



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB
IG/ IB/ IQ/ FACE-ECO/ CDS
CURSO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**AVALIAÇÃO DO GRAU DE ADENSAMENTO URBANO POR MEIO DE
DADOS DE LUZ NOTURNA E DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE
EM METRÓPOLES BRASILEIRAS**

HELOÍSA BEATRIZ TEÓFILO DE MATTOS DOURADO

BRASÍLIA – DF
JUNHO/2018

HELOÍSA BEATRIZ TEÓFILO DE MATTOS DOURADO

**AVALIAÇÃO DO GRAU DE ADENSAMENTO URBANO POR MEIO DE DADOS DE
LUZ NOTURNA E DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE EM METRÓPOLES
BRASILEIRAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Brasília como requisito parcial para obtenção de grau de bacharel em Ciências Ambientais, sob orientação do professor Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista.

BRASÍLIA – DF
JUNHO/2018

MATTOS-DOURADO, Heloísa Beatriz Teófilo de.
AVALIAÇÃO DO GRAU DE ADENSAMENTO URBANO POR MEIO DE DADOS
DE LUZ NOTURNA E DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE EM METRÓPOLES
BRASILEIRAS.

Orientação: Gustavo Macedo de Mello Baptista.
45 páginas.

Projeto final em Ciências Ambientais – Consórcio IG/ IB/ IQ/ FACE-ECO/ CDS –
Universidade de Brasília.

Brasília – DF, 2018.

1. NTL – 2. VANUI – 3. Adensamento Urbano – 4. Temperatura de Superfície – 5. Ilhas
de Calor – 6. Regiões Metropolitanas.

**AVALIAÇÃO DO GRAU DE ADENSAMENTO URBANO POR MEIO DE DADOS DE
LUZ NOTURNA E DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE EM METRÓPOLES
BRASILEIRAS**

Heloísa Beatriz Teófilo de Mattos Dourado
Prof. Orientador: Gustavo Macedo de Mello Baptista
Brasília – DF, 28 de junho de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista (Orientador)
Instituto de Geociências da Universidade de Brasília

Prof. Dr. Maurício de Carvalho Amazonas (Avaliador1)
Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília

Dedico este trabalho a minha família, que muito me apoiou e me incentivou a realizá-lo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao meu professor Gustavo Baptista, que me acolheu e aceitou compartilhar este momento tão significativo na minha trajetória acadêmica.

Aos professores Jorge Nogueira e Pedro Zuchi, com quem eu tive o privilégio de trabalhar e partilhar ideias.

Aos meus chefes durante o estágio no MMA, Ralph e Marcos, que me introduziram neste meio das tecnologias de informações geográficas e me foram grandes professores.

Aos meus queridos amigos do Grupo de Pesquisa CIORD, Paula, Michelly, Camille, Claudiano e em especial Cadu, que nunca hesitou em me ajudar mesmo à distância.

A Marcell, Kalil e Cíntia, que me ajudaram imensamente na realização desta pesquisa e são meus mentores nesta jornada com o Sensoriamento Remoto.

Às minhas amigas Alice, Tati, Andressa, Larissa e Cynthia, que sempre estiveram comigo ao longo desta caminhada.

Por fim, gostaria de agradecer à minha família, que me apoiou grandemente na elaboração deste trabalho e, mais ainda, ao longo de toda vida.

RESUMO

Este trabalho apresenta dois artigos que objetivam avaliar a aplicação dos dados obtidos por meio do cálculo do VANUI para a análise de adensamento urbano. O primeiro artigo tem como área de estudo a Região Metropolitana de Belo Horizonte, enquanto que o segundo apresenta dados para as Regiões Metropolitanas de São Paulo e Rio de Janeiro. Ambos utilizam a mesma metodologia, que consiste em obter dados da aplicação do índice VANUI à série histórica DMSP – OLS de dados de luz noturna (*NightTime Light* – NTL) de cada área no período de 2001 e 2013, a fim de minimizar a saturação e consequente superestimativa da área da mancha, e compará-los aos dados MODIS de temperatura de superfície, a fim de avaliar a relação entre ambos. Os dois artigos apresentaram resultados significativos, que permitem inferir que os dados NTL com a aplicação do índice VANUI podem ajudar na compreensão do adensamento urbano.

Pavras-chave: Luz Noturna; Temperatura de Superfície; Adensamento Urbano; Ilhas de Calor Urbano

Sumário

INTRODUÇÃO	8
CAPÍTULO 1: AVALIAÇÃO DO GRAU DE ADENSAMENTO URBANO POR MEIO DE DADOS DE LUZ NOTURNA E TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE EM REGIÕES METROPOLITANAS DE SÃO PAULO E RIO DE JANEIRO.....	13
CAPÍTULO 2: AVALIAÇÃO DO GRAU DE ADENSAMENTO URBANO POR MEIO DE DADOS DE LUZ NOTURNA E DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DE BELO HORIZONTE - MG.....	36
CONCLUSÃO GERAL.....	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização e industrialização no país tomou lugar a partir da década de 1950. Este é fruto de políticas desenvolvimentistas de Estado, que trouxeram consigo o acúmulo de pessoas em regiões mais privilegiadas do país. O poder atrativo destas regiões consistia em oferecer melhores condições de vida com maior oferta de empregos (VASCONCELOS et al, 2007)

Entretanto, a modificação do cenário brasileiro ocorreu apenas nos anos sessenta, quando a população urbana brasileira ultrapassou a rural. Devido a isso, a urbanização é um fenômeno considerado recente neste país. Em um curto espaço de tempo, somente na segunda metade do século XX, a população urbana passou de 19 milhões para 138 milhões. Assim, com um crescimento anual de 4,1% ao ano durante o período, a população urbana no país se multiplicou por 7,3 vezes. Na mesma época, a população total do país mais do que triplicou, chegando a 191 milhões de pessoas em 2012, com um grau de urbanização de 84,4% (BRITO; PINHO, 2014).

Assim, apesar de tardio, o crescimento urbano no país foi muitíssimo acelerado. Com o processo, a cidade foi redefinida como um espaço privilegiado de residência para a maior parte da população e também para as atividades econômicas consideradas mais relevantes (BRITO; PINHO, 2014)□.

A mudança acelerada trouxe novidades ao território brasileiro, dentre elas, de acordo com Motta e Ajara (2001) estão: a interiorização do fenômeno urbano; o crescimento das cidades médias; a urbanização das áreas de fronteira econômica; a periferização dos centros urbanos; e a formação e consolidação de aglomerações urbanas de caráter metropolitano e não metropolitano.

As cidades também passaram por mudanças além da industrialização. Houve um aumento de riqueza econômica e a implementação de infraestrutura e equipamentos urbanos, como ruas, praças, viadutos, escolas e hospitais, levando ao desenvolvimento de relações sociais, culturais e industriais (MENCIO; ZIONI, 2017)

Além das cidades em si, as rotas migratórias também se alteraram. Antes, com uma rede urbana desarticulada e fragmentada, a migração se resumia apenas ao eixo Rio-São Paulo, mas com a urbanização foi possível perceber uma mudança. Se em 1970 o Brasil possuía apenas cinco metrópoles com mais de um milhão de habitantes, sendo estas São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte, objetos de estudo do presente trabalho, além de Recife e Salvador, em 2000 mais sete metrópoles se juntaram a elas. No Centro-Oeste surgiram as metrópoles de Goiânia e

Brasília, na Região Norte nasceram Belém e Manaus, e também Porto Alegre, Curitiba e Fortaleza (Maricato & Tanaka, 2006 apud VASCONCELOS et al, 2007)□.

Essa mudança não foi sem incentivos: a expansão da malha viária, o estabelecimento do setor automotivo no Brasil, a modernização agrícola e a expansão do agronegócio, a descentralização da indústria e a expansão da exploração de recursos naturais, como minério e madeira, culminaram para a mudança na tendência de migração do país (Matos, 2000; Maricato & Tanaka, 2006, apud VASCONCELOS et al, 2007)

Assim, o desenvolvimento industrial fez nascer as grandes cidades como as conhecemos hoje. O seu rápido crescimento fez com que a sua urbanização se ampliasse até as cidades próximas, conectando núcleos vizinhos, subordinados às administrações autônomas diversas. Gerou-se, então, um elevado grau de interdependência entre os núcleos urbanos, formando um único aglomerado com relações mútuas, denominado conurbação. Isso se dá pois, no processo de crescimento, há sempre um núcleo urbano principal que exerce influência econômica e social em relação aos núcleos urbanos das cidades vizinhas, contidas em outros municípios (MENCIO; ZIONI, 2017).

O nascimento destas grandes cidades, ou seja, a urbanização, trouxe avanços para a sociedade como a queda da mortalidade infantil, o aumento da expectativa de vida, a queda da taxa de fertilidade e a melhora no nível de escolaridade da população. Contudo, com o processo, alguns problemas também surgiram, como a violência e criminalidade, a falta de transporte público, o desemprego e a poluição ambiental (VASCONCELOS et al, 2007)□.

Devido à metropolização, estes problemas não se restringem ao território de um único município. A sua manifestação e os efeitos gerados se espalham pelos municípios vizinhos, se tornando ainda mais difícil a solução dos problemas, principalmente quando não há planejamento e trabalho em conjunto da administração dos territórios atingidos. Estas áreas de conurbação geram problemas específicos que demandam de soluções uniformes e comuns (MENCIO; ZIONI, 2017; VASCONCELOS et al, 2007)□.

Visando uma melhor administração destas áreas, ao menos na teoria, a metropolização passa a ser reconhecida como entidade jurídica, como regiões metropolitanas, aglomerações urbanas ou microrregiões, como instituídas por lei (MENCIO; ZIONI, 2017).□

Assim, a Região Metropolitana, entidade de planejamento e gestão apresenta-se como uma alternativa viável para solucionar os problemas que afetam toda a população de uma grande área urbanizada, composta por vários municípios. Cria-se a possibilidade dos diversos municípios atuarem conjuntamente em defesas de interesses em comum. Após a constituição

de 1988 ficou a cargo e critérios Estados-Membros a instituição destas regiões (VASCONCELOS et al, 2007)□.

Em 2015, foi elaborado o Estatuto da Metrópole (Lei nº 13.089) que definiu metrópole como: *“espaço urbano com continuidade territorial que, em razão de sua população e relevância política e socioeconômica, tem influência nacional ou sobre uma região que configure, no mínimo, a área de influência de uma capital regional, conforme os critérios adotados pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)”*.

Até 2016, de acordo com o IBGE, foram criadas 69 Regiões Metropolitanas no país. Apesar dos benefícios que vem com a sua criação, principalmente visando a solução de problemas, Lombardo (1985) afirma: *“Uma metrópole sem planejamento adequado ao uso do solo, com ausência de parâmetros adequados de verticalização e ocupação, sobretudo onde ela cresce a uma velocidade rápida e com poucos recursos técnicos, pode colocar em risco a qualidade de vida dos seus habitantes”*.

A falta de planejamento fez com que as principais cidades dos países considerados desenvolvidos no final do século XIX enfrentassem problemas que nos dias de hoje encobrem as cidades dos países que estão em processo de desenvolvimento. Tais impasses estão contidos na Agenda Marrom e descrevem problemas enumerados por Resch e Schmitt (2017) como sendo: superpopulação, amontoado de moradias, desigualdade social, falta de saneamento básico, ruas estreitas que impedem a circulação de ventos, dentre outros.

O quadro se apresenta mais preocupante quando se leva em consideração a maneira em que se estabelece o processo de urbanização do Brasil. O modelo de desenvolvimento urbano do país não leva ao crescimento com equidade e sustentabilidade. O que é ocorre é que geralmente promove-se o intenso adensamento de determinadas regiões, como é o caso dos grandes centros urbanos, em detrimento de outras regiões que ficam dispersas pelo território (SCHMITT; RESCH, 2017).

O adensamento urbano ocorre a partir da concepção de que determinadas regiões da cidade, providas ou não de infraestrutura, podem ser adensadas, promovendo uma verticalização do solo. Pois assim, expande-se o estoque de capacidade de habitação e serviços oferecidos pelo local. A ideia também buscar evitar a expansão da cidade para regiões consideradas “periféricas”, o que é algo utópico, tendo em vista que a expansão da cidade ocorre de qualquer forma, mas de maneira inadequada, segregacionista e ambientalmente insustentável (SCHMITT; RESCH, 2017)

Ao verificarmos as variações entre os censos de 2000 e 2010 (IBGE, 2017), é possível perceber que as populações urbanas tiveram um crescimento de 81,2% em 2000 para 84,4% em

2010, crescimento este não acompanhado pelos centros urbanos em relação à área. Isto significa que houve uma intensificação do adensamento urbano, mostrando que as cidades brasileiras tenderam a crescer verticalmente e não horizontalmente (BAPTISTA; RIBEIRO, 2017)

O adensamento urbano contribui para o aumento da temperatura do ar e para a diminuição da umidade relativa do ar. □ □ Ainda, interfere na permeabilidade ao vento, modificando sua velocidade e direção, dificultando a dissipação de poluentes. Essas alterações no microclima urbano atinge o conforto térmico nos espaços externos, além de aumentar o consumo de energia elétrica nas busca por um clima mais ameno nas edificações (MIANA, 2010).

A substituição da vegetação por casas e prédios, ruas, avenidas dentre outras grandes construções, onde seu número aumenta de acordo com a proximidade dos centros urbanos levam ao aumento significativo da irradiação de calor para a atmosfera, que pode ser melhor observada quando comparada à irradiação nas zonas periféricas ou rurais, onde a cobertura vegetal é maior (TEZA; BAPTISTA, 2005)

Dessa forma, o crescimento das cidades levou, ao longo dos anos, a um aquecimento acentuado das áreas urbanas quando comparada com seu ambiente periférico e rural (ARNFIELD, 2003; LOPES et al., 2013; OKE, 1973 apud ALVES, 2017). Uma consequência deste processo de ocupação e desenvolvimento urbano é o fenômeno de Ilha de Calor Urbana. Este termo foi cunhado em 1960, por Gordon Manley (FIALHO, 2012).

Dessa forma o presente estudo parte da hipótese de que, se a população brasileira aumentou nos últimos anos, mas a expansão territorial das cidades não foi proporcional, então está ocorrendo um adensamento urbano e um possível crescimento vertical das cidades.

Ainda, de maneira complementar partimos da hipótese de que dado que o ser humano é o único organismo capaz de produzir iluminação artificial e de que haverá mais luz onde há mais pessoas, então mostra-se adequada a utilização de dados de luz noturna (NTL).

Tendo em vista que os dados de NTL, aplicados o índice *Vegetation Adjusted NTL Urban Index* (VANUI) apresentam valores que variam de 0 a 1, onde valores próximos a 1 representam áreas urbanas e valores mais baixos, próximos a zero, representam áreas de vegetação, a hipótese principal deste estudo é a de que é possível a utilização de dados VANUI para a avaliação do grau de adensamento urbano.

A fim de corroborar com a hipótese principal deste trabalho, também foram analisados dados de temperatura de superfície, em que vasta literatura apresenta sua correlação com o adensamento urbano, e analisados a sua correlação com os dados VANUI.

O trabalho está organizado em quatro sessões. Além da introdução, há dois capítulos e a conclusão. O capítulo I apresenta o artigo submetido ao II Encontro Luso-afro-americano de Geografia Física e Ambiente, que ocorreu entre os dias 4 e 8 de junho de 2018 na cidade de Guimarães, em Portugal. O capítulo em questão, intitulado “*Avaliação do Grau de Adensamento Urbano por meio de Dados de Luz Noturna e de Temperatura de Superfície de Belo Horizonte – MG*”, trata da avaliação do grau de adensamento urbano na região metropolitana de Belo Horizonte analisando a correlação entre os dados VANUI e de temperatura de superfície.

O capítulo II também é um artigo, mas dessa vez elaborado para a submissão em revista. O artigo utiliza a mesma metodologia que o capítulo I, mas a área de estudo se torna as regiões metropolitanas de São Paulo e do Rio de Janeiro.

Por último, é feita uma breve conclusão acerca dos resultados obtidos após a confecção dos artigos produzidos.

CAPÍTULO 1:**AVALIAÇÃO DO GRAU DE ADENSAMENTO URBANO POR MEIO DE DADOS DE LUZ NOTURNA E TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE EM REGIÕES METROPOLITANAS DE SÃO PAULO E RIO DE JANEIRO****Heloísa Beatriz Teófilo de Mattos Dourado¹, Gustavo Macedo de Mello Baptista²**

**¹Universidade de Brasília
IG/IB/IQ/FACE-ECO/CDS
heloisabeatriz.tmd@gmail.com**

**²Universidade de Brasília
Instituto de Geociências – IG
gmbaptista@gmail.com**

RESUMO

O presente estudo analisou os dados da Região Metropolitana de São Paulo e da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, para o ano de 2001 e 2013, e os comparou com os dados de temperatura de superfície média anual diurna e noturna de cada ano para sua respectiva área. Para o mapeamento, utilizamos dados da aplicação do índice VANUI à série histórica DMSP – OLS de dados de luz noturna (*NightTime Light* – NTL) de cada área no período de 2001 e 2013, a fim de minimizar a saturação e consequente superestimativa da área da mancha, devido à alta sensibilidade desses sensores à luz. Os dados obtidos foram comparados com os dados de temperatura de superfície média anual diurna e noturna da mesma área. Foram traçados e comparados estatisticamente transectos nas cenas VANUI, *Daytime* e *Nighttime*, permitindo inferir que os dados VANUI podem ajudar na compreensão do adensamento urbano.

Palavras chaves: Luz Noturna, Temperatura de Superfície, Adensamento Urbano, Ilhas de Calor Urbano

ABSTRACT

The present study analyzed data from the Metropolitan Region of São Paulo and the Metropolitan Region of Rio de Janeiro for the years 2001 and 2013 and compared them with the annual average daytime and night surface temperature data for each year. For the mapping, were used data from the application of the VANUI index to the historical DMSP - OLS series of night light data (NTL) of each area in the period of 2001 and 2013, in order to minimize the saturation and consequent overestimation of the area caused by the use of only Nighttime Light (NTL) data. due to the high sensitivity of these sensors to light. The obtained VANUI data were compared to the data of mean annual surface temperature of daytime and nighttime and

presented promising results. Transects were traced and statistically compared for both areas for both temperature and VANUI data. This study was able to find a strong relation between NTL data and surface temperature, presenting the capacity of the NTL data to study the degree of urban densification.

Keywords: Nighttime Light, Surface Temperature, Urban Density, Urban Heat Island

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos, foi possível observar nas cidades brasileiras uma tendência de crescimento vertical, e não horizontal como usualmente. Os dados dos censos de 2000 e 2010 (IBGE, 2017) demonstram que a população urbana brasileira cresceu de 81,2% em 2000 para 84,4% em 2010, salientando uma intensificação do adensamento urbano no país, tendo em vista que não foi observado o mesmo tipo de crescimento em área nas áreas urbanas.

Esse comportamento é um fenômeno contínuo observado não somente no Brasil mas no mundo todo. Estima-se que até 2030 a população global aumentará em mais 3 milhões de pessoas. Visto que os tamanhos das áreas urbanas e precisarão ser ampliadas para abrigar tamanho crescimento populacional, seja horizontal ou verticalmente, torna-se necessário o estudo da configuração atual das áreas urbanas ao redor do mundo e o estudo das mudanças, em múltiplas dimensões, do uso e ocupação do solo (ZHANG; SETO, 2011).

Assim, o mapeamento destas áreas torna-se imprescindível. A verificação de seu crescimento, avaliação dos principais eixos e tendências é algo importante e necessário. Dessa forma, a adoção de geotecnologias, como a utilização de técnicas de geoprocessamento, principalmente tratando-se de dados de sensoriamento remoto, aparecem como uma solução. Contudo, ainda assim esta missão não é trivial. A delimitação da mancha urbana é algo difícil, isso se dá, pois, as áreas periurbanas possuem uma diversidade de usos que dificultam a delimitação de um polígono. Além disso, os diferentes materiais empregados nas construções das cidades levam a uma enorme variedade de respostas espectrais, inclusive misturas (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2010; BAPTISTA; RIBEIRO, 2017).

Muitas técnicas já foram utilizadas a fim do mapeamento de manchas urbanas. Dentre elas, Baptista e Ribeiro (2010) analisaram o crescimento da área urbana de Águas Lindas de Goiás, (GO), através da digitalização em tela sobre dados de diversos sensores, posteriormente gerando cenários. Contudo, esse método embute erros resultantes da acurácia do manipulador, podendo gerar problemas.

Tendo em vista que o homem é o único animal que prolonga seu fotoperíodo por meio da luz artificial, o uso de dados de luz noturna (*NightTime Light* – NTL) se apresenta como uma

solução para os problemas de mapeamento urbano. Há muitos anos, Croft (1978) apontou o potencial dos dados NTL como um indicador da atividade humana. A partir daí muitos estudos foram gerados mostrando a estreita relação entre dados NTL e variáveis socioeconômicas.

Zhang et al (2011) levantaram alguns desses estudos e encontraram documentos relacionados à estimação da população urbana (Amaral et al., 2006; Balk et al., 2006; Elvidge et al., 1997b; Sutton et al., 2001), à densidade populacional (Sutton et al., 2003; Zhuo et al., 2009), à atividade econômica (Doll et al., 2006), ao uso de energia (Doll et al., 2000; Elvidge et al., 1997b), às emissões de carbono e superfícies impermeáveis (Elvidge et al., 2007), dentre outros. Contudo, nenhum desses fazia uma análise multi-temporal dos dados NTL. Assim, Zhang (et al, 2011) desenvolveu um estudo realizando uma análise multitemporal de dados NTL do *Defense Meteorological Satellite Program/Operational Linescan System* (DMSP/OLS) a fim de monitorar a dinâmica de urbanização em escalas regionais e globais, obtendo resultados positivos.

Apesar de positivos os resultados adquiridos por Zhang et al (2011), é sabido que há uma alta saturação dos pixels do NTL. Os dados captam as áreas urbanas mapeando-as como manchas de luz através das imagens obtidas durante a passagem do satélite sob a face não iluminada da Terra. Contudo, a sensibilidade dos sensores é tão alta, sendo capaz de captar até pequenos incêndios, que a luz urbana acaba saturando os pixels, superestimando a área da mancha (BAPTISTA; RIBEIRO, 2017; ZHANG; SETO, 2011)

Buscando solucionar este problema, Zhang et al (2013) desenvolveram um novo índice espectral chamado *Vegetation Adjusted NTL Urban Index* (VANUI), que combina dados MODIS NDVI com NTL, reduzindo os efeitos do NTL de saturação da mancha urbana. O novo índice baseia-se no fato de que a vegetação e a superfície urbana são inversamente proporcionais a fim de balizar a demarcação da mancha urbana ao minimizar a saturação do NTL e ao aumentar a variabilidade interurbana nos valores de luz noturna. Assim, o VANUI apresentou um enorme potencial para examinar as variações inter e intraurbanas ao longo do tempo (ZHANG et al 2013)

No Brasil, Baptista e Nascimento (2016) verificaram o crescimento da mancha urbana da Área Metropolitana de Brasília (AMB) no período de 2000 a 2013 aplicando VANUI à série histórica DMSP/OLS de dados de luz noturna, observando tendências e gerando cenários a partir dos resultados obtidos. Do mesmo modo, Lage (2016) analisou o crescimento da mancha urbana nas regiões metropolitanas de São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte, igualmente aplicando VANUI aos dados DMSP/OLS de dados de luz noturna para os anos de 2001 a 2013.

Ambos os trabalhos apresentaram resultados positivos e confirmaram o atestado por Zhang et al (2013). Ainda, é também possível observar que os valores obtidos de VANUI aumentam de acordo com a aproximação de áreas mais adensadas, indicando mais luz nestes locais (BAPTISTA; RIBEIRO, 2017). Assim, considerando o que os valores de VANUI variam de 0 a 1, onde valores próximos a 1 representam áreas urbanas e valores mais baixos, próximos a zero, representam áreas mais vegetadas, surgiu a hipótese de que, além do crescimento da mancha urbana, os dados VANUI possam também identificar o adensamento urbano.

Levando em conta que o adensamento urbano gera uma substituição da vegetação por casas, prédios, ruas, dentre outras grandes construções e edificações urbanas, e que, o crescimento das cidades levou, ao longo dos anos, a um aquecimento acentuado das áreas urbanas quando comparada com seu ambiente periférico e rural (ARNFIELD, 2003; LOPES et al., 2013; OKE, 1973 apud ALVES, 2017), entende-se que o adensamento urbano pode ser estudado através do fenômeno de Ilhas de Calor.

O termo Ilha de Calor (IC), cunhado em 1960 por Gordon Manley (FIALHO, 2012) é descrito por Oke (1978) como a diferença no gradiente de temperatura entre as áreas urbanas e rurais. O autor afirma que o tamanho deste fenômeno pode variar no tempo e no espaço, de acordo com as características meteorológicas e urbanas da área. A maior densidade de construções, como também uma maior quantidade de atividades emissoras de poluentes, geram o fenômeno de Ilhas de Calor (TEZA; BAPTISTA, 2005)

Existem alguns tipos de Ilhas de Calor Urbana, mas os dados obtidos no presente trabalho são das Ilhas de Calor de Superfície. Segundo Arrau e Peña (2010 apud TERRA-OLIVEIRA; GANEM, 2014) estas são ilhas observadas pelas técnicas de sensoriamento remoto onde são utilizados os dados de comprimento de onda do infravermelho termal, que identificam as temperaturas de superfície da terra, propiciando a observação do fenômeno. Os dados são considerados confiáveis para as Ilhas de Calor Atmosféricas, pois há uma estreita relação entre as temperaturas do ar próximas à superfície e das temperaturas de superfície em si.

Desta forma, com o objetivo de avaliar a aplicação dos dados obtidos por meio do cálculo do VANUI para a análise de adensamento urbano, o presente trabalho os comparou com os dados de temperatura de superfície média anual diurna e noturna para os anos de 2001 e 2013 para as Regiões Metropolitanas de São Paulo e Rio de Janeiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Tanto as imagens de vegetação usadas para o VANUI, como os dados de temperatura de superfície são adquiridos a partir do sensor Terra/MODIS. Foram utilizados os dados MOD13A3, que já possui um dado processado de NDVI. Também foram utilizados dados MOD11A2, que possui informações de temperatura de superfície já processados para *Daytime* e para *Nighttime*.

O sensor MODIS entrou em órbita em 18 de dezembro de 1999, fazendo com que os dados mais antigos do sensor datem a partir de fevereiro de 2000. A tabela a seguir, adaptada de Lage (2016) apresenta as características do sensor MODIS:

Tabela 1 – Características do sensor MODIS (adaptado de Lage, 2016).

Cobertura Temporal	19 de fevereiro de 2000 – presente
Área	~10 x 10 lat/long
Tamanho do Arquivo	~0,15 – 20 MB
Projeção	Sinusoidal
Formato do Dado	HDF - EOS
Dimensões	1200 x 1200 linhas/colunas
Resolução	1 quilômetro
Conjunto de Dados Científicos (SDS HDF)	11

Além das informações de vegetação, para a execução do VANUI também foram necessários dados NTL, gerados pelo sistema operacional OLS (*Operational Lynescam System*), adquiridos por Lage (2016) no website do *National Geophysical Data Center do NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration)*. Os dados são compostos por imagens anuais, livres de nuvens e disponíveis em duas formas: como média dos dados de luz estável e como média multiplicada pelo percentual de frequência de detecção da luz. Lage (2016) escolheu trabalhar com os dados da média multiplicada pois este apresenta uma normalização e minimização das variações de luz, o que faz com que, de acordo com Zhang et al. (2013), estes dados possam ser considerados um NTL sem saturação. A seguir, são expostos mais detalhes quanto aos dados NTL:

Tabela 2- Características dos dados NTL (adaptado de Lage, 2016)□.

Cobertura Temporal	1992 a 2013
Área	-180° a 180° long e -65° a 75° lat
Projeção	Geográfica
Formato do Dado	WGS84 EGM96
Resolução Espacial	30 arcos segundo ~ 1 quilômetro

Tendo em vista que as imagens mais antigas do MODIS são de fevereiro de 2000 e que os dados NTL são disponíveis somente até 2013, decidimos trabalhar comparando os anos de 2001 e 2013.

Ao final do processamento, foram determinados R^2 , permitindo avaliar o quão bem podemos prever a variável resposta a partir da variável preditora (SHIMAKURA, 2008). No presente trabalho, escolhemos utilizar VANUI como X, pois busca-se provar que este explica a mudança de temperatura.

Ainda, após o teste de normalidade, optou-se por utilizar o coeficiente de correlação de Pearson (r) devido ao ajuste de normalidade.

2.1 Área de Estudo

Foram escolhidas as Regiões Metropolitanas de São Paulo e do Rio de Janeiro pois estão entre as maiores regiões metropolitanas do país, além de estarem entre as principais localidades que recebem migração.

A RM de São Paulo teve seus limites definidos pela Lei Federal Complementar nº 14 de 1973, mas foi posteriormente readequada ao novo modelo da Constituição Federal de 1988 pela Lei Complementar nº 1.139 de 16 de junho de 2011. Atualmente, possui 39 municípios, e cinco sub-regiões. A área possui a maior taxa de urbanização do Estado, sendo esta de 98,8% (MENCIO; ZIONI, 2017)

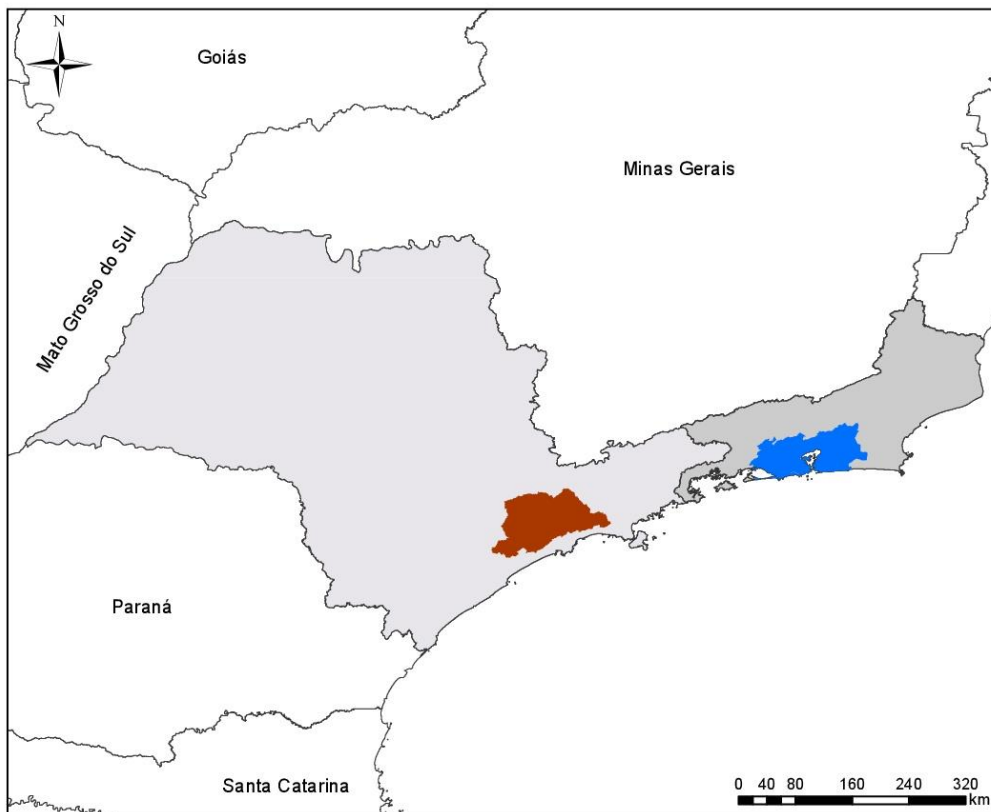
De acordo com o Atlas do Desenvolvimento Humano nas Regiões Metropolitanas Brasileiras (2014) a população da RM de São Paulo cresceu de 17.878.812 habitantes em 2000 para 19.683.975 em 2010.

No caso da RM do Rio de Janeiro, a mesma foi criada em 1974, logo após a criação das 8 primeiras regiões metropolitanas do país. Inicialmente, era composta por 14 municípios, mas foi se expando e atualmente é composta por 21 municípios. Se tratando de dados populacionais, a RMRJ apresenta as mesmas tendências da RMSP. Sua população passou de

10.964.296 habitantes em 2000 para 11.945.976 em 2010 (PNUD; IPEA; FJP, 2014).

A figura 1 apresenta as áreas de estudo:

Área de Estudo: Regiões Metropolitanas de São Paulo e Rio de Janeiro



Legenda:

-  RMRJ
-  RMSP
-  Rio de Janeiro
-  São Paulo

Coordinate System: GCS WGS 1984
Datum: WGS 1984
Units: Degree



Figura 1 – Regiões Metropolitanas de São Paulo e Rio de Janeiro (Mapa próprio).

2.2 VANUI

Os dados VANUI utilizados foram obtidos e descritos por Lage (2016) para os anos de 2001 e 2013. A autora, inicialmente, realizou o mosaico das cenas para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, pois a RM se encontra na transição entre duas imagens. Em seguida foi feito o corte da área de estudo.

O processamento consistiu em fazer uma média aritmética anual dos dados NDVI, utilizando o *bandmath* do software ENVI. Esse procedimento foi necessário pois os dados de vegetação são mensais enquanto que os dados de NTL são anuais. O mesmo procedimento também foi utilizado por Baptista (2005) e por Zhang e colaboradores (2013).

Lage (2016) seguiu o processamento normalizando os dados de NTL ao dividir as imagens por 63, pois seus valores deveriam variar de -1 a 1 assim como os valores de NDVI, para que se tornassem compatíveis com o VANUI. Em seguida, as imagens foram redimensionadas utilizando o *shapefile* de cada área metropolitana. Finalmente, a autora aplicou o índice VANUI (equação 1) às imagens, por meio do módulo *bandmath* do software ENVI, explicitado na equação a seguir:

$$VANUI = (1 - NDVI) * NTL \quad \text{(Equação 1)}$$

A ferramenta *Density Slice* foi utilizada por Lage (2016) para a classificação dos intervalos de valores dos *pixels*. Foram fixados valores de máximo e de mínimo, específicos para minimizar ruídos e captar crescimento da série temporal.

2.3 Temperatura de Superfície

Foram adquiridos dados do sensor MODIS pelo *website* da NASA Earthdata por meio do produto MOD11A2 que apresenta a temperatura radiométrica de superfície para 8 dias com resolução espacial de 1km, compatível com os dados NTL. Os dados foram processados utilizando como referência Baptista e Ribeiro (2017). A figura 2 apresenta o fluxograma dos processos realizados, que foram detalhados ao longo do artigo.

Para a realização deste trabalho foram adquiridas cenas da área H13V11 e H14V11, que abrangem as regiões metropolitanas em questão. No total, foram utilizadas 48 cenas, referentes aos anos de 2001 e 2013. Todas as cenas foram reprojetaadas de projeção sinusoidal para projeção geográfica com datum WGS84, mesma projeção dos dados NTL, utilizando o software *MODIS Reprojection Tool* (MRT). A partir daí foi possível extrair os dados de temperatura *Daytime and Nighttime*.

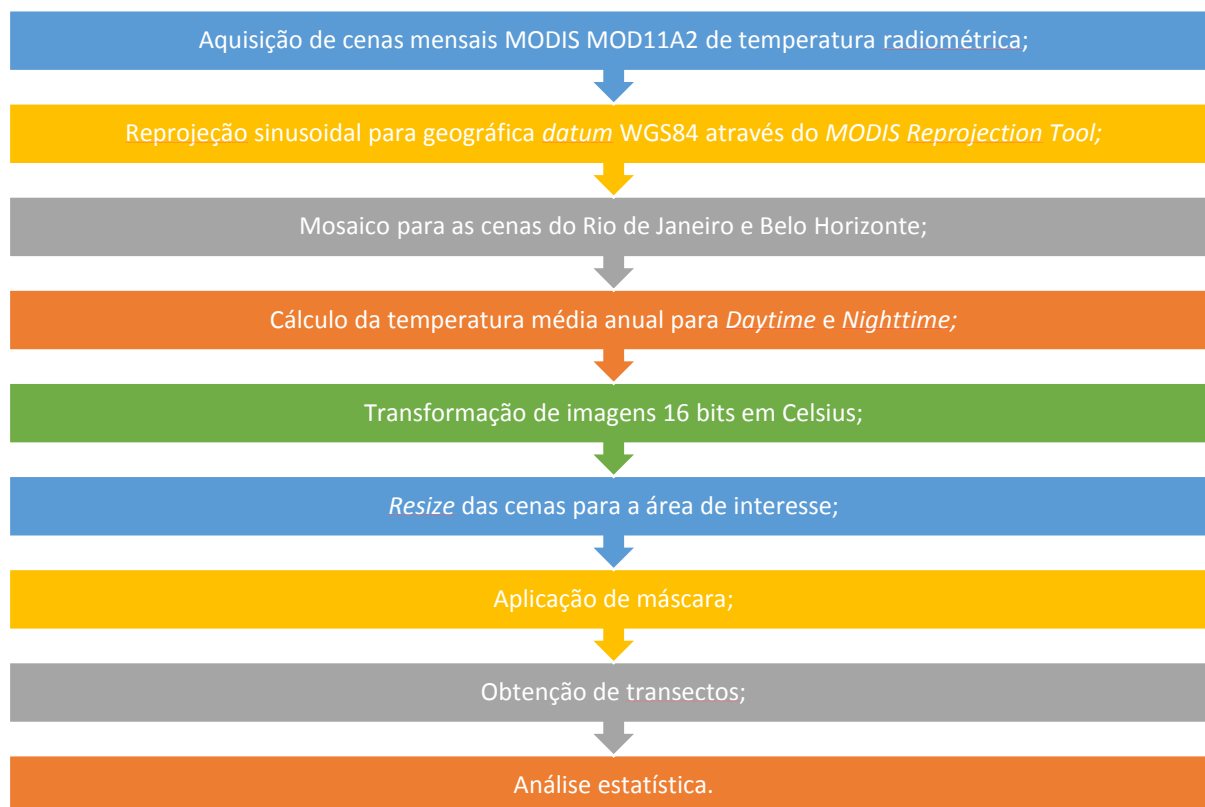


Figura 2 – Fluxograma dos métodos aplicados.

Após a reprojeção, foram feitos mosaicos das 96 cenas de H13V11 e H14V11 resultantes do MRT pois a Região Metropolitana do Rio de Janeiro se encontrava na transição entre as duas. Não foi necessário a execução de mosaico para a Região Metropolitana de São Paulo, pois esta se encontrava em sua totalidade no quadrante H13V11.

Foram escolhidas as melhores cenas que não apresentavam nuvens para as duas regiões metropolitanas em estudo. Após esse procedimento, foram calculadas as temperaturas médias utilizando a ferramenta *bandmath* do software ENVI. Passou-se então a possuir dados de temperatura média tanto para o dia como para a noite para as regiões metropolitanas do Rio de Janeiro e São Paulo. Também utilizando a ferramenta *bandmath* do ENVI, as cenas foram convertidas de 16 bits para temperatura radiométrica em Kelvin e posteriormente em Celsius.

Com o produto de temperatura média diurna e noturna para os anos de 2001 e 2013 para cada região metropolitana, foi executado o *resize* das cenas a fim de manter somente a região de interesse. Para o procedimento, foram utilizados os *shapes* da RMs. Em seguida, foi feito então o registro imagem-imagem utilizando as cenas de temperatura como base.

Finalmente, foram obtidos transectos em todas as cenas que puderam ser comparados estatisticamente. Analisou-se o coeficiente de correlação entre o VANUI e as duas variáveis de temperatura de superfície para cada transecto.

3. RESULTADOS

3.1 Região Metropolitana de São Paulo

O transecto escolhido para a Região Metropolitana de São Paulo atravessa toda a sua área mais adensada (Figura 2). Após traçar os transectos, foram verificados os coeficientes de determinação (R^2) e o de correlação de Pearson (r) entre VANUI e as duas variáveis de temperatura de superfície.

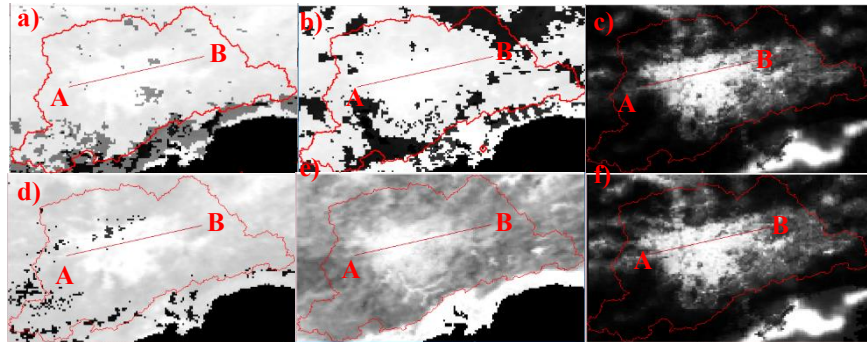


Figura 2 – Transectos traçados sob as imagens de Daytime (a), Nighttime (b) e VANUI (c) para 2001 e o mesmo para o ano de 2013, Daytime (d), Nighttime (e), VANUI (f).

A resposta aos transectos traçados podem ser observadas nas figuras 3 e 4, que permitem visualizar a tendência seguidas pelos dados de temperatura e os dados VANUI.

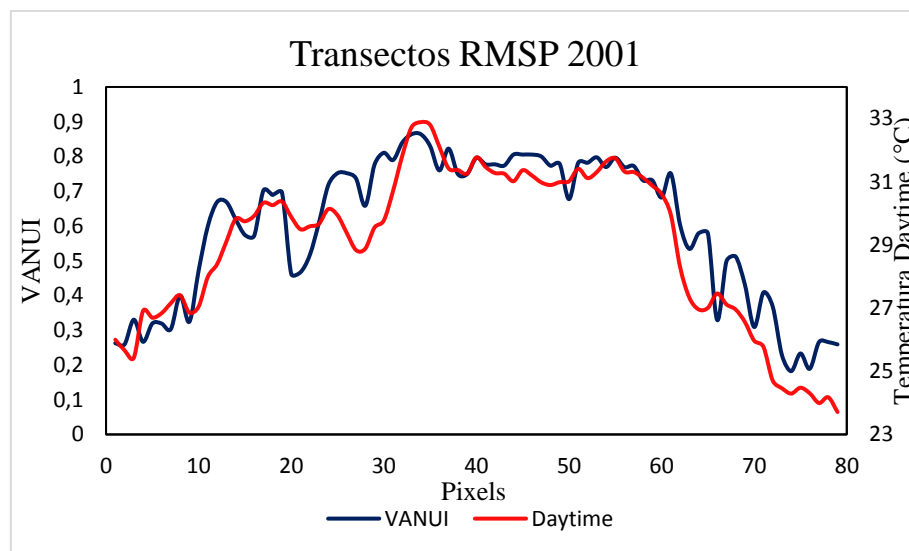


Figura 3 – Resposta espectral para os dados VANUI e para dados de temperatura de superfície *daytime* obtida a partir dos transectos para o ano de 2001.

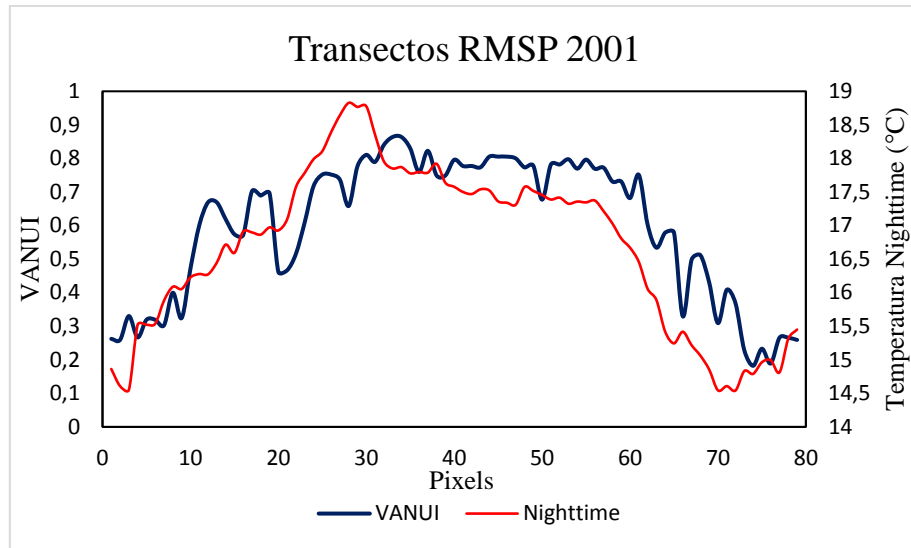


Figura 4 – Resposta espectral para os dados VANUI e para dados de temperatura de superfície *nighttime* obtida a partir dos transectos para o ano de 2001.

As figuras 3 e 4 apresentam os valores adquiridos com R^2 e com r . O coeficiente de determinação (R^2) entre a temperatura de dia e VANUI foi de 0,8554, e o entre a temperatura da noite e VANUI para o ano de 2001 foi de 0,7228. O r encontrado foi de 0,9 para temperatura *daytime* e 0,85 para *nighttime*.

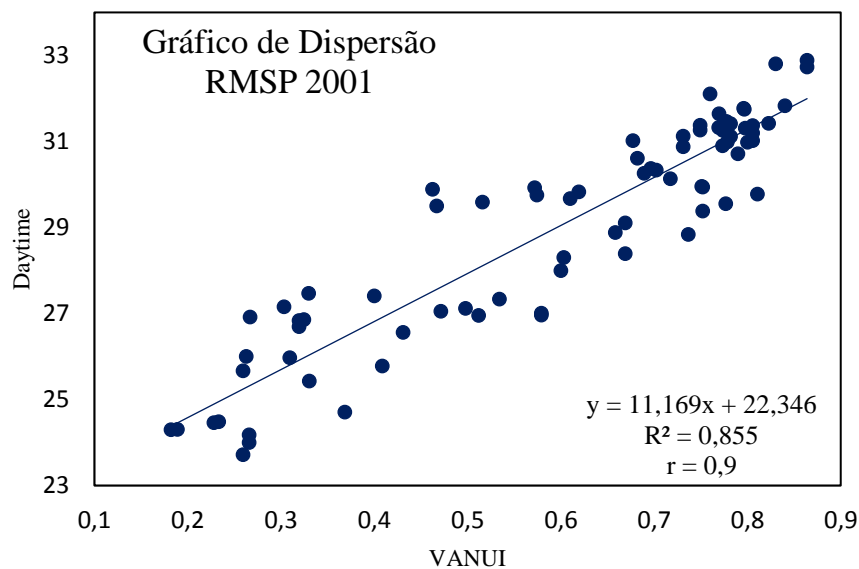


Figura 5 – Gráfico de Dispersão onde os dados VANUI (x) são testados para explicar os dados de temperatura *Daytime* (y) para o ano de 2001.

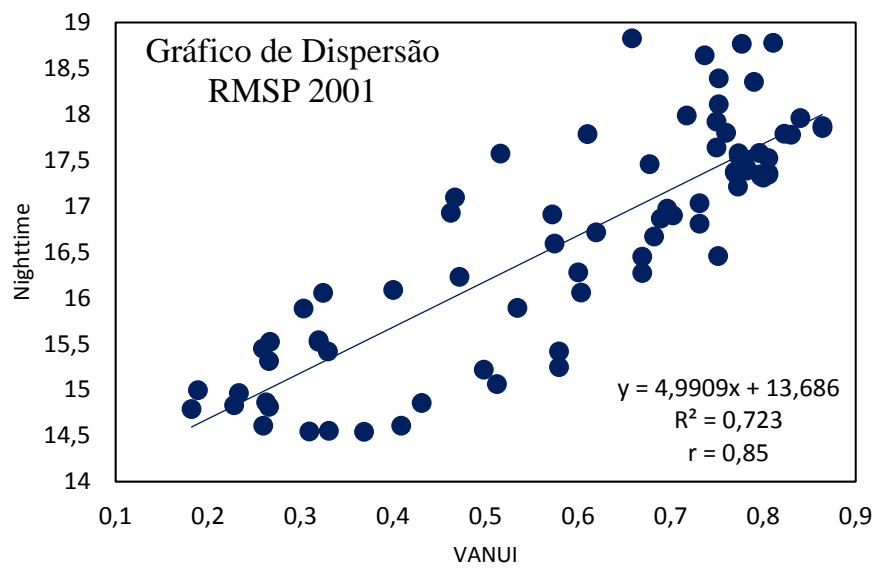


Figura 6 – Gráfico de Dispersão onde os dados VANUI (x) são testados para explicar os dados de temperatura *Nighttime* (y) para o ano de 2001.

Para o ano de 2013, foram traçados os mesmos transectos e obtidos $R^2=0,81$ na correlação entre temperatura do dia e VANUI, e $R^2=0,51$ na correlação entre temperatura noturna e VANUI. As figuras 7 e 8 também mostram que para *daytime* o r foi 0,90 e para *nighttime* r foi 0,72.

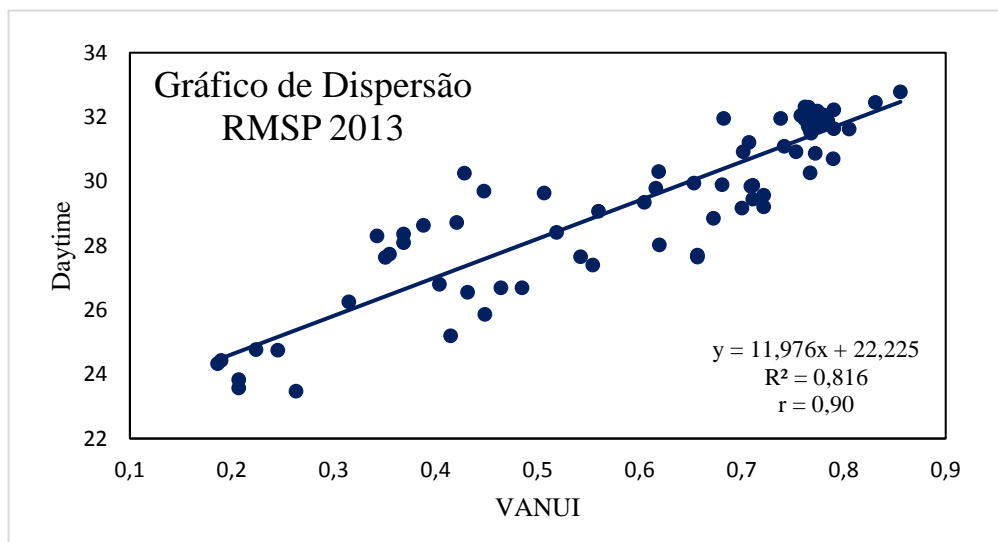


Figura 7 – Gráfico de Dispersão onde os dados VANUI (x) são testados para explicar os dados de temperatura *Daytime* (y) para o ano de 2013.

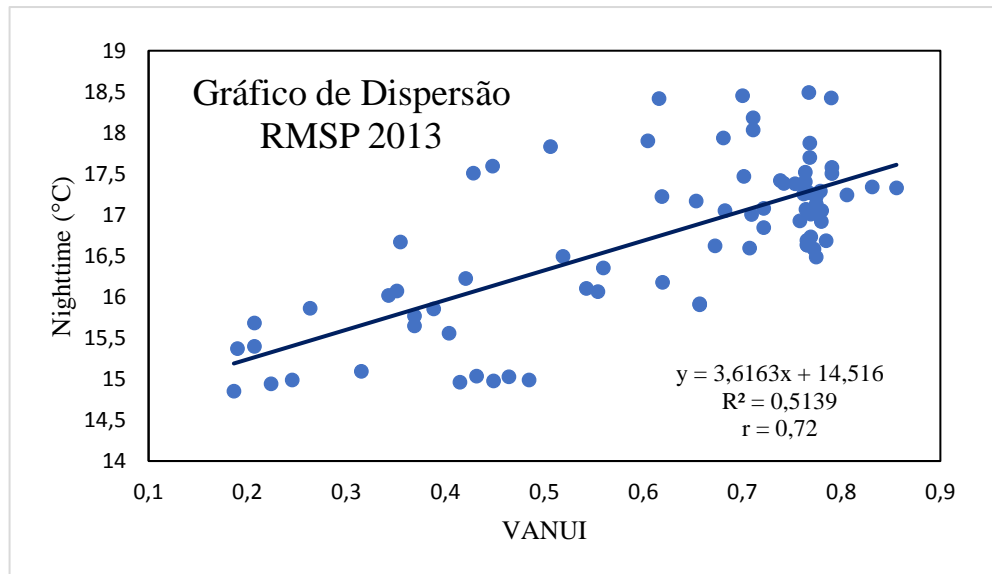


Figura 8 – Gráfico de Dispersão onde os dados VANUI (x) são testados para explicar os dados de temperatura *Nighttime* (y) para o ano de 2013.

As figuras 9 e 10 demonstram os dados adquiridas a partir do transecto, permitindo visualizar de forma mais clara a relação existente entre os dados em questão. A mesma tendência de comportamento é observada em ambos os dados.

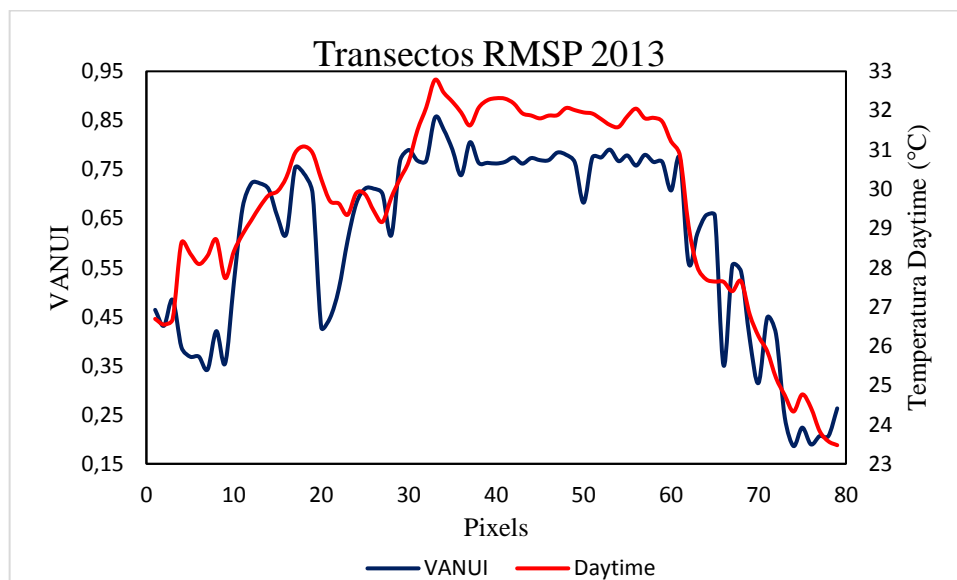


Figura 9 – Resposta espectral para os dados VANUI e para dados de temperatura de superfície *daytime* obtida a partir dos transectos para o ano de 2013.

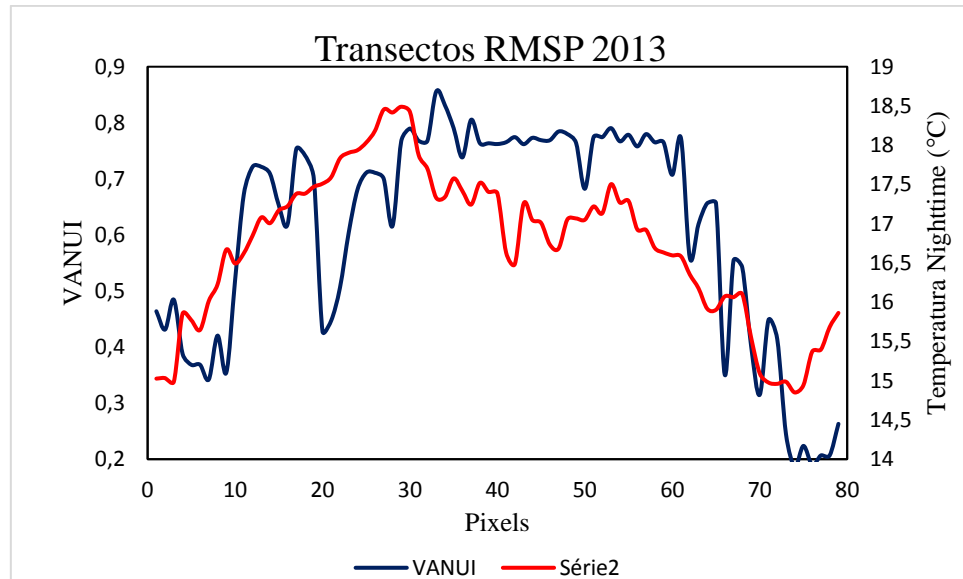


Figura 10 – Resposta espectral para os dados VANUI e para dados de temperatura de superfície *nighttime* obtida a partir dos transectos para o ano de 2013.

3.2 Região Metropolitana do Rio de Janeiro

Para a RMRJ, o transecto escolhido (Figura 11) passa pelo Parque Nacional da Tijuca e chega até uma área mais adensada da cidade, na zona norte, sendo assim possível avaliar a correlação entre os dados em diferentes cenários. As figuras 12 e 13 apresentam a resposta espectral obtida a partir dos transectos e permite observar uma abrupta mudança na tendência dos dados tanto VANUI como de temperatura devido à passagem de área vegetada para área urbana.

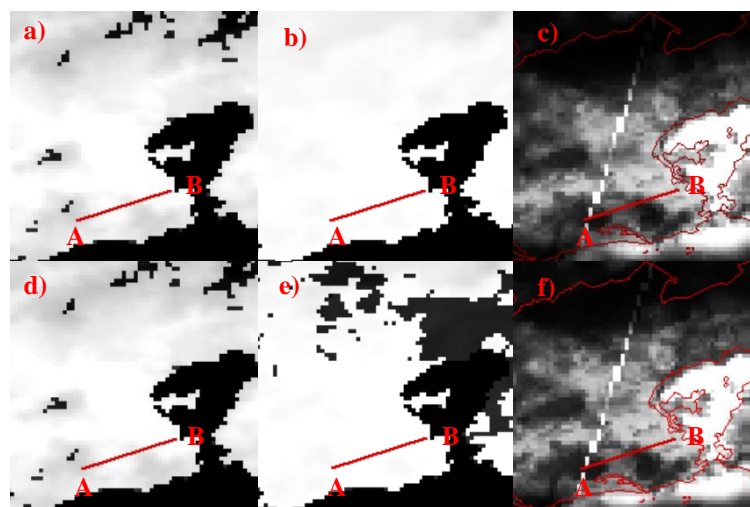


Figura 11 – Transectos traçados sob as imagens de *Daytime* (a), *Nighttime* (b) e *VANUI* (c) para 2001 e o mesmo para o ano de 2013, *Daytime* (d), *Nighttime* (e), *VANUI* (f).

Para o ano de 2001 obteve-se $R^2=0,85$ para a temperatura de superfície de dia e VANUI, e $R^2=0,83$ para a temperatura de superfície noturna e VANUI.

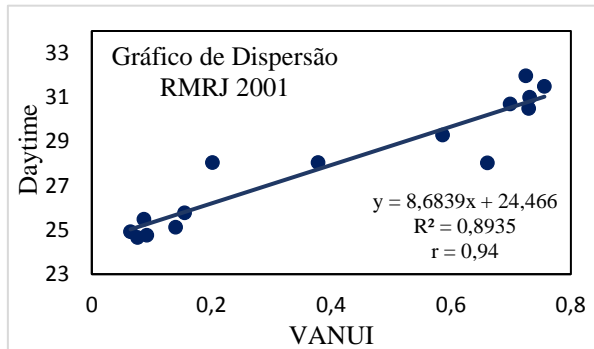


Figura 12 – Gráfico de Dispersão onde os dados VANUI (x) são testados para explicar os dados de temperatura *Daytime* (y) para o ano de 2001.

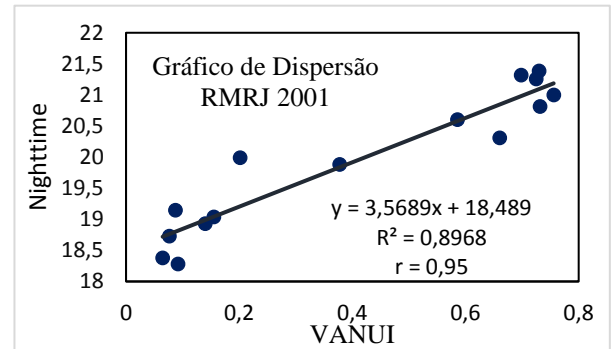


Figura 13 – Gráfico de Dispersão onde os dados VANUI (x) são testados para explicar os dados de temperatura *Daytime* (y) para o ano de 2001.

O r encontrado tanto para o dia como para a noite mostram uma alta correlação entre os dados. As figuras 11 e 13 mostram que para *daytime*, r foi 0,94 e para *nighttime*, r foi 0,95. Esta correlação pode ser percebida nas figuras 14 e 15, onde mostra a resposta espectral de cada dado no traçado traçado.

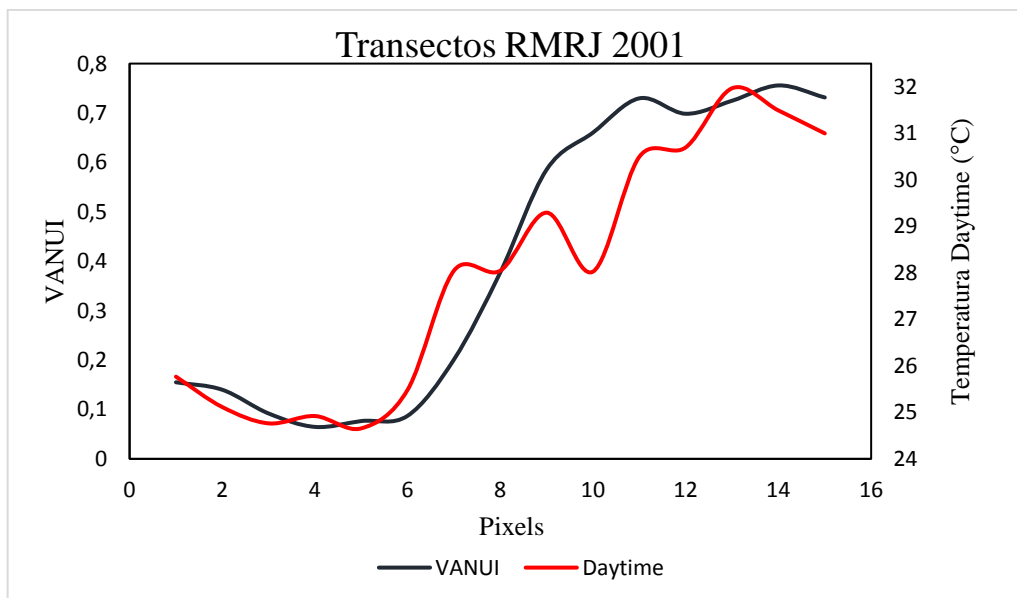


Figura 14 – Resposta espectral para os dados VANUI e para dados de temperatura de superfície *daytime* obtida a partir dos transectos para o ano de 2001.

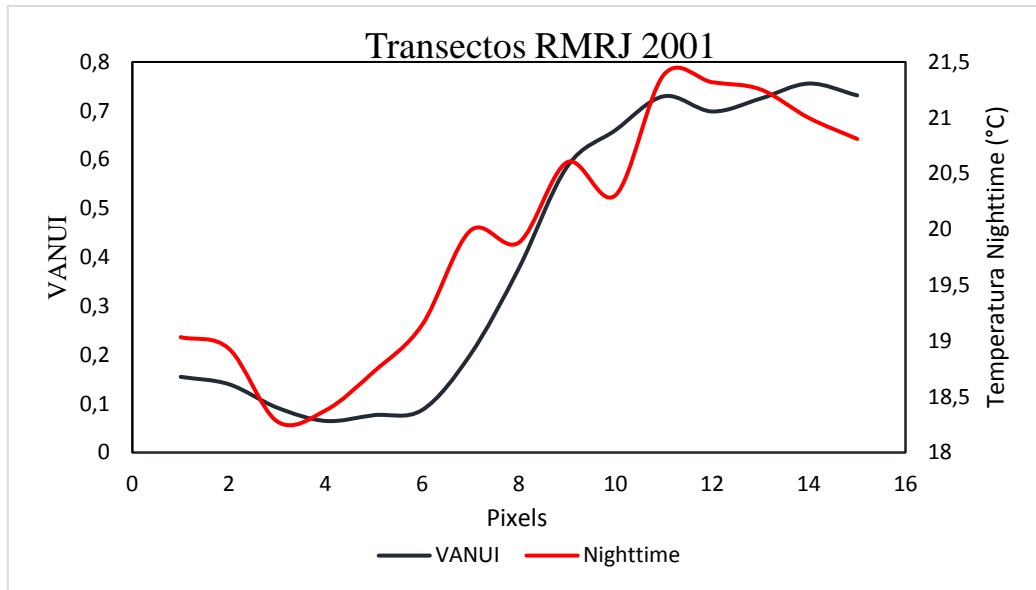


Figura 15 – Resposta espectral para os dados VANUI e para dados de temperatura de superfície *nighttime* obtida a partir dos transectos para o ano de 2001.

Em 2013, os resultados também se apresentaram satisfatórios, com $R^2=0,93$ para os dados de *daytime* e $R^2=0,89$ para os dados de *nighttime*. O r encontrado foi de 0,91 tanto para *daytime* como para *nighttime*, como pode ser observado nas figuras 14 e 15.

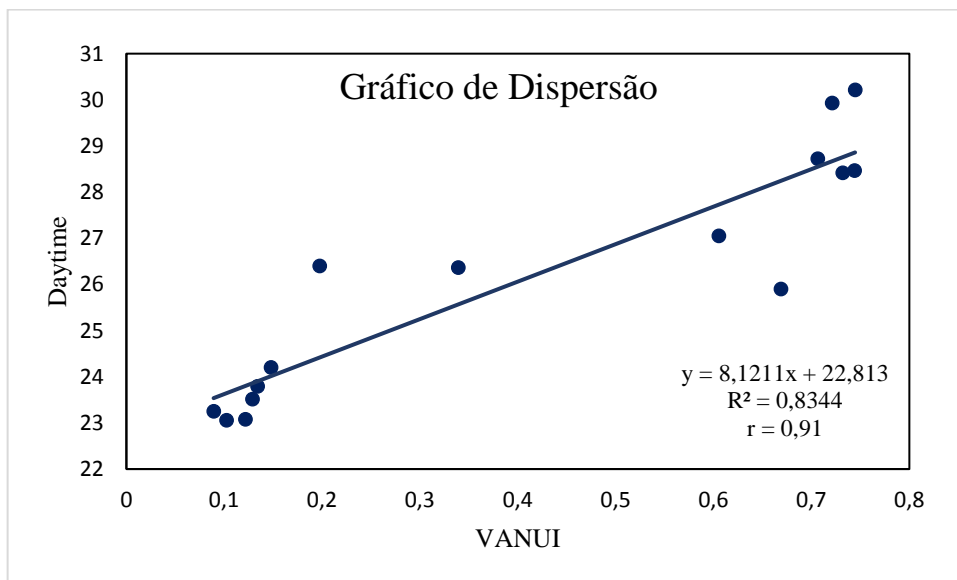


Figura 14 – Gráfico de Dispersão onde os dados VANUI (x) são testados para explicar os dados de temperatura *Daytime* (y) para o ano de 2013.

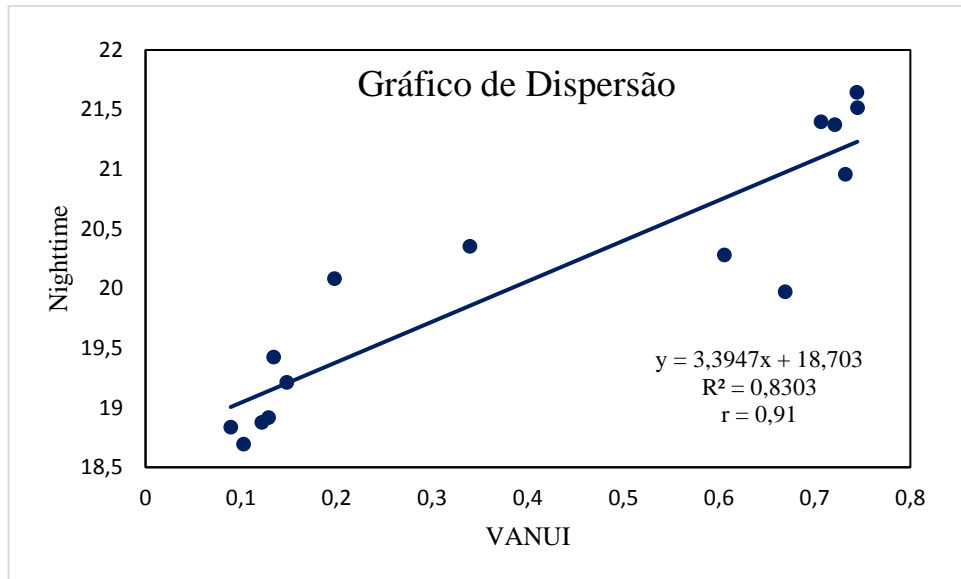


Figura 15 – Gráfico de Dispersão onde os dados VANUI (x) são testados para explicar os dados de temperatura *nighttime* (y) para o ano de 2013.

Mais uma vez, as figuras 16 e 17 demonstram as linhas adquiridas a partir do transecto, permitindo visualizar a relação existente entre os dados em questão. Nas figuras é possível observar que ambos os dados seguem a mesma tendência.

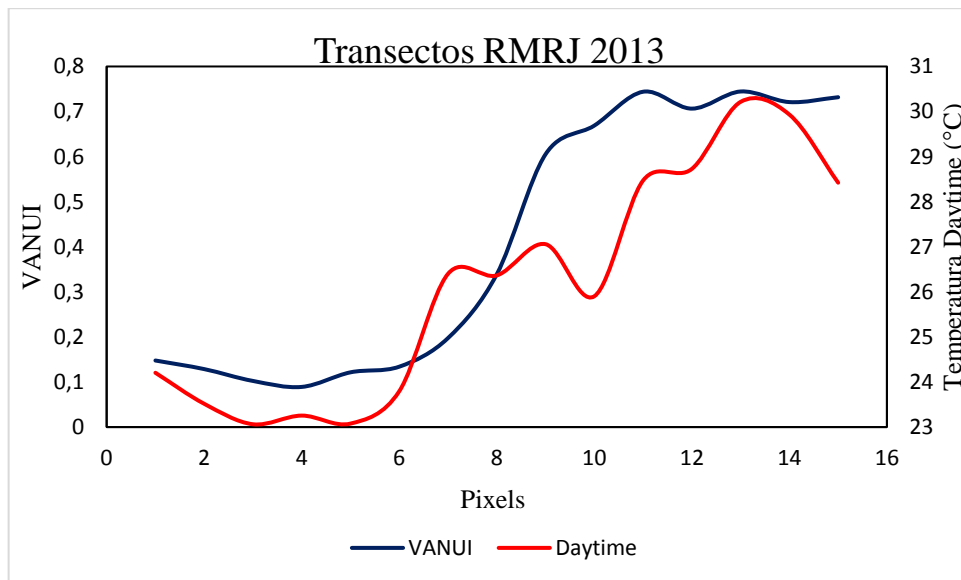


Figura 16 – Resposta espectral para os dados VANUI e para dados de temperatura de superfície *daytime* obtida a partir dos transectos para o ano de 2013.

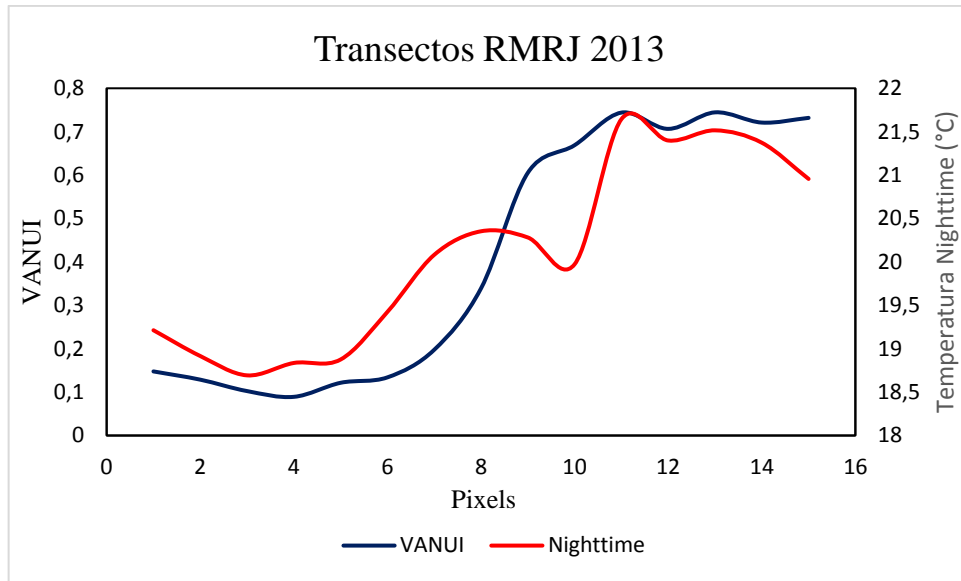


Figura 17 – Resposta espectral para os dados VANUI e para dados de temperatura de superfície *nighttime* obtida a partir dos transectos para o ano de 2013.

4. DISCUSSÃO

A partir dos dados de R^2 é possível inferir que os dados VANUI possuem uma alta capacidade de explicação dos dados de temperatura de superfície, ou seja, consegue explicar o adensamento urbano. Os resultados para o Coeficiente de Pearson obtidos também permitem afirmar que há uma alta correlação entre os dados VANUI e os dados de temperatura de superfície, corroborando mais uma vez para a ideia de que os dados VANUI possam ser usados para a análise do adensamento urbano.

Os resultados mostraram que há uma alta correlação entre os dados VANUI e os dados de temperatura de superfície. Os gráficos 14, 15, 16 e 17, representando os dados obtidos no transecto da RMRJ demonstra exatamente a mudança da resposta espectral para os dados VANUI, sendo possível observar onde se inicia a mancha urbana. Os dados de temperatura de superfície não são usados para demarcar exatamente o início de uma mancha urbana, mas a abrupta mudança de temperatura, que acompanha os dados VANUI, corrobora para a alta correlação entre os dados.

Em todas as áreas estudadas foi possível constatar o adensamento urbano através dos dados VANUI e dos dados de Temperatura de Superfície. Ainda, dados do Atlas do Desenvolvimento Humano nas Regiões Metropolitanas Brasileiras (2014) também apontam essa tendência para as áreas estudadas ao comparar os anos de 2000 e 2010. Na RMSP houve um aumento em sua densidade populacional, de 2.249,68 hab./km² em 2000 para 2.476,82 hab./km² em 2010. O mesmo pôde ser observado na RMRJ, na qual sua densidade populacional

passou de 1.627,45 hab./km² em 2000 para 1.773,1 hab./km² em 2010 (PNUD; IPEA; FJP, 2014).

Tendo em vista que a população está crescendo, e esta é uma tendência observada em todo o mundo, torna-se difícil evitar o adensamento urbano. Assim, não tanto evitar, mas planejar a forma como esta expansão acontece é que deve estar na mente dos tomadores de decisões. Dessa forma, não se pode ignorar os diversos aspectos atingidos diretamente pelo adensamento das áreas urbanas, como o acesso ao sol e à luz natural, a ventilação urbana, a mobilidade, resíduos sólidos, qualidade do ar, ruído urbano, além de diversos outros aspectos socioeconômicos (DUARTE, 2015)

Além disso, o modelo de crescimento urbano do Brasil se apresenta preocupante. O intenso adensamento de determinadas regiões em detrimento de outras impede o desenvolvimento equilibrado do território. Geralmente, os locais de trabalho e lazer se concentram nas zonas centrais enquanto a população reside, em sua maioria, em áreas mais distantes. Ainda, a supervalorização de algumas áreas faz com que muitas pessoas ocupe locais mais distantes ainda e desprovidos de infraestrutura (PLANMOB, 2015, s/p apud (SCHMITT; RESCH, 2017)). □

Em ambas regiões metropolitanas estudadas foram encontrados centros urbanos bastante adensados, com a presença de edificações no centro das cidades construídas com materiais que emitem mais calor. Ainda, os resultados deste artigo se mostram positivos tendo em vista que vão de encontro aos resultados encontrados na literatura (TERRA-OLIVEIRA; GANEM; BAPTISTA, 2017; TEZA; BAPTISTA, 2005) □ onde se comprova que há o fenômeno de Ilhas de Calor Urbana (ICU) nas áreas estudadas. Este fenômeno ocorre necessariamente em áreas urbanas devido à falta de planejamento.

O aumento da temperatura, resultado das Ilhas de Calor Urbano, leva ao maior consumo de energia, pois há uma busca por um melhor conforto térmico através do uso de aparelhos que amenizem a temperatura local. É por isso que as áreas urbanas são fontes consideráveis de gases de efeito estufa (LOMBARDO, 2009).

Visualmente, é possível observar esta relação entre urbanização e o aumento da temperatura. As figuras 18 e 19 permitem essa observação, ao colocar lado a lado as imagens de VANUI obtidas por Lage (2016) e as imagens de temperatura de superfície *daytime* obtidas para as mesmas áreas neste trabalho.

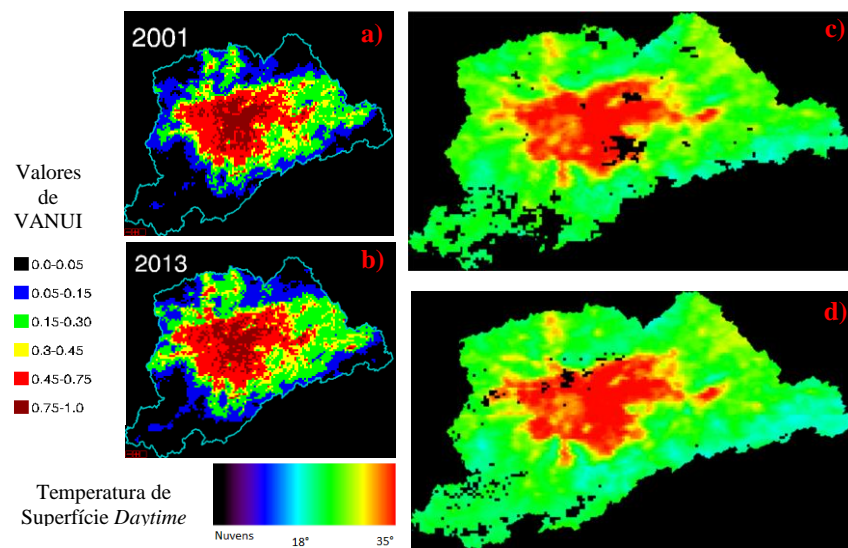


Figura 18 – Imagens dos valores VANUI para o ano de 2001 (a) e 2013 (b), e de temperatura de superfície para *daytime* de 2001 (c) e 2013 (d), todas para a RMSP (Adaptado de Lage, 2016).

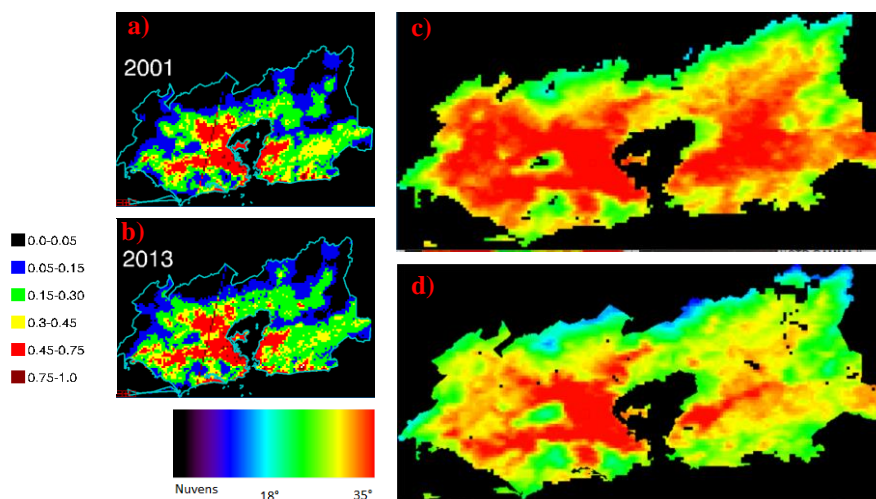


Figura 19 – Imagens dos valores VANUI para o ano de 2001 (a) e 2013 (b), e de temperatura de superfície para *daytime* de 2001 (c) e 2013 (d), todas para a RMRJ (Adaptado de Lage, 2016).

O aumento da infraestrutura urbana e o aumento da emissão de GEE entre os anos 2000 e 2013 podem ser constatados pelos dados do Mapbiomas e os dados do SEEG, respectivamente. Com eles, é possível observar uma forte relação entre os dados de Infraestrutura Urbana do Mapbiomas e da quantidade de GEE emitidos pelo setor de energia de acordo com os dados do SEEG. Assim, observa-se a mesma tendência de crescimento das áreas urbanas entre 2001 e 2013 (LAGE; BAPTISTA, 2015□; Mapbiomas, 2018) com o aumento na emissão de GEE (SEEG, 2018). Terra-Oliveira et al (2017)□ apresentaram que há uma relação inversa entre o sequestro de carbono e a temperatura, podendo-se inferir mais uma vez a relação entre a emissão de GEE, o adensamento urbano e as ilhas de calor e o aumento do uso de energia.

A metodologia utilizada no presente trabalho, então, vem como uma nova perspectiva de avaliação do aumento da expansão urbana e do adensamento desta área, tornando possível a análise de tendências e o desenvolvimento de cenários confiáveis. A aplicação do índice VANUI, por permitir a análise de grandes áreas, poderá ser aplicada para o planejamento urbano por governantes e, inclusive, auxiliar no alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.

Os ODS são uma agenda mundial composta de 17 objetivos e 163 metas que devem ser atingidos até 2030, auxiliando no alcance dos Objetivos do Milênio. A ideia é que todos os países colaborativos busquem soluções multidimensionais para desafios multidimensionais, sendo que todos os objetivos são interligados (ONU, 2015), assim como as questões que surgem em áreas de aglomeração urbana, onde soluções devem ser buscadas em conjunto e levando em conta todas as dimensões dos problemas e dos territórios afetados.

De forma mais direta, as descobertas com a aplicação do VANUI podem ser ligadas ao ODS 09 que trata da “Indústria, Inovação e Infraestrutura” e visa o desenvolvimento de infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e o avanço tecnológico. Além deste, outros ODS também podem ser relacionados com o tema deste trabalho, como o ODS 7, que visa um uso e acesso sustentável à energia; o objetivo 11, que busca tornar as cidades e os assentamentos urbanos mais sustentáveis e o ODS 13, que trata de medidas que devem ter tomadas a fim de combater as mudanças climáticas (ONUBR, 2017)

Assim, os resultados encontrados no presente estudo se apresentam um achado interessante, tendo em vista que os dados disponíveis e a metodologia aplicada permite a análise multi-temporal do crescimento da macha urbana, a análise de tendências e também a criação de cenários a partir destas, como feito para a Área Metropolitana de Brasília por Baptista e Nascimento (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2016)

O desenvolvimento de cenários é uma metodologia utilizada na identificação, na proposta e na discussão de alternativas de ações estratégicas, muito utilizada em planejamentos, algo extremamente necessário quando se trata de expansão urbana. Por permitir um olhar sobre o futuro orientado, a geração de cenários permite esclarecer e direcionar a ação presente, sendo considerada uma das estratégias mais promissoras dentro do ramo da ciência chamada prospectiva (GODET; DURANCE, 2011 apud BAPTISTA; NASCIMENTO, 2016).

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos no presente estudo permitem inferir que os dados VANUI possuem uma alta capacidade de explicar os dados de temperatura e, ainda, que há uma alta correlação entre os dados. Assim, é seguro afirmar que os dados NTL com a aplicação do índice VANUI se mostram pertinentes no estudo do adensamento urbano.

Desta forma, acredita-se que o objetivo deste trabalho foi atingido tendo em vista que os dados NTL com índice VANUI mostraram-se propícios à análise do grau de adensamento urbano. Contudo, recomenda-se ainda o estudo da aplicação desta metodologia a fim de se obter uma melhor compreensão quanto aos dados e quanto acurácia dos mesmo em relação a quantificação do adensamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAPTISTA, G. M. de M.; RIBEIRO, R. J. da C. **Avaliação do Grau de Adensamento Urbano por meio de Dados de Luz Noturna e de Temperatura de Superfície.** In: *Encontro Nacional da Rede Observatório das Metrôpoles*. Natal/RN: [s.n.], 2017.
- BRITO, F.; PINHO, B. A. T. D. De. **Distribuição espacial da população, urbanização e migrações internas no Brasil.** *Anais do XIX Encontro Nacional de Estudos Populacionais*, [s.l.], p. 1–21, 2014.
- DUARTE, D. H. S. **O impacto da vegetação no microclima em cidades adensadas e seu papel na adaptação aos fenômenos de aquecimento urbano. Contribuições a uma abordagem interdisciplinar.** 167 p. - USP, 2015. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/16/tde-11052016-104104/>>.
- GANEM, K. A. L. I. **Florestal De Carbono E Ilhas De Calor Urbanas Nas Metrôpoles De São Paulo , Rio De Janeiro , Belo Marcelli Terra De Oliveira Brasília – Df.** [s.l.], 2014.
- LAGE, C. A. **AVALIAÇÃO DA EXPANSÃO DE ÁREAS URBANAS BRASILEIRAS E SEUS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS POR MEIO DA INTEGRAÇÃO DOS ÍNDICES NTL E NDVI.** 42 p. - Universidade de Brasília, 2016.
- LOMBARDO, M. A. **Análise das mudanças climáticas nas metrôpoles o exemplo de São Paulo e Lisboa.** *Unesp*. [s.l.]: [s.n.], 2009. 37 p. ISBN: 9788579830075.
- MENCIO, M.; ZIONI, S. **A caracterização das Regiões Metropolitanas e Aglomerações Urbanas pelo IBGE : Limites e Avanços do Estatuto da Metrôpole.** In: *XVII ENANPUR*. São Paulo, SP: [s.n.], 2017.
- MIANA, A. C. **ADENSAMENTO E FORMA URBANA: INSERÇÃO DE PARÂMETROS AMBIENTAIS NO PROCESSO DE PROJETO.** 394 p. - Universidade de São Paulo, 2010.
- ONUBR. **Objetivos de desenvolvimento sustentável 1, 2, 3, 5, 9 e 14.** In: *Documentos temáticos*. [s.l.]: [s.n.], 2017. Disponível em: <<http://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/library/ods/documentos-tematicos--ods-1--2--3--5--9--14.html>>.
- SCHMITT, A. C.; RESCH, S. **Adensamento urbano no Brasil e a dimensão espacial (quase) esquecida da sustentabilidade.** *I Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação*, [s.l.], 2017.
- TERRA-OLIVEIRA, M.; GANEM, K. A.; BAPTISTA, G. M. D. M. **Análise Sazonal Da**

Relação Entre Sequestro De Carbono E Ilhas De Calor Urbanas Nas Metr6poles De S6o Paulo, Rio De Janeiro. *Revista Brasileira de Cartografi*, [s.l.], n6 N6 69/4, p. 807–825, 2017.

TEZA, C. T. V.; BAPTISTA, G. M. D. M. **Identifica76o do fen6meno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on demand 08 – Kinetic Temperature (III): metr6poles brasileiras.** In: *XII Simp6sio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Goi6nia, Goi6s: [s.n.], 2005. Dispon6vel em:
<<http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.01.17.52/doc/3911.pdf>>.

ZHANG, Q.; SCHAAF, C.; SETO, K. C. **The Vegetation adjusted NTL Urban Index: A new approach to reduce saturation and increase variation in nighttime luminosity.** *Remote Sensing of Environment*, [s.l.], v. 129, p. 32–41, 2013. ISBN: 0034-4257, ISSN: 00344257, DOI: 10.1016/j.rse.2012.10.022.

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*, [s.l.], v. 115, n6 9, p. 2320–2329, 2011. ISBN: 0034-4257, ISSN: 00344257, DOI: 10.1016/j.rse.2011.04.032.

CAPÍTULO 2:

II ENCONTRO LUSO-AFRO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA E AMBIENTE

4 a 8 de junho de 2018
Universidade do Minho
Guimarães, Portugal

Avaliação do Grau de Adensamento Urbano por meio de Dados de Luz Noturna e de Temperatura de Superfície de Belo Horizonte - MG

H. B. T. M. Dourado^(a), J. R. S. Brito^(b), C. A. Lage^(c), G. M. M. Baptista^(d)

^(a) Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, heloisabeatriz.tmd@gmail.com

^(b) Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, jerffesonrossi@gmail.com

^(c) Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, cintia.alvim92@gmail.com

^(d) Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, gmbaptista@unb.br

Resumo/

O presente estudo analisou os dados da Área Metropolitana de Belo Horizonte, para o ano de 2001 e 2013, e os comparou com os dados de temperatura de superfície média anual diurna e noturna de cada ano para a AMBH. Para o mapeamento da área metropolitana de Belo Horizonte, utilizamos dados da aplicação do índice VANUI à série histórica DMSP – OLS de dados de luz noturna (*NightTime Light* – NTL) da área no período de 2001 e 2013, a fim de minimizar a saturação e consequente superestimativa da área da mancha, devido à alta sensibilidade desses sensores à luz. Os dados obtidos foram comparados com os dados de temperatura de superfície média anual diurna e noturna da mesma área. Foram traçados e comparados estatisticamente transectos nas cenas VANUI, *Daytime* e *Nighttime*, permitindo inferir que os dados VANUI podem ajudar na compreensão do adensamento urbano.

Palavras chave: Luz noturna, Temperatura de superfície, Adensamento urbano.

1. Introdução

Nas últimas décadas, de acordo com dados dos censos de 2000 e 2010 (IBGE, 2017), pode-se perceber uma intensificação no adensamento urbano. Foram observados um crescimento de 81,2% em 2000 para 84,4% em 2010 na população brasileira. Contudo, não foi observado o mesmo tipo de crescimento em área nas áreas urbanas, demonstrando que as cidades brasileiras não cresceram horizontalmente, mas sim verticalmente.

Dessa forma, torna-se fundamental o mapeamento destas áreas para que se possa aferir o seu crescimento, criar cenários e também para o planejamento urbano. A adoção de técnicas de geoprocessamento, em especial o processamento de dados de sensoriamento remoto, se torna necessária para minimizar a dificuldade que é a quantificação do crescimento da mancha urbana, que se dá devido

ao fato de que as áreas periurbanas geralmente possuem uma diversidade de usos, dificultando a determinação de um polígono (BAPTISTA; RIBEIRO, 2017).

Contudo, a quantificação do crescimento urbano se torna um desafio devido à diversidade de materiais empregados nas construções de cidades, levando assim a uma grande variedade de respostas espectrais, inclusive misturas (BAPTISTA, 2010).

Baptista e Nascimento (2016) verificaram o crescimento da mancha urbana da Área Metropolitana de Brasília no período de 2000 a 2013, além de gerar cenários de acordo com as tendências observadas em seu estudo. Os dados foram gerados a partir da aplicação do índice VANUI à série histórica DMSP (*Defense Meteorological Satellite Program*) – OLS (*Operational Linescan System*) de dados de luz noturna (*NightTime Light – NTL*). O sensor detecta luzes de diversas fontes, como explosões de gás, incêndios, ocupações humanas, dentre outras. Isso porque é capaz de capturar imagens com baixa intensidade de luz, conseguindo imagens até da face não iluminada do planeta, apenas com a luz da Lua (Baptista, 2015).

O método se mostra viável, tendo em vista que o homem é o único animal que prolonga seu fotoperíodo por meio de luz artificial. Assim, é possível observar a área urbana a partir de dados obtidos durante a passagem do satélite sobre a face não iluminada da Terra. Entretanto, há uma superestimativa da mancha urbana devido à saturação dos pixels pela luz urbana, isso se dá pois a sensibilidade dos sensores é muito alta.

Visando minimizar tal saturação, Zhang (et al., 2013) integraram os dados de NTL com os dados do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI – Rouse et. al, 1973), gerando o índice VANUI (Vegetation Adjusted NTL Urban Index). Os dados do índice VANUI aumentam na medida em que as áreas se tornam mais adensadas, indicando mais luz e com isso demonstrando a verticalização das áreas urbanas (BAPTISTA; RIBEIRO, 2017).

A fim de avaliar os dados obtidos por meio do cálculo do VANUI, o presente estudo analisou os dados da Área Metropolitana de Belo Horizonte, para o ano de 2001 e 2013, e os comparou com os dados de temperatura de superfície média anual diurna e noturna de cada ano para a AMBH. Foram obtidos e comparados estatisticamente transectos nas cenas VANUI, *Daytime* e *Nighttime*. Os transectos foram escolhidos de acordo com o trabalho de Teza & Baptista, 2005.

O uso dos dados de temperatura de superfície é justificado pois sabe-se que as temperaturas de superfície aumentam conforme se alcança o centro das metrópoles, e que este fenômeno tem ligação direta com o grande adensamento de edificações nos centros das cidades. O evento é chamado de “ilhas de calor”, que ocorrem devido à distinta irradiação de calor nas diferentes regiões, como em regiões edificadas, regiões com vegetação e regiões com solo exposto, além da concentração de poluentes e são encontradas nas zonas centrais da mancha urbana (TEZA; BAPTISTA, 2005).

2. Material e Métodos

As cenas MOD11A2 foram obtidas no website da NASA EOSDIS (*Earth Observing System Data and Information System*), *Reverb-Echo*. Os dados possuem um índice de vegetação mensal com 1 km de resolução espacial. A distribuição das cenas se dá em projeção sinusoidal, já corrigidos para os efeitos atmosféricos com os índices NDVI e EVI. A Área Metropolitana de Belo Horizonte está localizada entre a transição dos *tiles* H13V10 e H13V11, então foi necessária a realização de um mosaico. Já os dados NTL foram obtidos no website do National Geophysical Data Center do NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration). Os dados em questão foram todos processados de acordo com Lage (2016).

Também foram utilizados dados do sensor MODIS, por meio do produto MOD11A2 que apresenta temperatura radiométrica de superfície para 8 dias com resolução espacial de 1 km, sendo compatível com os dados de NTL. As primeiras cenas de cada mês foram selecionadas e todas reprojetaadas de projeção sinusoidal para a projeção geográfica, com datum WGS84 (mesma projeção dos dados NTL), por meio do software MRT. Após a reprojeção, foram realizados mosaicos dos *tiles* H13V10 e H13V11 de cada ano.

Foram escolhidas cenas que não apresentavam nuvens tanto para o dia como para a noite, sendo 7 cenas *Daytime* tanto para 2001 como para 2013, e 8 cenas *Nighttime* também para cada ano. Foram feitas as médias para cada ano *Daytime* e *Nighttime*, e então os dados foram convertidos de 16 bits para a temperatura radiométrica em Kelvin e depois para Celsius.

Após o registro das imagens VANUI tendo como base as imagens de temperatura, foram traçados transectos tanto nas imagens VANUI como nas imagens de temperatura a fim de compará-las estatisticamente (Figura 1). Os transectos passam por áreas de baixa densidade urbana, para uma de alta densidade e depois baixa novamente.

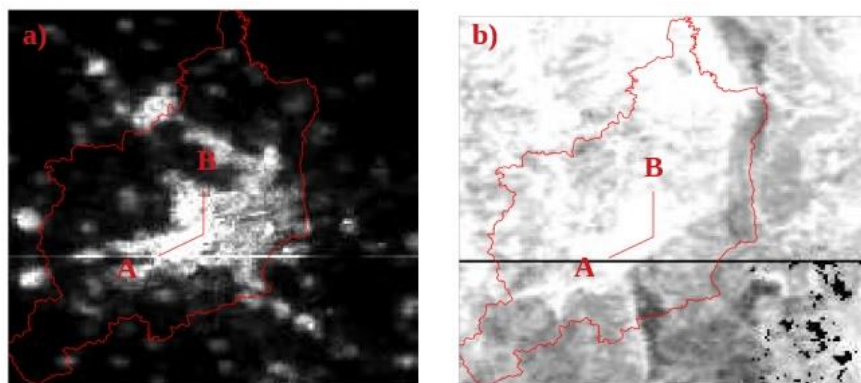


Figura 1 – Transectos que foram traçados sobre os dados a) VANUI e de b) temperatura de superfície *Nighttime*, ambos do ano de 2013. Fonte: Elaborada pelos autores.

3. Resultados

Foram determinados os coeficientes de determinação (R^2) para avaliar a correlação entre VANUI x *Daytime* e VANUI x *Nighttime*. No ano de 2001, obtive-se, para VANUI x *Daytime* (Figura 2), o resultado de $R^2= 0,47$. Já para VANUI x *Nighttime*, $R^2= 0,58$ (Figura 3). No ano de 2013, um resultado para VANUI x *Daytime* de $R^2=0,37$ (Figura 4), enquanto que para VANUI x *Nighttime*, $R^2= 0,55$ (Figura 5). É possível observar que os dados VANUI e os dados de temperatura apresentam a mesma tendência.

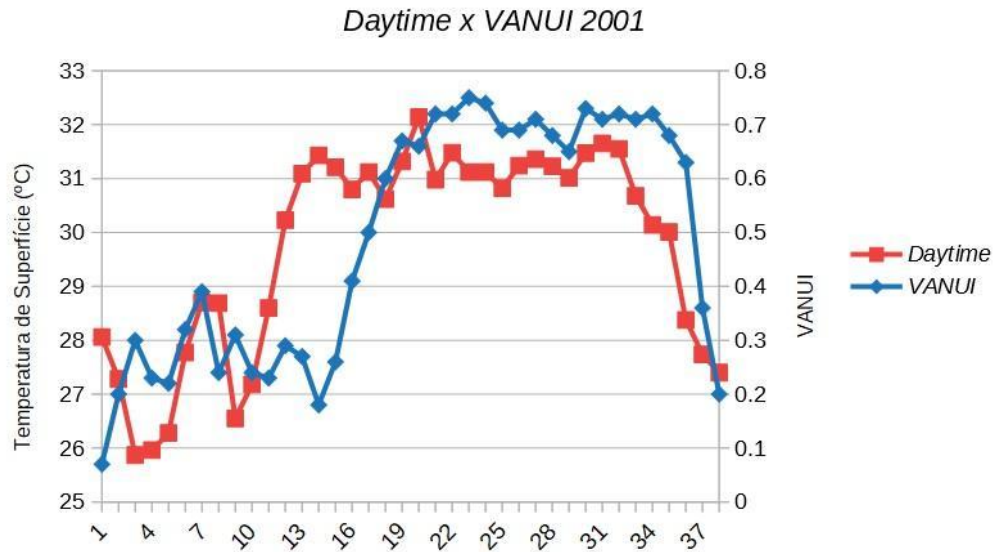


Figura 2 – Dados *Daytime* x VANUI para o ano de 2001. Fonte: Elaborada pelos autores.

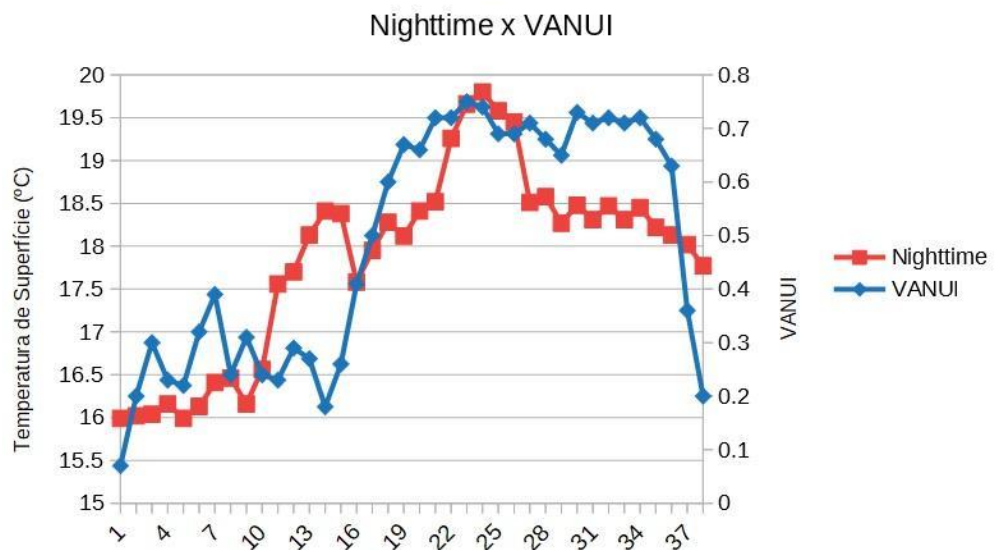


Figura 3 – Dados *Nighttime* x VANUI para o ano de 2001. Fonte: Elaborada pelos autores.

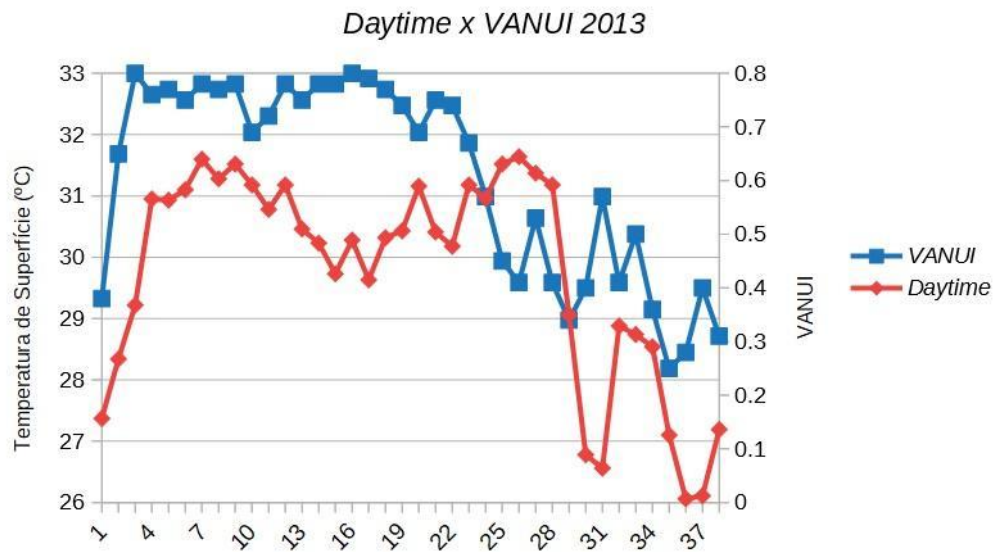


Figura 4 – Dados *Daytime* x VANUI para o ano de 2013. Fonte: Elaborada pelos autores.

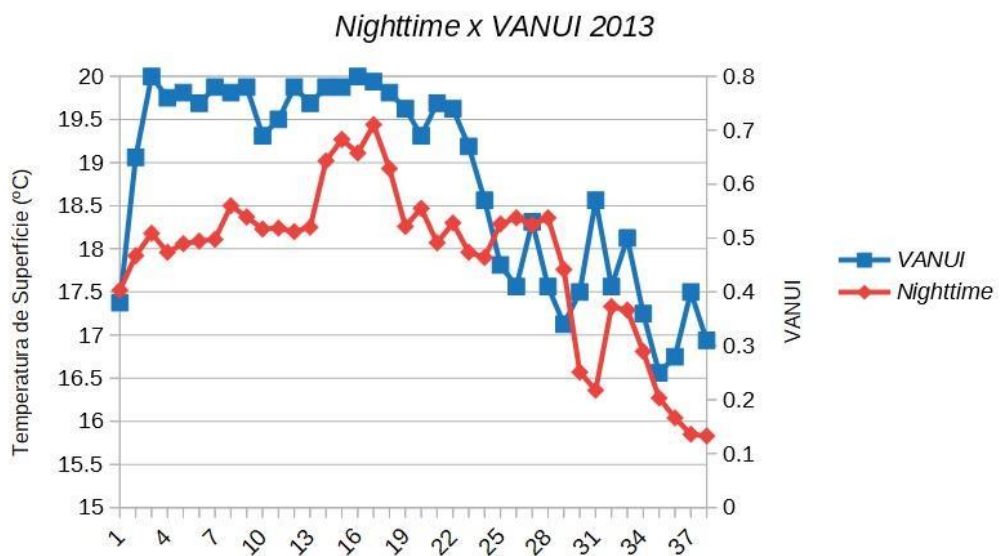


Figura 5 – Dados *Nighttime* x VANUI para o ano de 2013. Fonte: Elaborada pelos autores.

Apesar dos dados serem distintos, pois um representa um índice e o outro, uma grandeza, o desenvolvimento dos transectos são similares. Assim, ao compararmos os anos de 2001 e 2013, é possível observar um aumento tanto de VANUI como de temperatura em *Daytime* e *Nighttime*. Este aumento representa o adensamento urbano, pois como citado anteriormente, as temperaturas de superfície aumentam conforme se alcança áreas mais aglomeradas das metrópoles, acarretando no fenômeno de Ilhas de Calor. Como os dados do índice VANUI aumentam de acordo com o adensamento urbano, indicando a verticalização das áreas urbanas, é possível observar que há uma boa correlação entre os dados obtidos.

4. Conclusão

Os resultados obtidos se mostraram satisfatórios, pois permitem observar que quanto maior é o valor de VANUI, mais adensada é a área e maior será sua temperatura, tanto de dia como de noite. Os dados de *Nighttime* apresentam um maior R^2 pois os alvos não estão recebendo calor diretamente, como ocorre durante o dia, assim são adquiridos valores mais reais.

Como é sabido que os dados de temperatura demonstram a aglomeração em áreas urbanas e, devido à boa correlação entrada entre os dados de temperatura e de VANUI, conclui-se que é possível a utilização dos dados VANUI na compreensão do adensamento urbano, mesmo que em escalas pequenas.

Ademais, devem ser incentivados novos estudos a fim de um melhor entendimento e acurácia na determinação da mancha urbana, tendo em vista que o adensamento urbano impacta diretamente no bem estar da população.

Bibliografia

Baptista, G. M. M.; Ribeiro, R. J. C. (2017). Avaliação do Grau de Adensamento Urbano por meio de Dados de Luz Noturna e de Temperatura de Superfície. *Encontro Nacional do INCT Observatório das Metrôpoles*. Natal, Rio Grande do Norte. 2017.

Baptista, G. M. M. Ilhas Urbanas de Calor. *Scientific American Brasil: Aula Aberta 7*, v. 2, p. 24-31, 2010. ter, C. D. (2001).

Lage, C. A (2016). *Avaliação da expansão de áreas urbanas brasileiras e seus impactos socioambientais por meio da integração dos índices NTL e NDVI*. Trabalho de Conclusão de Curso. Brasília: Universidade de Brasília.

Teza, C., Baptista, G. M. M. (2005). Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on demand 08–Kinetic Temperature (III): metrôpoles brasileiras. In: *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. São José dos Campos: INPE, 2005. v. 1. p. 3911-3918

Zhang, Q., Schaaf, C., Seto, K. C. (2013). The vegetation adjusted NTL urban index: A new approach to reduce saturation and increase variation in nighttime luminosity. *Remote Sensing of Environment*, 129, p. 32-41, 2013.

CONCLUSÃO GERAL

Os resultados obtidos em ambos artigos apresentados se mostram consistentes e levam às mesmas conclusões. Tanto para a RMBH, como para as RMSP e RMRJ, os resultados permitem perceber que os dados VANUI possuem uma significativa capacidade de explicar os dados de temperatura.

Não foi elaborado o Coeficiente de Pearson para a Região Metropolitana de Belo Horizontes, mas os casos de São Paulo e Rio de Janeiro permitem induzir que há uma alta correlação entre os dados VANUI e os dados de temperatura de superfície. Assim, as variações entre 0 e 1 encontradas nos valores de VANUI parecem passíveis de serem relacionados ao adensamento urbano.

Ainda, apesar dos resultados propícios ao uso dos dados NTL com aplicação do índice VANUI para a avaliação ao grau de adensamento urbano, é necessário o aprofundamento nesta área. Há que se buscar uma melhora na compreensão e realizar mais estudos, em diferentes localidades, para se avaliar a acurácia dos dados.

Assim, conclui-se que a hipótese apresentada no início deste estudo de apresenta plausível, entretanto, é necessários maiores estudos sobre o tema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAPTISTA, G. M. de M.; RIBEIRO, R. J. da C. **Avaliação do Grau de Adensamento Urbano por meio de Dados de Luz Noturna e de Temperatura de Superfície**. In: *Encontro Nacional da Rede Observatório das Metrôpoles*. Natal/RN: [s.n.], 2017.
- BAPTISTA, G. M. de M.; RIBEIRO, R. J. da C. **Variação Temporal e Tendência de Crescimento da Mancha Urbana de Águas Lindas de Goiás, por Meio de Sensoriamento Remoto**. Seminário Nacional Governança Urbana e Desenvolvimento Metropolitano, Natal. Anais, v. 1. p. 1-19, 2010.
- BRASIL, **Lei nº 13.089, DE 12 DE JANEIRO DE 2015**. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13089.htm>. Acesso em: 26 de junho de 2018, às 19:52.
- BRITO, F.; PINHO, B. A. T. D. De. **Distribuição espacial da população, urbanização e migrações internas no Brasil**. *Anais do XIX Encontro Nacional de Estudos Populacionais*, [s.l.], p. 1–21, 2014.
- DUARTE, D. H. S. **O impacto da vegetação no microclima em cidades adensadas e seu papel na adaptação aos fenômenos de aquecimento urbano. Contribuições a uma abordagem interdisciplinar**. 167 p. - USP, 2015. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/16/tde-11052016-104104/>>.
- GANEM, K. A. L. I. **Florestal De Carbono E Ilhas De Calor Urbanas Nas Metrôpoles De São Paulo , Rio De Janeiro , Belo Marcelli Terra De Oliveira Brasília – Df**. [s.l.], 2014.
- LAGE, C. A. **AVALIAÇÃO DA EXPANSÃO DE ÁREAS URBANAS BRASILEIRAS E SEUS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS POR MEIO DA INTEGRAÇÃO DOS ÍNDICES NTL E NDVI**. 42 p. - Universidade de Brasília, 2016.
- LOMBARDO, M. A. **Análise das mudanças climáticas nas metrôpoles o exemplo de São Paulo e Lisboa**. *Unesp*. [s.l.]: [s.n.], 2009. 37 p. ISBN: 9788579830075.
- LOMBARDO, Magda Adelaide. **Ilha de Calor nas Metrôpoles**. Ed. Hucitec, São Paulo, 1985.
- MAP BIOMAS, 2018. <<http://mapbiomas.org/>> Acesso em: 26 de junho de 2018, às 20:02.
- MENCIO, M.; ZIONI, S. **A caracterização das Regiões Metropolitanas e Aglomerações Urbanas pelo IBGE : Limites e Avanços do Estatuto da Metrôpole**. In: *XVII ENANPUR*. São Paulo, SP: [s.n.], 2017.
- MIANA, A. C. **ADENSAMENTO E FORMA URBANA: INSERÇÃO DE**

PARÂMETROS AMBIENTAIS NO PROCESSO DE PROJETO. 394 p. - Universidade de São Paulo, 2010.

ONUBR. **Objetivos de desenvolvimento sustentável 1, 2, 3, 5, 9 e 14.** In: *Documentos temáticos*. [s.l.]: [s.n.], 2017. Disponível em:

<<http://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/library/ods/documentos-tematicos--ods-1--2--3--5--9--14.html>>.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS <<http://onu.org.br/>>. Acesso em: 26 de junho de 2018, às 20:05.

SCHMITT, A. C.; RESCH, S. **Adensamento urbano no Brasil e a dimensão espacial (quase) esquecida da sustentabilidade.** *I Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação*, [s.l.], 2017.

SEEG Brasil – **O Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa** (2018). Disponível em: <<http://seeg.eco.br/>>. Acesso em: 26 de junho de 2018, às 20:03.

SHIKAMURA, S.E. **Estatística II.** Curitiba: Departamento de Estatística, UFPR, 2006. Disponível em: <<http://leg.ufpr.br/~silvia/CE003/node74.html>>. Acesso em: 26 de junho de 2018, às 20:01.

TERRA-OLIVEIRA, M.; GANEM, K. A.; BAPTISTA, G. M. D. M. **Análise Sazonal Da Relação Entre Sequestro De Carbono E Ilhas De Calor Urbanas Nas Metrôpoles De São Paulo, Rio De Janeiro.** *Revista Brasileira de Cartografi*, [s.l.], nº N° 69/4, p. 807–825, 2017.

TEZA, C. T. V.; BAPTISTA, G. M. D. M. **Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on demand 08 – Kinetic Temperature (III): metrôpoles brasileiras.** In: *XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Goiânia, Goiás: [s.n.], 2005. Disponível em:

<<http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.01.17.52/doc/3911.pdf>>.

ZHANG, Q.; SCHAAF, C.; SETO, K. C. **The Vegetation adjusted NTL Urban Index: A new approach to reduce saturation and increase variation in nighttime luminosity.** *Remote Sensing of Environment*, [s.l.], v. 129, p. 32–41, 2013. ISBN: 0034-4257, ISSN: 00344257, DOI: 10.1016/j.rse.2012.10.022.

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*, [s.l.], v. 115, nº 9, p. 2320–2329, 2011. ISBN: 0034-4257, ISSN: 00344257, DOI: 10.1016/j.rse.2011.04.032.

BAPTISTA, G. M. de M.; RIBEIRO, R. J. da C. **Avaliação do Grau de Adensamento**

Urbano por meio de Dados de Luz Noturna e de Temperatura de Superfície. In: *Encontro Nacional da Rede Observatório das Metrôpoles*. Natal/RN: [s.n.], 2017.

BRITO, F.; PINHO, B. A. T. D. De. **Distribuição espacial da população, urbanização e migrações internas no Brasil.** *Anais do XIX Encontro Nacional de Estudos Populacionais*, [s.l.], p. 1–21, 2014.

DUARTE, D. H. S. **O impacto da vegetação no microclima em cidades adensadas e seu papel na adaptação aos fenômenos de aquecimento urbano. Contribuições a uma abordagem interdisciplinar.** 167 p. - USP, 2015. Disponível em:

<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/16/tde-11052016-104104/>>.

GANEM, K. A. L. I. **Florestal De Carbono E Ilhas De Calor Urbanas Nas Metrôpoles De São Paulo , Rio De Janeiro , Belo Marcei Terra De Oliveira Brasília – Df.** [s.l.], 2014.

LAGE, C. A. **AVALIAÇÃO DA EXPANSÃO DE ÁREAS URBANAS BRASILEIRAS E SEUS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS POR MEIO DA INTEGRAÇÃO DOS ÍNDICES NTL E NDVI.** 42 p. - Universidade de Brasília, 2016.

LOMBARDO, M. A. **Análise das mudanças climáticas nas metrópoles o exemplo de São Paulo e Lisboa.** *Unesp*. [s.l.]: [s.n.], 2009. 37 p. ISBN: 9788579830075.

MENCIO, M.; ZIONI, S. **A caracterização das Regiões Metropolitanas e Aglomerações Urbanas pelo IBGE : Limites e Avanços do Estatuto da Metrópole.** In: *XVII ENANPUR*. São Paulo, SP: [s.n.], 2017.

MIANA, A. C. **ADENSAMENTO E FORMA URBANA: INSERÇÃO DE PARÂMETROS AMBIENTAIS NO PROCESSO DE PROJETO.** 394 p. - Universidade de São Paulo, 2010.

ONUBR. **Objetivos de desenvolvimento sustentável 1, 2, 3, 5, 9 e 14.** In: *Documentos temáticos*. [s.l.]: [s.n.], 2017. Disponível em:

<<http://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/library/ods/documentos-tematicos--ods-1--2--3--5--9--14.html>>.

SCHMITT, A. C.; RESCH, S. **Adensamento urbano no Brasil e a dimensão espacial (quase) esquecida da sustentabilidade.** *I Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação*, [s.l.], 2017.

TERRA-OLIVEIRA, M.; GANEM, K. A.; BAPTISTA, G. M. D. M. **Análise Sazonal Da Relação Entre Sequestro De Carbono E Ilhas De Calor Urbanas Nas Metrôpoles De São Paulo, Rio De Janeiro.** *Revista Brasileira de Cartografi*, [s.l.], nº N° 69/4, p. 807–825, 2017.

TEZA, C. T. V.; BAPTISTA, G. M. D. M. **Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on demand 08 – Kinetic Temperature (III): metrópoles**

brasileiras. In: *XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Goiânia, Goiás: [s.n.], 2005. Disponível em:

<<http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.01.17.52/doc/3911.pdf>>.

ZHANG, Q.; SCHAAF, C.; SETO, K. C. **The Vegetation adjusted NTL Urban Index: A new approach to reduce saturation and increase variation in nighttime luminosity.**

Remote Sensing of Environment, [s.l.], v. 129, p. 32–41, 2013. ISBN: 0034-4257, ISSN: 00344257, DOI: 10.1016/j.rse.2012.10.022.

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*,

[s.l.], v. 115, n° 9, p. 2320–2329, 2011. ISBN: 0034-4257, ISSN: 00344257, DOI: 10.1016/j.rse.2011.04.032.