

MAPEAMENTO DE SUPERFÍCIES IMPERMEÁVEIS EM ÁREAS URBANAS UTILIZANDO IMAGENS ÍNDICES GERADAS PELO SISTEMA LANDSAT-5 THEMATIC MAPPER

Natanael Rodolfo Ribeiro Sakuno^(a), Fernando Shinji Kawakubo^(b), Velibor Spalevic^(c), Ronaldo Luiz Mincato^(d)

^(a) Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, natanael.sakuno@gmail.com

^(b) Universidade de São Paulo (USP). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH), fskgeo@gmail.com

^(c) Department of Geography, Faculty of Philosophy, University of Montenegro, velibor.spalevic@ac.me

^(d) Instituto de Ciências da Natureza, Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, ronaldo.mincato@unifal-mg.edu.br

Eixo: GEOTECNOLOGIAS E MODELAGEM ESPACIAL EM GEOGRAFIA FÍSICA

Resumo

As áreas de superfície impermeáveis são indicativas de urbanização e por meio do mapeamento dela é possível mensurar os impactos que a urbanização gera no ecossistema urbano. O sensoriamento remoto constitui uma ferramenta valiosa que permite não só mapear a diversidade de uso e cobertura vegetal como também estimar a porcentagem de cobertura impermeável. Assim, este estudo teve como objetivo estimar por meio de imagens multiespectrais do satélite Landsat-5 TM as superfícies impermeáveis existentes na mancha urbana de São José dos Campos, SP. A estimativa de superfície impermeável foi feita por meio de três índices: o Normalized Difference Built-up Index (NDBI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) e Built-up (BU). Para a validação dos resultados obtidos, foi utilizado imagens ortorretificadas do satélite QuickBird com resolução de 0.5 metros.

Palavras chave: Superfície impermeável; NDBI; NDVI; Built-up;

1. Introdução

A relação homem/natureza sempre foi um objeto de estudo que instigou pesquisadores da Geografia já que essa relação tem efeitos divergentes: de um lado o homem se beneficia com a premissa de um progresso e desenvolvimento, de outro, a natureza fica a mercê desses interesses que nem sempre são avaliados de forma a visar o bem estar natural da Terra, assim, é necessário compreender as pegadas ecológicas deixadas pela humanidade (SUTTON et al, 2009).

Em todo caso, há algumas décadas vem sendo suscitado discussões sobre a vida útil que esta natureza possui sob o uso indiscriminado do homem e, por conseguinte, diversos estudos científicos vêm sendo produzidos para que se tenha uma base teórica tratando do passado dessa relação do homem com o meio natural. No entanto, além da discussão, é necessário evoluir as técnicas que possam permear a análise de

maneira quantitativa a fim de gerar informações consistentes que possam ser debatidos na melhora qualitativa do meio ambiente.

Assim, a urbanização se insere como um evento caracterizado pela modificação antrópica extrema do meio ambiente com o intuito de torná-lo utilizável de maneira plena para as necessidades humanas. No entanto, essas modificações acabam por gerar impactos negativos para o meio ambiente, como a impermeabilização do solo, onde são substituídas as superfícies com coberturas vegetais por outras que impedem a percolação da água e o prosseguimento do ciclo hidrológico (MALLICK, 2013) atingindo o processo de escoamento superficial sobre a terra e também podem ser associados a problemas climáticos e no ciclo de carbono, devido o desmatamento de grandes áreas (WENG, 2011; ELVIDGE et al 2004).

Contudo, existe uma profunda relação com as superfícies impermeáveis e a qualidade da água de uma bacia de drenagem e seus fluxos de recepção como rios e lagos, já que o acréscimo de superfície impermeável gera um impacto na dinâmica de poluentes que passam a ser transportados pelos sistemas de saneamento básico até lençóis freáticos, afetando diretamente a qualidade de ecossistemas aquáticos e até mesmo a qualidade de vida de populações (WENG, 2011).

Há, com isso, impactos no processo de evapotranspiração, reduzindo os índices pluviométricos de uma determinada área urbanizada, já que grande parte da água pluvial é removida pelos sistemas de saneamento básico, diminuindo a evaporação através de calor latente, fazendo com que a radiação emitida se transforme em calor sensível, pois atinge a terra e o ar diretamente (FREITAS, 2004).

Por conseguinte, outro fenômeno gerado é o de ilhas de calor (MALLICK et al, 2013) pois ao se modificar a cobertura do solo tem-se uma diminuição da atuação do fenômeno de albedo, gerando o aquecimento gradual do meio urbano que passa a refletir a radiação solar, consequentemente propagando calor, agora absorvido pela atmosfera. Além disso, o estreitamento das ruas e os altos prédios acarretam o aprisionamento da energia, aumentando a temperatura média em meio urbano (FREITAS, 2004; ZHANG, 2009).

Sendo assim, em vista dos inúmeros problemas gerados pela urbanização, são necessárias abordagens do espaço urbano de forma conjunta e sistemática, tornando a aplicação do sensoriamento remoto ferramenta fundamental. Ademais, Yang (2010) ressalta a importância dessa técnica para análise espacial de bacias de drenagem, afirmando que as técnicas de sensoriamento remoto possuem a inerente habilidade de prover informação temporal e espacial sobre a superfície terrestre e podem ser a única forma para monitorar em larga escala as mudanças no uso da cobertura terrestre ao longo de uma bacia de drenagem.



No entanto, uma das formas de compreender as pegadas ecológicas deixadas pela urbanização são aquelas que possam mensurar áreas de superfície impermeável (SUTTON et al, 2009) e são caracterizadas como uma superfície onde a água não consegue se infiltrar no solo e estão associadas com sistemas de transporte urbanos como ruas, rodovias, estacionamentos e calçadas e também com construções urbanas (BAUER 2007).

Com isso, é concomitantemente encontrado análises tanto do espaço urbano de determinada área através da multitemporalidade espacial e da classificação de índices que podem determinar e quantificar essas áreas. Esse quadro se repete devido a crescente facilidade de uso do sensoriamento remoto, que consiste na obtenção de informações através de radiação eletromagnética e é considerada uma ferramenta imprescindível na aceleração e redução de custos na obtenção de informação geográfica frente aos métodos de mapeamento tradicionais (ZHANG, 2009).

A crescente geração de imagens orbitais pontuais e sistemáticas do espaço terrestre em diferentes escalas subsidiam pesquisas que, em conjunto com SIG's e dados estatístico, podem contribuir no planejamento e na aplicabilidade de políticas públicas ambientais eficazes no desordenado e crescente espaço urbano brasileiro e compreender e quantificar áreas permeáveis e impermeáveis torna-se necessário para o planejamento de uma das cidades consideradas futuras metrópoles brasileiras para que problemas como enchentes, ilhas de calor, impermeabilização do solo e demais possa impactos e danos possam ser evitados e mitigados.

2. Materias e Métodos

O processo de expansão urbana consolidou regiões que hoje são centros metropolitanos de grande importância econômica para o país, sobretudo as localizadas no eixo Rio de Janeiro – São Paulo. No contexto paulista, a cidade de São José dos Campos se destaca como uma região onde a expansão urbana atuou de forma intensiva ao longo das últimas décadas.

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016) o município conta com um contingente estimado de 695.992 de habitantes e está localizada no interior do estado de São Paulo, pertencente à Mesorregião do Vale do Paraíba Paulista, o município se configura como um pólo técnico-científico-industrial por conectar São Paulo e Rio de Janeiro através da Rodovia Presidente Dutra (BR-116).

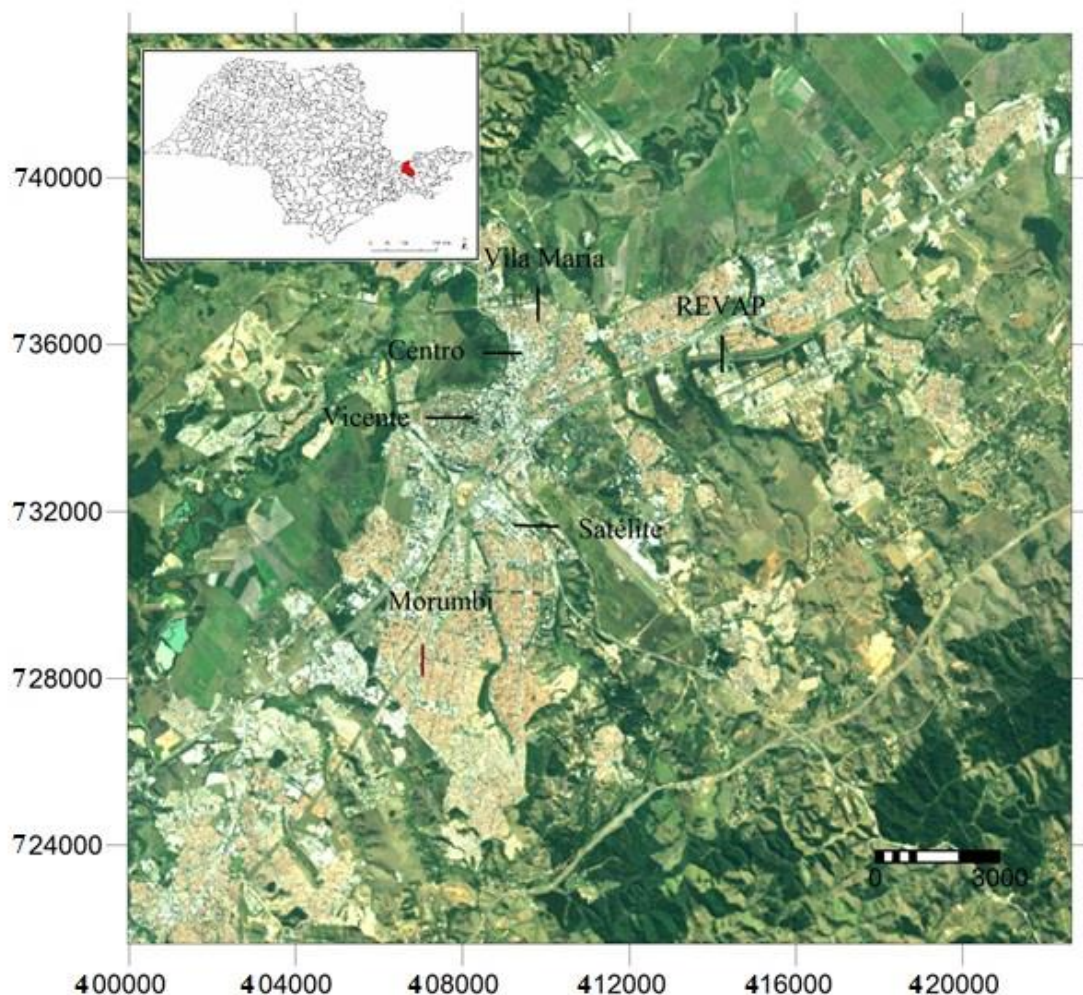


Figura 1: Localização da área de estudo e os bairros selecionados para a validação dos índices gerados. A imagem apresentada ilustra uma composição colorida real construída utilizando as bandas 3, 2 e 1 em filtros RGB.

Inicialmente foi feito a obtenção das imagens pela plataforma do INPE, DGI (<http://www.dgi.inpe.br/>), depois de selecionado as imagens do Landsat 5 TM (Thematic Mapper), datado de 2010, na órbita 219 e ponto 76, foi feita a transferência das imagens em formato passível de leitura pelo software Ilwis 3.0 e, em seguida, o tratamento das imagens para obtenção dos dados.

Gerou-se, assim, um Sistema de Coordenadas cuja função é de integrar os diferentes *layers* em uma mesma base de dados e, para realização e a integração dos *layers*, os arquivos foram georreferenciados e padronizados em um mesmo Sistema de Coordenadas através do estudo da projeção cartográfica, em seguida houve a etapa de seleção do retângulo envolvente, *elipsóide*, *datum* horizontal e zona.

Na etapa de seleção do retângulo envolvente, as coordenadas utilizadas para padronização e recorte da área de estudo foram 374364.5 e 434364.5 e 7460859.6 e 7400859.6.



Na etapa de georreferenciamento foi feita a correção geométrica por meio de pontos de controle utilizando a base cartográfica de quadras de São José dos Campos cedidos pela prefeitura municipal. O erro do ajuste foi da ordem de 0.5 pixels, definidos pelo sigma a partir da identificação de pontos de controle nas bases vetoriais georeferenciadas para atribuir as coordenadas, procedimento este conhecido como registro de imagens.

Após a identificação dos pontos de controle, as imagens georreferenciadas foram reamostradas pelo método do interpolador do vizinho mais próximo. Esse método é utilizado já que não altera os valores de níveis de cinza e brilho do pixel da imagem original, importante na construção de imagens índices e na validação desses índices.

Em seguida utilizaram-se os índices que retratam informações acerca do pixel segundo sua área construída, vegetação e o que se dá pela diferença entre os dois índices anteriormente citados que busca separar os índices positivos como área construída e negativos para áreas de vegetação, definindo uma separação de áreas possivelmente permeáveis e impermeáveis.

O primeiro, NDBI (*Normalized Density Building Index*) é o índice de diferença normalizada de áreas construídas, proposto por ZHA et al. (2003). Através desse índice é possível visualizar áreas construídas nos intervalos das bandas 4 e 5 dos canais do infravermelho próximo (NIR) e infravermelho médio (SWIR), respectivamente. Esse índice atua na diferenciação de áreas com solo exposto das áreas construídas, facilitando a classificação de padrões urbanos. A fórmula a ser utilizada para a constituição do NDBI consiste em:

$$\text{NDBI} = (\text{SWIR} - \text{NIR}) / (\text{SWIR} + \text{NIR})$$

Já o NDVI (*Normalized Density Vegetation Index*) é o índice de diferença normalizada para a vegetação que permite analisar e separar os tipos de densidade de vegetação (cobertura vegetal) pela presença – ou ausência – de água foliar. Traduz-se pela razão da diferença dos comprimentos de onda, onde a vegetação tem refletância alta que é o infravermelho próximo (NIR) e o comprimento de onda de baixa refletância da vegetação, a banda vermelha (V) (HE, 2010). É dado pela fórmula:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{V}) / (\text{NIR} + \text{V})$$

Para melhorar o índice NDBI, He et al (2010) propôs um índice para separação de áreas impermeáveis e permeáveis. Este é derivado de imagens contínuas do NDBI e NDVI, para que os valores positivos de NDBI indiquem as áreas construídas e os valores positivos de NDVI indiquem as áreas de vegetação. Separando as áreas urbanas das áreas vegetadas e de solo exposto. A partir das imagens binárias geradas, aplica-se a equação para a extração das áreas construídas – em imagem binária (He et al, 2010).



$$BUb = NDBI^2 - NDVI^2$$

Para validação dos resultados foram utilizadas imagens de alta resolução do quickbird já ortorretificadas. Primeiramente, foi feito a interpretação do uso da terra em 6 bairros pré-selecionados. A interpretação foi feita com base nos elementos de reconhecimento da fotointerpretação. Os limites de cada classe foram digitalizados e, em seguida, poligonizados utilizando um algoritmo de conversão segmento-polígono. Posteriormente, as diferentes classes de uso foram reclassificadas em duas classes, representando as superfícies permeáveis e superfícies impermeáveis.

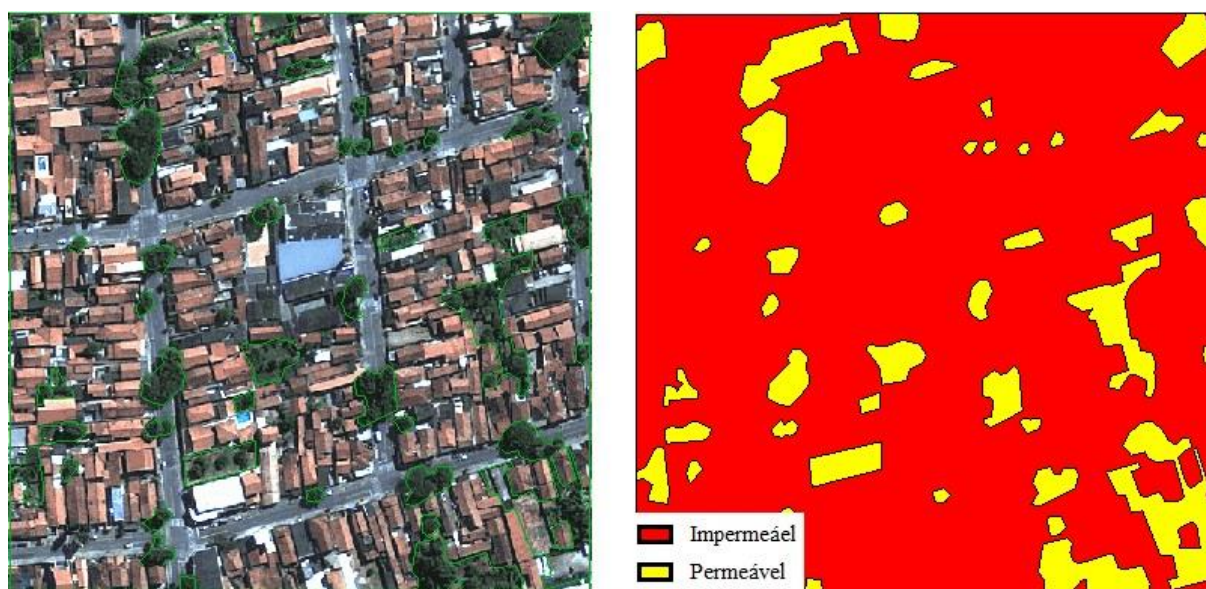


Figura 2: Imagem de validação do Quickbird e o resultado da poligonização manual da área que abrange o bairro Vila Maria sob a imagem de referência do Landsat-5 TM.

Cada área teve uma imagem recortada a partir do quickbird e dividida os pixels da imagem referência em 100, de 1 a 100 pixels, cada pixel continha um valor que se referia à quantidade de área impermeável ou permeável que o pixel apresentava. As grades do NDBI, assim como do NDVI e BU, continham a separação de valores obtida pelos índices através das fórmulas sob a imagem do Landsat-5 TM.

A validação dos índices que representam superfícies impermeáveis foi feita utilizando a técnica de tabulação cruzada onde os pixels da imagem foram correlacionados com os valores de superfície impermeáveis obtidos por meio das imagens QUICKBIRD. A aderência da correlação foi analisada por meio da reta de regressão e o valor de R^2 .

Essa reta de regressão e os valores de R^2 foram obtidos pela compilação dos dados em tabelas que se correlacionavam quanto aos pixels da Referência para os índices. Optou-se por utilizar apenas a área

impermeável na geração da reta, que foi ascendente em se tratando do NDBI e BU por serem índices que retratam área construída e descendente para o NDVI, que relata a quantidade de vegetação da área.

A seleção das regiões para a validação adotou o critério de heterogeneidade da paisagem. Ou seja, foram selecionadas áreas com diferentes padrões de uso e cobertura vegetal a fim de verificar a dinâmica dos índices e a sua variação conforme a porcentagem de área permeável/impermeável.

3. Resultados e Discussões

Os resultados obtidos podem ser visualizados através da comparação dos mapas gerados e os gráficos correspondentes a cada área analisada. A variação de porcentagem para cada área ocorreu devido a diversos fatores como sua diversidade de materiais presentes, a variação de superfície permeável/impermeável, assim como o critério de sombra adotado, em que se considerou o dossel das árvores que não se mostravam aparentes pela sombra, mas foram atribuídos e definidos como área permeável.

Tabela 2. Porcentagens das relações entre o NDBI, NDVI e BU com o método manual e a média dos 3 índices de cada área.

	REFERÊNCIA	NDBI	NDVI	BU
Centro	81%	65%	77%	76%
Vila Maria	86%	16%	33%	36%
REVAP	52%	55%	83%	72%
Cidade Morumbi	85%	41%	40%	51%
Vicente	40%	60%	54%	52%
Satélite	80%	5%	42%	39%

Esta tabela representa o valor de área impermeável de cada uma das 6 áreas, representado pela primeira coluna e também consta a variação de porcentagens que a metodologia apresentou da relação dessa referência manual com a obtida pelos índices. A variação de porcentagem do índice NDBI atingiu o maior valor de correlação em 65% na área central e o menor valor de correlação no bairro satélite. Já o NDVI apresentou maior correlação área da Refinaria Henrique Lages (REVAP), atingindo 83% de correlação, enquanto que a menor correlação de NDVI apresentou-se no bairro Vila Maria da Zona Central do município, com 33% de correlação. Por fim o BU obteve valores significativos também na Zona Central do município, com 76%, e menor índice no bairro Vila Maria, atingindo 36% de correlação.

Como a validação seguiu o pressuposto do método por pixel, houve dificuldades de compatibilizar a área urbana, por apresentar grande diversidade de materiais do que áreas de vegetação, as construções urbanas são complexas e heterogêneas e, com isso, sofrem variação na reflexão da radiação, o que interfere na



imagem obtida e pode afetar os valores dos pixels de maneira significativa (WENG 2011; FLANAGAN 2001).

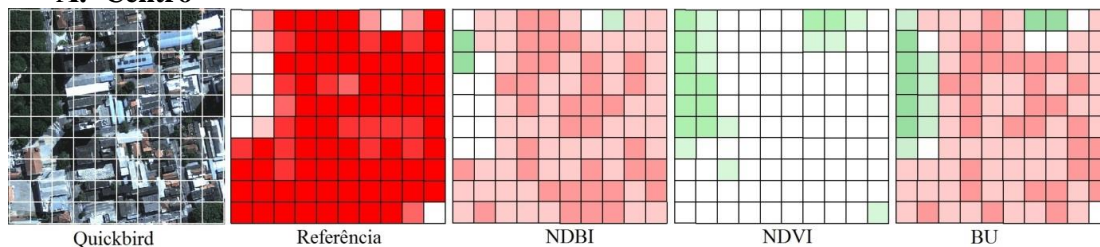
Em relação da inexatidão da relação entre escalas, projeções e ângulos de obtenção das imagens, houve um erro de pixel entre os layers que resultou na readequação e reamostragem já que somente a correção geométrica não consegue atuar na escala do pixel e foi necessário nesse estudo exatidão de pixel a pixel nas imagens. Semelhante problemática ocorreu com Flanagan e Civco (2001), mesmo que pequenos erros da relação entre a imagem registro e a do Landsat-5 TM ocasionou em potencialmente grandes variações entre o real e os valores previstos. Esse erro ocorre menos quando se trata de áreas de bacias de drenagem ou de vegetação abundante, no entanto, em se tratando de áreas urbanas com grande percentual de área impermeável o erro fica em evidência.

Assim, esse erro pode afetar significativamente a precisão da classificação, mesmo em um escala relativamente pequena. Segundo Flanagan (2001), a precisão média pode ser profundamente atingida de forma negativa com um efeito de erro de registro de meio pixel, as variações de precisão podem atingir até 50% do real para a imagem (a.), com 75% de desvio de precisão quando atingido metade de um pixel (b.), ou até 100% com uma mudança de um pixel completo (c.).

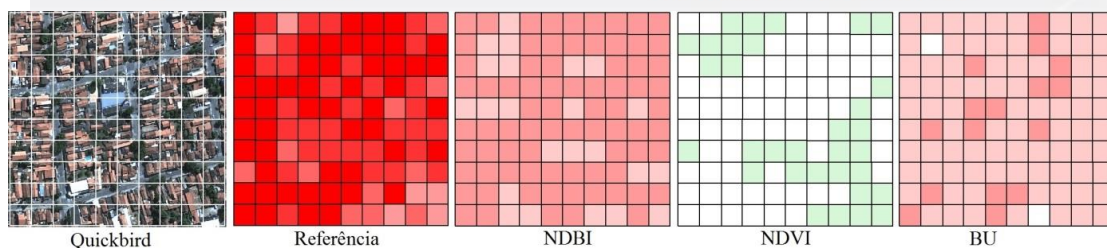
A resolução necessária encontrada foi o georeferenciamento das 6 áreas específicas estudadas utilizando dados vetoriais ortorretificados e a análise de pixel a pixel de cada área comparando com a obtenção manual, com o intuito de visualizar possíveis erros, permitindo a reamostragem e readequação manual entre o registro e a imagem real trabalhada.

Algumas áreas, com isso, se mostraram mais eficazes na atuação da metodologia, outras, devido a diversos fatores, apresentaram uma menor compatibilização do método com os índices, em apenas um pixel de 30m, 900 metros², podem existir diferentes materiais no complexo espaço urbano já que se trata de um pixel misturado que apresenta alterações em razão da falha da escala de observação (resolução espacial) corresponder às características espaciais do alvo (WENG, 2011).

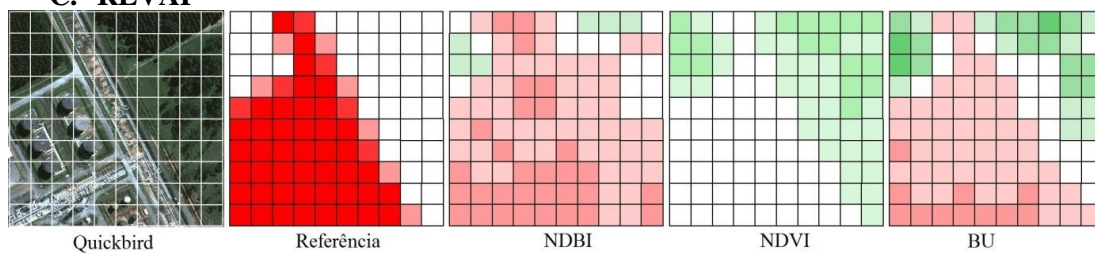
A. Centro



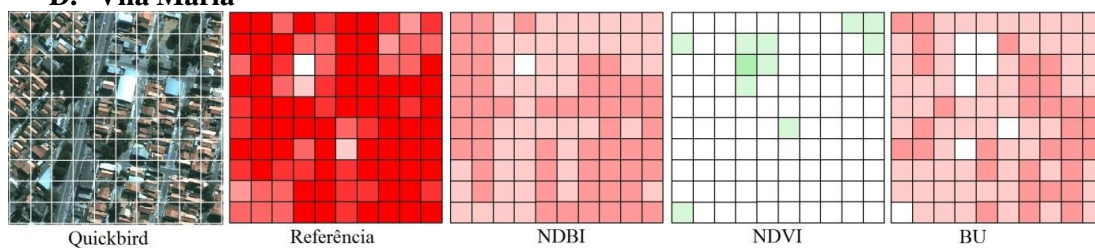
B. Vila Maria



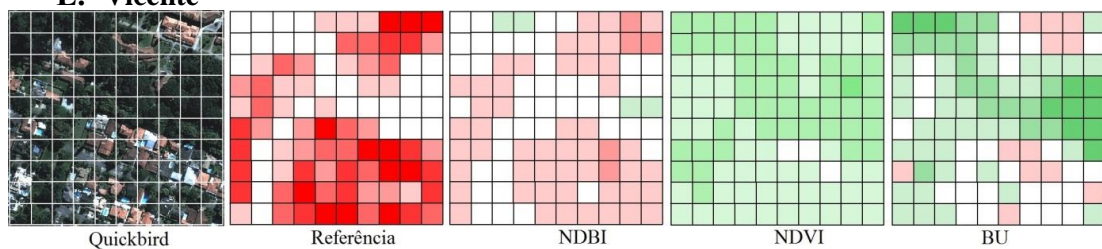
C. REVAP



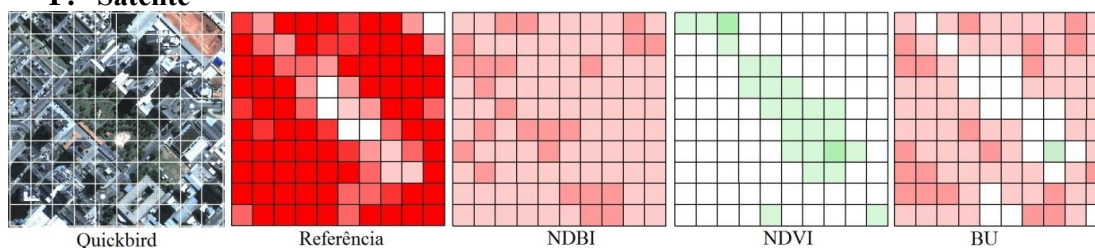
D. Vila Maria



E. Vicente



F. Satélite



NDVI REFERÊNCIA, NDBI
E BU

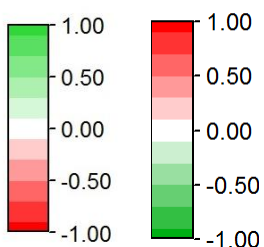


Figura 9: Resultado BU, NDBI e NDVI para cada sensor Landsat.



Assim, a área central de São José dos Campos foi a que apresentou a maior correlação positiva. Os três índices em conjunto atingiram valores de 73% de correlação, a maior média apresentada entre as seis áreas escolhidas.

Portanto, o centro apresentou-se efetivo na proposta do método utilizado, isso se traduz através das altas porcentagens que o R^2 atingiu e que significam uma grande relação entre a poligonização de áreas impermeáveis e sua comparação com os índices que se propõe a separar áreas urbanas, de vegetação e área construída.

O índice NDVI e BU apresentou a maior correlação de termos na área central devido às grandes proporções de área de vegetação contínua (Praça Afonso Pena). Isso demonstra que o método utilizado é válido principalmente em áreas onde há proporções contínuas de área urbana em contraposição às áreas de vegetação, já que os índices buscam a resposta espectral e o método manual se baseia na observação do pesquisador e seu conhecimento prévio da área.

4. Conclusão

Entre os três índices, o que mais atingiu uma correlação positiva entre o método manual foi o NDVI e o BU, ambos apresentaram uma correlação maior em relação ao NDBI, mesmo se tratando de área urbana, logo, área com maior proporção impermeável. Assim, o índice que capta a resposta espectral de vegetação foi mais sensível, pois a variação de material da vegetação é pequeno em comparação a de área construída e o BU também compartilha dessa premissa já que é um índice proposto através do cálculo tanto de NDVI quando de NDBI.

Uma variação na porcentagem em algumas das áreas foi considerada em razão da diversidade de materiais que a área urbana comporta, além do erro de estimativa ocasionado pelo deslocamento de pixels que o georreferenciamento e a reanálise não pode captar de forma plena. Mesmo que o deslocamento fosse de apenas alguns metros e não de um pixel inteiro ou de até mesmo meio pixel, ocasionou no erro de validação, já que a área considerada impermeável ou permeável do pixel feito pelo método manual não se refere totalmente à área que o índice automático apresenta.

Outro fator preponderante na forma como os resultados se apresentaram foi a consideração do dossel e da sombra na poligonização manual, como todo o dossel é poligonizado como área permeável há uma perda de área visível que possa ser impermeável já que se trata de áreas urbanas e as árvores que se encontram em calçadas possuem uma pequena área permeável, o restante coberto por concreto ou demais materiais.



Através da análise da variação de resultados foi possível compreender a necessidade de se compatibilizar o método e melhorá-lo com o intuito de se obter dados satisfatórios na quantificação de superfícies de áreas impermeáveis e permeáveis e a validação dos já sedimentados métodos empregados. O método é eficaz em uma escala que permeie pequenas áreas e superfícies contínuas, quando se há muita diversidade de materiais o método pode não ser o melhor a ser empregado, além da necessidade de se revisar a diferença entre os sensores, seus ângulos de visadas podem influenciar no posicionamento do pixel e impactar nos resultados de validação.

Este estudo permitiu empreender técnicas do sensoriamento remoto na validação de índices já sedimentados e poderá subsidiar novas pesquisas em relação à metodologia empregada e seu consequente melhoramento através da escolha de imagens de outros satélites como o Landsat 8 que possuem imagens já ortorretificadas.

Portanto, não somente quantificar ou analisar as áreas impermeáveis torna-se tarefa necessária como também validar os já sedimentados índices que realizam estimativas de determinadas áreas que podem ser quanto ao seu grau de área construída (NDBI), área de vegetação (NDVI) e também a técnica elaborada pelo uso dos dois índices anteriores que demonstram a relação entre área construída e área de vegetação (BU), isso permite comparar as já sedimentadas metodologias com outros métodos que podem melhorar e definir áreas de superfície impermeável (ISA) de maneira contundente.

5. Bibliografia

BAUER, M. E.; LOFFELHOLZ, B. C.; WILSON, B. **Estimating and mapping impervious surface area by regression analysis of Landsat imagery.** In Q. Weng 2007, Remote sensing of impervious surfaces. Taylor & Francis series in remote sensing applications. CRC Press, Boca Raton, 2007.

BOOTH, D. B. **Forest Cover, Impervious-Surface Area, and the Mitigation of Urbanization Impacts in King County, Washington.** King County Water and Land Resources Division.

BRABEC, E.; Schulte, S.; Richards, P. L. **Impervious surfaces and water quality: A review of current literature and its implications for watershed planning.** Journal of Planning Literature. v. 16, n. 4, p. 499-514, may 2002.

CRÓSTA, A. P.; SOUZA FILHO, C. R. **Sensoriamento Remoto.** Anuário FatorGIS 97, p.C-10-C21.

DE ESPINDOLA, G. M.; DE AGUIAR, A. P. D.; PEBESMA, E.; CÂMARA, G.; FONSECA, L. **Agricultural land use dynamics in the Brazilian Amazon based on remote sensing and census data.** Applied Geography (Sevenoaks). v. 32, p. 240-252, 2012.

ELVIDGE, C. D.; TUTTLE, B. T.; SUTTON, P. C.; DIETZ, J. B.; NEMANI, R. **US constructed area approaches the size of Ohio.** EOS, Transactions, American Geophysical Union. v. 85, n. 24, p. 233- 235, june 2004.

FLANAGAN, M.; CIVCO, D. L. **Subpixel impervious surface mapping.** In: PROCEEDINGS OF THE ASPRS 2001 ANNUAL CONFERENCE, april 23-27, 2001. St. Louis, Missouri. **Anais...** St. Louis, Missouri: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. 2001. CD-ROM.

GOETZ, S. J.; WRIGHT, R. K.; SMITH, A. J.; ZINECKER, E.; SCHAUB, E. **IKONOS imagery for resource management: Tree cover, impervious surfaces, and riparian buffer analyses in the mid-Atlantic region.** Remote Sensing of Environment. v. 88, n. 1-2, p. 195-208, nov. 2003.

HE, CHUYANG; SHI, PEIJUN; XIE, D; ZHAO, Y. **Improving the normalized difference built-up index to map urban built-up areas using a semiautomatic segmentation approach.** Remote Sensing Letters, 1: 4, 213 – 221, First published on: 26 April 2010.

KAWAKUBO, F. S., MORATO, R. G., LUCHIARI, A. **Use of fraction imagery, segmentation and masking techniques to classify land-use and land-cover types in the Brazilian Amazon.** International Journal of Remote Sensing, 34:15, 5452-5467

MALLICK, J.; RAHMAN, A.; SINGH, C. K. **Modeling urban heat islands in heterogeneous land surface and its correlation with impervious surface area by using night-time ASTER satellite data in highly urbanizing city, Delhi-India.** Advances in Space Research. v. 52, n. 4, p. 639-655, aug. 2013.

MESQUITA JR, H. N.; BITENCOURT, M. D.; **Análise das diferenças de fase entre dados multitemporais de índice de vegetação e climáticos.** In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia. Anais dos XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: INPE, 2005. p. 625-632.

PHINN, S.; STANFORD, M.; SCARTH, P.; **Monitoring the composition of urban environments based on the vegetation- impervious surface-soil (VIS) model by subpixel analysis techniques.** International Journal of Remote Sensing. v. 23, n. 20, p. 4131-4153. 2002.

SUTTON, P. C.; ANDERSON, J. S.; ELVIDGE, C. D.; TUTTLE, B. T.; **Paving the planet: impervious surface as proxy measure of the human ecological footprint.** Progress in Physical Geography. v. 33, n. 4, p. 510-527, aug. 2009.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Satélite Landsat. Disponível em: < <http://landsat.usgs.gov/> > . Acesso em: 01/07/2014

WHITE, M. D.; GREER, K. A. **The effects of watershed urbanization on the stream hydrology and riparian vegetation of Los Penãsquitos Creek, California.** Landscape and Urban Planning. v. 74, n. 2, p. 125-138, jan. 2006.



WENG, Q.; LU, D. **A sub-pixel analysis of urbanization effect on land surface temperature and its interplay with impervious surface and vegetation coverage in Indianapolis, United States.** International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. v. 10, n. 1, p. 68-83, feb. 2008.

YANG, F.; MATSUSHITA, B.; FUKUSHIMA, T. **A pre-screened and normalized multiple endmember spectral mixture analysis for mapping impervious surface area in Lake Kasumigaura Basin, Japan.** ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. v. 65, n. 5, p. 479-490, sept. 2010.

YUAN, F.; BAUER, M. E. **Mapping impervious surface area using high resolution imagery: a comparison of object-oriented classification to per-pixel classification.** In: PROCEEDINGS OF AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING ANNUAL CONFERENCE, may 1-5, 2006, Reno, Nevada. **Anais...** Reno, Nevada: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2006. CD-ROM.

ZHANG, X.; ZHONG, T.; WANG, K.; CHENG, Z. **Scaling of impervious surface area and vegetation as indicators to urban land surface temperature using satellite data.** International Journal of Remote Sensing. V. 30, p. 841-859, fev-2009.