

## Efeitos da ampliação do complexo viário e aquaviário sobre o uso e cobertura da terra no Litoral Norte de São Paulo.

Ana Beatriz Pierri-Daunt<sup>1</sup>  
Carlos Leandro Cordeiro<sup>1</sup>  
Rafaela Soares Niemann<sup>1</sup>  
Solange Terezinha Lima-Guimarães<sup>1</sup>  
Thiago Sanna Freire Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP – Universidade Estadual de São Paulo, Campus de Rio Claro, Departamento de Geografia, Brasil.

[beatrizpd@gmail.com](mailto:beatrizpd@gmail.com), [carlosleandroc@gmail.com](mailto:carlosleandroc@gmail.com), [rafaelaniemann@gmail.com](mailto:rafaelaniemann@gmail.com),  
[hadra@uol.com.br](mailto:hadra@uol.com.br), [tsfsilva@rc.unesp.br](mailto:tsfsilva@rc.unesp.br)

**Abstract** The landscape of the northern coast of São Paulo State has been continually reshaped since its first settlements, but the speed, frequency and magnitude of these changes has increased during the second half of the 20<sup>th</sup> century. Land use and land cover change (LULCC) monitoring provides actionable tools for management and territorial planning, as it may help explain the historic process of land use change over time. Our study quantified LULCC in the northern coast of São Paulo state, from 1980 to present. Changes over time were classified using the Support Vector Machine algorithm, and LULCC change maps were computed after classification. Within the state parks, more than 80% of the original cover has remained as forest since 1985. Anthropogenic land uses observed within the parks are mostly rural areas, revealed by the presence of grasslands and secondary forest. Outside the protected areas, urban land use has triplicated in area, responding for more than 18% of the total LULCC outside the parks. Most of this growth has happened by replacement of rural (grassland) and natural areas. Population in the region increased from 87,700 to 295,135 inhabitants between 1985 and 2015, and our study suggests that construction of the BR-101 highway and other large enterprises are responsible for such urban growth. Still, the low fraction of LULCC observed inside protected areas suggests that the state parks are being effective in protecting the native forests.

**Palavras-chave:** land cover and use change; natural protected areas; urbanization; historical processes mudanças de cobertura e uso da terra; áreas protegidas; urbanização; processos históricos.

### 1. Introdução

A região norte do litoral do Estado de São Paulo (Litoral Norte) sempre foi palco de transformações, desde o início de seu processo de colonização, as quais provocaram mudanças na cobertura e no uso da terra (Ab'Sáber 1986; São Paulo 2006). Contudo, foi a partir de meados do século XX que as modificações na paisagem passaram a acontecer de forma bastante frequente e intensa (Silva 1975; Luchiari 1992; Carmo et al. 2012). Os reflexos da ampliação do complexo viário e aquaviário vêm sendo sentidos na região principalmente, desde a década de 1980 (Cunha 2003; Carmo et al. 2012; Teixeira 2013). A construção da Rodovia BR-101 intensificou as transformações na cobertura e no uso da terra, acelerou o processo de urbanização e de abandono do uso rural da terra, e resultou no aumento de impactos ambientais, como a supressão da vegetação nativa e contaminação dos corpos d'água (Silva 1975; Luchiari 1992; Campos 2000; Reis 2011; Buzato 2012). A construção desta rodovia teve grande responsabilidade pelas modificações, por desencadear diversos processos a partir do elevado crescimento populacional registrado após sua abertura

(Luchiari 1992; Campos 2000; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2010; Reis 2011; Buzato 2012).

O Litoral Norte abriga um dos maiores e mais bem conservados remanescentes do Bioma da Mata Atlântica, protegido principalmente pelo Parque Estadual Serra do Mar, que protege 1.097 km<sup>2</sup> da área de estudo (Ab'Sáber 1986; São Paulo 2006), pelo Parque Estadual da Ilha Anchieta, com 8,3 km<sup>2</sup>, e pelo Parque Estadual Ilhabela, com 270 km<sup>2</sup>, que juntos protegem cerca de 70% da região. Além disso, a região ainda apresenta outras 18 áreas protegidas com diferentes características de uso da terra. A Mata Atlântica é um bioma que abriga uma das maiores diversidades biológicas do mundo, é considerada um dos 35 *hotspots* globais de biodiversidade, em função do elevado grau de endemismo e das constantes pressões antrópicas (Myers et al. 2000; Mittermeier et al. 2004).

A mudança no uso e cobertura da terra, principalmente aquela causada por atividades humanas, é considerada uma das maiores preocupações com relação à conservação da natureza (Turner et al. 1994), e o monitoramento e a compreensão das causas dessas mudanças são extremamente importantes para o gerenciamento e planejamento territorial (Lambin et al. 2001). Desta forma, este trabalho objetivou quantificar e descrever as mudanças de uso e cobertura da terra entre os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015, para o Litoral Norte de São Paulo, buscando correlacionar as mudanças observadas com os processos históricos ocorridos na região de estudo.

## 2. Metodologia de trabalho

A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Litoral Norte do estado de São Paulo (UGRHI 03) é composta pelos municípios de Caraguatatuba, Ilhabela, São Sebastião e Ubatuba (Figura 1), e apresenta 1.948 km<sup>2</sup> de área, dos quais 1.592 km<sup>2</sup> são áreas continentais e 365 km<sup>2</sup> são áreas insulares, abrigando 295.135 habitantes (São Paulo 2008; CBH-LN 2014).

Para reconstrução histórica das mudanças de uso e cobertura da terra, foi usada uma série temporal de imagens dos satélites *Landsat 5*, sensor *Thematic Mapper* (TM), para as datas de aquisição de 27-07-1985, 04-05-1995 e 15-05-2005, e *Landsat 8*, sensor *Operational Land Imager* (OLI), adquirida na data de 15-08-2015, para a órbita 218 e pontos 076 e 077. A análise foi restrita aos meses de maio a setembro, período de seca na região, a fim de minimizar a cobertura de nuvens e evitar influências de variações sazonais sobre a detecção de mudanças. Estas imagens foram adquiridas na forma do produto *Landsat Climatic Data Record* (CDR), composto por imagens já corrigidas atmosféricamente e geometricamente, juntamente com uma máscara identificando a presença de nuvens e sombra de nuvens. Os produtos estão disponíveis gratuitamente em [www.earthexplorer.usgs.gov](http://www.earthexplorer.usgs.gov).

Para reconstrução histórica das mudanças de uso e cobertura do solo, foi aplicado o algoritmo de classificação supervisionada *Support Vector Machine* (SVM) a cada uma das imagens da série temporal adquirida (Hsu et al. 2003), utilizando o software ENVI 5.0. Foram mapeadas as classes de uso e cobertura da terra com maior ocorrência na área de estudo (Tabela 1).

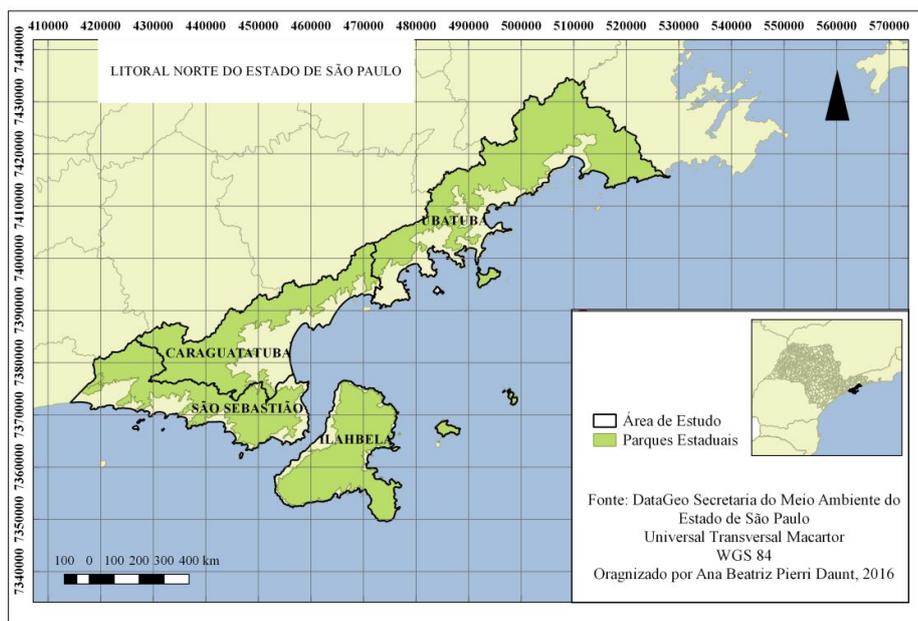


Figura 1. Localização da área de estudo: Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Litoral Norte do estado de São Paulo (UGRHI 03).

Tabela 1. Descrição das classes de uso e cobertura da terra

Classes de uso e cobertura da terra	Descrição
Floresta Primária	Cobertura florestal antiga
Floresta Secundária	Cobertura florestal em estágio secundário de regeneração
Gramíneas	Cobertura de gramíneas naturais ou exóticas
Solo Exposto	Solo exposto, ausência de cobertura vegetal expressiva
Áreas Mistas	Áreas mistas de ocupação antrópica, assentamentos rurais com baixa densidade populacional e arborizadas; atividade agrícola em consórcio com a vegetação nativa
Urbano	Áreas com alta densidade de edificações e alto grau de impermeabilização
Água	Corpos d'água

Para produzir os mapas de mudança de uso e cobertura da terra, os mapas de classe de uso e cobertura da terra foram somados, utilizando a ferramenta “calculadora *raster*”, obtendo-se outro *raster* com valores de mudança de classes. Para compreender as mudanças de uso e cobertura dentro e fora dos limites dos parques estaduais, as áreas quantificadas na etapa anterior foram extraídas utilizando os limites oficiais dos parques, fornecidos pela Fundação Florestal. Com auxílio do programa R, a quantidade de pixels que apresentou mudanças entre cada data de mapeamento foi calculada, e transformada em estimativa de área.

Para avaliar a acurácia da classificação, foram utilizadas imagens de alta resolução disponíveis na plataforma GoogleEarth<sup>TM</sup> para a classificação visual de pontos de validação relativos ao mapa de uso e cobertura produzido para 2015. Foram sorteados 20 pontos aleatórios para cada classe, para construção da matriz de confusão (Congalton 1991). A partir da matriz, foram calculadas a exatidão global, Índice *Kappa* global e por classes, e os erros de omissão e comissão (Congalton 1991).

### 3. Resultados e discussão

A classificação realizada para 2015 apresentou o coeficiente de *Kappa* de 0,77 e exatidão global de 80,58%. Os resultados do índice *Kappa* por classe e os erros de omissão e comissão constam na Tabela 2. Desta forma, o desempenho da de uso e cobertura da terra apresentada aqui foi considerada satisfatória. Apenas a classificação do uso Vila Mistas não foi satisfatória, apresentou elevado erro de comissão e baixo índice *Kappa*.

Tabela 2. Índice *Kappa* e erros de omissão e comissão por classes.

Classes	<i>Kappa</i>	Var ( <i>Kappa</i> )	Erro de Omissão	Erro de Comissão
Floresta Primária	1,00	0,00	0,26	0,00
Floresta Secundária	0,65	0,01	0,26	0,30
Gramíneas	0,88	0,01	0,33	0,10
Solo Exposto	0,66	0,01	0,07	0,30
Áreas Mistas	0,49	0,01	0,00	0,47
Urbano	0,83	0,01	0,11	0,15
Água	0,94	0,01	0,14	0,05

A população residente triplicou entre os recenseamentos de 1980 e 2010, na região de estudo (Figura 2). Este crescimento, majoritariamente imigrante, foi fortemente influenciado pela ampliação e asfaltamento das rodovias de acesso, principalmente, devido à implantação da BR-101 no final dos anos 70 (Luchiarri 1992; Cunha 2003; Panizza 2004; Buzato 2012; Carmo et al. 2012; Teixeira 2013). Como reflexo, a área urbanizada também acompanhou o crescimento da população residente, triplicando em área ocupada de 1985 a 2015 (Tabela 3) e totalizando 75,73 km<sup>2</sup> de crescimento, ou seja, este crescimento da área urbana foi equivalente a 18,58% da área fora dos parques estaduais (Tabela 4 e Figura 3). Entre 1985 e 1995, cerca de 60 km<sup>2</sup> de florestas foram substituídos por gramíneas, totalizando 14,88% da área externa dos parques. Posteriormente, parte dessas e de outras áreas de gramíneas foram também substituídas pelo uso urbano, e quase 20 km<sup>2</sup> mudaram de gramíneas para uso urbano entre 1985 e 2015 (Tabela 4). O uso urbano substituiu, principalmente, os antigos usos rurais da terra (Tabela 4).

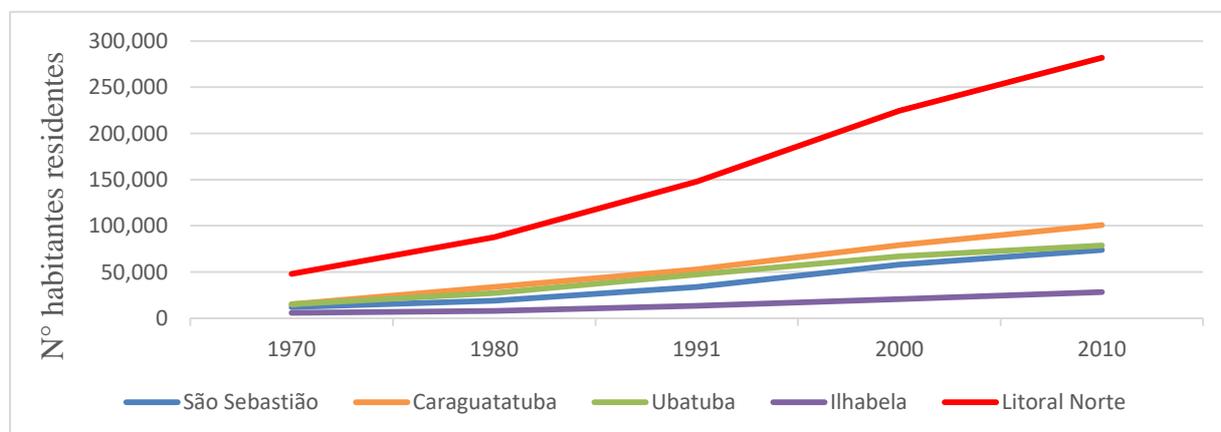


Figura 2. População residente no litoral Norte de São Paulo e respectivos municípios. Fonte: Fundação IBGE (1970; 1980; 1991; 2000 e 2010).

Mesmo fora das áreas de conservação, as áreas florestadas se mantiveram como classe de cobertura bastante expressiva na região, principalmente em morros próximos à linha de costa,

o que sugere que os instrumentos legais de ordenamento de uso e ocupação possam estar colaborando para manutenção dessas áreas florestadas (Figura 3). As áreas de cobertura nativa fora dos parques também apresentaram crescimento em área (Tabela 3), em menores proporções que o crescimento urbano. A classe Solo Exposto reduziu-se consideravelmente durante o período estudado. As Vilas Mistas apresentaram pouca área de ocupação, provavelmente devido às limitações do classificador ou da resolução das imagens *Landsat*, porém pode-se observar uma diminuição nas primeiras décadas, 1985 e 1995, seguida de um pequeno aumento em 2005 e 2015.

Tabela 3. Caracterização dos usos e coberturas da terra dentro e fora dos limites de Parques Estaduais (PE). (Área PE = 1375,7 km<sup>2</sup>; Área total fora PE = 572,7 km<sup>2</sup>).

Classes de uso e cobertura da terra		1985		1995		2005		2015	
		km <sup>2</sup>	%						
Floresta Primária	PE	778,67	55,4	500,41	36,1	744,65	52,9	789,93	56,2
	Fora PE	139,20	26,6	159,80	32,6	180,98	32,9	191,67	36,7
Floresta Secundária	PE	98,18	7,0	15,53	1,1	149,75	10,6	72,91	5,2
	Fora PE	104,60	20,0	9,84	2,0	59,16	10,8	37,35	7,2
Gramíneas	PE	23,60	1,7	136,18	9,8	20,94	1,5	20,16	1,4
	Fora PE	82,41	15,7	171,86	35,1	107,31	19,5	87,33	16,7
Solo exposto	PE	10,53	0,8	3,14	0,2	0,14	0,1	0,01	0,0
	Fora PE	52,89	10,1	6,05	1,2	1,35	0,2	0,39	0,1
Vilas mistas	PE	1,66	0,1	1,84	0,1	6,33	0,5	7,94	0,6
	Fora PE	11,14	2,1	5,41	1,1	13,28	2,4	18,75	3,6
Urbano	PE	3,47	0,3	7,62	0,6	2,76	0,2	5,27	0,4
	Fora PE	38,16	7,3	66,14	13,5	88,49	16,1	113,55	21,8
Sombra	PE	490,25	34,9	723,54	52,1	483,77	34,3	510,03	36,3
	Fora PE	95,54	18,2	70,52	14,4	99,85	18,1	73,07	14,0

Dentro dos limites dos três parques estaduais, a cobertura permaneceu florestada, sendo possível quantificar áreas de regeneração, principalmente de gramíneas e solo exposto para vegetação nos dois estágios (Tabelas 3 e 4, Figura 3). Entre 1985 e 1995 houve uma transformação de área florestada para cobertura de gramíneas, principalmente próximo aos limites dos parques e no entorno de estradas que atravessam as unidades, 106,52 km<sup>2</sup>, cerca de 8% da área total protegida foi desmatada (Tabela 4 e Figura 3). Estes resultados sugerem que, como unidades de conservação de proteção integral (Brasil 2000), os parques estaduais, criados no final da década de 1970 contribuíram com a manutenção da cobertura florestal nos ambientes de serra e nas ilhas. Devido ao relevo fortemente escarpado, a ocorrência de sombreamento nas imagens foi frequente, afetando, principalmente, a classificação das classes de Florestas.

Tabela 4. Mudanças de cobertura e uso da terra dentro e fora dos limites oficiais de Parques Estaduais (PE). (Área PE = 1375,7 km<sup>2</sup>; Área total fora PE = 572,7 km<sup>2</sup>).

Mudança		1985 - 1995		1995 - 2005		2005 - 2015		1985 - 2015	
		Km <sup>2</sup>	%						
Manutenção de florestas	PE	1174,1	84,8	1157,59	83,4	1201,96	85,5	1229,66	87,7
	Fora PE	94,15	23,8	119,37	29,2	143,04	33,2	103,57	25,4
Regeneração para primária	PE	46,49	3,4	56,55	4,1	97,43	6,9	67,18	4,8
	Fora PE	48,92	12,4	25,50	6,2	31,48	7,3	58,18	14,3
Regeneração para secundária	PE	0,44	0,1	79,67	5,7	4,80	0,3	12,73	0,9
	Fora PE	0,98	0,3	39,47	9,7	7,84	1,8	14,24	3,5
Primária para secundária	PE	10,88	0,8	60,21	4,3	16,64	1,2	28,84	2,1
	Fora PE	3,17	0,8	15,94	3,9	7,08	1,6	4,76	1,2
Floresta para gramíneas	PE	106,52	7,7	1,58	0,1	6,22	0,4	7,61	0,5
	Fora PE	58,86	14,9	6,96	1,7	13,35	3,1	22,38	5,5
Floresta para solo	PE	1,24	0,1	0,01	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
	Fora PE	0,27	0,0	0,03	0,0	0,05	0,0	0,07	0,0
Gramíneas para solo	PE	0,39	0,1	0,02	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
	Fora PE	1,33	0,3	0,75	0,1	0,24	0,1	0,13	0,0
Floresta para áreas mistas	PE	1,36	0,1	2,82	0,2	3,21	0,2	5,89	0,4
	Fora PE	2,61	0,7	4,44	1,1	5,63	1,3	8,90	2,2
Aumento de áreas mistas	PE	0,28	0,1	3,09	0,2	2,67	0,2	1,64	0,1
	Fora PE	1,11	0,3	7,39	1,8	9,62	2,2	5,28	1,3
Florestas para urbano	PE	0,28	0,1	3,09	0,2	2,67	0,2	1,64	0,1
	Fora PE	6,68	1,7	4,82	1,2	3,37	0,8	21,55	5,3
Gramíneas para urbano	PE	0,76	0,1	0,69	0,1	2,18	0,2	2,03	0,1
	Fora PE	6,99	1,8	21,46	5,3	26,13	6,1	18,51	4,5
Solo para urbano	PE	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
	Fora PE	17,92	4,5	1,97	0,5	0,62	0,1	29,09	7,1
Mistas para urbano	PE	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
	Fora PE	3,79	1,0	1,80	0,4	2,63	0,6	6,58	1,6
Urbanização total	PE	7,14	0,5	1,54	0,1	3,56	0,3	4,61	0,3
	Fora PE	35,38	8,9	30,04	7,4	32,74	7,61	75,73	18,6

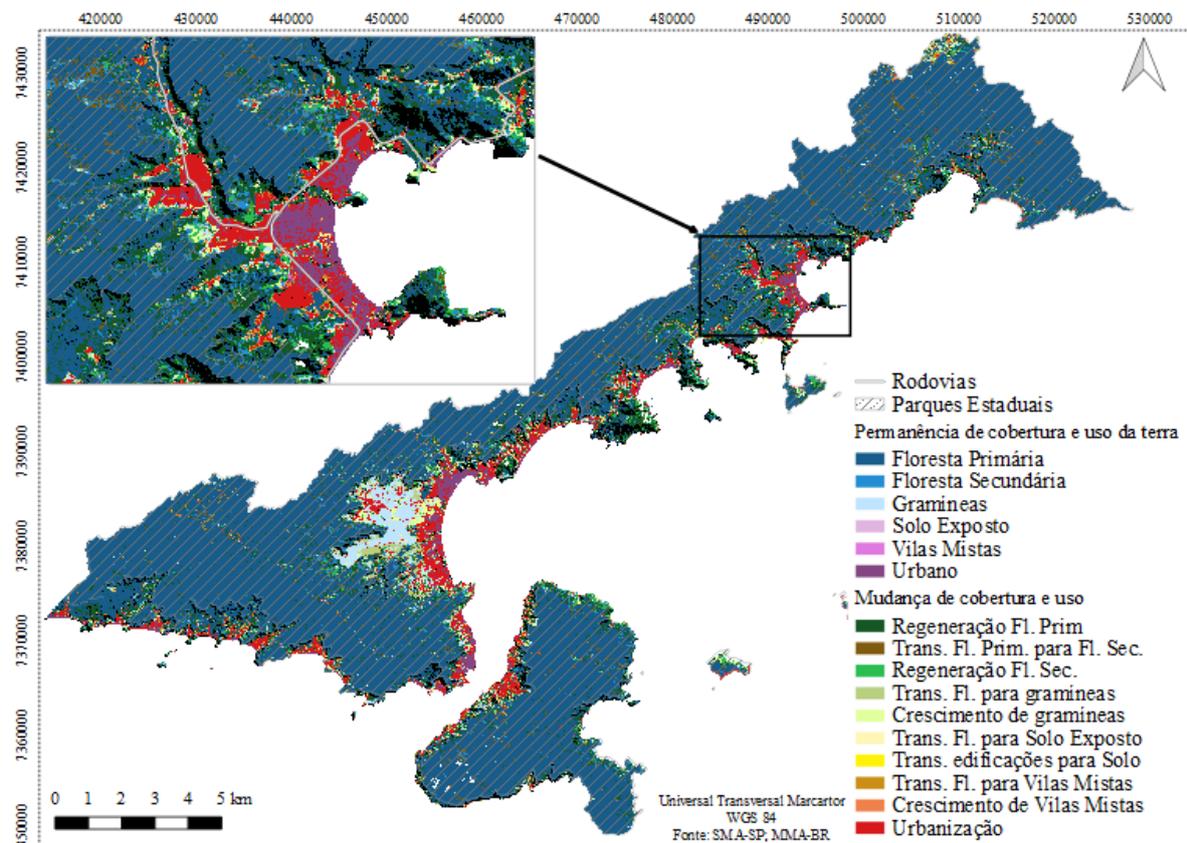


Figura 3. Mapa de mudança de cobertura e uso da terra entre 1985 e 2015. Legenda: Trans. = Transformação entre classes. Fl. = Floresta; Prim. = Primária; Sec. = Secundária.

As mudanças no uso e na cobertura da terra observadas aqui, principalmente com relação ao crescimento da mancha urbana, podem ser explicadas como consequências da ampliação do acesso na região. Também como resultado da ampliação do acesso, muitos investimentos na construção civil foram realizados para atender as demandas do setor do turismo, principalmente nos terrenos mais próximos a linha de costa (Silva 1975; Luchiarri 1992), e a Figura 3 pode ilustrar um adensamento nessas áreas mais próximas às praias. Ainda com relação ao crescimento da área urbana, as mudanças quantificadas neste início de século XXI podem ser relacionadas à continuidade do processo de imigração em função dos grandes investimentos do governo federal no setor de Petróleo e Gás, principalmente em função da descoberta do Pré-Sal. Empreendimentos marítimos e terrestres foram ampliados, instalados, ou atualmente passam por processos de licenciamentos ambiental (Teixeira 2013; CBH-LN 2014), se tornando mais um atrativo para imigração, como ilustrado pelo crescimento populacional na Figura 2. Desta forma, sugere-se que os investimentos em empreendimentos logísticos na região são as maiores causas das mudanças observadas no uso e na cobertura da terra.

#### 4. Conclusões

O processo de urbanização quantificado neste trabalho acompanhou o crescimento populacional da região, triplicando em área ocupada. Porém, mesmo com o elevado crescimento da área urbanizada, houve também aumento de área florestada dentro e fora dos parques estaduais, sugerindo que as leis de proteção ambiental e de ordenamento territorial podem estar regulando a manutenção de áreas florestadas. A ampliação do complexo viário e aquaviário, bem como o cenário do início do século XXI de instalação e ampliação de novos

empreendimentos logísticos, são aqui apontados como possíveis causas de mudanças na cobertura e no uso da terra, seja por interferências diretas ou indiretas.

**Agradecimentos:** A.B. Pierri-Daunt e R.S. Niemann são bolsistas da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da UNESP. C.L.O. Cordeiro recebe bolsa de pós-doutorado da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP #2016/08685-0) e T.S.F. Silva é bolsista de produtividade do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq 310144/2015-9).

### Referências bibliográficas

- Ab'Sáber, A. O tombamento da Serra do Mar no Estado de São Paulo. **Revista do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional**, v.21, p.7–20.,1986.
- Brasil. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. 16. 2000
- Buzato, E. **Avaliação de impactos ambientais no município de Ubatuba**: uma proposta a partir dos geoindicadores. 197p. Tese (doutorado em Geografia) Universidade de São Paulo, São Paulo. 2012
- Campos, J.F. de Santo Antônio de Caraguatubá: memórias e tradição de um povo. FUNDACC, Caraguatubá. 2000.
- Carmo, R.L. do; Marques, C, Miranda Z.A.I. de Dinâmica Demográfica Economia e Ambiente na Zona Costeira de São Paulo. **Textos NEPO**, v.63, p.1–111,2012.
- Comitê de Bacias Hidrográficas do Litoral Norte. **Relatório de situação dos recursos hídricos do Litoral Norte** Ano 2014 – Dados 2013. 2014.
- Congalton, R.G. A Review of Assessing the Accuracy of Classification of Remotely Sensed Data A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. **Remote Sensing Environmental**, v. 4257, p.34–46, 1991.
- Cunha, Í. Conflito ambiental em águas costeiras: relação porto - cidade no Canal de São Sebastião. **Ambiente e Sociedade** n. 6, p. 83–98, 2003
- Hoffmann, M.; Hilton-Taylor, C.; Angulo, A. The Impact of Conservation on the Status of the World's Vertebrates. **Science**, v. 80 n.330, p.1503–1509, 2010.
- Hsu, C.W.; Chang, C.C.; Lin, C.J. **A Practical Guide to Support Vector Classification**. Taiwan. 2003
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010**.
- Lambin, E.F.; Turner, B.L.; Geist, H.J. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. **Global Environmental Change**, v. 11, p.261–269, 2001
- Luchiari, M.T.D.P. **Caiçaras, migrantes e turistas**: a trajetória da apropriação da natureza no litoral norte paulista (São Sebastião-Distrito de Maresias). 1992. 124p. Dissertação (mestrado em Geografia). Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 1992.
- Mittermeier, R.A.; Robles-Gil, P.; Hoffmann, M., et al. **Hotspots Revisited: Earths Biologically Richest and Most Endangered Ecoregions**. CEMEX, Mexico City. 2004
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, et al (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p.853–858, 2000
- Panizza, A. de C. **Imagens Orbitais, Cartas e Coremas: Uma Proposta Metodológica Para O Estudo da Organização e Dinâmica Espacial**. 2004. Parte 1, 872 p. Tese (doutorado em Geografia) Universidade de São Paulo, São Paulo. 2004
- Reis, H. dos S. **O espaço portuário de São Sebastião no contexto da geografia portuária brasileira**. 2011. 237 p. Tese (doutorado em Geografia). Universidade de São Paulo, São Paulo. 2011
- São Paulo. CONDEPHAAT. RES. SC 40/85. **Tombamento da área da Serra do Mar e de Paranapiacaba no Estado de São Paulo**. 1985
- São Paulo. **Parque Estadual da Serra do Mar - Plano de Manejo**. Secretaria do Meio Ambiente /Instituto Florestal, São Paulo. 2006
- São Paulo. **Plano Estadual de Recursos Hídricos 2004/2007**: UGRH 03. 2008
- Silva, A.C. da. **O litoral norte do estado de São Paulo: formação de uma região periférica**. 1975. 273 p. Tese (doutorado em Geografia), Universidade de São Paulo, São Paulo. 1975
- Teixeira, L. **Megaprojetos no litoral norte paulista**: o papel dos grandes empreendimentos de infraestrutura na transformação regional.. 2013. 274 p.Tese (doutorado) Universidade Estadual de Campinas, Cam,pinas. 2013
- Turner, B.L.; Meyer, W.B.; Skole, D.L. (1994) Global land-use land-cover change - towards an integrated study. **Ambio**, v. 23, p.91–95. 1994