



ANÁLISE DO CRESCIMENTO HORIZONTAL E VERTICAL DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS (SP) A PARTIR DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

HIRYE, Mayumi Cursino de Moura

INPE/MCTI - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; doutoranda, São José dos Campos-SP, mayumi.hirye@inpe.br

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo explorar imagens de satélite de média resolução espacial (15m) para mapear a expansão urbana e a verticalização em São José dos Campos, no interior paulista, nos anos de 2001, 2004, 2009, 2013 e 2016. Foram utilizados dois índices, o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e a NDSV (Normalized Difference of Saturation and Brightness), para o mapeamento das áreas urbanizadas e das sombras de edifícios altos em cada ano. Os resultados mostram um pequeno crescimento horizontal da cidade ao lado do espraiamento da verticalização. É feita uma discussão das limitações desses mapeamentos, de forma a torná-los válidos para as análises urbanas.

Palavras-chave: expansão urbana; verticalização; sensoriamento remoto.

ANALYSIS OF HORIZONTAL AND VERTICAL GROWTH OF SÃO JOSÉ DOS CAMPOS (SP) USING REMOTE SENSING DATA

ABSTRACT

The objective of this study was to explore the medium resolution images (15m) to map the urban expansion and verticalization in São José dos Campos, São Paulo, in 2001, 2004, 2009, 2013 and 2016. Two indices were calculated, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and NDSV (Normalized Difference of Saturation and Brightness), and resulted in maps of urban areas and maps of shadows for each year. It was observed a limited horizontal growth alongside with verticalization spread in São José dos Campos. The discussion on the limitations of these mappings helps to make them valid for urban analysis.

Key-words: urban expansion; verticalization; remote sensing.





1 INTRODUÇÃO

Desde a década de 1970, quando o primeiro Landsat foi lançado, dando início à aquisição global e sistemática de imagens multi-espectrais da Terra, os sensores e suas plataformas têm evoluído continuamente. Almeida (2010) diferencia três gerações de satélites no campo de estudos urbanos:

- a primeira geração se inicia na década de 1970, com o lançamento do LANDSAT 1 em 1972, e caracteriza-se pela baixa resolução espacial das imagens (o sensor MSS a bordo dos satélites LANDSAT 1, 2 e 3 possui resolução espacial de cerca de 80m);
- a segunda geração corresponde aos satélites lançados a partir de 1980 com sensores de média resolução espacial, de 30 m (imagens multi-espectrais do sensor TM, a bordo dos satélites LANDSAT 4 e 5) a 10m (imagens pancromáticas dos satélites SPOT 1, 2 e 3);
- a terceira geração, que se estende até a atualidade, é a dos sensores de alta resolução, menor que 10m (imagens multi-espectrais dos satélites QuickBird, Ikonos, Orbview e WorldView), e altíssima resolução, menor que 1m em imagens pancromáticas.

Muitas das imagens de média resolução espacial são de distribuição livre, o que é um atrativo para sua utilização. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo explorar um conjunto de imagens de média resolução, para mapear a expansão horizontal e vertical da cidade de São José dos Campos, localizada no interior paulista.

2 METODOLOGIA

2.1 ÁREA DE ESTUDO

São José dos Campos está localizada no eixo Rio – São Paulo e tem seu desenvolvimento estreitamente ligado à abertura da Rodovia Presidente Dutra e à implantação de parque industrial, a partir da instalação do Centro Técnico Aeroespacial (CTA), ainda na década de 1950 (PREFEITURA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 2016). Trata-se do município mais importante da recém-criada Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte, tanto em termos de população como de produto interno bruto.

XI COLÓQUIO QUAPA SEL – QUADRO DO PAISAGISMO NO BRASIL
SALVADOR – BAHIA - UFBA



A população urbana do município de São José dos Campos, em 2010, correspondia a pouco mais de 615 mil habitantes; em 2000, esse número era de cerca de 530 mil habitantes (IBGE, 2016). Entre 2000 e 2010, a população na cidade cresceu a um ritmo de 1,5% ao ano.

A mancha urbana ocupa a planície do Rio Paraíba do Sul, que se estende no sentido nordeste-sudoeste (Figura 1). Nesse sentido está também a rodovia Presidente Dutra, eixo preferencial da expansão da cidade, que hoje já está conurbada com Jacareí à sudoeste e com Caçapava à nordeste. À sudeste, a mancha urbana alcança a Rodovia Carvalho Pinto e é limitada pelo relevo movimentado da Serra de Paraitinga, com seus mares de morros. À noroeste, a cidade transpõe o Rio Paraíba do Sul e já começa a ocupar as áreas mais acidentadas da Serra da Mantiqueira.



XI COLÓQUIO QUAPA SEL – QUADRO DO PAISAGISMO NO BRASIL
SALVADOR – BAHIA - UFBA

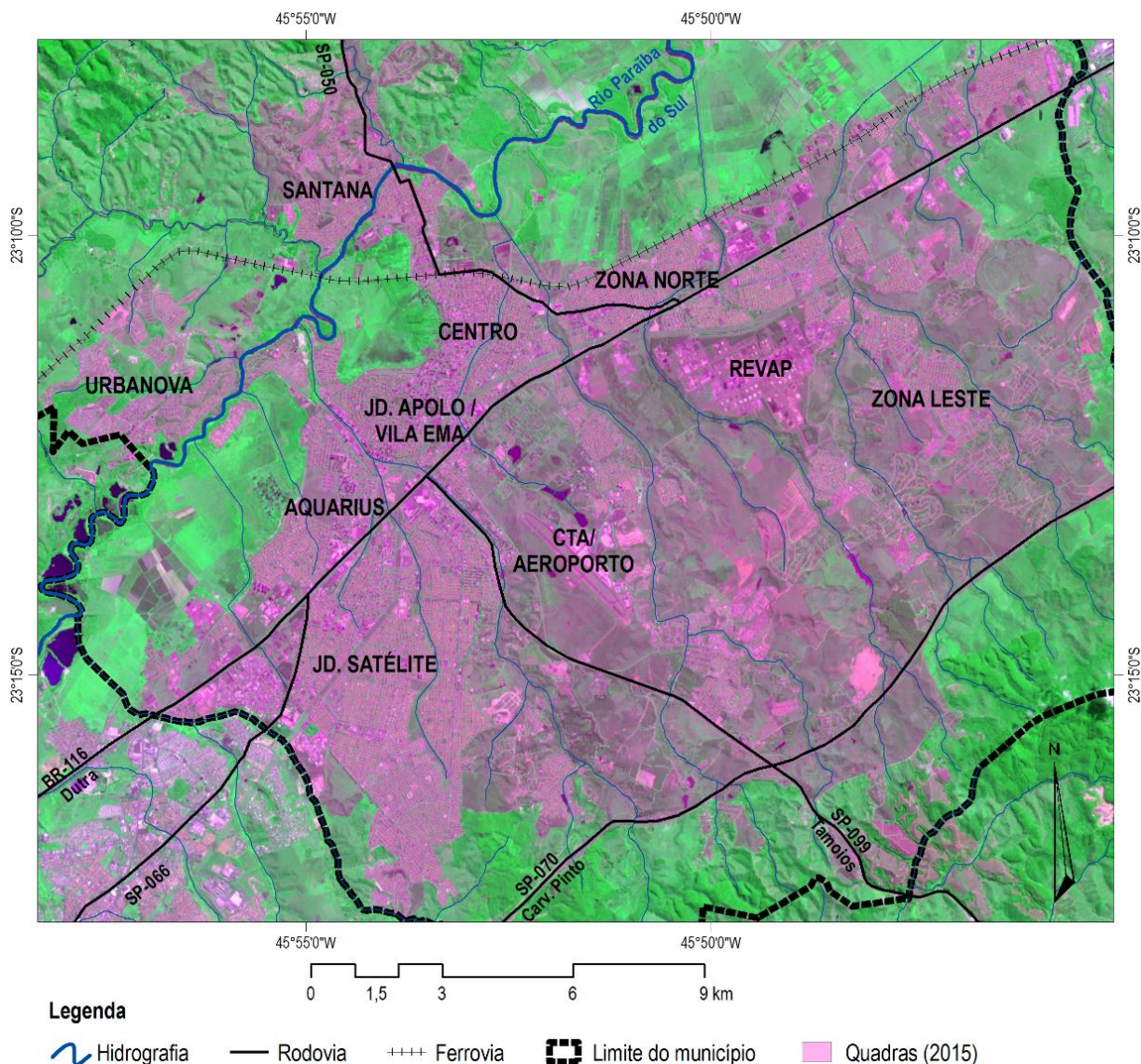


Figura 01: A cidade de São José dos Campos.
Fonte: Autora, 2016.

2.1 MATERIAIS

A análise foi feita a partir de imagens de acesso irrestrito do sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), a bordo do satélite Terra, lançado em 1999. As características das imagens ASTER, nas bandas do visível e do infravermelho próximo, são apresentadas na Tabela 01.

Tabela 01: Características das imagens ASTER.

XI COLÓQUIO QUAPA SEL – QUADRO DO PAISAGISMO NO BRASIL
SALVADOR – BAHIA - UFBA



Subsistema	Banda	Intervalo espectral	Resolução espacial	Níveis de quantização
VNIR (Visible and Near Infrared)	1 (verde)	0.52-0.60 μm	15 m	8 bits
	2 (vermelho)	0.63-0.69 μm		
	3N (infra vermelho próximo)	0.78-0.86 μm		
	3B (infra vermelho próximo)	0.78-0.86 μm		

Fonte: ASTER User Handbook.

As imagens utilizadas compreendem o período de 2001 a 2016 (Tabela 02 e Figura 02) e foram disponibilizadas já com nível de correção 1T, que corresponde ao dado de radiação calibrado no sensor, com correção geométrica, de posicionamento, a partir de pontos de controle no terreno, e de elevação, a partir de modelo digital de elevação. Elas foram tomadas, aproximadamente, perto das 13:30h.

Tabela 02: Imagens utilizadas.

Data	Centro da imagem		Ângulo de apontamento (graus)
	Latitude (graus decimais)	Longitude (graus decimais)	
16/03/2001	-23,06	-46,04	2,83
31/08/2004	-23,09	-45,79	5,73
06/03/2009	-23,09	-45,80	5,73
08/08/2013	-23,10	-45,76	5,73
10/04/2016	-23,11	-45,68	5,72

Fonte: Autora, 2016.



XI COLÓQUIO QUAPA SEL – QUADRO DO PAISAGISMO NO BRASIL
SALVADOR – BAHIA - UFBA

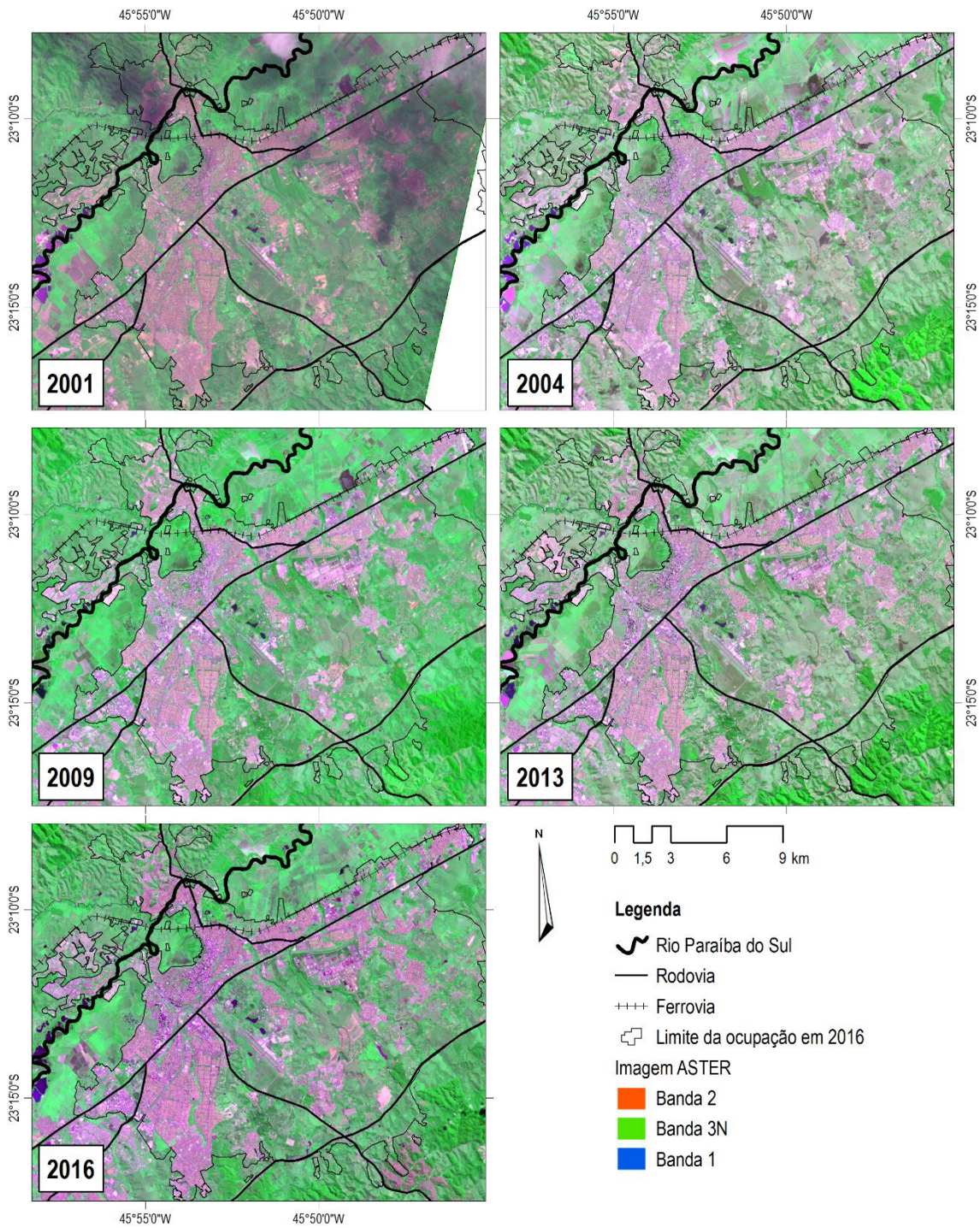
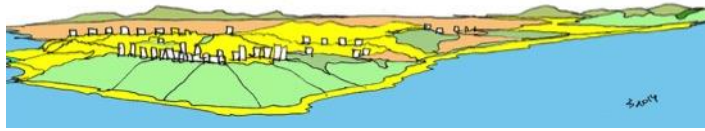


Figura 02: Imagens ASTER de São José dos Campos.

Fonte: Autora, 2016.





Além dos dados de sensoriamento remoto, foi utilizado o dado vetorial das quadras existentes em São José dos Campos em 2016, do acervo do Projeto QUAPÁ-SEL II. Outros dados vetoriais utilizados, rodovias, limite municipal e hidrografia, são disponibilizados pelo IBGE.

2.2 MÉTODOS

Foram calculados dois índices a partir das imagens: o índice de diferença normalizada de vegetação (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI) e o índice de diferença normalizada de saturação e brilho (*Normalized Difference of Saturation and Brightness* – NDSV). O NDVI, proposto por Rouse *et al.* (1978), é um índice largamente empregado no estudo da vegetação por meio de dados de sensoriamento remoto e baseia-se na diferença normalizada da resposta espectral de cada pixel na banda do vermelho e do infra-vermelho próximo, conforme:

$$NDVI = \frac{(\rho_{IVP} - \rho_V)}{(\rho_{IVP} + \rho_V)}$$

O resultado é uma imagem com valores entre -1 e 1, sendo que valores próximos de 1 indicam maiores quantidades de vegetação fotossinteticamente ativa, enquanto que os valores tendentes à -1 representam áreas sem vegetação.

O NDSV, proposto por Zhou *et al.* (2011), é capaz de distinguir os alvos de resposta espectral mais baixa: alvos escuros, como a sombra de prédios e da vegetação, mas também como a água. O cálculo é feito a partir da diferença normalizada das imagens transformadas para o sistema de cores H-S-V (*Hue-Saturation-Value*). O HSV, também conhecido como H-S-B (*Hue-Saturation-Brightness*), é um rearranjo geométrico das cores vermelho, verde e azul, que capta a matiz, a saturação e o brilho das cores. O NDSV é calculado conforme:

$$NDSV = \frac{(\rho_S - \rho_V)}{(\rho_S + \rho_V)}$$

De maneira semelhante ao NDVI, o resultado é uma imagem com valores entre -1 e 1, sendo que valores próximos de 1 indicam as áreas mais escuras.

Após o cálculo dos índices, é aplicado a cada imagem um limiar que classifica as áreas de interesse (Tabela 3).

Tabela 03: Limiares adotados para a classificação.

Imagem	NDVI	NDSV
--------	------	------



XI COLÓQUIO QUAPA SEL – QUADRO DO PAISAGISMO NO BRASIL
SALVADOR – BAHIA - UFBA



(ano)	Não-vegetação	Vegetação	Sombra
2001	-1 a 0,10	0,10 a 1	0,30 a 1
2004	-1 a 0	0 a 1	0,03 a 1
2009	-1 a 0,10	0,10 a 1	0,05 a 1
2013	-1 a 0,05	0,05 a 1	0,45 a 1
2016	-1 a 0,07	0,07 a 1	0,35 a 1

Fonte: Autora, 2016.

As imagens NDVI e NDSV foram mascaradas para eliminar áreas que não estavam ocupadas em 2016, de acordo com o mapa vetorial de quadras do acervo do QUAPÁ-SEL II. A partir disso, foram realizados dois mapeamentos: o de áreas urbanizadas e o de áreas de sombras de edifícios altos. O mapa de áreas urbanizadas é derivado do cálculo do NDVI e da aplicação dos limiares para classificar as áreas com vegetação e sem vegetação. A ausência da vegetação foi interpretada como áreas ocupadas. O mapa das sombras dos edifícios altos foi obtido a partir da sobreposição das imagens de NDVI e NDSV, selecionando-se as áreas que atendessem a dois critérios: a ausência de vegetação, identificada na imagem NDVI, e valor de NDSV superior ao limiar definido. Essa seleção abrangeu áreas de sombra de edifícios altos mas também pequenas lagoas e trechos do Rio Paraíba do Sul. A separação das áreas de interesse – sombra – das demais foi feita de maneira visual.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CRESCIMENTO HORIZONTAL

No período analisado, observou-se uma pequena expansão da cidade concentrada no Urbanova, na porção oeste da cidade, na Vila Paiva, no norte, e no Pinheirinho dos Palmares, no sul (Figura 03). O Urbanova é um bairro planejado na região oeste da cidade, formado, predominantemente, de condomínios e loteamentos fechados de alto padrão. A primeira ocupação do Urbanova data da década de 1990¹. Entre 2001 e 2016, observou-se a progressiva ocupação do bairro na direção da linha férrea (Figura 03). Os mapas de 2001 e 2003 mostram o surgimento do setor da Vila Paiva, no limite norte da cidade, já em áreas do relevo acidentado da Serra da Mantiqueira (Figura 03). Trata-se de ocupação residencial de baixa renda, com a ocorrência, inclusive, de loteamentos clandestinos.

¹ Jornal Urbanova - Por dentro dos Condomínios - Eldorado - Edição 06 - 20 de junho de 2011, disponível em <<http://jornalurbanova.blogspot.com.br/2011/06/por-dentro-dos-condominios-eldorado.html>>. Acesso em junho-2016.



XI COLÓQUIO QUAPA SEL – QUADRO DO PAISAGISMO NO BRASIL
SALVADOR – BAHIA - UFBA



No mapa de 2016, é possível observar a área que está sendo ocupada pelo conjunto habitacional Pinheirinho dos Palmares (Figura 03). Trata-se de conjunto com perto de 1.700 unidades, destinadas exclusivamente às famílias desalojadas a partir da desocupação do assentamento clandestino do Pinheirinho².

² Jornal da Cidade - Edição de junho de 2014, disponível em
<http://www.sjc.sp.gov.br/media/467936/jc_junho_especial_habitacao_22.pdf>. Acesso em junho-2016.



XI COLÓQUIO QUAPA SEL – QUADRO DO PAISAGISMO NO BRASIL
SALVADOR – BAHIA - UFBA

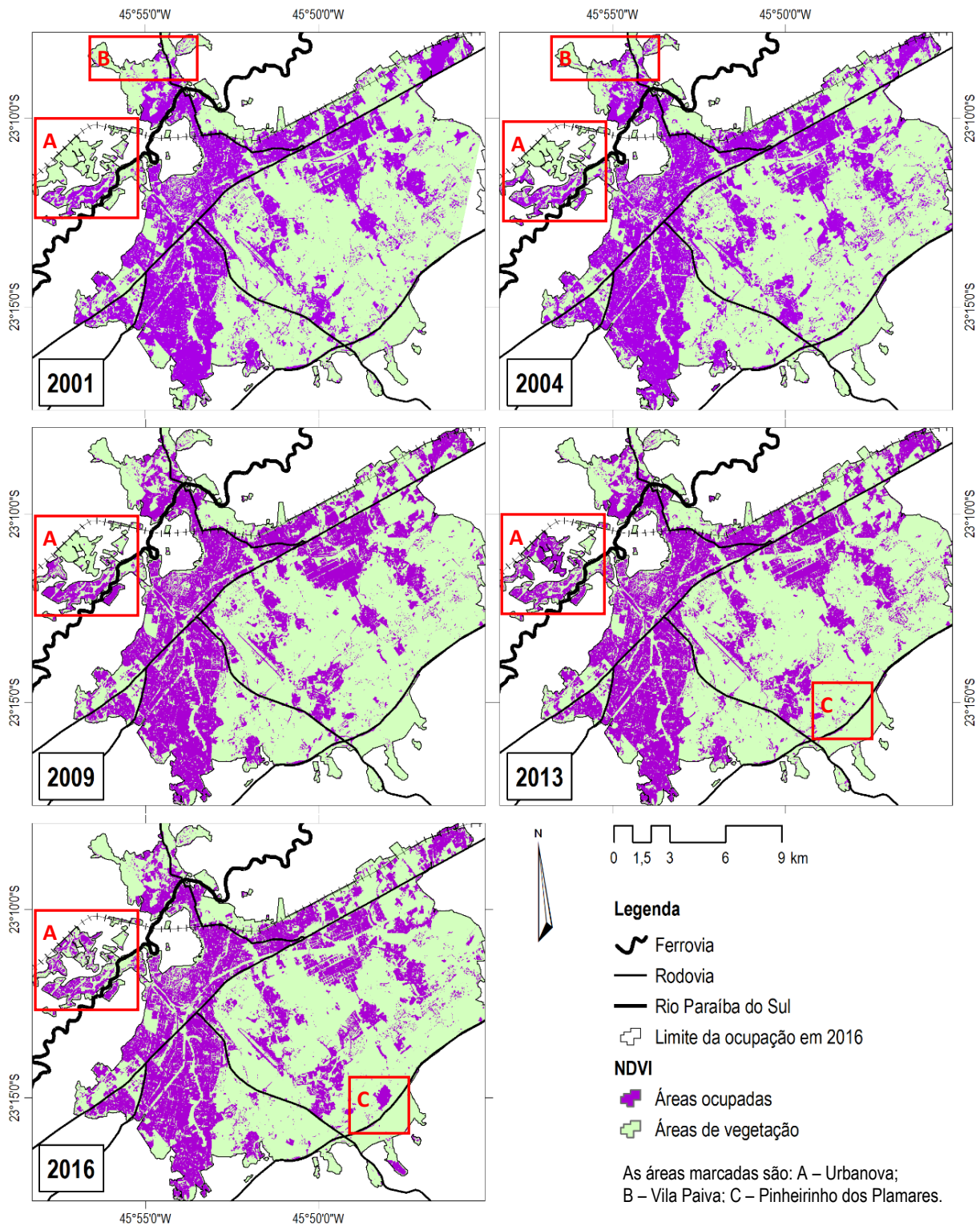


Figura 03: Expansão da cidade de São José dos Campos entre 2001 e 2016.

Fonte: Autora, 2016.



XI COLÓQUIO QUAPA SEL – QUADRO DO PAISAGISMO NO BRASIL
SALVADOR – BAHIA - UFBA



As novas ocupações podem ser identificadas nas imagens de satélite ASTER pela seguinte trajetória: áreas inicialmente com cobertura de vegetação, são substituídas no momento seguinte por áreas de solo exposto, que, progressivamente vai sendo ocupado com construções e re-vegetado, com jardins, arborização urbana e parques. O solo exposto tem uma resposta espectral semelhante à das áreas impermeabilizadas, razão pela qual, no momento intermediário, a área aparece na classificação como completamente ocupada (Figura 04).

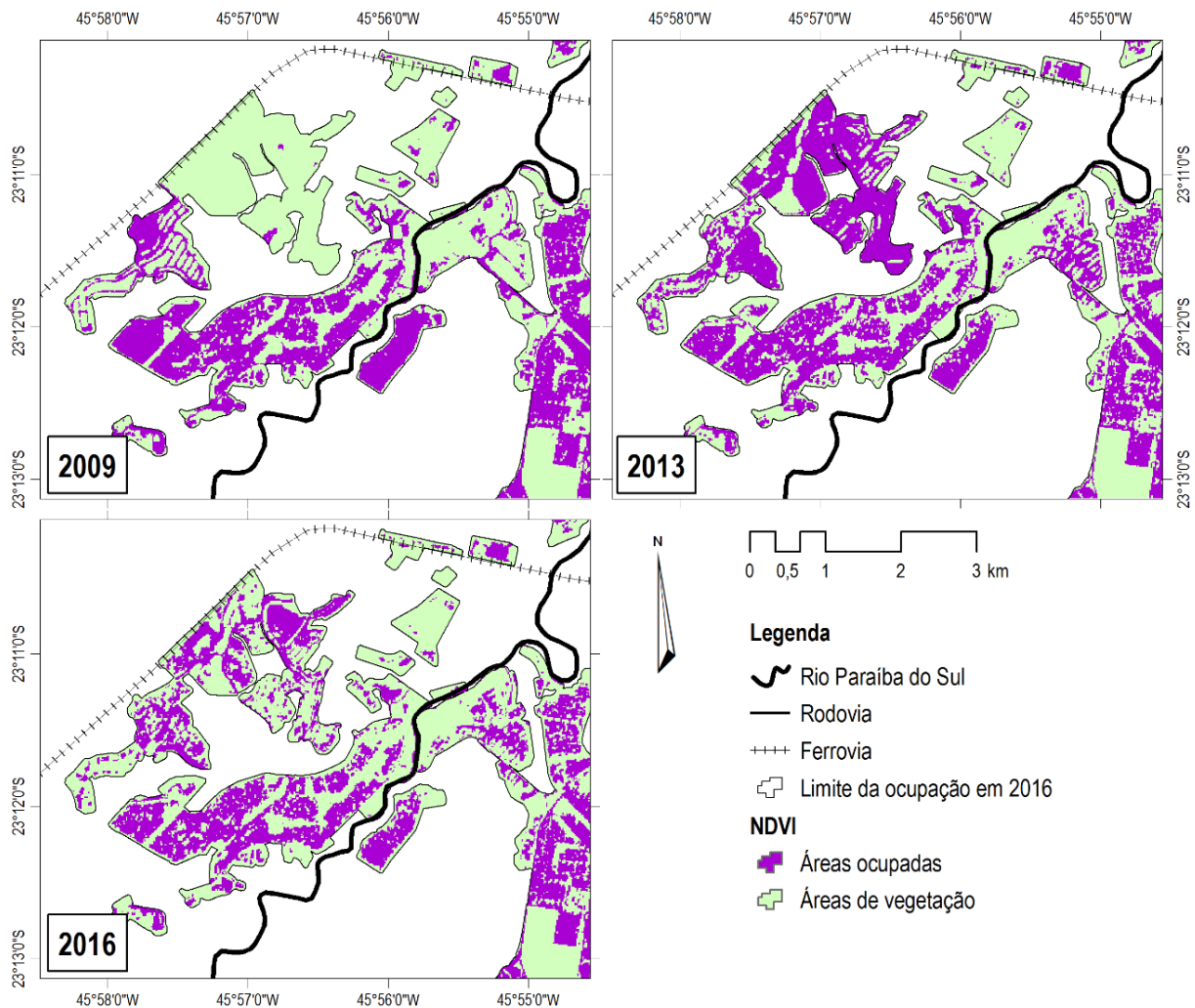


Figura 04: Ocupação do Urbanova nas imagens NDVI.

Fonte: Autora, 2016.

A distinção do solo exposto das áreas impermeabilizadas pode ser feita com a análise temporal, observando-se a trajetória de mudança da cobertura da terra, ou por sua textura uniforme, que contrasta com a textura rugosa das áreas impermeabilizadas dentro da mancha urbana (Figura 05).



XI COLÓQUIO QUAPA SEL – QUADRO DO PAISAGISMO NO BRASIL
SALVADOR – BAHIA - UFBA

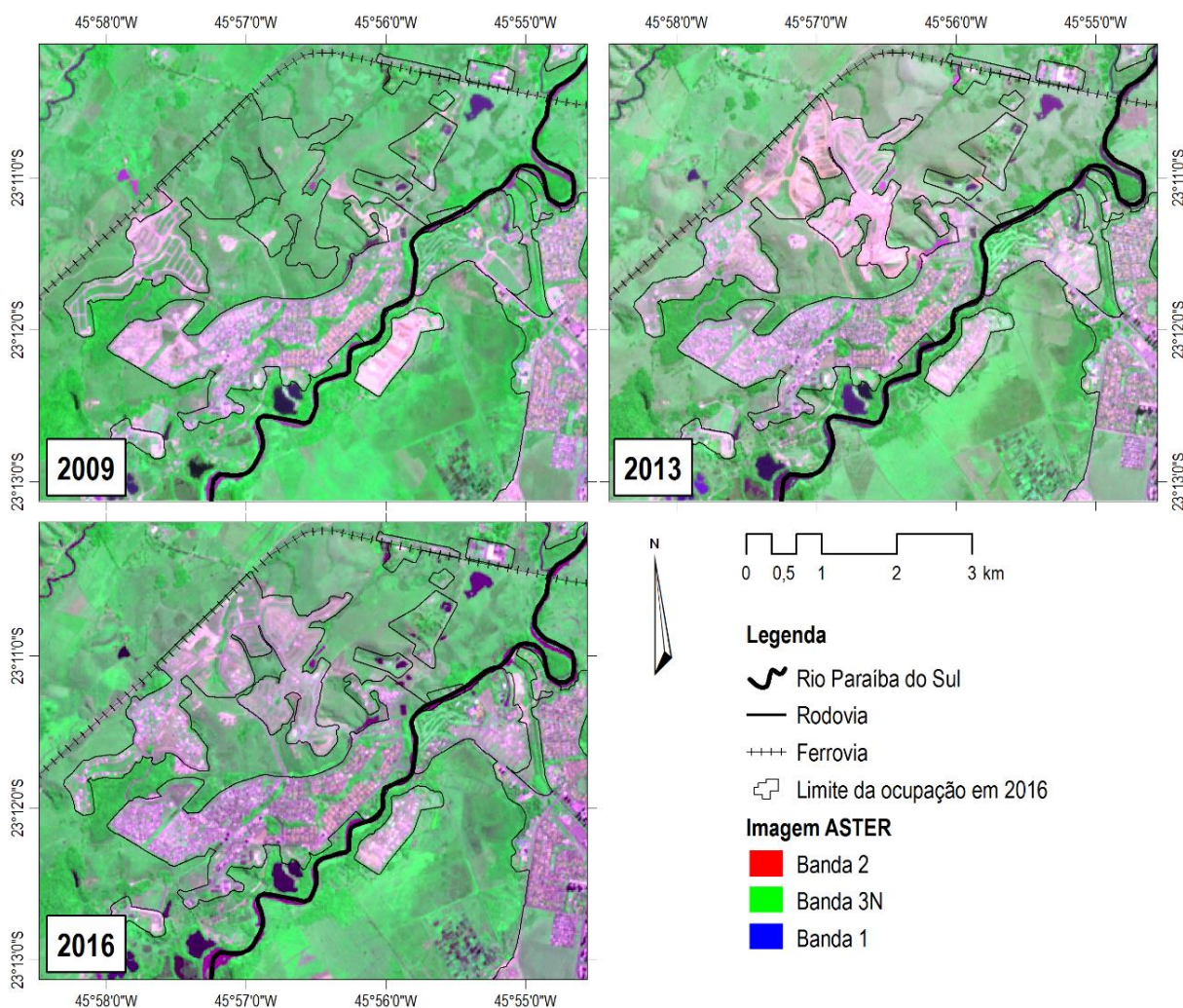


Figura 05: Ocupação do Urbanova nas imagens ASTER.

Fonte: Autora, 2016.

3.2 CRESCIMENTO VERTICAL

O resultado do processamento das imagens ASTER para identificar as sombras dos edifícios altos é um indicativo das áreas onde há a concentração de verticalização em São José dos Campos. De uma maneira geral, no primeiro ano da série, observou-se que a área central concentrou a verticalização, que, nos anos seguintes, espalhou-se para a porção sudoeste da cidade e, posteriormente, para a porção sul (Figura 06).

XI COLÓQUIO QUAPA SEL – QUADRO DO PAISAGISMO NO BRASIL
SALVADOR – BAHIA - UFBA

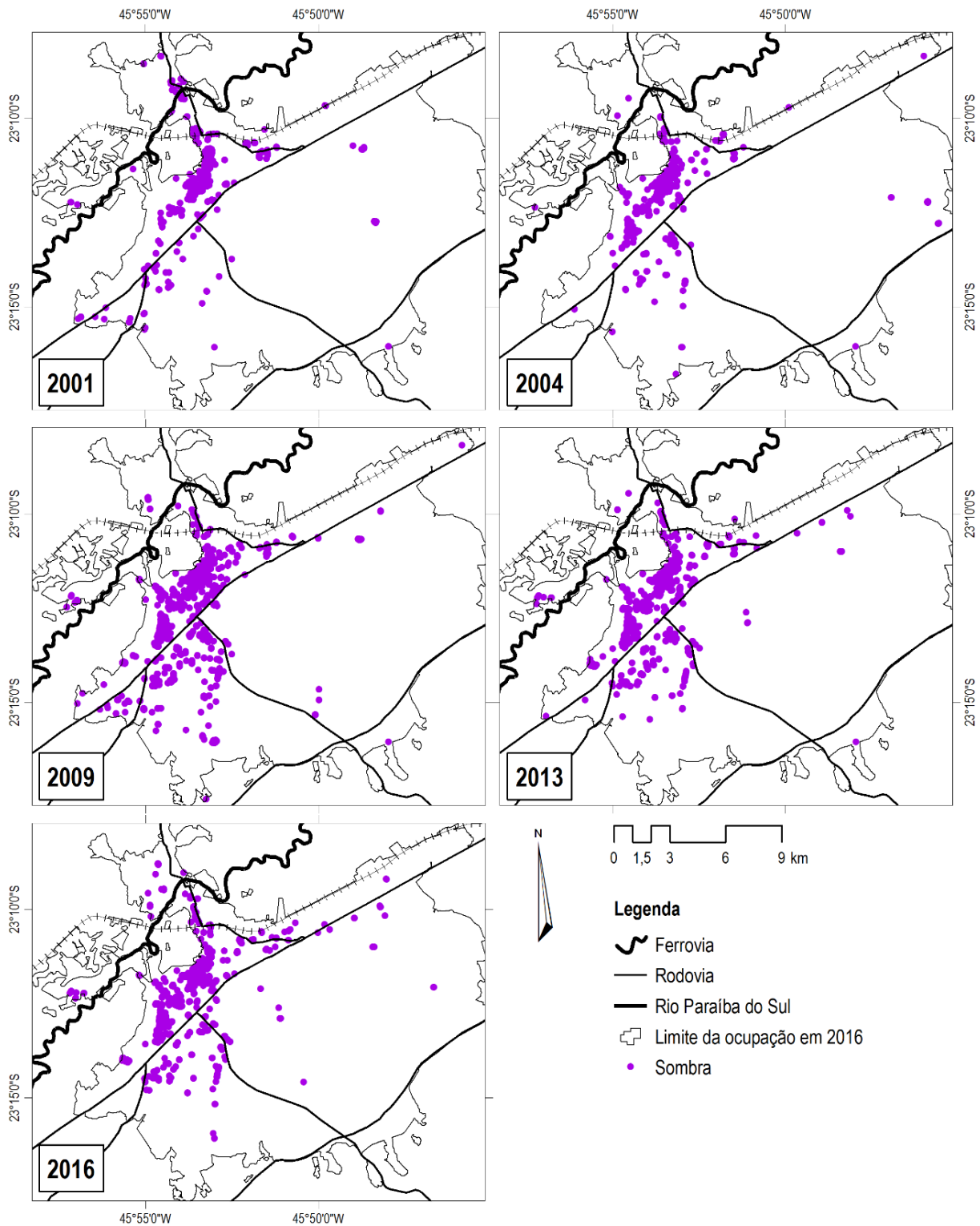


Figura 06: Verticalização na cidade de São José dos Campos entre 2001 e 2016.

Fonte: Autora, 2016.



XI COLÓQUIO QUAPA SEL – QUADRO DO PAISAGISMO NO BRASIL
SALVADOR – BAHIA - UFBA



As limitações dessa análise estão relacionadas com a qualidade do mapeamento das sombras. Embora muitas áreas de sombra sejam identificadas corretamente (Figura 07), o mapeamento apresenta erros de comissão, identificados em áreas de ocupação mais esparsa (Figura 08). Na análise temporal, o resultado é também influenciado pelas diferenças no ângulo de apontamento do sensor – ângulos maiores produzem sombras maiores que ângulos menores. Adicionalmente, imagens obtidas em épocas diferentes do ano são influenciadas pela trajetória solar – mais verticais no verão e mais próximas ao horizonte no inverno.

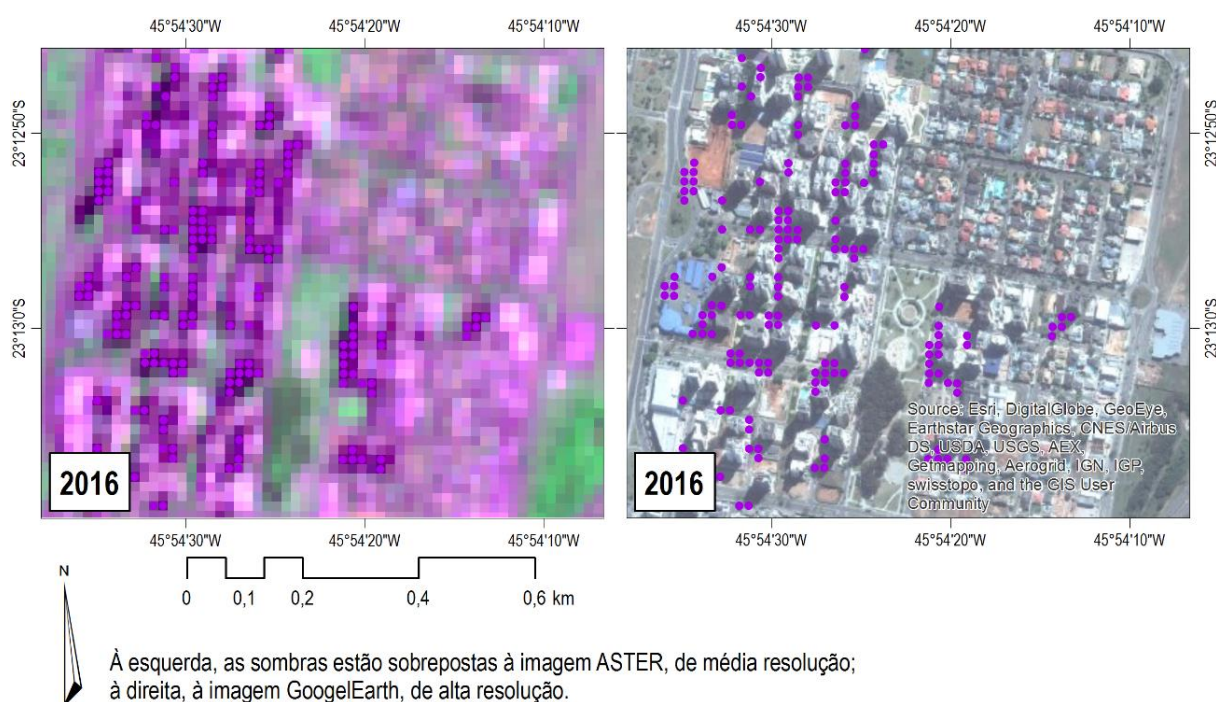


Figura 07: Mapeamento das sombras – bairro Aquários.

Fonte: Autora, 2016.

XI COLÓQUIO QUAPA SEL – QUADRO DO PAISAGISMO NO BRASIL
SALVADOR – BAHIA - UFBA

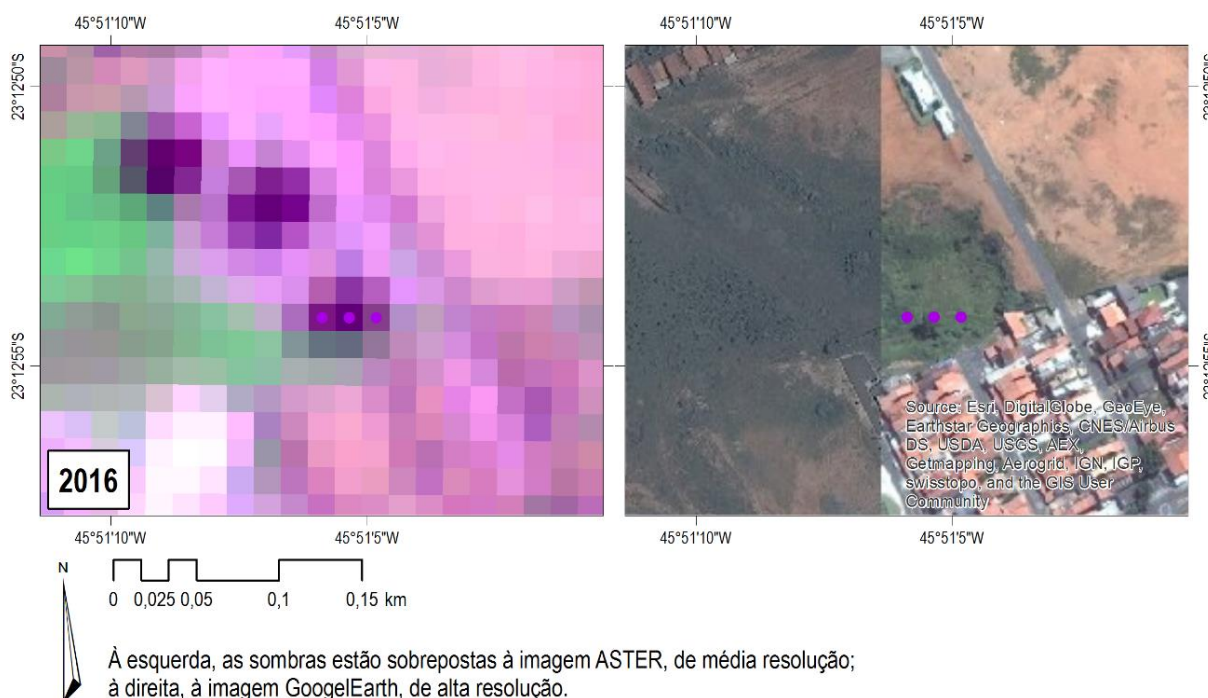


Figura 08: Mapeamento das sombras – área de ocupação esparsa.

Fonte: Autora, 2016.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ampla cobertura espacial e temporal, aliada a uma política de distribuição livre, torna as imagens ASTER atrativas para a análise temporal das cidades. A contrapartida está na resolução espacial de 15m, que não permite a observação detalhada das áreas urbanas. Ainda assim, é possível extrair informações relevantes que, observadas suas limitações, podem ser utilizadas nas análises urbanas.

Neste trabalho, as imagens ASTER foram processadas para gerar o mapeamento das áreas urbanizadas e das áreas de sombras dos edifícios altos. A análise temporal favorece a interpretação da expansão horizontal das cidades, permitindo a identificação das novas ocupações no tempo e no espaço. Já a identificação da concentração de verticalização é mais suscetível às diferentes imagens. Além disso, na análise visual dos resultados, foram observados erros, o que sugere cautela na utilização desses dados. Processamentos adicionais, ou mesmo correção manual, são alternativas para melhorar o resultado do mapeamento das sombras.



XI COLÓQUIO QUAPA SEL – QUADRO DO PAISAGISMO NO BRASIL
SALVADOR – BAHIA - UFBA



5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C. M. De. Aplicação dos sistemas de sensoriamento remoto por imagens e o planejamento urbano regional. **Arq.urb - Revista Eletrônica de Arquitetura e Urbanismo (USJT)**, n. 3, p. 98–123, 2010.

ESTES, J.; In: KLINE, K. Remote Sensing. In: COLLINS, E. **International encyclopedia of social & behavioral sciences**, p. 13144–13150, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censos Demográficos 2000 e 2010**. Rio de Janeiro. Disponível em < <http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em junho-2016.

PREFEITURA DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. São José em dados. Disponível em <http://www.sjc.sp.gov.br/secretarias/planejamento_urbano/sao-jose-dados2016.aspx>. Acesso em junho-2016.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: **Third ERTS Symposium**, NASA SP-351 I, p. 309– 317, 1978.

ZHOU, J.; ZHOU, Y.; GUO, X.; REN, Z. Methods of extracting distribution information of plants at urban dark areas and repairing their brightness. **Journal of East China Normal University (Natural Science)**, v. 6, p. 1–9, 2011.

