleto dos centros antigos/históricos das cidades que hoje ali existem.

Com a recessão no final dos anos 1970 a economia ficou desestabilizada (Goulart et al 2013), a crise se traduziu em mudanças significativas no ambiente urbano, as indústrias começaram a mudar a localização de suas plantas produtivas para locais com mais benefícios (principalmente benefícios fiscais) e a antiga polarização industrial em grandes centros populacionais começou a enfraquecer.

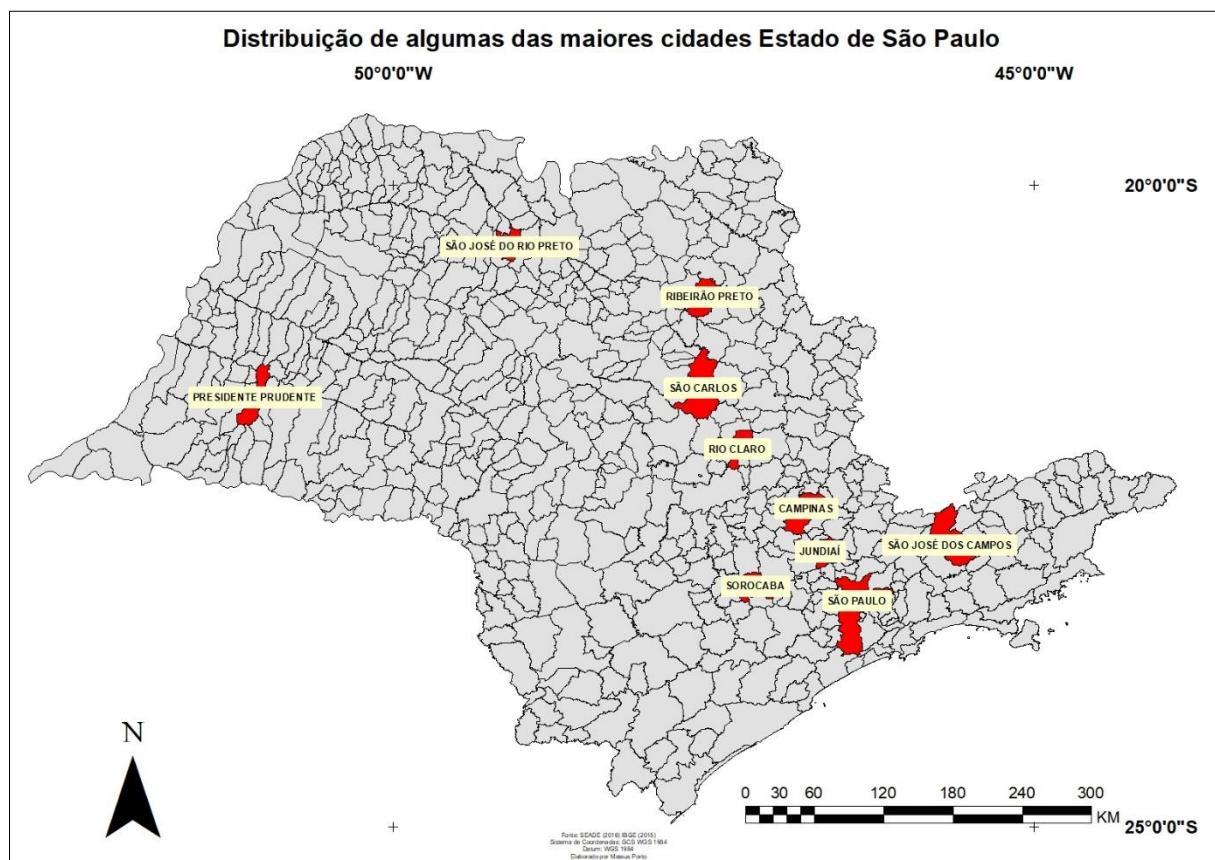
A partir dos anos 1980, como relata Braga (2005), um fenômeno de forte desconcentração aconteceu na capital paulista ocasionando diversas mudanças estruturais. Muitas dessas indústrias migraram para cidades do interior, trazendo consigo os benefícios e malefícios de um parque industrial. Essa migração acompanhou de um aumento de população e PIB dos centros interioranos e as cidades com mais de 100 mil habitantes se multiplicaram.

Goulart et al (2013) também aponta que essa desconcentração industrial se deu com o colapso do antigo projeto desenvolvimentista no contexto das crises dos anos 70-80. O que se seguiu foi a guerra fiscal de municípios e uma crescente

aliança público-privada para gerir o espaço público, a visão administrativa se transformou de “gerenciamento” para o “empresariamento”. As cidades do interior atraíram investimentos com atrativos como mobilidade e qualidade de vida.

Um decréscimo de quase 30% na parcela do total de produção industrial brasileira, apontada por Goulart et al (2013), foi observado na RMSP a partir da década de 1970 (de 43,4% para 16,8%) e foi acompanhada do aumento da parcela de produção do interior paulista. As cidades que tinham infraestrutura e população suficiente para atraírem as indústrias se tornaram polos de produção no interior do estado, despolarizando a antiga concentração industrial.

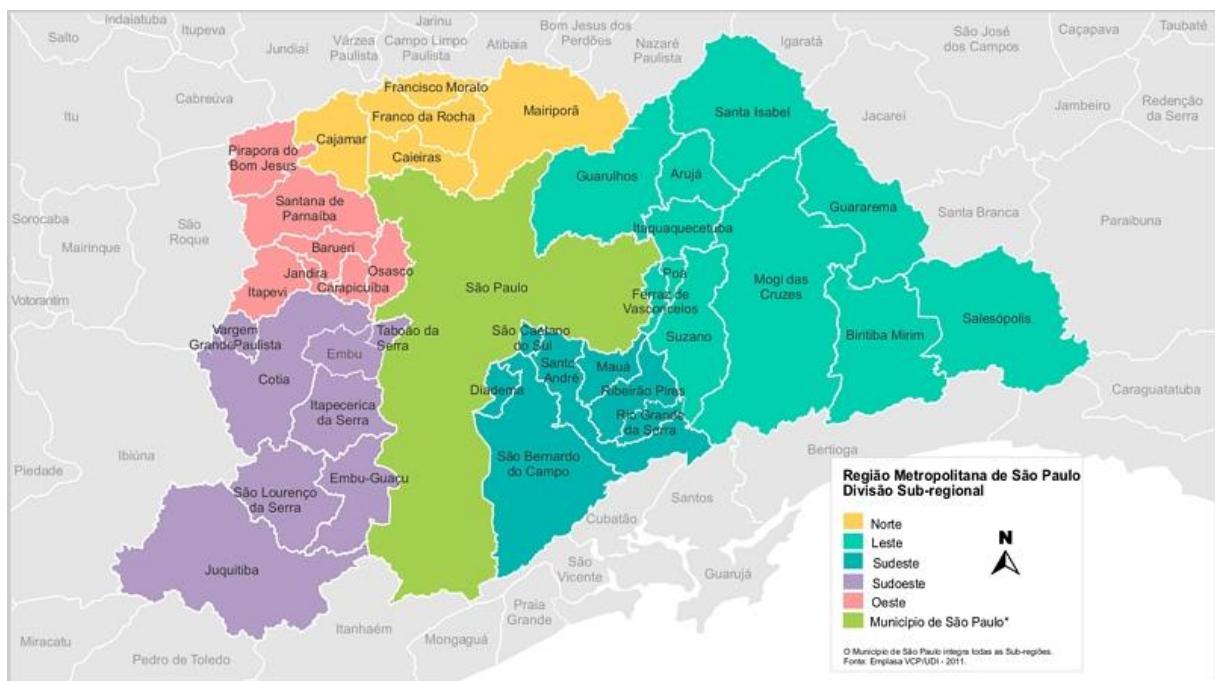
O interior antes relativamente pacato começou a mostrar cada vez mais uma atividade urbana intensa, enquanto a capital paulista assumiu um papel mais administrativo e executivo.



**FIGURA 2** - Distribuição de cidades no interior que tem alta intensidade de luzes noturnas, assim como a capital.

## 1.1.2 CONTEXTOS DA URBANIZAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

A capital paulista e sua região metropolitana merecem um tópico a parte devido a seu impacto em todas as medições possíveis:



**FIGURA 3** - Municípios da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). (EMPLASA 2011)

A Região Metropolitana engloba 39 municípios e corresponde a quase metade da população do estado (aproximadamente 21,5 milhões de habitantes), concentrando 18% do PIB nacional e 54% do estadual. (IBGE, 2016) sendo uma das maiores regiões metropolitanas do mundo e a maior da América Latina (ONU, 2018).

Uma região e um município tão densamente povoado tiveram uma origem e um crescimento humilde até o começo do século passado: São Paulo, diferente das cidades contemporâneas, surgiu a partir de uma iniciativa jesuítica de “educar” os indígenas. As construções ali erguidas pelos padres serviram de ponto de encontro de fazendeiros locais, nascendo assim um pequeno povoado centralizador (MONBEIG, 2004).

Monbeig (2004) também relata como São Paulo cresceria ainda mais com o advento das bandeiras, a cidade serviu como ponto de partida da jornada dos exploradores, as expedições que adentravam o sertão paulista tinham na cidade seu porto seguro.

Para um estado com poucas riquezas minerais e terras sem grande fertilidade (quando comparadas com as terras mais férteis e de mais fácil acesso em outros estados), as bandeiras foram essenciais para aumentarem a influência paulistana e estabelecer o comércio entre os povoados, e apesar do crescimento lento, São Paulo se desenvolveu por ser a sede administrativa e eclesiástica da província, partilhando dos “bons momentos” que chegariam com a monocultura cafeicultora (MONBEIG, 2004).

O verdadeiro boom econômico e populacional se deu pelo advento do café a partir de 1870. Tal crescimento foi tão dramático para a cidade que Monbeig (2004, p23) escreve que a cidade passou por uma ruptura entre sua fase antiga e moderna, um segundo nascimento. O café que enriqueceu o estado e seus fazendeiros, também enriqueceu a cidade, que era sede das mansões e empresas dos latifundiários, seguiram-se transformações urbanas drásticas que alteraram pra sempre sua morfologia urbana: a expansão e o começo da aglomeração no centro, junto de obras de infraestrutura como a abertura de ruas, criação de jardins, canalização de rios e o começo da circulação de bondes assim como a chegada da energia elétrica.

O crescente aumento da população, com a industrialização e êxodo rural gerado pelo fim do ciclo do café criaram as bases para a São Paulo que existe hoje.

Bonduki (1994, p729) destaca como, ao contrário de outras cidades do Brasil, São Paulo não teve a aparição de favelas em larga escala, não até a década de 70, devido ao acesso a casa própria nos loteamentos da periferia da capital. Assim, o centro passou a ser o local focal do comércio e indústrias enquanto a maior parte se concentrava nas franjas da cidade, expandindo fisicamente o tamanho da cidade. Caldeira (2000) também aponta a existência dessa expansão urbana.

Os anos 80 em frente foram marcados por uma nova fase de urbanização no município (CALDERA, 2000). Um novo tipo de segregação urbana aparece, alheio ao antigo centro-periferia, a morfologia urbana passa a ser encrustadas de condomínios fechados que pontilham a cidade, alheios a antiga divisão. Caldeira (2000) chama esses espaços privatizados de alta segurança como enclaves fortificados, que muitas vezes contrastam drasticamente com seus arredores.

## 1.2 SENSORIAMENTO REMOTO

### 1.2.1 BREVE HISTÓRIA

Uma definição que engloba boa parte dos conceitos por trás do sensoriamento remoto é formulada por Novo (1989) ao apresentar o Sensoriamento Remoto como a utilização conjunta de sensores e plataformas (aéreas ou espaciais) cuja finalidade é o estudo da superfície terrestre através da interação entre Radiação Eletromagnética e os objetos visualizados.

A história de seu surgimento, porém, é mais controversa e incerta, como explica Santos (2013), já que existem diversas subdivisões e as aplicações da disciplina se expandem por diversas áreas, se tornando difícil apontar um curso de evolução único. Novo e Ponzoni (2001) apresentam as origens do sensoriamento remoto ligadas ao desenvolvimento da fotografia e dos avanços na pesquisa espacial, nascendo quando as primeiras fotografias aéreas foram obtidas. Seu primeiro uso foi o mapeamento topográfico, usando câmeras a bordo de balões na França.

O avanço na aviação foi essencial para a popularização das tomadas aéreas, assim como a evolução das capacidades fotográficas dos equipamentos. Os conflitos militares que marcaram o século XX abriram novos campos de pesquisa com espectros de luz além do visível. (NOVO e PONZONI 2001)

A corrida espacial trouxe avanços para a área com o lançamento de satélites e os primeiros sensores orbitais capazes de observarem a superfície da terra diretamente do espaço. Diversas aplicações começaram a se desenvolver e se popularizar (NOVO e PONZONI 2001) e Santos (2013) reforça que a evolução do sensoriamento remoto é fruto do trabalho de diversas disciplinas essenciais para seu desenvolvimento.

A interdisciplinaridade é algo muito interessante para o enriquecimento da disciplina como um todo, pois cada ciência que forma parcerias com o Sensoriamento Remoto adiciona novas técnicas, ambientes de pesquisa e perspectivas diferentes sobre os objetos de estudo.

### 1.2.2 APLICAÇÕES

Desde seu início com as fotografias em balões, o sensoriamento remoto serviu de ferramenta para planejamento governamental e militar, e nas últimas décadas as aplicações civis e acadêmicas tem se tornado lugar comum (NOVO e PONZONI, 2001).

Existem diversas subáreas de estudo em sensoriamento remoto, variando de meteorológicos e ambientais até estudos urbanos com imagens de alta resolução espacial.

Usos governamentais incluem esforços de mapeamento como o Projeto Radambrasil (mapeamento via sistema radar a bordo de avião) na década de 1970 e 1980, que constitui ainda hoje uma das fontes principais de dados como geologia e geomorfologia da região Amazônica, eventualmente o estudo acabou por se estender por todo o território nacional. Alguns projetos atuais envolvem os projetos do INPE de monitoramento, um dos mais conhecidos no Brasil é o DETER, plataforma de alertas de desmatamento e degradação da Floresta Amazônica. O projeto PRODES também monitora desde 1988 os índices de desmatamento usando imagens LANDSAT e com alto nível de precisão, sendo muito usado para embasar políticas públicas ambientais.

Iniciativas modernas como o MAPBIOMAS (projeto do Observatório do Clima que envolve diversos membros como ONGs, universidades e empresas) também se vale do Sensoriamento Remoto para mapear e fornecer dados de uso e cobertura do solo em nível nacional, assim como as mudanças no território.

O Sensoriamento Remoto também tem se mostrado valioso para mapeamento e estudos urbanos. Algumas obras específicas sobre o ambiente urbano são a de Feitosa (2012) que estudou a segregação urbana, de Jensen (1999) que mapeou infraestrutura e atributos socioeconômicos enquanto Hegazy(2015) conseguiu realizar o monitoramento da mancha urbana no Egito e observar a diminuição da área agricultável no país.

As aplicações ambientais variam de detecção de mudanças na vegetação natural encontrando focos de queimadas e desmatamento (projetos mantidos pelo INPE são referência), o monitoramento em tempo real da saúde e evolução de uma determinada plantação é o foco de trabalho de diversas empresas, assim como o estudo de áreas de risco geológico através das mais diversas fontes de dados.

### 1.3 A LUZ NOTURNA

Um dos primeiros sinais observados em uma cidade que se moderniza (adensamento populacional, aumento de atividade econômica e surgimento de problemas sociais decorrentes da urbanização) são seus contrastes com o ambiente rural, e algo que se destaca quase que imediato na paisagem é a infraestrutura de iluminação, com exceção de falhas ou áreas de vegetação remanescente, um centro urbano modernizado nunca está na escuridão. A eletricidade e a iluminação são usadas como sinônimo da urbanização, de Monbeig (2004, p 67) apontando a construção de diversas centrais hidrelétricas e termoelétricas até Mario de Andrade (1922, p 97) apontando a ruptura que a nova São Paulo tem com seus avanços tecnológicos:

A companhia canadense rapidamente se deu conta de que a capital e sua periferia poderiam consumir mais eletricidade, iniciando em consequência seus amplos trabalhos de construção de barragens na área da Serra do mar. Seus engenheiros conceberam e realizaram um grandioso projeto de represar a pouca distância de São Paulo alguns dos rios nascidos no alto da Serra do Mar e fluindo para o Oeste.

(COSTA, 1932 apud MONBEIG 2004, p.67)

Mas os homens passam sonambulando...  
E rodando num bando nefário,  
vestidas de eletricidade e gasolina.  
as doenças jocotoam em redor...  
Grande função ao ar livre!  
Bailado de Cocteau cornos barulhadores de Russolo!  
Opus 1921  
(MÁRIO DE ANDRADE 1922, p.97. Trecho do poema Paisagem nº2)

A associação entre a luz noturna e a urbanização é forte e sempre presente, sendo assim, diversos estudos e trabalhos buscam entender essa relação tão intrínseca.

Grande parte das pesquisas baseadas em luz noturna usaram como base o sensor DMSP-OLS (Defense Meteorological Satellite Program - Operational Linescan System), sendo as informações de luz um subproduto das informações meteorológicas (ADDISON e STEWART 2015), o satélite tinha como objetivo original para observar nuvens iluminadas pela lua e acabava por coletar dados urbanos.

Addison e Stewart (2015) também discutiram sobre o uso da luz noturna como proxy para estimar variáveis econômicas. Ao analisar as correlações dos dados obtidos pelo DMSP-OLS os autores concluíram que o uso das imagens DMSP só podem indicar com precisão o dado de uso elétrico da área observada, e que os dados de população ou crescimento populacional não são precisos o suficiente, enquanto os dados de PIB e outras sub-variáveis econômicas tem relação positiva com a luz, porém sem grande grau de confiança, envolvendo outros fatores. A explicação para essa baixa correlação estaria nas características das imagens DMSP-OLS, que contém muito ruído e baixa resolução espacial, os autores, porém se mostram esperançosos com as imagens do VIIRS/DNB, já que o satélite tem melhor resolução espacial e uma sensibilidade mais avançada que seu antecessor, não saturando a imagem com o brilho de grandes centros urbanos. Ainda sim diversos estudos usando o DMSP-OLS marcaram e influenciam ainda hoje o desenvolvimento da pesquisa em Luz Noturna.

Elvidge et al (1997) conseguiu observar com sucesso as relações entre PIB, consumo elétrico e população total de determinado país, com a sua área total iluminada durante a noite. Usando imagens DMSP-OLS Elvidge criou um limiar para encontrar a área total iluminada (evitando assim luzes não relacionadas com ambiente urbano e coletadas em noites de pouca luz lunar) e o dado obtido teve correlação positiva entre as variáveis e a área iluminada.

Se valendo de dados multitemporais do DMSP-OLS Zhang e Ceto (2011) estudaram os processos de urbanização de diversos centros urbanos e concluíram que os dados de luzes noturnas podem ser eficazes para entender melhor os processos urbanos em um mundo cada vez mais urbanizado, sendo uma alternativa ao mapeamento de feições além das bases de dados já consolidadas.

Bhandari e Roychowdhury (2011) encontrou forte correlação entre a intensidade luminosa, obtida pelo DMSP-OLS, e atividade econômica, estudando especialmente a divisão entre os setores primário, secundário e terciário da Índia,

assim como as regiões metropolitanas e cidades maiores se relacionam com o resto dos dados. Os resultados são interessantes pois mostram que os estudos de luz noturna podem ser eficazes em países em desenvolvimento, como a Índia, e podem auxiliar com sucesso nas estimativas de variáveis socioeconômica de países com infraestrutura de pesquisa de campo menos robusta (e de mais difícil acesso), sugerindo sua utilidade para estudos urbanos com foco no Brasil.

A relação entre luz noturna, riqueza e saúde foi estudada por Ebener et al (2005) usando imagens do DMSP-OLS, que apresenta a já conhecida relação entre PIB e expectativa de vida e propõe que identificando as regiões mais pobres de uma determinada região, seria possível planejar políticas públicas focadas nas populações mais vulneráveis dessa região, apresentando as medições de luz como possível ferramenta de planejamento, já que muitas vezes os dados de áreas mais pobres acabam sendo mascarados pela falta ou até mesmo ausência de dados que medem o PIB das pesquisas de PIB.

Esse mascaramento de regiões menos abastadas também é apontado por Sicsú e Crocco (2003) sobre a dificuldade de se obter informações de PIB em nível municipal, variável quase sempre indisponível para a maior parte dos municípios do Brasil assim como as diferentes metodologias e mensuração.

A relação entre o brilho de uma cidade e seu gasto energético foi estudado por Filho et al (2004) ao pesquisar sobre os impactos que a crise elétrica de 2001 teve sobre o Distrito Federal. Filho et al conseguiu detectar através de imagens de luz noturna do DMSP-OLS os efeitos da política governamental de redução de consumo elétrico residencial e de infraestrutura urbana, demonstrando uma forte correlação entre luz e energia.

Elucidar as relações entre luz e PIB pode se tornar uma forte ferramenta para órgãos de planejamento, especialmente devido a alta temporalidade de coleta das imagens de luz noturna, considerando que muitas vezes os censos nacionais são custosos e tem baixa frequência de coleta, e como países em desenvolvimento ou subdesenvolvidos (BHANDARI e ROYCHOWDHURY. 2011) tem sistemas de coletas imprecisos. Um exemplo disso é o adiamento do Censo Demográfico no Brasil de 2020 para 2021 em decorrência da pandemia de Covid-19 em 2020.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> IBGE. “Censo 2020 adiado para 2021” disponível em <<https://www.ibge.gov.br/novo-portal-destaques/27161-censo-2020-adiado-para-2021.html>>. Acesso em 27/07/2020

Confirmando a correlação positiva, seria possível estimar com sucesso diversas variáveis socioeconômicas como PIB, população ou consumo elétrico e a partir dessas bases chegar em resultados de variáveis mais complexas e estimativas mais aproximadas da realidade.

Um dos contrapontos em trabalhar com luz noturna são os diversos ruídos causados pela atmosfera e superfície: queimadas, tempestades, nuvens, queima de gases e espalhamento na superfície devem ser corrigidos ou levados em conta ao usar esse tipo de dado.

A minimização do ruído causado pela queima de gases pode ser feita através do estudo prévio dos locais que esse fenômeno é comum, o mesmo pode ser feito com o ruído causado por queimadas (o Brasil tem uma grande presença de queimadas, naturais ou não, mas a distribuição do dado pode ser encontrada em bancos de dados governamentais como o do INPE).

Os ruídos causados por tempestades, nuvens e outros fenômenos meteorológicos são reduzidos com sucesso ao obter a média do pixel entre imagens coletas em diferentes datas. É importante, porém se atentar as fases da lua no local, pois como Elvidge et al (2017) apontaram, a luz da lua é suficiente para iluminar nuvens e até relevo, se tornando um fator importante na coleta do dado.



**FIGURA 4**– Imagem noturna do Estado de São Paulo obtida pelo sensor VIIRS em 2014.

O DMSP-OLS foi de grande importância para o Sensoriamento Remoto e fundamentou quase todos os estudos de luzes noturnas e sua distribuição temporal entre 1992 e 2013 abrange importantes momentos urbanos em diversos locais. O

VIIRS/DNB, o sucessor do DMSP-OLS, tenta solucionar os diversos problemas atrelados ao satélite pioneiro.

O VIIRS, sensor a bordo do Suomi NPP, lançado em 2012 tem como função principal, assim como o DMSP, ser um satélite meteorológico capaz de observar nuvens durante a noite, e como subproduto é possível observar as cidades iluminadas. Enquanto o primeiro tinha resolução radiométrica de 6 bits de níveis de cinza (levando os centros urbanos a facilmente saturarem o dado do pixel) e resolução espacial de 2.7 quilômetros (HUANG, 2014), o segundo apresenta uma resolução radiométrica de 16 bits e resolução espacial muito mais fina com 742 metros (ELVIGDE et al 2017).

Assim, o dado do VIIRS se mostra com um potencial muito grande para substituir com sucesso o descontinuado DMSP-OLS, oferecendo um dado mais fino com mais precisão radiométrica e espacial (ELVIDGE et al 2013).

Comparados com os estudos usando os dados obtidos pelo DMSP-OLS, as pesquisas sobre o VIIRS-DNB ainda se encontram em menor número e em desenvolvimento.

Guo et al (2015) estudaram as relações entre o dado obtido pelo VIIRS e o coeficiente de impermeabilização (toda área que a água não consegue infiltrar devido interferência humana) em diversas cidades na China. Os resultados obtidos concluíram que as luzes noturnas podem ser usadas para estimar a cobertura impermeável, especialmente combinando o dado com outras variáveis para atingir um grau ainda maior de certeza.

A qualidade do dado do VIIIRS/DNB foi testada por Chen e Nordhaus (2015) ao estudar a relação do dado de luz com variáveis socioeconômicas na África subsaariana. Os autores concluíram que a luz noturna prevê dados de população e PIB especialmente bem em países com baixos índices socioeconômicos (muito útil devido a carência de infraestrutura de pesquisa que também ocorre nessas áreas). Apontaram também os possíveis erros que o dado do VIIIRS apresenta e que seu uso é potencializado quando combinado com outras variáveis de luz

Chen e Nordhaus (2019) usaram os dados do VIIRS para estimar a variação do PIB dos estados dos Estados Unidos assim como as regiões metropolitanas estadunidenses. Os resultados que os autores encontraram demonstraram uma forte correlação entre luz noturna e a distribuição do PIB dos estados, e uma relação

ainda mais positiva analisando as regiões metropolitanas, provavelmente devido a concentração de serviços e indústrias agregadores de valor localizadas no meio urbano.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 MATERIAIS UTILIZADOS

A pesquisa se utilizou de dados estatísticos fornecidos por diversos órgãos de análise, assim como dados rasters disponibilizado pelo NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), além de usar softwares de SIG (Sistema de Informação Geográfica) como o ArcGis. As especificidades de cada material são as seguintes:

#### 2.1.1 DADOS ESTATÍSTICOS

Os dados referentes a população (2016), PIB (2016), renda per capita (2010), frota de veículos (2016), agências bancárias (2016), consumo elétrico (2016), grau de urbanização (2016) e IDHM (2016) foram adquiridos através do portal IMP (Informações dos Municípios Paulistas), uma plataforma mantida pela Fundação SEADE (Sistema Estadual de Análise de Dados) que concentra as informações divididas por município do Estado de São Paulo.

A escolha desses indicadores se deu por dois motivos:

→ as variáveis podem (em diferentes graus) ser facilmente observadas no meio urbano, e podem constituir como um possível limiar para dividir e classificar o tamanho do município e a intensidade de seu desenvolvimento urbano. É esperado que uma cidade predominantemente rural tenha, por exemplo, uma frota de veículos menos numerosa que uma cidade que tenha o setor de serviços altamente ativo

→ para averiguar a validade do dado de luz noturna é preciso testar sua relação com as mais diversas variáveis e verificar suas relações e quais outros fatores podem influenciar na análise.

Dados vetoriais contendo os limites dos municípios foram obtidos do site do IBGE, que disponibiliza shapefile de todas as cidades do Brasil divididas por estado.

### 2.1.2 DADOS DO RASTER

O raster que traz as informações sobre luz noturna foi obtido através da plataforma do NOAA. A bordo do satélite Suomi NPP (*Suomi National Polar-orbiting Partnership*) está o sensor VIIRS (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*) capaz de capturar imagens noturnas com resolução espacial de 750m (Lin e Wolfe, 2017).

As imagens do VIIRS estão disponíveis na plataforma do NOAA<sup>2</sup> de abril de 2012 até abril de 2019. A publicação dos dados subsequentes do sensor foi transferida para o Instituto Payne<sup>3</sup> pertencente a uma universidade pública do Colorado e os dados atualizados podem ser acessados sem custo.

O raster escolhido foi o mosaico anual de 2016, disponibilizado pela equipe do NOAA através da média de pixels das melhores imagens do ano, que excluem o impacto das luzes efêmeras. As correções atmosféricas também foram realizadas pela equipe do NOAA, incluindo a remoção de nuvens, espalhamento luminoso e correção para que todo fundo não iluminado tivesse valor equivalente a zero. O ano de 2016 é propício pois é o ano de referência de grande parte dos dados estatísticos que baseiam as vulneráveis abordadas (com exceção do dado da Renda Per Capita de 2010), assim assegurando uma análise com o menor impacto de ruído (CHEN e NORDHAUS 2019) e a menor diferença temporal, melhorando a precisão do cruzamento dos dados.

### 2.1.3 SOFTWARES UTILIZADOS

Os processamentos de dados raster e vetoriais, assim como os mapas gerados, foram feitos utilizando o Sistema de Informação geográfica (SIG) ArcGis 10.5, usando especificamente a caixa de ferramentas *Spatial Analyst Tools*.

O Excel 2016 foi utilizado para visualizar os dados e gerar os gráficos presentes na seção de Resultados e Discussão.

---

<sup>2</sup> [https://www.ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download\\_dnb\\_composites.html](https://www.ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download_dnb_composites.html)

<sup>3</sup> [https://eodata.mines.edu/download\\_dnb\\_composites.html](https://eodata.mines.edu/download_dnb_composites.html)

## 2.2 MÉTODOS UTILIZADOS

A imagem escolhida do VIIRS/DNB é a do Tile 5 (00N/060W) e engloba toda a América do Sul, então foi necessário seu recorte para os limites do Estado de São Paulo, disponíveis pela plataforma do IBGE<sup>4</sup>.

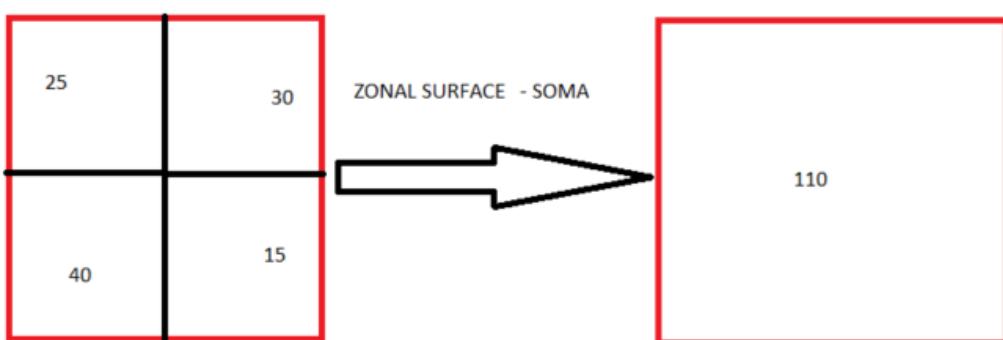
Com o raster recortado o recurso do Arcgis 10.5 *Zona Statistics* especificado para Soma foi usada para obter os dados de brilho de cada município.

O *Zonal Statistics* funciona calculando diversas estatísticas para um determinado raster usando uma máscara pré-estabelecida pelo usuário (no trabalho a máscara escolhida foi a fronteira municipal dos municípios de São Paulo).

O método estatístico escolhido foi o de Soma, que realiza a somatória de todos os valores dos pixels internos na área, estabelecendo que o valor da área de estudo é equivalente ao valor agregado do brilho. A somatória foi usada pois os municípios podem ter padrões diferentes de distribuição luminosa, e a somatória homogeneiza o resultado da área considerando o potencial total de luz do município.

Ainda assim não é um método adequado perfeitamente para um estado como São Paulo devido ao formato inconstante dos limites municipais. Um exemplo hipotético envolve uma cidade que tenha uma distribuição urbana mais espalhada, pode acabar por apresentar valores de brilho parecidos com uma cidade que tenha uma urbanização concentrada. Os valores podem ser próximos, mas as cidades acabam por apresentar processos distintos devido a sua morfologia urbana.

Um exemplo do método em prática é a Figura 4 que explica visualmente o processo:



**FIGURA 5**– Representação gráfica do método usado. Em vermelho os limites do município e em preto os limites do pixel. Figura produzida pelo autor.

<sup>4</sup> <https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais>

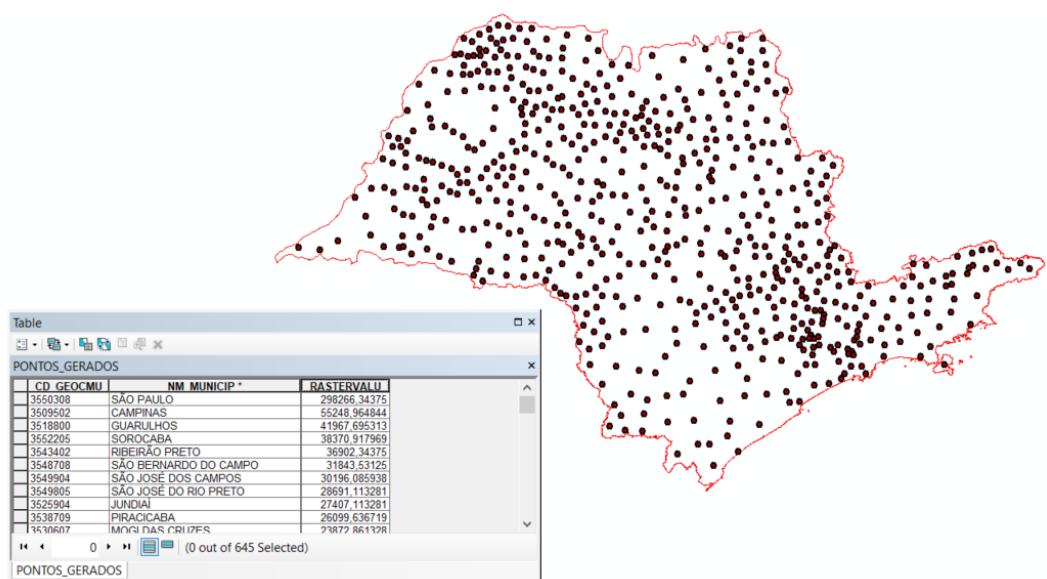
Com o raster gerado, é preciso obter os dados numéricos de cada mancha, para isso duas ferramentas devem ser usadas: Feature to point para que o centroide de cada município seja encontrado (mantendo na tabela de atributos o seu nome ou o seu código informado pelo IBGE).

Com o arquivo de pontos é possível usar o Extract Values to Points e obter um arquivo vetorial de pontos com uma tabela de atributos com o valor de brilho para cada município. Como o processamento Zonal Statistics gera manchas de valor constante dentro da área da cidade, os pontos informam com precisão o valor do raster para o município em questão.

Exportando a tabela de atributos é possível organizar os dados e anexar com as outras variáveis, criando uma tabela única com todas as informações do município necessárias para as análises.

É a partir das tabelas e combinando as diferentes variáveis que se obteve as equações de regressão, cujo valor resultante é usado como indicativo de correlação entre as variáveis sócio econômicas analisadas. A produção dos mapas com base nessas variáveis usou do método de Progressão Geométrica para melhor observar a distribuição espacial.

Os gráficos muitas vezes tiveram que ter sua escala adaptada devido a dominância da cidade de São Paulo comparada com dados dos outros municípios. Os gráficos que contém a informação brilho (eixo x) estão em escala logarítmica e outros dados como PIB e População também tiveram que ser modificados para a escala logarítmica para não prejudicar a visualização da localização das outras cidades



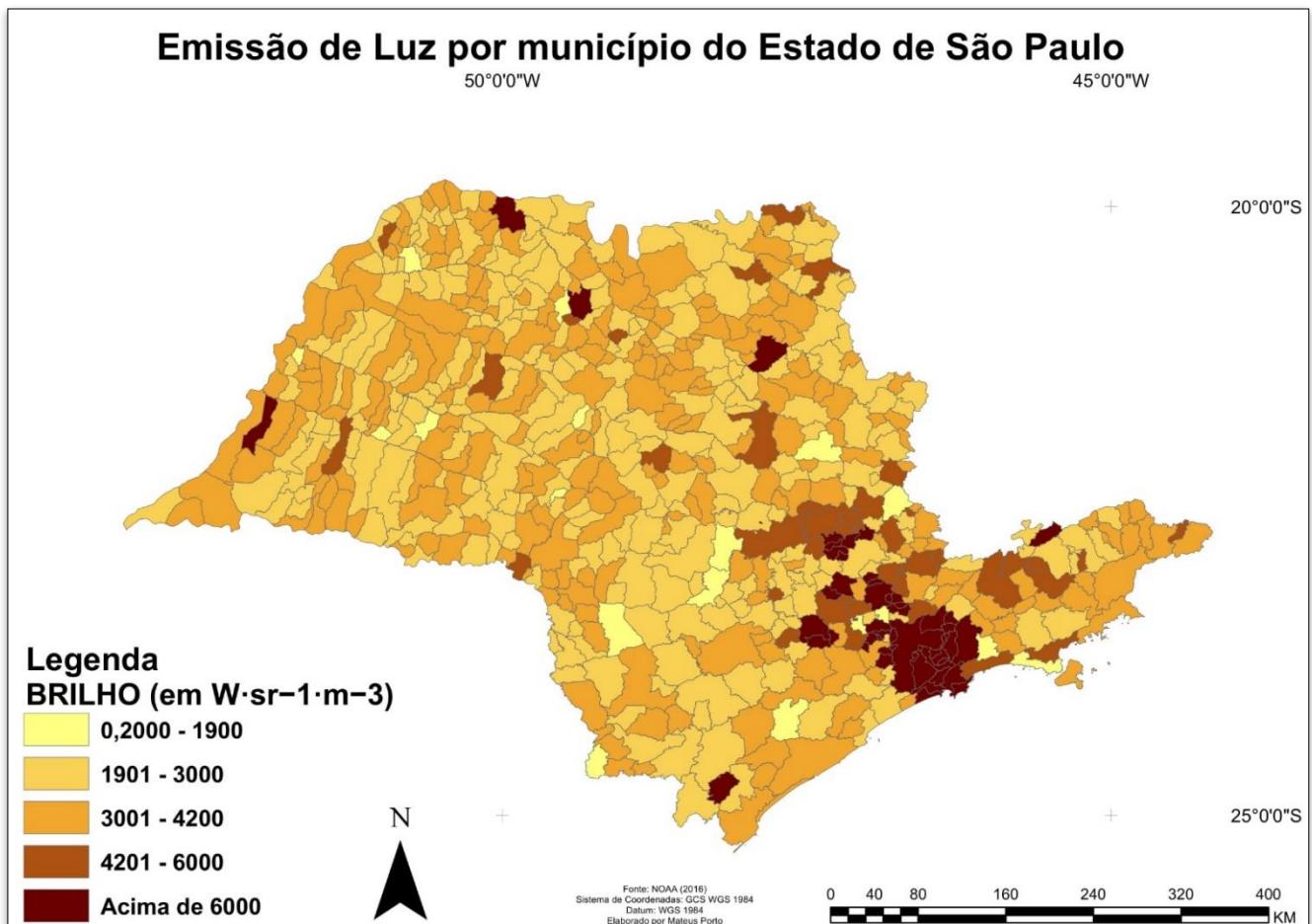
**FIGURA 6** – Resultado dos processamentos no software de SIG.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 LUZ

O mapa (FIGURA 6) contém as informações que o método Zonal Statistics calculou com base na soma do valor de todos os pixels que se estendem dentro do limite de cada município. É possível observar o forte brilho que a região metropolitana emite, assim como as cidades maiores do interior paulista (Ribeirão Preto, São Carlos, São José do Rio Preto).

Regiões como o vale do Ribeira (extremo sul do estado), assim como as cidades tradicionalmente menores do sul e sudoeste de São Paulo, cujo setor produtivo dominante ainda é o primeiro setor, tem um nível de radiação (seu valor é dado em watt por esferoradiano por metro quadrado ou  $W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2}$ ) muito inferior quando comparado com a mancha urbana dos arredores da capital, e demonstram grandes contrastes com as cidades maiores que pontuam o interior, se pondo como cidades satélites de centros regionais mais ativos.



**FIGURA 7** - Mapa temático de brilho total por município do Estado de São Paulo.

Ainda assim o Estado de São Paulo não tem nenhum município ou região sem infraestrutura luminosa destacável, apontando a alta atividade urbana que o estado apresenta, e as variáveis que influenciam esses processos vão ser mais bem analisadas nos próximos tópicos.

### 3.2 LUZ E POPULAÇÃO

A equação regressão encontrada comparando o valor de soa dos valores de Brilho dos pixels e o a População total de um dado município equivale a 0,9575, o que é considerado como uma correlação muito forte. A relação luz e população já foi investigada por autores como Elvidge (1997) e Ebener (2005). Ambos apresentaram forte correlação entre as variáveis nos seus estudos e a mesma co-dependencia foi encontrada para o Estado de São Paulo.

Os impactos demográficos da alteração populacional através de imigração também podem ser observados através das luzes noturnas, como demonstrou Chen (2020) ao prever a população migrante através de imagens do VIIRS, indicando que até mudanças de baixos valores populacionais e de curto intervalo de tempo podem ser detectadas através das luzes.

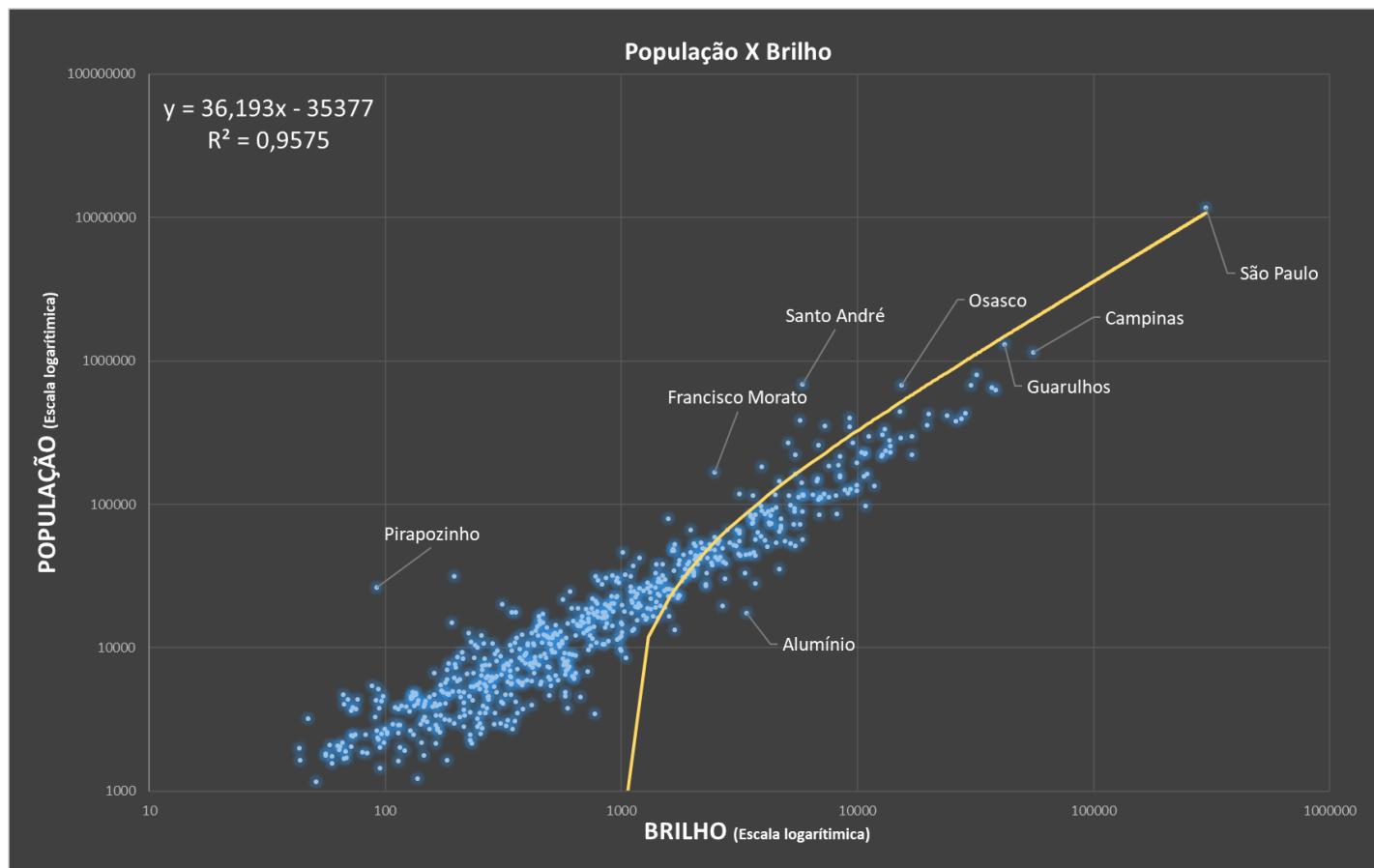
Ao observar o GRÁFICO 1 é possível observar municípios com valores que se destoam do conjunto de dados: São Paulo, Osasco, Santo André, Campinas e Guarulhos, quatro deles presentes na região metropolitana de São Paulo e todos estão entre os municípios mais populosos do estado (SEADE 2016). Não é surpresa ver que o município de São Paulo no extremo, sendo que é de longe a cidade mais populosa do estado e tem infraestrutura luminosa condizente com sua extensão.

O mapa (FIGURA 8) aponta bem a diferença entre o tamanho populacional de São Paulo e de outros municípios do estado, as únicas cidades que ultrapassam 1 milhão de habitantes são Campinas e Guarulhos, sendo esta última um município conturbado com a o nordeste da capital, contribuindo ainda mais para o alto índice luminoso da região.

Algumas cidades do interior despontam no mapa da FIGURA 8, sendo visivelmente discerníveis das suas vizinhas como São José do Rio Preto, Bauru,

Ribeirão Preto além da região metropolitana de Piracicaba. A concentração populacional desses centros urbanos se traduz em sua infraestrutura e influenciam em seu brilho noturno.

A posição no GRÁFICO 1 de Santo André é interessante devido ao seu contexto: a cidade apresenta uma população relativamente alta, mas um brilho noturno relativamente baixo (comparado com outras cidades de mesmo porte). A provável razão de seu posicionamento está na grande concentração urbana que o município apresenta na sua parte norte, enquanto a parte sul do município tem cobertura de vegetação remanescente que ocupa grande fatia do perímetro municipal. A dissonância entre urbano e natural é forte na cidade, e isso equilibra seu índice de luz noturna, que seria muito mais alto caso todo seu território fosse ocupado, mesmo que com menor densidade.



**GRÁFICO 1** – Equação de regressão quadrada entre as variáveis de Brilho e População.

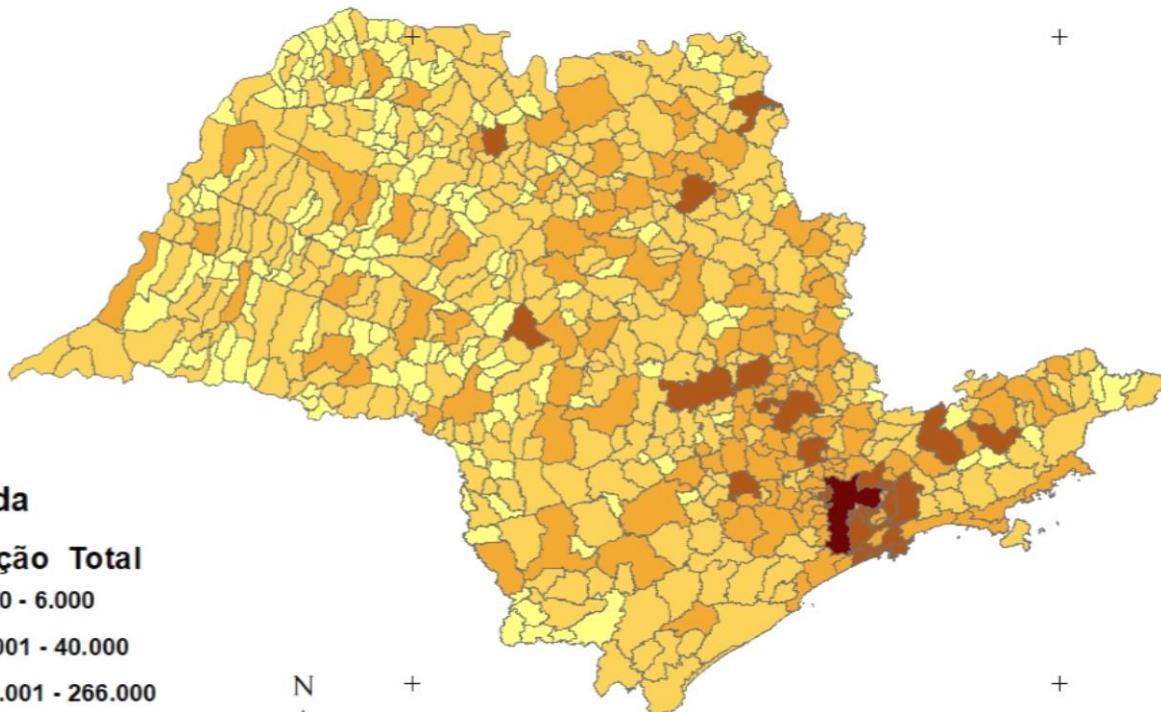
## População por município do Estado de São Paulo

50°0'0"W

45°0'0"W

+

20°0'0"S



**FIGURA 8** – Mapa da distribuição da variável população por município do Estado de São Paulo.

### 3.3 LUZ E PIB

O gráfico 2 de BRILHO X PIB tem muitas das características do gráfico 2 de BRILHO X POPULAÇÃO. Tendo o  $r^2$  muito alto, a relação entre o total de atividade econômica (PIB) e a intensidade luminosa em determinado município aparenta ser codependente e positiva;

O resultado é condizente com os estudos de Elvidge (1997), Doll et al (2006) e Bhandari e Roychowdhury (2011), que encontraram correlação positiva entre as variáveis PIB e luzes noturnas. Um dos principais pontos destacados por Bhandari e Roychowdhury (2011) era justamente aferir se a análise de luzes noturnas cabia para um país em desenvolvimento (Índia). Tantos os resultados de Bhandari e Roychowdhury quantos os encontrados na presente pesquisa confirmam a utilidade do dado de luz noturna para estimar o PIB em nível regional e para áreas de estudo ainda em desenvolvimento.

Com base nas imagens de luz noturnas provenientes do VIIRS, autores como Yu et al (2015) conseguiram avaliar os índices de pobreza (derivados do PIB das áreas de estudos) com sucesso em todo o território chinês, reforçando a correlação entre luzes e economia e suas potenciais análises.

Wang et al (2019) propuseram um mapeamento de PIB mundial em unidades de medidas de 1km<sup>2</sup> usando o VIIRS, e alcançou resultados positivos ao produzir um mapa que estima o PIB a nível mundial em uma escala de precisão alta. Os resultados encontrados possibilitaram até mesmo uma estimativa do coeficiente de Gini de cada país.

O mapa presente na FIGURA 9 demonstra bem como a região metropolitana de São Paulo e seus arredores concentram grande parte do PIB do estado. Ainda assim, alguns municípios se distinguem claramente no interior paulista: São José do Rio Preto, São Carlos, Bauru e Ribeirão Preto têm seus limites visíveis com as cidades com menor atividade econômica que os cercam.

As cidades médias do interior se desenvolveram, conforme já destacado, pela desconcentração das indústrias e empresas que migraram da capital paulista para o interior desde os anos 80 (Braga 2005). A maior parte delas já tinha população e infraestrutura elevada por terem sido centros regionais da monocultura cafeeira (Monbeig 1984) que influenciou o crescimento do estado por todo o século XX.

### PIB (Em mil reais correntes) x Brilho

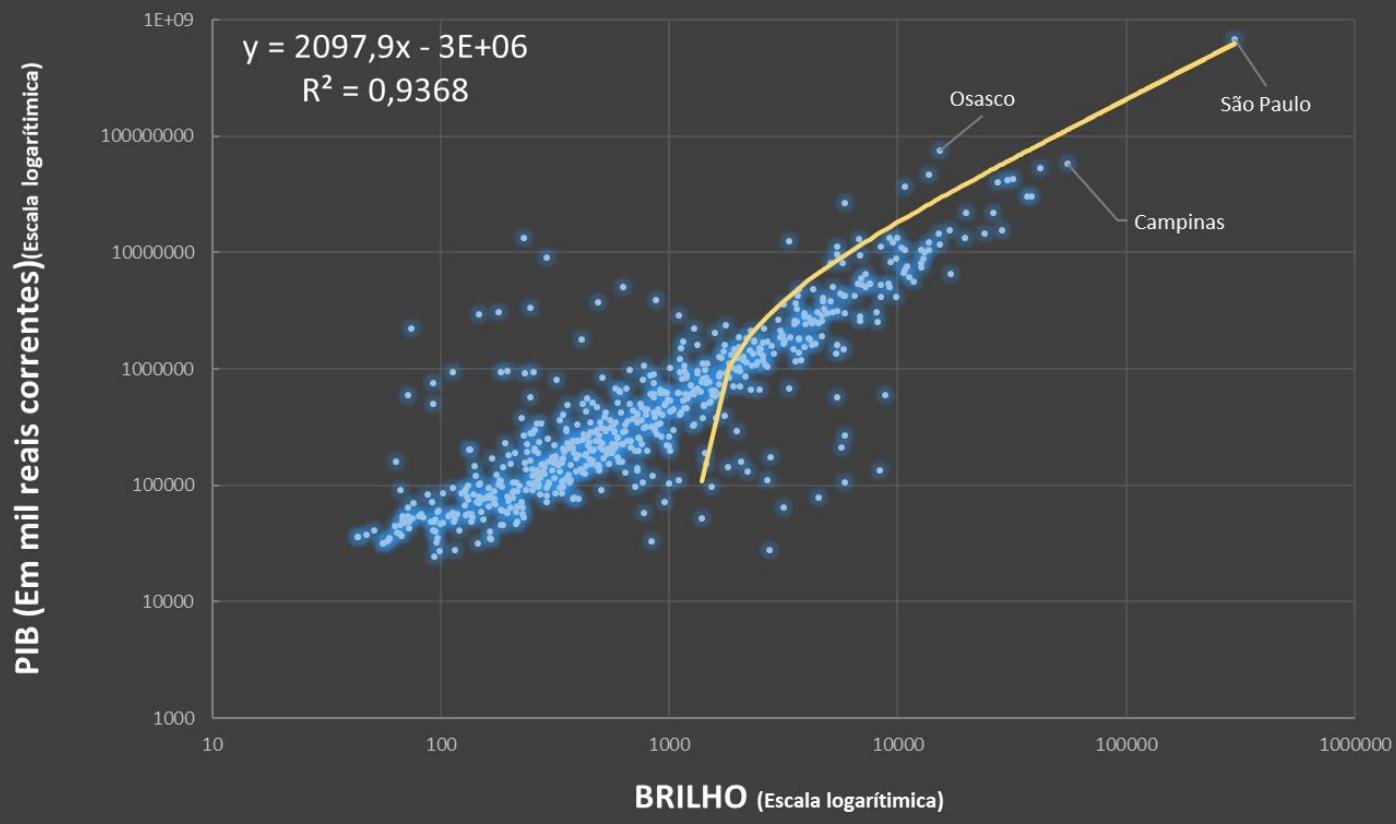


GRÁFICO 2 – Equação de regressão quadrada entre as variáveis de Brilho e PIB.

### PIB por município do Estado de São Paulo

50°0'0"W (Em mil reais correntes)

45°0'0"W

20°0'0"S

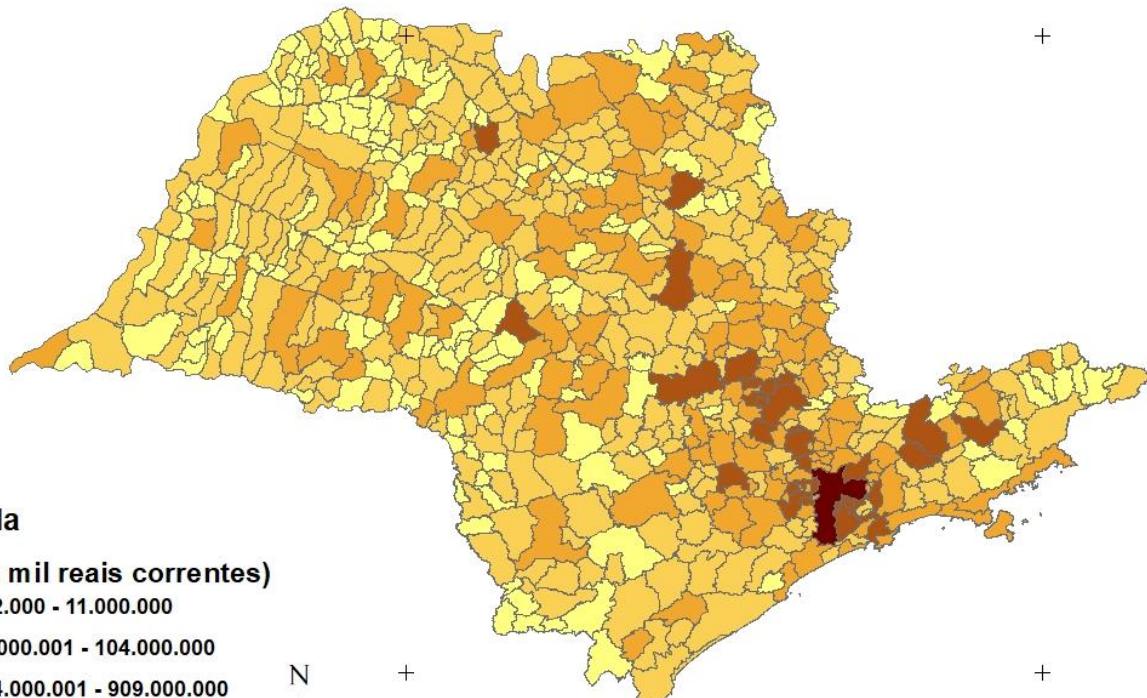


FIGURA 9 – Mapa da distribuição da variável PIB por município do Estado de São Paulo.

### 3.4 LUZ E RENDA PER CAPITA

Ao observar a forte correlação entre Luz e PIB e Luz e População, seria possível inferir que a intensidade de Luz também teria relação positiva com a Renda per capita de um dado município, porém tal relação se mostra negativa para o Estado de São Paulo.

O mesmo resultado negativo foi observado por Ebener (2005) ao estudar a relação entre o PIB per capita e a luz noturna em diversos países. O autor usou de modelos de previsão para prever a renda individual, mas as estimativas são aproximadas apenas até determinado limite, e após esse patamar, começam a subestimar o valor real. A explicação que Ebener propõe para o fenômeno está no fato de que o desenvolvimento da infraestrutura luminosa está ligado ao desenvolvimento do PIB per capita até certo ponto, pois a infraestrutura para de espelhar necessariamente o aumento de renda.

A explicação de Ebener (2005) parece ser verdadeira, apesar de que no caso dos municípios paulista, outros fatores também expliquem a correlação negativa. Um fenômeno muito comum na região metropolitana é a migração pendular, onde um cidadão se locomove da sua cidade de origem para trabalhar em outro município. Spadon (2019) aponta que os grandes fatores por trás dessa transição de trabalhadores envolvem principalmente a distância e o PIB da cidade destino.

Resultados positivos foram encontrados por Yu et al (2015) ao usar um Índice de Pobreza Integrado (IPI) ao invés de adotar a renda per capita diretamente na correlação com as luzes noturnas, é possível que a correlação IPI X Brilho apresente resultados distintos para São Paulo do que os encontrados em Renda per capita X Brilho.

São Paulo capital está conectada com as cidades vizinhas através de rodovias, linhas de trem e ônibus, permitindo que contingentes de pessoas possam trabalhar na cidade e residir em outra. Alguns municípios que se destacam com alta renda no GRÁFICO 3 são Valinhos, Vinhedo e Santana de Parnaíba e são locais com grandes condomínios de alta renda de pessoas que deixaram de habitar na capital. O inverso também parece ser verdade, com Guarulhos e Osasco tendo uma

renda per capita bem abaixo de outras cidades da região metropolitana, mas ainda sim sendo cidades-fonte de grande parte dos trabalhadores do município central.

Já São Caetano do Sul, líder tanto nos valores de renda per capita quanto no IDHM do estado, concentra diversas centrais de empresas e filias em seu centro econômico, atraindo diversos trabalhadores de municípios vizinhos. Seu PIB não é maior que os das cidades vizinhas, mas seu PIB per capita supera drasticamente a maioria da região metropolitana, indicando uma forte concentração de renda na cidade.

Quanto as cidades médias, nenhuma se destacam drasticamente na distribuição do GRÁFICO 3, mas são muito visíveis no mapa presente na FIGURA 10. É possível que as rendas dessas cidades que tem sua atividade econômica ligada ao processo de desindustrialização na capital (Braga, 2005) não tiveram um crescimento suficiente para alcançar os índices dos municípios da região metropolitana de São Paulo, mas se desenvolveram o bastante para superar a média das suas cidades vizinhas e se destacarem regionalmente como polos de riqueza.

A questão da renda X brilho, assim como o IDH precisa de uma investigação mais cuidadosa, pois a distribuição de riqueza do município não parece ser um fator forte o suficiente para influenciar a infraestrutura luminosa, como previu Ebener (2005). Assim a Luz Noturna não é um indicador recomendável para estimar a renda per capita na maioria dos casos.

### Renda per Capita x Brilho

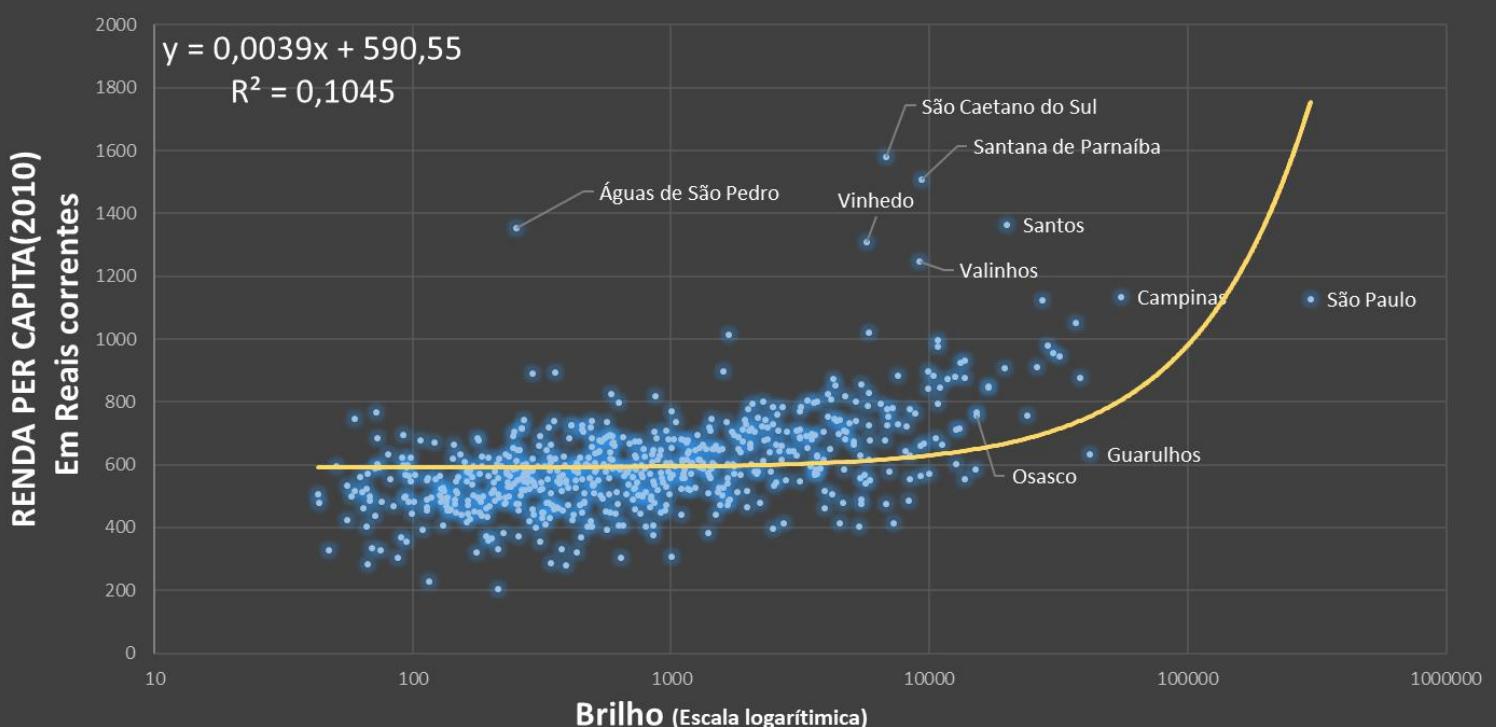


GRÁFICO 3 – Equação de regressão quadrada entre as variáveis de Brilho e Renda Per Capita.

### Renda per Capita por município do Estado de São Paulo

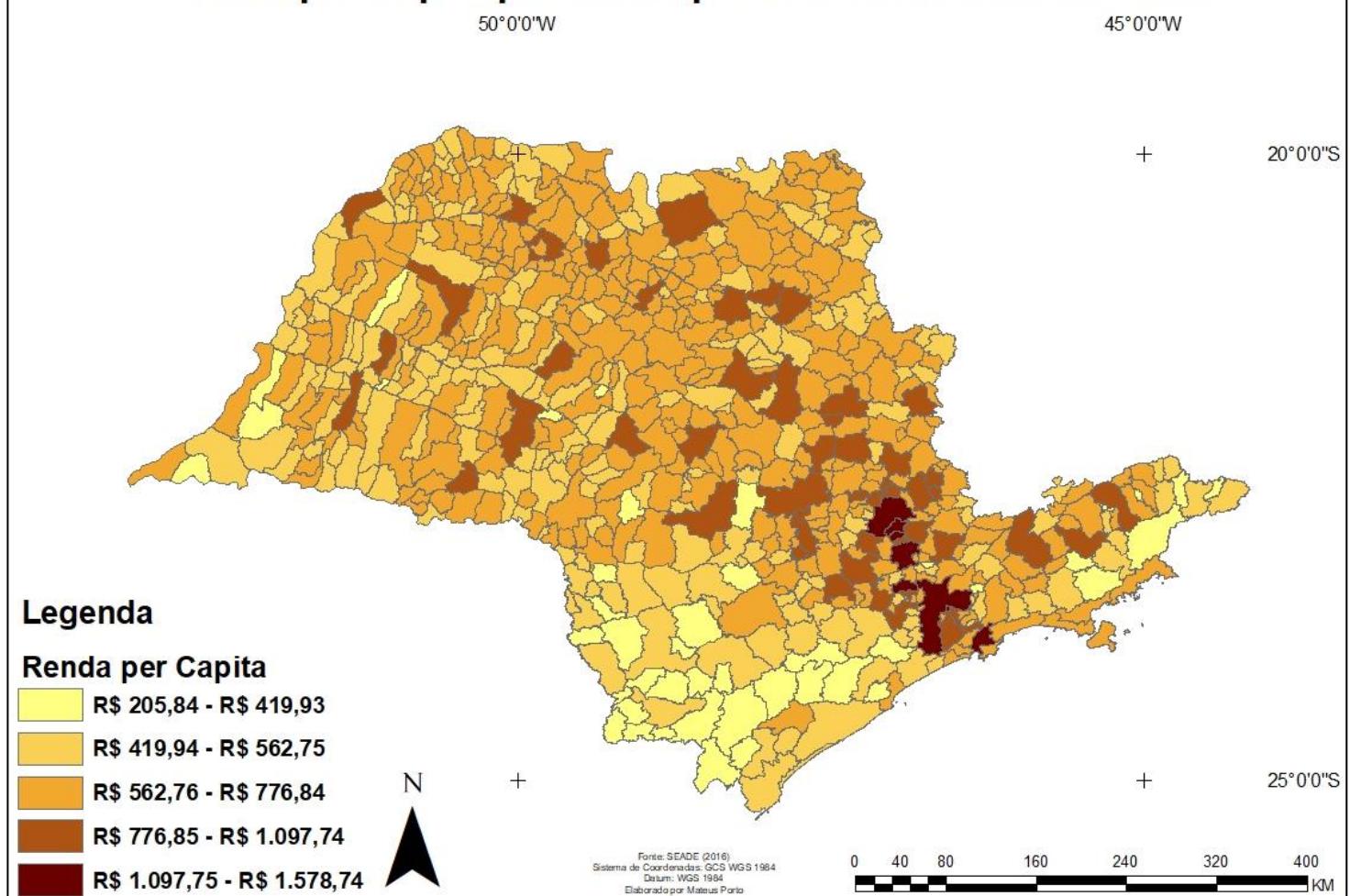


FIGURA 10 – Mapa da distribuição da variável Renda Per Capita por município do Estado de São Paulo. 38

### 3.5 LUZ E FROTA DE VEÍCULOS

Shi et al (2015) teorizou que regiões com maior população, maior PIB e infraestrutura de transporte mais avançada tem uma maior produção e consumo de bens, tendo assim maior transporte de mercadoria e a partir dessa análise conseguiu estimar, usando imagens do VIIRS, o total de mercadorias transportadas para a China.

O Estado de São Paulo tem um sistema rodoviário bem desenvolvido, e é por essa via que a maior parte da distribuição de mercadorias ocorre. Mesmo dentro dos centros urbanos, as cidades têm grandes obras de infraestrutura para receber e abastecer veículos de transporte rodoviário. A capital São Paulo tem tido o carro como grande ator da formulação de suas políticas públicas desde o decréscimo (influenciado pelo governo estadual) do transporte por bondes a partir da década de 1920 (Rolnik e Klintowitz, 2011) e o carro e o caminhão assumiram o foco das obras urbanas.

Esse papel principal se traduz no espaço é observável até do espaço. Observando a FIGURA 4 que mostra uma tomada noturna do Estado de São Paulo é possível inferir por onde passam as principais rodovias da região através dos trilhos luminosos que cortam o estado.

O tamanho da frota total de veículos se torna uma variável interessante para estudo, já que seu valor provavelmente é relativo ao seu principal padrão de transporte, assim, cidades com melhor transporte público de massa deveriam ter uma frota total menor do que aquelas que não apresentam boa infraestrutura de transporte.

A equação de regressão exibida no GRÁFICO 4 demonstra a correlação positiva entre o brilho e a frota total (soma de todos os veículos no município, como carros, motocicletas, caminhões e ônibus), assim a intensidade de luzes noturnas pode se tornar uma ferramenta útil para estudos urbanos focados em mobilidade, já que permite estimar o tamanho da frota local.

Uma correlação baixa ou nula permite estipular que a área estudada apresenta melhor mobilidade urbana que uma que apresente alta correlação, o mapa presente na FIGURA 11 aponta quais cidades contém as maiores frotas do estado de São Paulo.

## Frota de Veículos X Brilho

FROTA DE VEÍCULOS (Escala logarítmica)

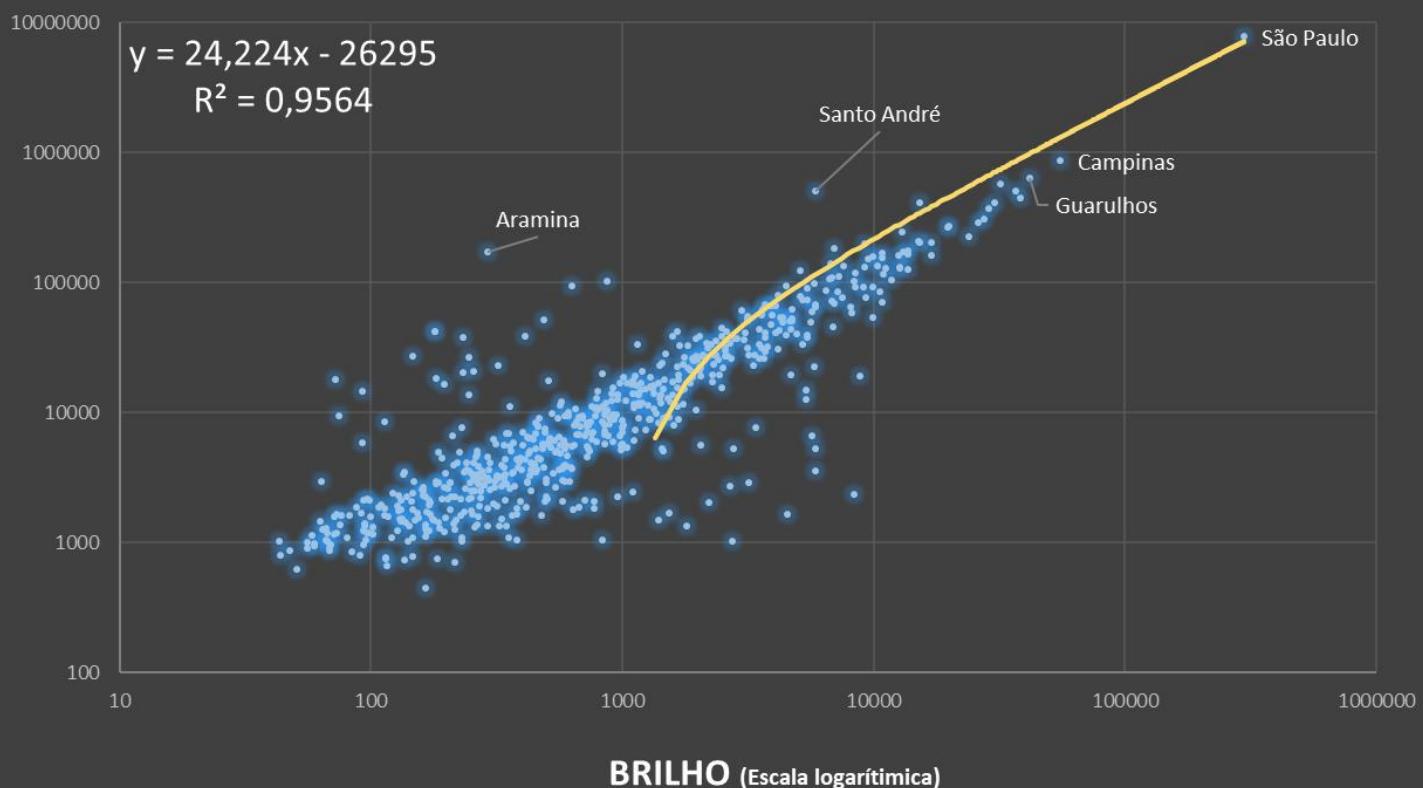


GRÁFICO 4 – Equação de regressão quadrada entre as variáveis de Brilho e Frota de veículos total.

## Frota de veículos total por município do Estado de São Paulo

50°0'0"W

45°0'0"W

20°0'0"S

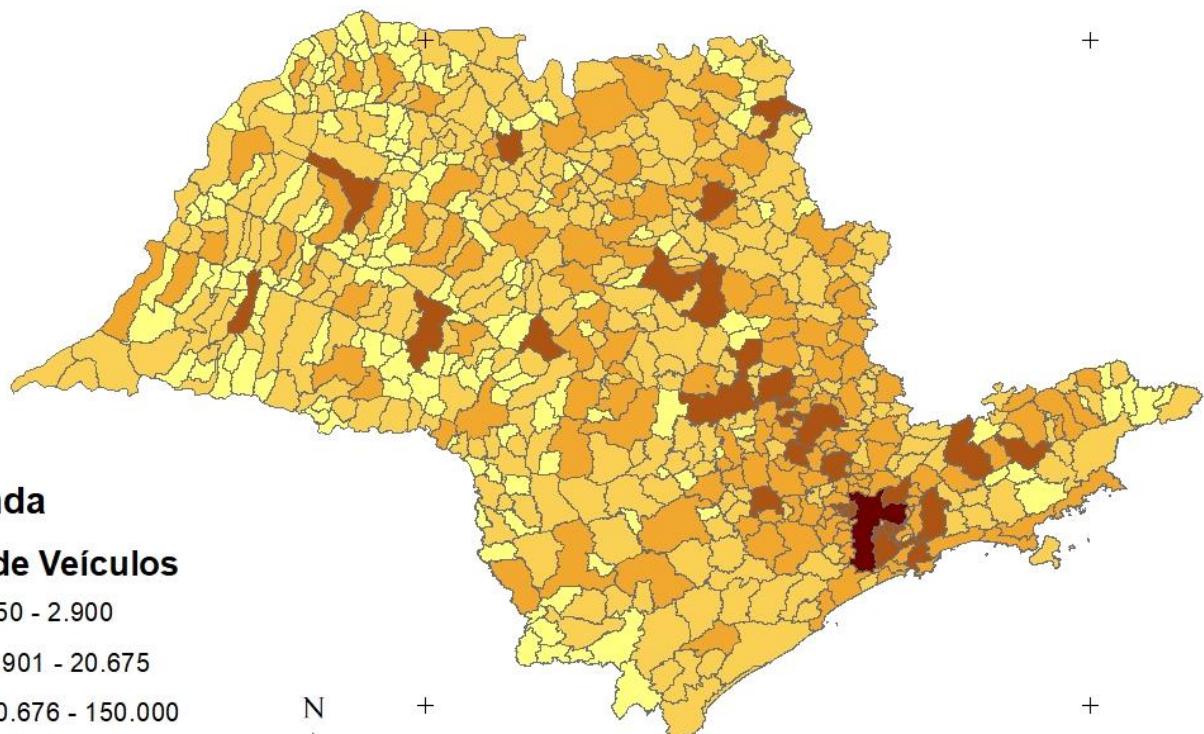


FIGURA 11 – Mapa da distribuição da variável Frota Total de Veículos por município do Estado de São Paulo.

### 3.6 LUZ E CONSUMO ELÉTRICO

A correlação entre luzes noturnas e consumo energético já foi profundamente estudada com as imagens DMSP-OLS e mais recentemente com as imagens VIIRS-DNB. Um estudo pioneiro foi feito por Elvidge et al (1997) que encontrou correlação forte entre a área total iluminada de um país com seu gasto energético.

Um centro urbano necessita de energia elétrica para sua população e para sua infraestrutura se manterem, essa relação foi estudada profundamente através dos estudos de Filho et al (2004) que observou os efeitos da política pública de redução de consumo elétrico através de imagens do DMSP-OLS no Distrito Federal durante a crise elétrica de 2001. A conclusão positiva dos autores demonstra como as luzes noturnas podem funcionar como medidor empírico da eficácia de políticas públicas relacionadas ao sistema energético.

O consumo elétrico segue uma distribuição muito parecida com a do gráfico de população, uma conclusão lógica possível é de se estimar o consumo elétrico a partir dos valores populacionais, porém outros fatores podem influenciar no consumo elétrico e consequente brilho de determinada área, assim como crises de emergência pública (Filho et al 2004) ou conflitos militares (JIANG et al, 2017).

Outro fator possível envolve o contexto do centro urbano alvo, uma observação que se destaca é o alto índice de consumo elétrico da cidade de Alumínio (visível no GRÁFICO 5), que fica na região metropolitana de Sorocaba. Seu gasto elevado está ligado a presença da Companhia Brasileira de Alumínio, responsável pela maior parte dessa parcela de energia consumida.

O índice  $r^2$  elevado confirma os resultados encontrados na literatura e indica a forte correlação entre luz e consumo, porém, o uso da variável em estimativas deve levar em conta as particularidades do local estudado ao gerar uma estimativa, como o município de Alumínio e Cubatão demonstram no GRÁFICO 5, porém em cidades que não tenham plantas industriais extensas as estimativas com base nas luzes noturnas podem ser eficazes e precisas.

### Consumo de Energia Elétrica - Total (Em MWh) x Brilho



GRÁFICO 5 – Equação de regressão quadrada entre as variáveis de Brilho e Consumo de Energia Elétrica (EM MWh).

### Consumo elétrico por município do Estado de São Paulo

50°0'0"W (Em Megawatt-hora ou MWh)

45°0'0"W

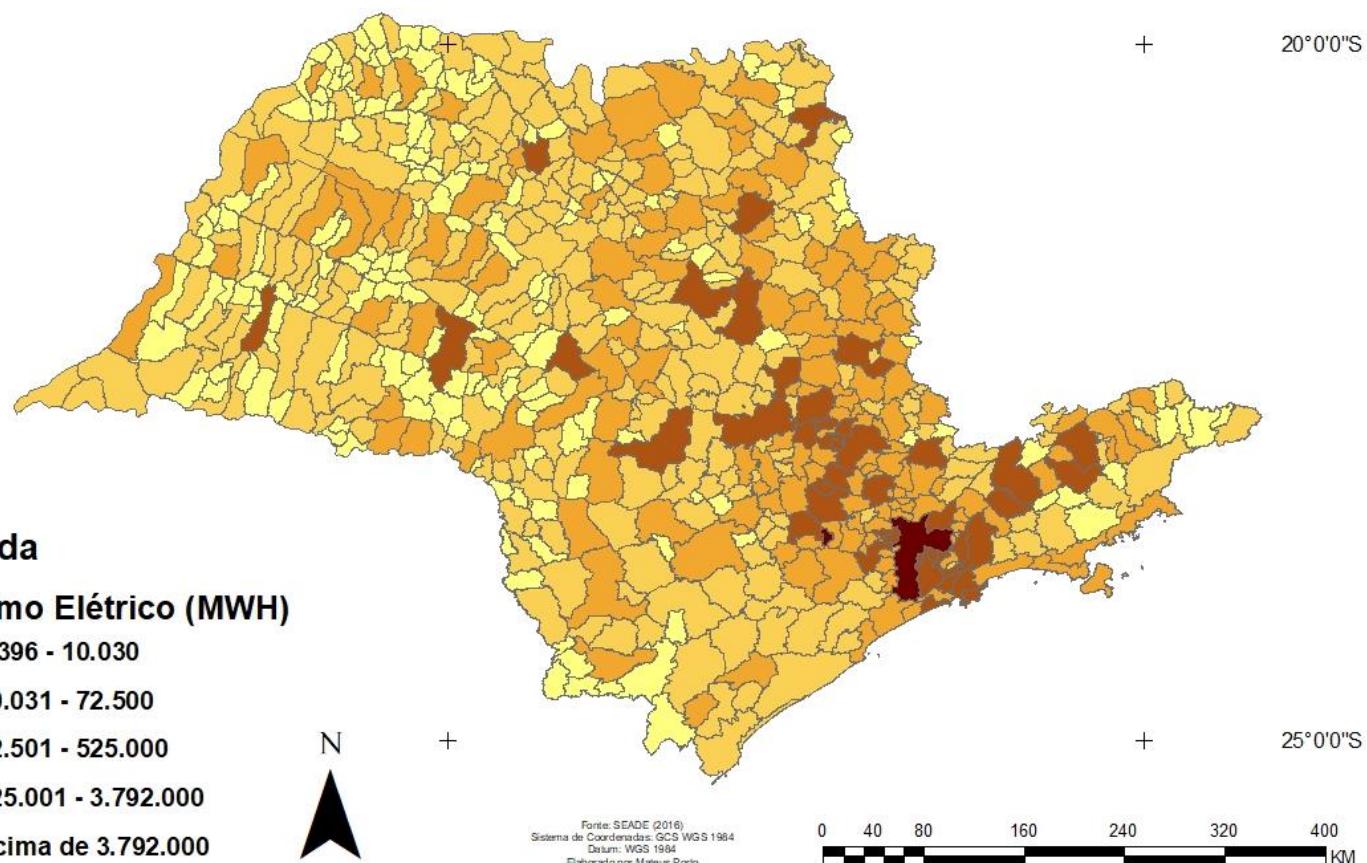


FIGURA 12 – Mapa da distribuição da variável Consumo Elétrico (em MWh) por município do Estado de São Paulo.

### 3.7 LUZ E AGÊNCIAS BANCÁRIAS

A quantidade de agências bancárias em determinado município é uma informação muito interessante de se obter, já que a presença de um banco indica movimentação de papel moeda localmente, tendo possíveis relações com população, PIB e renda per capita e sendo assim sendo possível de ser estimado com a Luz noturna do município.

Para Sicsú e Crocco (2003), que estudaram a lógica por trás da localização de uma agência, e apontam alguns fatores que podem explicar sua distribuição, entre eles estão a distribuição de renda e o volume total de riqueza.

A cidade de São Paulo se apresenta de forma destacada no GRÁFICO 6, o município tem quase dez vezes mais agências que a segunda colocada Campinas (SEADE 2016). O número muito alto de unidades de banco aponta o grande volume e intensidade das movimentações financeiras que ocorrem na capital, produto da sua população, seu PIB e sua distribuição de renda. É possível que essa grande quantidade também esteja relacionada ao papel de sede financeira que a cidade tem assumido nos últimos 40 anos (Goulart et al 2013), em contraste com seu antigo foco no setor industrial.

Assumindo que o número de agências possa sugerir o nível de atividade de trocas econômicas do município é possível entender a grande presença de unidades bancárias na capital São Paulo. Shi et al (2015) conseguiram estimar a quantidade de bens transportados para uma cidade a partir de dados do VIIRS, mostrando que a intensidade da economia, de bens e de moeda se traduzem nas luzes noturnas.

O GRÁFICO 6 indica que existe uma forte correlação entre a quantidade de agências bancárias e o brilho do município, mostrando que a luz pode ser uma excelente variável para estimar o número de unidades bancárias. O mapa presente na FIGURA 13 permite a visualização da distribuição das cidades com o maior número de agências.

### Agências Bancárias x Brilho

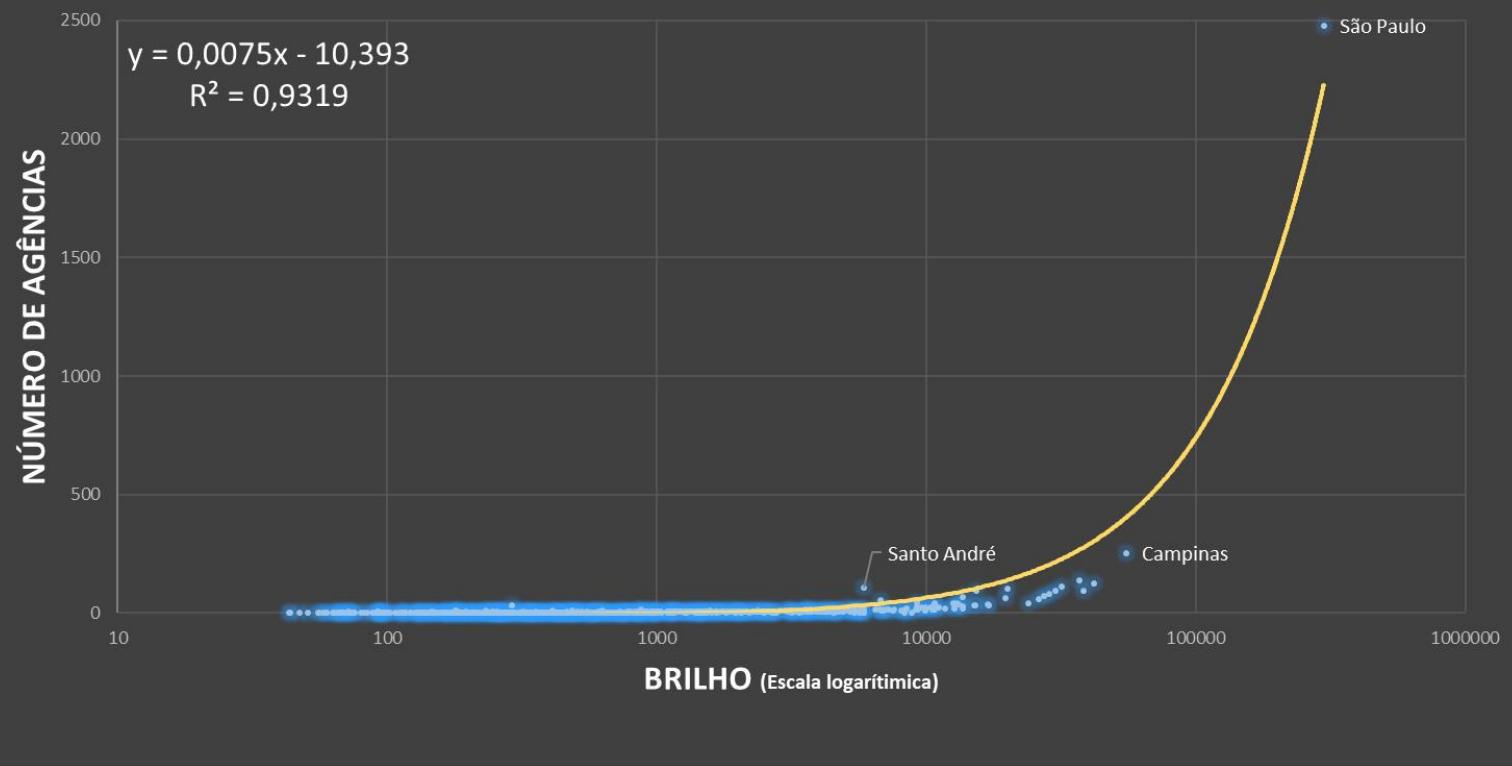


GRÁFICO 6 – Equação de regressão quadrada entre as variáveis de Brilho e Número de Agências Bancárias.

### Quantidade de agências bancárias por município do Estado de São Paulo

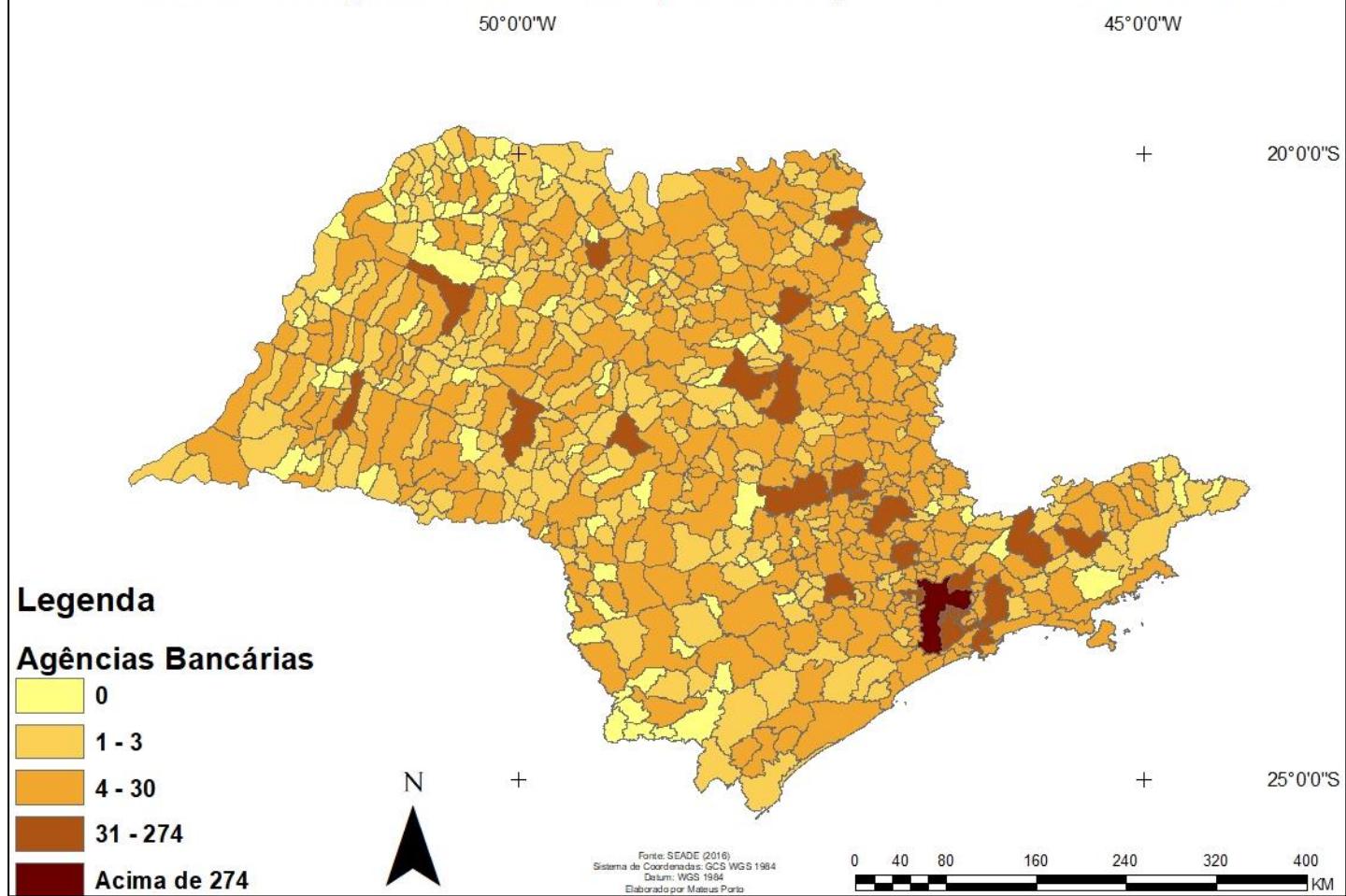


FIGURA 13 – Mapa da distribuição da variável Número de Agências Bancárias por município do Estado de São Paulo.

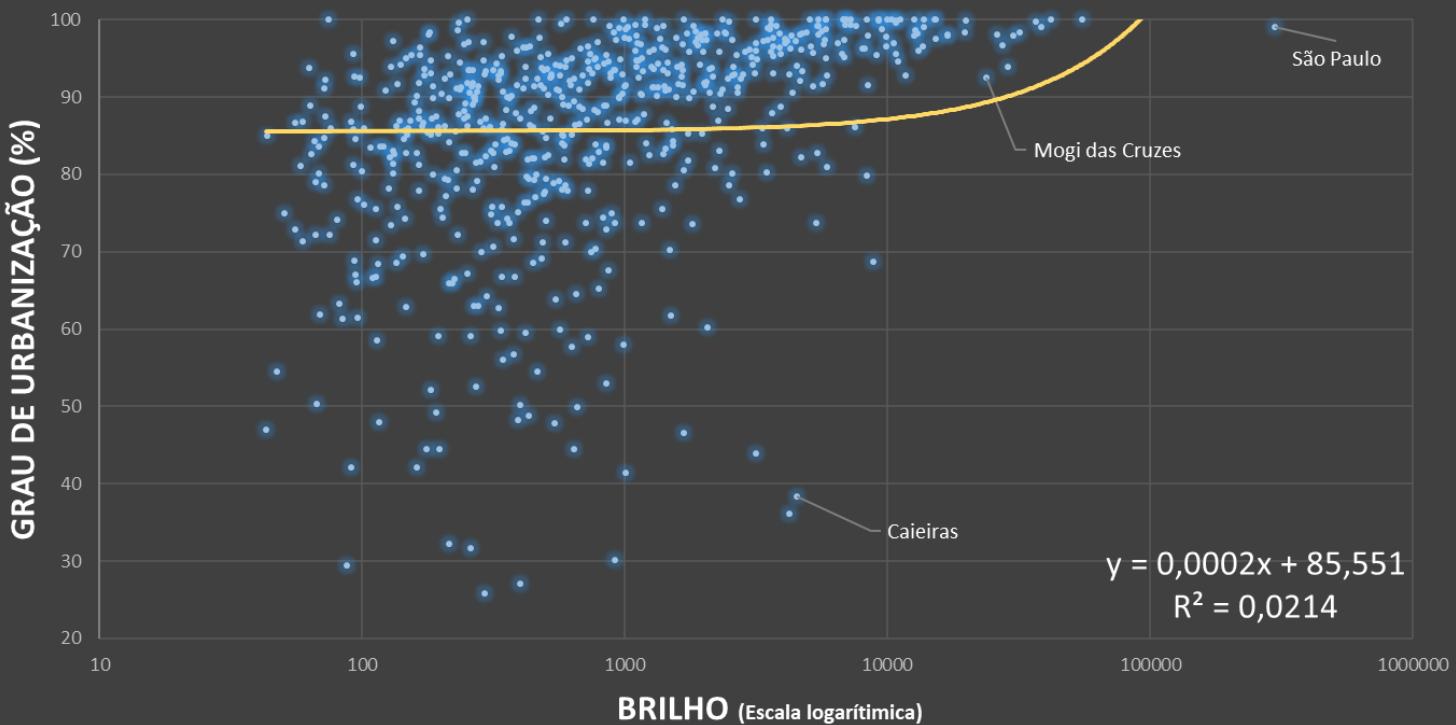
### 3.8 LUZ E GRAU DE URBANIZAÇÃO

A variável de grau de urbanização lida com a parcela da população que habita diretamente no centro urbano. O grau de urbanização é dado de acordo com o percentual de população urbana em relação ao total da população. Porém, o critério para classificar o que é uma população urbana não é tão claro e varia de acordo com o zoneamento municipal de cada cidade (SEADE, 2016). Assim, o grau de urbanização é mais relacionado com um contexto político local do que um critério rígido de classificação.

O resultado do  $r^2$  presente no GRÁFICO 7 aponta uma correlação próxima da nula entre as variáveis grau de urbanização e luz noturna. O mapa presente na FIGURA 14 mostra como a maior parte dos municípios paulistas tem um grau de urbanização acima dos 90%. Mesmo cidades que tem um baixo índice de luzes noturnas podem apresentar alto grau de urbanização e se concentram na parte superior do GRÁFICO 7, e mesmo cidades com altos índices de brilho podem apresentar um menor grau de urbanização.

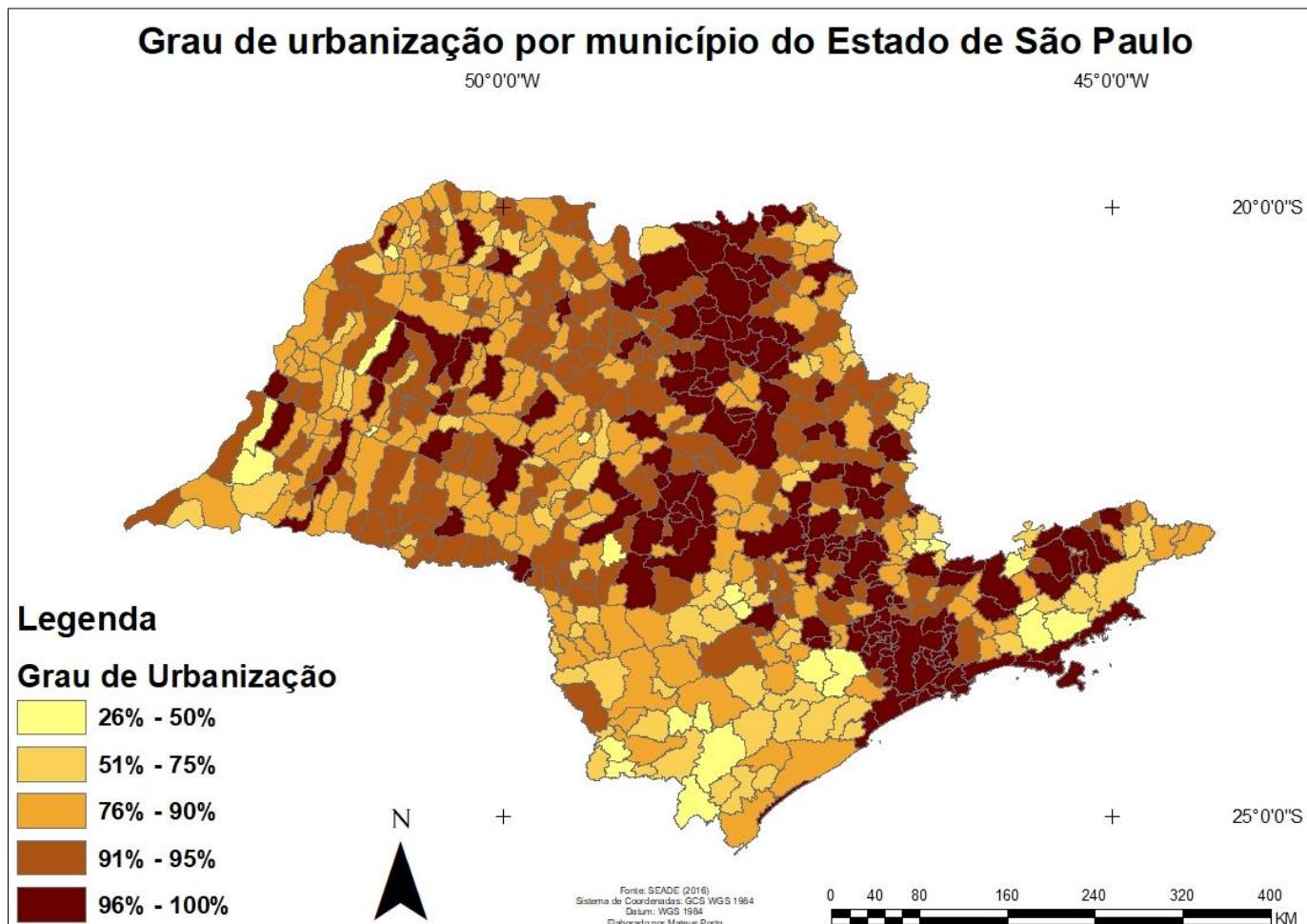
Os prováveis motivos dessa dissociação estão no contexto particular de cada cidade, assim como a forte urbanização que o estado de São Paulo apresenta quando comparado com outras unidades federativas do Brasil. É possível que uma análise entre o brilho de cada município com o grau de urbanização em um contexto mais abrangente, como o nacional, apresente resultados diferentes, ainda assim, o uso da luz noturna não é recomendado para estudar esse tipo de variável sem mudanças na metodologia que levem em conta o contexto local.

### Grau de Urbanização (Em %) x Brilho



**GRÁFICO 7** – Equação de regressão quadrada entre as variáveis de Brilho e Grau de Urbanização.

### Grau de urbanização por município do Estado de São Paulo



**FIGURA 14** – Mapa da distribuição da variável Grau de Urbanização por município do Estado de São Paulo.

### 3.9 LUZ E IDHM

Assim como o gráfico de distribuição de renda (GRÁFICO 3) e o de grau de urbanização (GRÁFICO 7) a equação de regressão do IDHM (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal) comparado com o brilho do município (GRÁFICO 8) apresenta uma correlação próxima da nula.

Algumas cidades que desapareceram no gráfico de renda voltam a aparecer, São Caetano e Águas de São Pedro são ambos municípios que portam um IDHM muito alto, assim como uma renda per capita acima da média paulista. Essa reaparição de cidades com alta renda não é surpresa, Ebener (2005) destacou como uma renda per capita alta influencia muito na saúde da população, e isso se traduz no seu índice de desenvolvimento humano.

A distribuição de IDHM também apresenta os mesmos pontos negativos que o grau de urbanização, o Estado de São Paulo tem um IDHM relativamente constante entre seus municípios (FIGURA 15), e em uma comparação de maior abrangência a luz talvez possa apresentar melhor correlação, porém seu uso requer mais investigação.

É possível que um ajuste de método seja suficiente para permitir as estimativas de qualidade de vida através das luzes de noturnas. Elvidge et al (2012) construíram um índice de desenvolvimento com base no brilho (NLDI – Night Lights Development Index) e concluíram a correlação positiva desse índice com o IDH, consumo elétrico e índices de pobreza. Assim, mesmo que a correlação imediata entre luzes noturnas e IDHM não seja imediatamente observável, seu uso avaliativo é possível através do refinamento do método.

## Índice de Desenvolvimento Humano Municipal - IDHM X Brilho

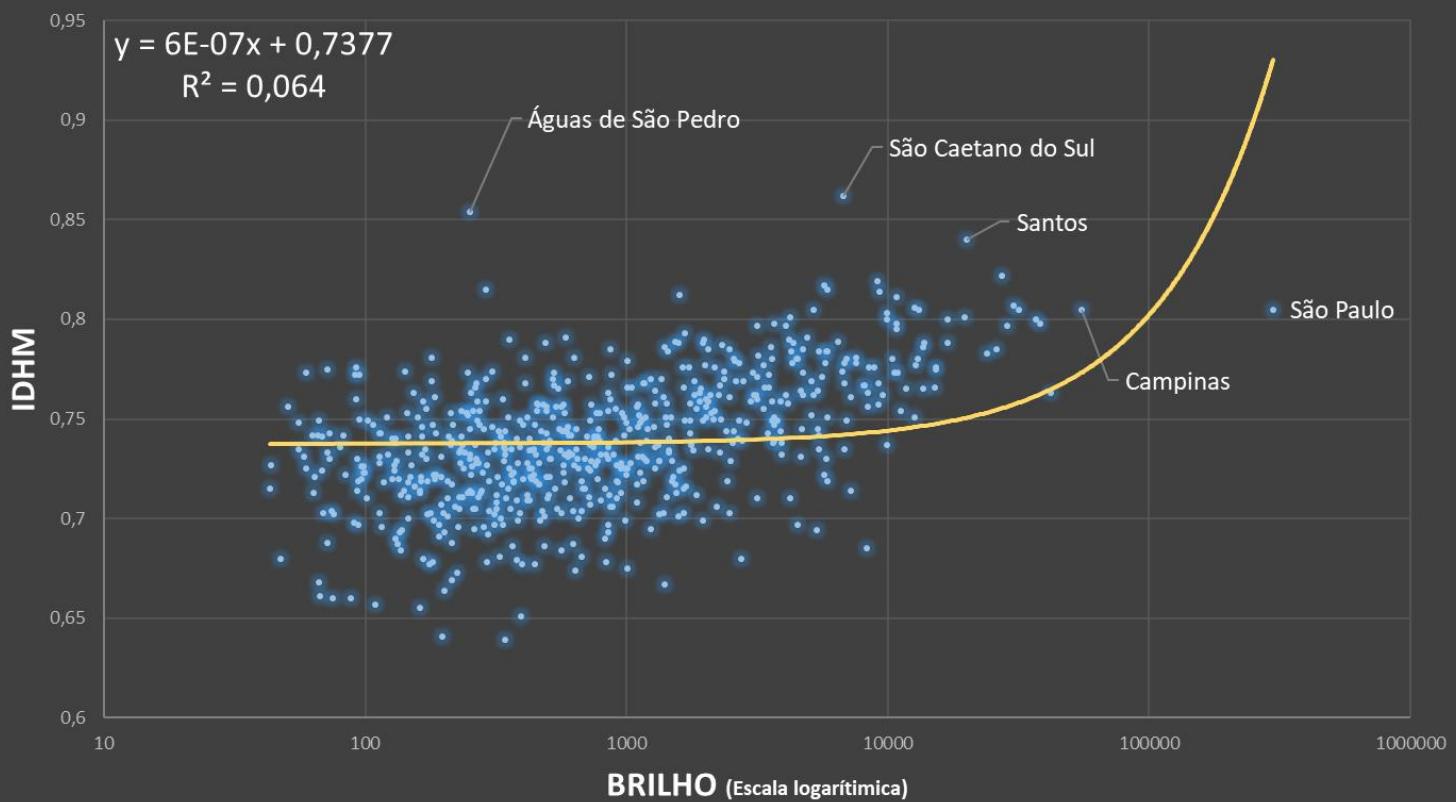


GRÁFICO 8 – Equação de regressão quadrada entre as variáveis de Brilho e IDHM.

## Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) por município do Estado de São Paulo

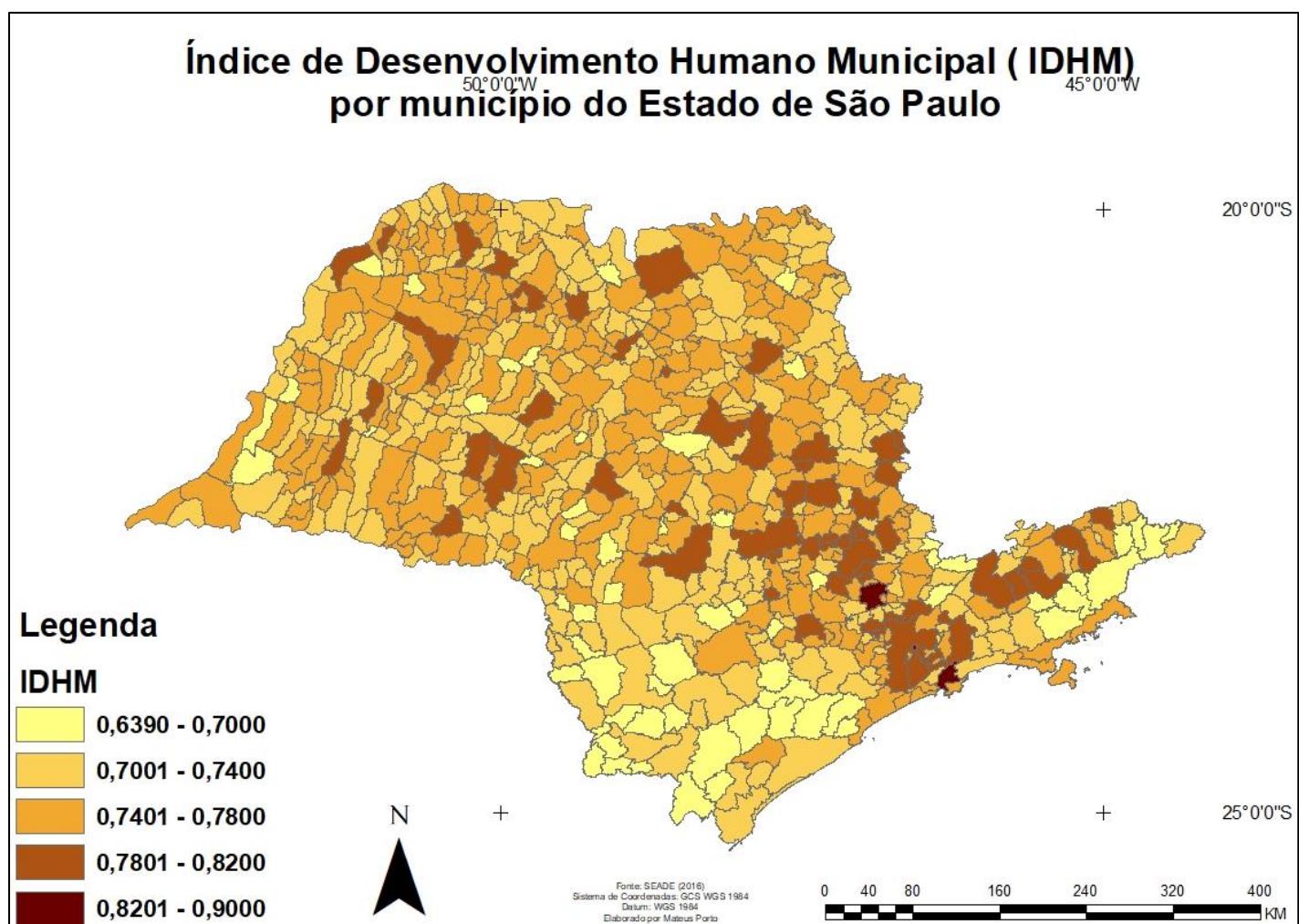


FIGURA 15 – Mapa da distribuição da variável IDHM por município do Estado de São Paulo.

## 4 CONCLUSÃO

As análises dos resultados, assim como dos gráficos de correlação, permitem concluir que o estudo das luzes noturnas municipais pode fornecer uma importante ferramenta para pesquisas que envolvam variáveis pertencentes a esfera das Ciências Sociais aplicadas.

Os resultados se mostraram satisfatórios para a maior parte dos índices, com base nos valores de luz seria possível obter valores precisos para índices como população total, PIB, frota, quantidade de agências bancárias e consumo elétrico. Obter esses índices já é uma grande utilidade, porém é na análise integrada de todos esses valores que uma das grandes utilidades da luz pode ser observada. Através da análise de todos esses dados é possível entender e analisar o ambiente urbano através do Sensoriamento Remoto.

A baixa correlação da luz noturna com IDHM, Renda per Capita e Grau de urbanização levanta diversas dúvidas sobre como o dado se relaciona com a qualidade de vida. Uma possível explicação é que tanto o IDHM quanto a Renda Per Capita são índices que apontam a média da população, que não aponta correlação quando comparados com o valor absoluto de luz noturna no município. Tal hipótese é reforçada devido aos resultados positivos que autores como Elvidge et al (2012) que tiveram sucesso ao trabalhar com luz e IDH.

A possibilidade de estimar com confiabilidade estatística índices a partir de imagens mensais e de fácil acesso tem grande potencial para o incremento da precisão das estatísticas disponibilizadas pelos órgãos responsáveis. Em um contexto de cada vez menos incentivo as pesquisas de campo e precarização de institutos de pesquisa e coletas de dados a construção de índices e estimativas se torna essencial para preencher lacunas temporais e estruturais nos bancos de dados disponíveis.

Índices que tem suas raízes em questões políticas, como o Grau de Urbanização que é declarado por cada prefeitura de acordo com sua política municipal, devem ser analisados com cuidado. O contexto próprio de cada área de estudo deve ser levado em conta ao fazer qualquer análise envolvendo esses índices e as luzes noturnas.

Realizar censos demográficos é um trabalho custoso, requerendo grandes investimentos econômicos e de pessoal, assim se estabelece um ciclo de coleta de dados para a construção das séries históricas. Porém, mudanças no espaço podem se dar em períodos de tempo menores e se tem a necessidade de se ter dados anuais, ou até mesmo mensais, para garantir um bom embasamento para estudos. A correlação forte das luzes noturnas com os outros índices urbanos pode ser o primeiro degrau para estabelecer o Sensoriamento Remoto, como já é usado para informar taxas de desmatamento mensal e anual, como uma importante fonte de dados para estudos em ambiente urbano.

Com o incremento da quantidade de pesquisas relacionadas ao Sensoriamento Remoto o futuro das luzes noturnas é promissor, novos índices, pesquisas e métodos surgem e aumentam o potencial de previsão da variável, assim como sua capacidade de agir interdisciplinarmente com estudos urbanos.

## REFERÊNCIAS

ADDISON, D. M. e STEWART. B. "Nighttime Lights Revisited: The Use of Nighttime Lights Data as a Proxy for Economic Variables." **World Bank, Policy Research Working Paper** 7496. Washington, DC. Nov. 2015.

ANDRADE, M. **Paulicéia desvairada** (1922). In: Poesias completas (edição crítica de Diléa Zanotto Manfio), Belo Horizonte/São Paulo: Itatiaia/EDUSP, 1987.

BATTY, M.. A Theory of City Size. **Science**, v. 340, n. 6139, p. 1418-1419, 20 jun. 2013.

BHANDARI, L; ROYCHOWDHURY, K. Night Lights and Economic Activity in India: a study using dmosp-ols night time images. **Proceedings Of The Asia-Pacific Advanced Network**, v. 32, p. 218-236, 13 dez. 2011.

BONDUKI, N. G. **Origens da habitação social no Brasil**: o caso de São Paulo. 1994. Tese (Doutorado) = Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo. 1994.

BRAGA, R. Cidades médias e aglomerações urbanas no estado de São Paulo: novas estratégias de gestão territorial. In **Encontro de Geógrafos da América Latina**, 10. 2005. São Paulo. Anais.... São Paulo. p.2241- 2254. 2005

CALDEIRA, T. P. do R. **Cidade de muros**: crime, segregação e cidadania em São Paulo. 2 ed. São Paulo: Editora 34, Edusp, 2003.

CHEN, X. Nighttime Lights and Population Migration: revisiting classic demographic perspectives with an analysis of recent european data. **Remote Sensing**, v. 12, n. 1, p. 169-182, jan. 2020.

CHEN, X; NORDHAUS, William D. VIIRS Nighttime Lights in the Estimation of Cross-Sectional and Time-Series GDP. **Remote Sensing**, v. 11, n. 9, p. 1057-1068, mai 2019.

\_\_\_\_\_. Test of the New VIIRS Lights Data Set: population and economic output in africa. **Remote Sensing**, v. 7, n. 4, p. 4937-4947, abr. 2015.

DAVIS, Mike. **Planeta Favela**. São Paulo: Boitempo editorial, 2006.

DOLL. C. MULLER, J. MORLEY, J. .Mapping regional economic activity from nighttime light satellite imagery. **Ecological Economics**, 57 pp. 75-92 abr. 2006.

EBENER, S; MURRAY, C; TANDON, A; ELVIDGE, C C. From wealth to health: modelling the distribution of income per capita at the sub-national level using nighttime light imagery. **International Journal Of Health Geographics**, v. 4, n. 1, p. 5-22, fev. 2005.

ELVIDGE C.D., BAUGH K.E., ANDERSON S.J., SUTTON P.C., GHOS T. (2012) The Night Light Development Index (NLDI): a spatially explicit measure of human development from satellite data, **Social Geography**, v7: pp.23–35. 2012.

ELVIDGE, C D.; BAUGH, K E.; ZHIZHIN, M; HSU, Feng-Chi. Why VIIRS data are superior to DMSP for mapping nighttime lights. **Proceedings Of The Asia-Pacific Advanced Network**, v. 35, p. 62-69, jun. 2013.

ELVIDGE, C. D et al. VIIRS night-time lights. **International Journal Of Remote Sensing**, v. 38, n. 21, p. 5860-5879, jun. 2017.

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, abr. 1997.

EMPLASA – EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO. **Região Metropolitana de São Paulo**. 2011.

FEITOSA, F F; LE, Q B; VLEK, Paul L G; MONTEIRO, ANTÔNIO MIGUEL V; ROSEMBACK, Roberta. Countering Urban Segregation in Brazilian Cities: policy-oriented explorations using agent-based simulation. **Environment And Planning B: Planning and Design**. v. 39, n. 6, p. 1131-1150, dez. 2012. SAGE Publications.

GONG, P; LIANG, S et al. Urbanisation and health in China. **The Lancet**, v. 379, n. 9818, p. 843-852, mar. 2012.

GOULART, Jefferson O.; TERCI, Eliana T.; OTERO, Estevam V.. A dinâmica urbana de cidades médias do interior paulista sob o Estatuto da Cidade. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 15, n. 1, p. 183-200, 31 maio 2013.

GUO, W; LU, D; WU, Y; ZHANG, J. Mapping Impervious Surface Distribution with Integration of SNNP VIIRS-DNB and MODIS NDVI Data. **Remote Sensing**, v. 7, n. 9, p. 12459-12477, set. 2015.

HEGAZY, I R; KALOOP, M R. Monitoring urban growth and land use change detection with GIS and remote sensing techniques in Daqahlia governorate Egypt. **International Journal Of Sustainable Built Environment**, v. 4, n. 1, p. 117-124, jun. 2015.

HUANG, Q; YANG, X; GAO, B; YANG, Y; ZHAO, Yu. Application of DMSP/OLS Nighttime Light Images: a meta-analysis and a systematic literature review. **Remote Sensing**, v. 6, n. 8, p. 6844-6866, jul. 2014.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2016. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municípios.html?edicao=23414&t=resultados>>.

---

. Diretoria de Pesquisas - DPE - Coordenação de População e Indicadores Sociais – COPIS. Jul 2019. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=resultados>>.

JENSEN, J.R, COWEN, D.C. Remote sensing of urban/suburban infrastructure and socio-economic attributes. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 65 (5), pp. 611-622. Mai. 1999.

JIANG, Wei; HE, Guojin; LONG, Tengfei; LIU, Huichan. Ongoing Conflict Makes Yemen Dark: from the perspective of nighttime light. **Remote Sensing**, v. 9, n. 8, p. 798-816, 3 ago. 2017.

LIN, G, WOLFE, R. **Collection 1 S-NPP Product Descriptions: VNP03DNB\_NRT**. NASA MODIS Adaptive Processing System, Goddard Space Flight Center, Estados Unidos. 2017.

MONBEIG, Pierre O crescimento da cidade de São Paulo. In: Szmrecsányi, Tamás (Org.). **História econômica da cidade de São Paulo**. São Paulo: Globo, 2004.

---

. **Pioneiros e fazendeiros de São Paulo**. Tradução Ary França e Raul de Andrade e Silva. São Paulo: Hucitec/Polis, 1984.

NOVO, E, M, L M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo. Edgard Blucher. 1989.

NOVO, E, M, L, M; PONZONI, F. J. **Introdução ao Sensoriamento Remoto.** Instituto Nacional de pesquisas Espaciais, Divisão de Sensoriamento Remoto, 2001

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **World Urbanisation Prospects.** The 2018 Revision. Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas (UNDESA). 2018. Disponível em <<https://population.un.org/wup/Publications/>>.

ROLNIK, R; KLINTOWITZ, D. (I)Mobilidade na cidade de São Paulo. **Estudos Avançados.**, São Paulo, v. 25, n. 71, p. 89-108, Apr. 2011  
SANTOS, A. R dos. **Apostila de Sensoriamento Remoto.** Alegre – Espírito Santo. 2013.

SEADE - Fundação Sistema Estadual De Análise De Dados. **Informações dos municípios paulistas.** São Paulo; 2016 [Acesso em 22/05/2020]. Disponível em: Disponível em: <<http://www.imp.seade.gov.br/frontend/#/tabelas>>.

SHI, K., YU, B., et al. Modeling and mapping total freight traffic in China using NPP-VIIRS nighttime light composite data. **GIScience & Remote Sensing**, 52(3), 274–289. 2015.

SICSÚ, J.; CROCCO, M. Em busca de uma teoria de localização das agências bancárias: algumas evidências do caso brasileiro. **Revista Economia**, Niterói, v. 4, n. 1, p. 85-112, 2003.

SOUZA FILHO, C. R. de et al. Brazil's 2001 energy crisis monitored from space. **International Journal Of Remote Sensing**, v. 25, n. 12, p. 2475-2482, jun. 2004.

SPADON, G., CARVALHO, A.C.P.L.F.d., Rodrigues-Jr, J.F. et al. Reconstructing commuters network using machine learning and urban indicators. **Scientific Reports** 9, 11801. 2019.

WANG, Xuantong; SUTTON, Paul C.; QI, Bingxin. Global Mapping of GDP at 1 km<sup>2</sup> Using VIIRS Nighttime Satellite Imagery. **Isprs International Journal Of Geo-Information**, v. 8, n. 12, p. 580-597, dez. 2019.

YU. B SHI. K, HU. Y, HUANG. C, CHEN. Z e WU. J, "Poverty Evaluation Using NPP-VIIRS Nighttime Light Composite Data at the County Level in China,". **IEEE - Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, vol. 8, no. 3, pp. 1217-1229, Mar 2015.

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, set. 2011.