

## Emprego de imagens TM/Landsat-5 para estudo da expansão urbana em sistemas de dunas na região costeira de Torres – RS e Passo de Torres – SC

Andressa D'Agostini<sup>1</sup>  
Leandro Rodrigues de Freitas<sup>1</sup>  
Luiz Felipe de Almeida Furtado<sup>1</sup>  
Maurício Alves Moreira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil.  
{adagos; lfreitas; luizfelipe ; mauricio}@dsr.inpe.br

**Abstract.** The coastal zone comprises a dynamic environment between the continent and ocean, with high energy exchange and sediment transport. These sites usually show increasingly urban occupation and activities of summer tourism, which leads to changes in land cover and use. Coastal dunes represent one of the most impacted components by urban development. In this context an analysis of temporal changes of land cover in the coastal dunes was performed in Torres - RS and Passo de Torres – SC, using two images of the TM / Landsat-5 for a period of 19 years (1991-2010). Digital image processing was performed using ENVI 4.7. Subsequently, an object based image analysis was made with Definiens 7.0, followed by editing in ArcGIS 10.0. From the final map it was calculated the areas which coastal dunes have changed into other classes. The main change in land cover was from dune type to urban areas, which total changed area was estimated in 1.42 km<sup>2</sup>. The classification maps achieved a kappa indexes of 0.79 (1991) and 0.81 (2010). As product of this analysis, a thematic map with spatial distribution of land cover change detected was made. These results are important since the coastal dunes play an important role in the sediment budget of the beach environment, besides representing the habitat of several species of animals and plants highly adapted to that niche.

**Palavras-chave:** coastal dunes, urban growth, land-cover change, dunas costeiras, crescimento urbano, mudança de cobertura do solo.

### 1. Introdução

A zona costeira corresponde a zona de transição entre o domínio continental e o oceano, com alta troca de energia pelas ondas e ventos ocasionando transporte de sedimentos. Um dos constituintes de grande relevância na dinâmica do sistema costeiro são os depósitos eólicos ativos que podem ser livres, som frequentes migrações, ou fixados pela vegetação de restinga (GIANNINI *et al.*, 2005). Os sistemas de dunas representam importante papel no acúmulo de água em aquíferos, no balanço sedimentar litorâneo, assim como representa um nicho ambiental com fauna e flora especializadas. No entanto, essas áreas apresentam crescente pressão antrópica por ocupação urbana e atuação do turismo de verão, o que se tornam fatores atuantes nas mudanças de uso e cobertura do solo nesses locais. As dunas pertencem ao ambiente costeiro e representam um dos componentes mais impactados pelo desenvolvimento urbano.

A Resolução do CONAMA nº303 (20 de março de 2002), Art. 3º, XI, define que todo e qualquer tipo de duna (paleoduna, duna móvel, duna fixa e duna semi-fixa) como Área de Preservação Permanente (APP). Assim como a Resolução do CONAMA nº 341 dispõe de uma série de critérios rigorosos em caso de atividades ou empreendimentos turísticos a ser realizada de forma sustentável. Dessa forma a ocupação de ambientes de dunas é totalmente irregular, podendo acarretar em perda de diversidade local, modificação da permeabilidade do solo, e principalmente na modificação da dinâmica sedimentar litorânea.

Gruber e Cristo (2009) evidenciaram que a urbanização verticalizada no município de Torres/RS ocupa áreas de dunas e margem de cursos de água. Assim torna-se de extrema importância espacializar e mensurar as áreas em que a expansão urbana ocorreu e verificar se esta expansão se deu de forma irregular e o impacto a esses ambientes. Nesse contexto o emprego de imagens de satélites parece ser a melhor alternativa por quatro razões: (i) visão

ampla da área de estudo; (ii) periodicidade dos dados; (iii) o caráter multiespectral e; (iv) disponibilidade de dados gratuitos. Desta forma, foi realizada uma análise temporal de imagens do TM/Landsat-5 em um intervalo de 19 anos, para a análise das mudanças de cobertura do solo das dunas na região costeira de Torres – RS e Passo de Torres – SC.

## 2. Caracterização e localização da área de estudo

A área de estudo abrange os municípios de Torres/RS ( $29^{\circ}24'5,69''S$ ;  $49^{\circ}47'7,87''W$ ) e Passo de Torres/SC ( $29^{\circ}16'19,85''S$ ;  $49^{\circ}40'45,98''W$ ) (Figura 1). Os dois municípios estão separados pelo afluente do Rio Mampituba, divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Figura 1).

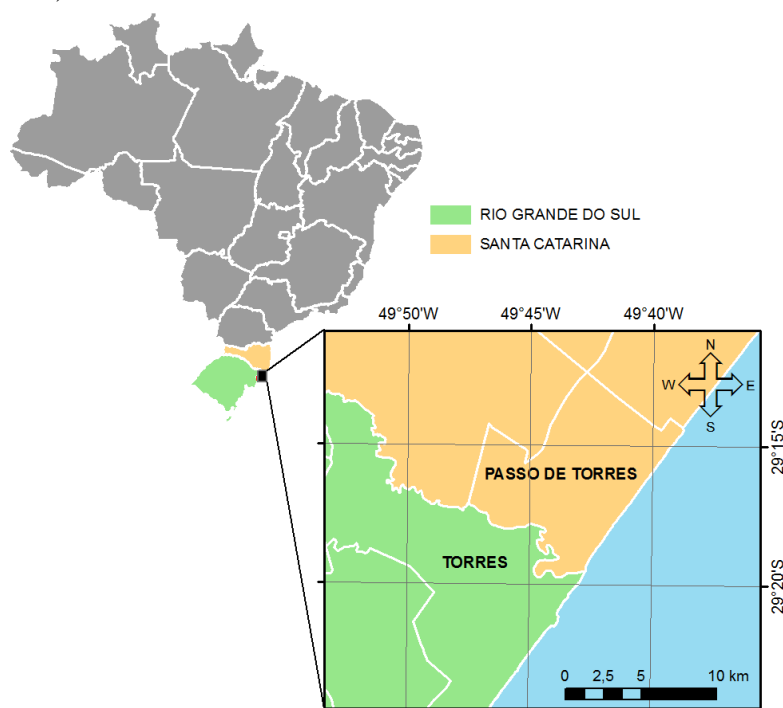


Figura 1. Mapa com a localização da área de estudo entre os municípios de Torres/RS e Passo de Torres/SC.

A área é caracterizada por ser uma planície costeira com porção inserida no Parque Estadual de Itapeva (SEMA, 2006). Nesse Parque também estão localizados formações rochosas constituídas de arenitos, basaltos e sequências vulcano-clásticas que afloraram na linha de costa. Outra relevante feição geomorfológica que compõe a região de Torres/RS são os campos de dunas livres, os quais são conceituados por Giannini *et al.* (2005) como grandes volumes individuais de areia em movimento com orientação transversal ao vento efetivo com cristas que podem adquirir diferentes formas como linear, meia-lua ou sinuosa. Já na região costeira de Passo de Torres/SC, há a ocorrência de campos dunas frontais, caracterizados por serem acúmulos contínuos de areia, com presença de vegetação, orientados de forma paralela à linha de costa (GIANNINI *et al.*, 2005).

## 3. Procedimentos Metodológicos

A metodologia empregada nesse trabalho foi fundamentada na utilização de diferentes softwares para diferentes processos como é possível observar de forma sintetizada no fluxograma abaixo (Figura 2). Duas imagens do sensor TM / Landsat-5 foram utilizadas no presente estudo para análise temporal de um período de 19 anos. As duas imagens correspondentes aos anos de 1991 e 2010, foram obtidas na página eletrônica:

<http://earthexplorer.usgs.gov/>, já apresentando correção geométrica (ortorretificadas) e georeferenciamento.

### 3.1. Realce Linear e Análise de Principais Componentes

No software ENVI 4.7 para ambas as imagens foi realizado um realce linear. Também foi feita uma Análise das Principais Componentes (PCA) com as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do TM / Landsat-5; esta técnica oferece uma nova visão sobre a variabilidade entre as informações das imagens (Richards e Jia, 2006). As PCAs foram utilizadas com dados auxiliares no próximo passo da classificação.

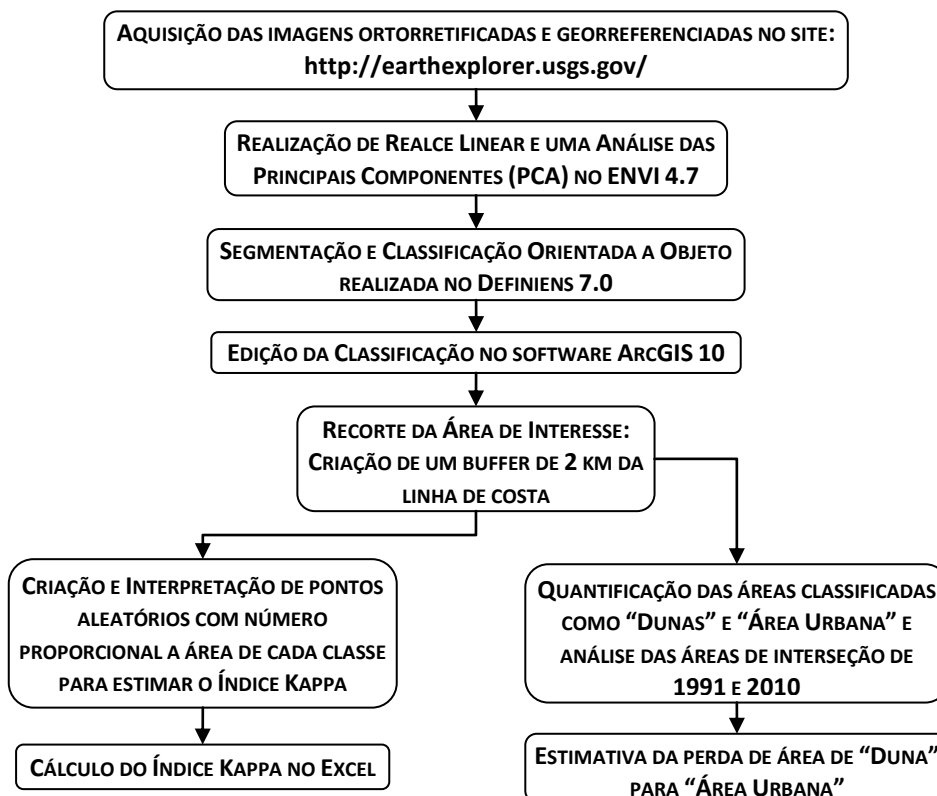


Figura 2. Fluxograma metodológico dos procedimentos realizados para análise temporal.

### 3.2. Segmentação e Classificação orientada a objeto e edição

A classificação orientada a objeto foi realizada na plataforma Definiens 7.0. Inicialmente fez-se uma segmentação das imagens utilizando a informação das bandas 3, 4 e 5, posteriormente através de uma classificação hierárquica e um processamento em árvore. No Definiens através das bandas 3 e 4 do TM/Landsat-5 foi calculado os valores do índice de vegetação NDVI (Normalized Difference and Ratio Vegetation Index) (TUCKER, 1979) e do índice IV (Índice de Vegetação) para melhor identificar locais com vegetação presente, uma vez que nas faixas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético, onde opera os sensores TM3 e TM4, a vegetação apresenta contraste espectral muito relevante em relação a áreas com solo exposto.

Para montar a classificação foram incluídos no projeto do Definiens as PCAs previamente obtidas no ENVI, e as bandas do TM/Landsat-5. Para separar diferentes alvos o Definiens permite utilizar diversas características, tais como referentes à forma das áreas segmentadas (área, assimetria, direção principal do objeto, etc.) e os valores das camadas presentes (bandas espectrais, PCAs, índices de vegetação, etc.). A partir dessas características foi criada uma chave de interpretação. No Definiens foram definidas as classes: Água (que englobou Rio,

Lago e Mar), Areia, Vegetação (agregando áreas florestadas, zonas de agricultura), Restinga e Área Urbana.

No ArcGIS 10 foi realizada a edição manual da segmentação e da classificação feita no Definiens, editando alguns polígonos corrigindo bordas desajustadas ou não, para melhorar a exatidão dos resultados da classificação, ou seja, foi realizada uma correção manual dos polígonos classificados nas imagens, de 1991 e de 2010. Nessa edição a classe denominada Areia foi dividida em duas subclasses, ou seja, (i) classe Areia, referente aos campos de dunas e (ii) classe Praia (referente à linha de praia com as dunas frontais); assim como foi criada uma nova classe “Solo Exposto” referente a locais desmatados ou terrenos pavimentados.

### **3.3. Quantificação e interseção das áreas de dunas e urbana**

Depois de realizada a classificação e sua correção, foi criada uma máscara (*buffer*) de 2km da linha de costa em direção ao continente para delimitar a área de interesse (região em que há sistemas de dunas). A seguir foram calculadas as áreas de cada classe, para posterior interseção das áreas das classes de “Areia” (campos de dunas) e de “Área Urbana” das imagens dos dois períodos (1991 – 2010). A interseção dos mapas temáticos é feita por meio de tabulação cruzada, que permite quantificar e espacializar as mudanças de uso e ocupação do solo na região. No presente estudo, verificar a mudança da classe “Areia” para a classe “Área Urbana”.

### **3.4. Validação da exatidão de mapeamento**

Os métodos usados para estimar a exatidão de mapeamento têm como ponto de partida a construção de uma matriz de erro, obtida a partir de uma amostra de área. A matriz contém informações da classificação (mapa) e da referência (dados de campo). Esta matriz apresenta a distribuição de percentagem de pixels classificados correta e erroneamente (CONGALTON, 1991). O índice Kappa, por sua vez expressa o grau de concordância entre um mapa temático da classificação realizada. O mesmo é calculado através de uma matriz de concordância entre o mapa de referência, admitido como verdade, e o mapa classificado (BANKO, 1998). Para tanto foram criados pontos aleatórios dentro da área de interesse (recortada pela máscara), sendo que o critério utilizado para escolha do número de pontos foi de 1% do total de pixels, o que resultou em uma amostra de 400 pontos amostrados aleatoriamente. A imagem de 1991 teve uma classe a menos, pois não houve classificação de solo exposto dentro da área de interesse, diferentemente da imagem de 2010 na qual foi identificado solo exposto na imagem. Cada classe teve amostragem de pontos proporcional a sua área. O mapa de referência para análise dos pontos foi do Google Earth por interpretação visual das imagens.

## **4. Resultados e Discussão**

O resultado da segmentação e classificação no Definiens envolveu pouca edição no ArcGIS, considerando a franja de litoral analisada. Houve complexidade maior em separar a classe área urbana e da classe restinga. A característica das áreas urbanas pouco densas ou em início de ocupação nesta região é ser bastante vegetada, com remanescentes de restinga. A correção da localização das bordas dos polígonos também não foi feita em muitos locais. Em função da baixa resolução das imagens (30m x 30m) há bastante mistura espectral na região das bordas. A Figura 3 mostra a classificação antes e após a edição manual no ArcGIS.

A partir das matrizes de confusão foram obtidas as exatidões gerais de 0,84 e 0,80 e um valor de kappa de 0,79 e 0,81 para os anos de 1991 e 2010 respectivamente (Tabelas 2 e 3). Nota-se que os valores da exatidão geral foram significativos ao nível de 5% de probabilidade e os valores de Kappa obtidos foram tidos como satisfatórios, considerando a falta de um mapa de referência e tendo sido a interpretação visual o método de checagem. Os valores de Kappa obtidos foram vistos como satisfatórios, considerando a falta de um mapa de referência

e tendo sido a interpretação visual o método de checagem. Considerando o grau de concordância do índice Kappa proposto por Galparsoso e Fenández (2001) os índices obtidos nesse trabalho foram de “Boa” concordância para a classificação da imagem de 1991 (valores de Kappa entre 0,61 e 0,80) e “Muito Boa” para a classificação da imagem de 2010 (valores de Kappa entre 0,81 a 1,00).

Tabela 2 - Matriz de confusão com as estimativas de exatidão Geral, precisão do usuário e do produtor e o valor do Kappa, para o ano de 1991.

		Classificação							
1991		Água	Urbano	Areia	Praia	Restinga	Veget.	Total	EU* (%)
Referência	Água	8	2	0	0	0	1	11	88,9
	Urbano	0	47	1	0	1	2	51	85,5
	Areia	1	1	50	2	6	1	61	92,6
	Praia	0	2	0	17	0	0	19	85,0
	Restinga	0	1	1	1	55	13	71	67,1
	Veget.	0	2	2	0	20	159	183	90,3
	Total	9	55	54	20	82	176	396	-
	EP*	72,7	92,2	82,0	89,5	77,5	86,9	-	Kappa: 0,79
Exatidão Geral (%): 0,84									

\* EU = Exatidão do Usuário e EP= exatidão do Produtor

Tabela 3 - Matriz de confusão com as estimativas de exatidão Geral, precisão do usuário e do produtor e o valor do Kappa, para o ano de 2010.

		Classificação								
2010		Água	Urbano	Areia	Praia	Restinga	Solo	Veget.	Total	EU(%)
Referência	Água	8	0	0	0	0	0	0	8	80,0
	Urbano	0	95	3	3	6	1	3	111	84,8
	Areia	0	2	30	0	1	0	2	35	76,9
	Praia	0	1	0	18	1	0	0	20	81,8
	Solo	0	0	0	0	0	4	0	4	75,0
	Restinga.	0	5	5	1	24	0	6	4	80,0
	Veget.	2	9	1	0	0	0	169	181	93,9
	Total	10	112	39	22	32	5	180	400	-
EP (%)	100	85,6	85,7	90,0	58,5	100	-	-	Kappa: 0,71	
Exatidão Geral(%) = 0,80										

Após os procedimentos metodológicos descritos, a medida total de área de campos de dunas convertido em área urbana calculada foi de 1,43 km<sup>2</sup> no intervalo de 19 anos estudado. Em aproximadamente uma extensão de 17 km de litoral, o equivalente a área de 172 campos de futebol foram perdidos. Nota-se pelo posicionamento das áreas que sofreram redução, que a expansão urbana está ocorrendo em direção às suas periferias, uma vez que está confinada

pelo litoral e pelos campos de dunas. A Figura 5 mostra as áreas convertidas da classe 'Areia' para classe 'Área Urbana', sobrepostas à imagem de 2010.

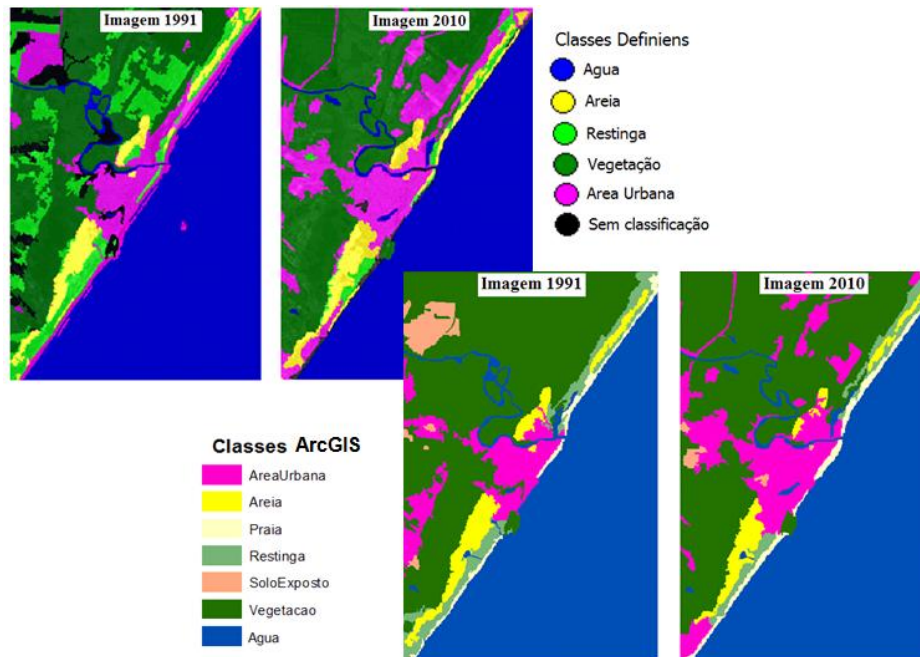


Figura 4. Imagens de 1991 e 2010 classificadas por meio do Definiens (imagens superiores), e editadas no ArcGIS (imagens inferiores).

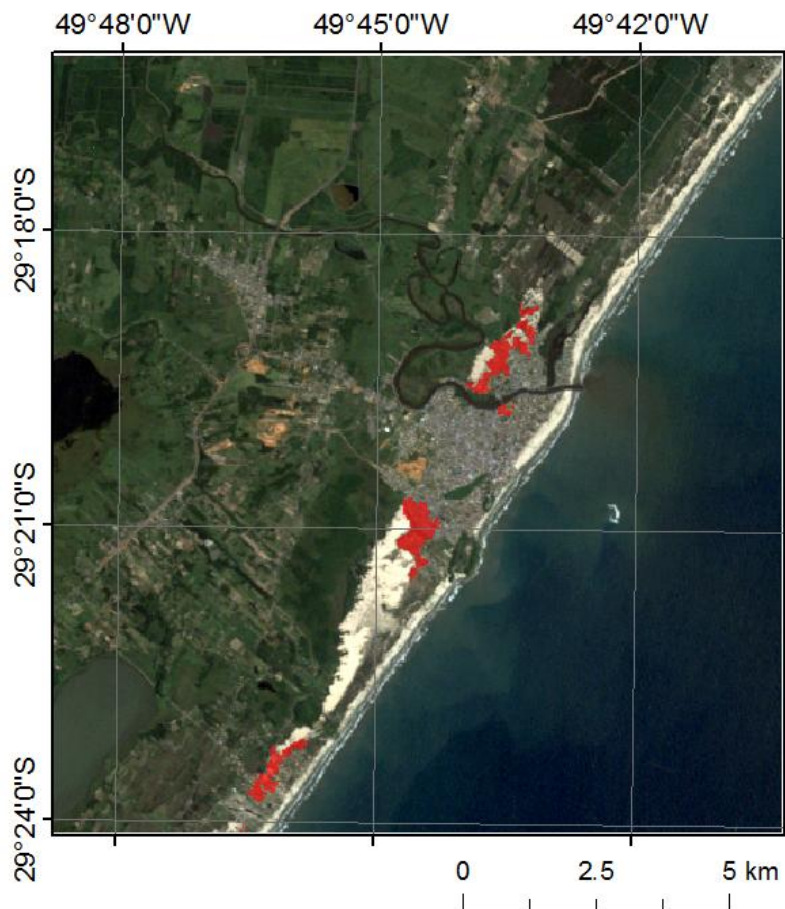


Figura 5. Mapa demonstrando as áreas, em vermelho, onde houve ocupação urbana em regiões de dunas entre o período de 1991 e 2010.

O controle dessa expansão urbana em áreas de dunas, protegidas pela legislação como áreas de proteção permanente (CONAMA, 2002), é responsabilidade do órgão público. O plano diretor do município de Torres/RS denomina as áreas de dunas como Área de Proteção Ambiental (APA), sendo proibida a construção de edificações, a não ser de caráter recreativo e de lazer. Dessa forma se faz necessário fiscalizar e gerenciar a expansão urbana nessa região, para que o crescimento urbano ocorra de forma ordenada, de acordo com as legislações vigentes. Já o município de Passo de Torres/SC ainda não apresenta um Plano Diretor voltado ao problema, principalmente, de áreas de preservação permanentes.

Instrumentos e dados de suporte para tomada de decisões dos governantes são uma opção para melhor administrarem o crescimento urbano. Tal como o trabalho de Peres et al. (2011) que desenvolveram uma ferramenta para auxiliar no planejamento da expansão urbana de Torres/SC. Os autores realizaram diversas simulações de crescimento urbano do município em um período de 40 anos e evidenciaram um crescimento perpendicular a linha de costa, se a legislação que rege as zonas costeiras for respeitada. Porém, indícios como os apresentados nesse trabalho, assim como no Plano de Manejo do Parque de Itapeva (SEMA, 2006) demonstram a contínua expansão urbana desordenada sobre áreas de APP.

Outra estratégia interessante que poderia ser implementada é a educação ambiental para mobilizar a população para a importância das áreas de dunas, tal como realizado por Fracasso et al. (2003). Esse trabalho constituiu a confecção de cartilhas de conteúdo científico e didático sobre os ambientes de dunas que fizeram parte do projeto de Gerenciamento e Segurança nas Praias desenvolvido pelo CTTMar/UNIVALI. Como é possível observar Instituições de ensino superior privado ou público, também podem auxiliar no processo mitigatório de conservação dos sistemas dunares.

#### 4. Conclusões e Considerações Finais

Com a avaliação multitemporal de imagens TM/Landsat-5 por meio das técnicas de análise orientada a objetos, foi possível obter uma medida quantitativa do avanço da área urbana para o campo de dunas dos municípios de Torres/RS e Passo de Torres/SC, baseado apenas em imagens históricas de sensores remotos.

Como sugestão para estudos futuros na região poderia ser feita uma avaliação do vetor de expansão (velocidade e direção) através de uma análise em intervalos de tempo menores. Assim como ser avaliado que outras classes de uso foram convertidas em área urbana, tal como restinga ou áreas de praia. A vegetação também foi uma classe bastante impactada pelo crescimento urbano, mas esses resultados não foram considerados, pois a classificação minuciosa da vegetação foi inviabilizada pela resolução espacial das imagens (30m x 30m).

#### Referências Bibliográficas

Banko, G. A **Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data and of Methods Including Remote Sensing Data in Forest Inventory**. Interim Report IR-98-081, 42 pp.1998.

Congalton, R G. A review of assessing the accuracy of classification of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v.37, p. 35-46, 1991.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente (2002). Resolução nº 303, de 20 de março de 2002. Ministério do Meio Ambiente, 4p. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/19371341/PropResolAPP\\_VLIMPA\\_12e13ago2010.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/19371341/PropResolAPP_VLIMPA_12e13ago2010.pdf)> Acesso em: 10 ago. 2012.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente (2003). Resolução nº 341, de 25 de setembro de 2003. Ministério do Meio Ambiente, 3p. Disponível em: <[http://www.mp.ba.gov.br/atuacao/ceama/material/legislacoes/conservacao/resol\\_conama\\_341\\_03.pdf](http://www.mp.ba.gov.br/atuacao/ceama/material/legislacoes/conservacao/resol_conama_341_03.pdf)> Acesso em: 10 ago. 2012.

Gruber, N. L. S.; Cristo, S. S. V. **Expansão Urbana e os Conflitos de Uso do Solo em Ambientes Fragilizados do Litoral Norte do Rio Grande do Sul**. Para Onde? (UFRGS), v. 5, p. 59 – 72, 2009. Disponível em: <<http://www6.ufrgs.br/seerparaonde/ojs/principal.htm>> Acesso em: 1 de agosto de 2012.

Fracasso, P.; Diehl, F. L.; Klein, A. H. F.; Diehl, F. P. Instrumento de Gestão do Sistema Dunar – Uma das Estratégias da Educação Ambiental Aplicada. In: IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos Quaternários, 2003, Recife. **Anais...** II Congresso do Quaternário de Países de Língua Ibérica e II Congresso sobre Planejamento e Gestão da Zona Costeira dos Países de Expressão Portuguesa. Recife : ABEQUA, 2003. v. 1. p. 1-4. Disponível em: < [http://www.abequa.org.br/trabalhos/gerenciamento\\_254.pdf](http://www.abequa.org.br/trabalhos/gerenciamento_254.pdf) > Acesso em: 05 ago. 2012.

Galparsoro, L. U.; Fernández, S. P. **Medidas de concordância: el índice Kappa**. 2001. Disponível em: <<http://www.fisterra.com/mbe/investiga/kappa/kappa.htm>> Acesso em: 16 de agosto de 2012.

SEMA - Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul. Plano de Manejo do Parque Estadual Itapeva. **Projeto Conservação da Mata Atlântica do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, RS. 274 pp. 2006.

Giannini, P. C., Assine, M. L., Barbosa, L. M., Barreto, A. M. F. Barreto, Carvalho, A. M. C, Claudino-Sales, V., Maia, L. P., Martinho, C. T., Peulvast, J. P., Sawakuchi, A., tomazelli, L. J. Dunas e paleodunas eólicas costeiras e interiores. In: Souza, C.R.G., Suguio, K., De Oliveira, P.E., Oliveira, A.M. (eds.) **Quaternário do Brasil**. Capítulo 11. Abequa. 2005.

**Peres, O. M.; Saraiva, M. V.; Polidori, M. C.** Crescimento urbano simulado de Torres.RS:uma ferramenta aplicada ao planejamento urbano e ambiental. **In: Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica - XIII CONFIBSIG - Toluca, México. Anais... Toluca, México: 2011. Disponível em: <[http://www.inegi.org.mx/eventos/2011/conf\\_ibero/doc/ET4\\_14\\_PERES.pdf](http://www.inegi.org.mx/eventos/2011/conf_ibero/doc/ET4_14_PERES.pdf)> Acesso: 2 ago. 2012.**

Richards, J.A.; JIA, X. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. 3.ed. New York: Springer: Verlag Berlin Heidelberg, pp. 439. 2006.

Tucker, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation, **Remote Sensing Environment**, vol. 8, p. 127-150. 1979.