

Paisagem e transformação espaço-temporal: uma proposta metodológica para a utilização de índices de medidas espaciais no estudo da mancha urbana (Extremoz, Natal e Parnamirim, RN, Brasil)

Andrea de Castro Panizza^{1,2,3}
Jérôme Fournier^{1,4}
Samuel Corgne²

¹ Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), França
apanizza@usp.br; fournier@mnhn.fr

² Universidade de Rennes 2, laboratório COSTEL
Place du Recteur Henri Le Moal, CS 24307, Rennes Cedex 35043, França
samuel.corgne@uhb.fr

³ Dept. Geografia, Universidade Federal do Ceará (UFC)
Campus do Pici, bloco 911, Fortaleza, CE, 60.455-760, Brasil

⁴ Muséum National d'Histoire Naturelle, Station Marine
17, Avenue Georges V, 35801 Dinard Cedex, França

Abstract. The aim of this paper is to quantify the landscape dynamic with satellite imagery and spatial analysis. Three images from Landsat were processed to show and detect the space-time changes of the coastal urban landscape of Brazilian Northeast. We have used several geometrical indices (e.g. landscape shape index and fractal index) to measure the land-cover evolution. These results are commented and showed an opposite behaviour between the urban areas and vegetal areas. They also showed a regression of the vegetal cover into a fragmented and homogeneous landscape.

Palavras-chave: spatial analysis, remote sensing, geography; análise espacial, sensoriamento remoto, geografia.

1. Introdução

Sabemos que em extensas áreas do território brasileiro, assim como em outras regiões do mundo (Corgne & Robin, 2000), a alteração da cobertura da terra ocorre com grande rapidez. A expansão agrícola e o crescimento urbano são responsáveis por parte expressiva dessas alterações (Panizza & Fournier, 2006). As dimensões espacial e temporal proporcionam, dentro desse quadro de dinâmica, informações de interesse para qualquer sociedade que vise o desenvolvimento sustentado e qualidade de vida para seus cidadãos.

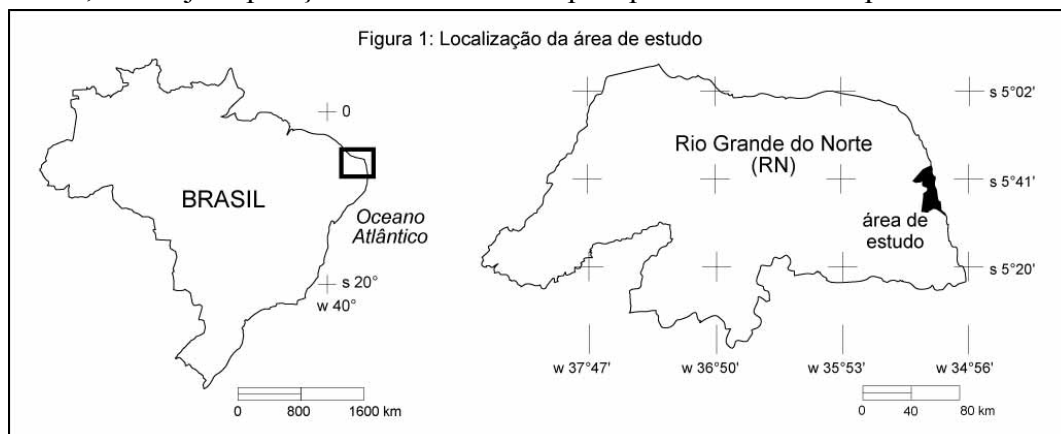
Partimos do pressuposto que a informação espaço-temporal é necessária para a tomada de decisões, seja no meio urbano ou rural. É importante também para o planejamento físico e territorial. Sabemos, entretanto, que a informação e representação espaço-temporal não são de uso freqüente no país, apesar das facilidades técnicas proporcionadas pelas imagens de satélite e pelos programas computacionais. Fazemos e utilizamos pouco os mapas. Por isso, insistiremos no pressuposto da utilidade dessas informações.

Este trabalho apresenta parte dos resultados do projeto de pós-doutoramento financiado pelo CNRS (*Centre National de la Recherche Scientifique*, França) e executado no laboratório COSTEL (*Climat et Occupation du Sol par Télédétection*) da Universidade de Rennes 2 (França), no período de 2005 e 2006. Intitulado *Modélisation par télédétection et analyse spatiale des enjeux et conflits environnementaux posés par la croissance urbaine des villes du Nordeste Brésilien*, esse projeto de pesquisa envolveu pesquisadores das Universidades de Rennes 2 e da Federal do Rio Grande do Norte, em Natal. Elaborado com o objetivo de

ampliar e aperfeiçoar a metodologia desenvolvida por Panizza (2004) no litoral norte do Estado de São Paulo, a pesquisa priorizou a análise espacial e a modelagem como instrumentos privilegiados de investigação sobre o crescimento urbano, a organização e as dinâmicas espaciais.

Na Geografia, as relações espaço-temporais suscitam dois tipos de explicação: as baseadas nas relações verticais e as baseadas nas relações horizontais. Nas relações verticais, partimos da hipótese que as características de um lugar, que persistem por longos períodos de tempo como o clima e o solo, podem explicar, em parte, outras características mais efêmeras, como por exemplo as desigualdades na produção agrícola. Essa explicação associa a relação de proximidade à relação de antecedência no tempo (de algo que já existia em uma determinada localidade); trata-se, pois, de uma relação de causalidade. Já as explicações baseadas em relações horizontais se apóiam explicitamente na noção de proximidade. Partimos da hipótese que as características de lugares próximos são mais interdependentes que de lugares distantes. Estudamos, assim, as relações horizontais entre objetos geográficos. Trata-se de uma “análise espacial *stricto sensu*” (Pumain & Saint-Julien, 1997).

Utilizaremos as relações horizontais para caracterizar as transformações espaço-temporais. Na área analisada, tais relações contrapõem áreas de crescimento urbano e áreas vegetadas e campos de dunas. Estudamos as transformações de três municípios litorâneos do Estado do Rio Grande do Norte (Extremoz, Natal e Parnamirim, **Figura 1**). A predominância da atividade turística nesses municípios traz forte atratividade para as áreas beira-mar, conduzindo à uma ocupação linear e paralela à costa. O uso do recorte municipal, apesar de arbitrário sob o ponto de vista ecológico, possibilita o uso de dados estatísticos sobre a ocupação, tais como o número de habitantes, de domicílios permanentes, de residências secundárias, etc. A justaposição de outros municípios pode amenizar tal problema.



O objetivo deste artigo é propor o uso de índices espaciais para quantificar a transformação espaço-temporal da paisagem. Essa proposta metodológica, além de trazer informações para a compreensão do funcionamento evolutivo da paisagem, pode definir padrões e estruturas espaciais passíveis de serem utilizados em estudos comparativos.

A paisagem constitui um conjunto de formas materiais que dão suporte às relações sociais e a atividade produtiva (Santos, 1997). Tal conceito mostra-se operacional, pois apresenta a materialidade das formas como uma característica fundamental. Mas essa não é sua única característica. A presença do observador, seu ponto de vista e sua percepção também são atributos explorados, pois “a paisagem é uma aparência e uma representação: um arranjo de objetos visíveis, percebido por um sujeito através de seus próprios filtros” (Brunet et al. 1993). Esse é o entendimento geográfico da paisagem que a partir da materialidade ressalta a interação sociedade/natureza, considerando também os fenômenos da percepção, tais como a paisagem “vívda” e “percebida” (Fournier, 2001).

Uma outra acepção do conceito de paisagem parece-nos igualmente interessante. Essa deriva da Ecologia da paisagem que na década de 1980 recebeu a influência de biogeógrafos e ecólogos norte americanos que tentaram adaptar a teoria da biogeografia insular ao planejamento de unidades de conservação continentais (Metzger, 2001). A paisagem, aqui abstraída do ponto de vista do observador e de sua percepção, possui duas características principais: é uma área heterogênea e, portanto, um mosaico de manchas e formas diferentes. Chegamos, assim, as características que nos interessam: formas materiais e visíveis nas imagens de satélite, que compõem um mosaico de manchas heterogêneas. Portanto, trataremos a paisagem como um mosaico, sem abordar os fenômenos de percepção.

2. Paisagem e transformação espaço-temporal

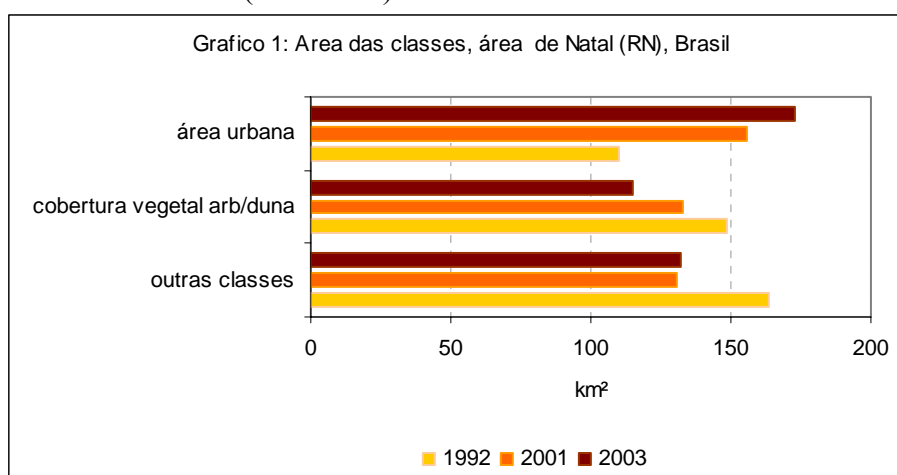
A paisagem entendida como um mosaico possibilita sua quantificação. Podemos saber qual é a composição dessa paisagem e como ela evolui. Podemos também estudar a complexidade das formas que a compõem, além de sua agregação, fragmentação, heterogeneidade, etc. Sabemos, entretanto, que as formas não explicam os mecanismos evolutivos de uma paisagem, mas elas podem trazer elementos interessantes para o estudo dos processos (Santos, 1997).

Três imagens do satélite Landsat foram utilizadas, 1992, 2001 e 2003. A freqüente cobertura de nuvens existente em grande parte do litoral nordeste brasileiro impossibilitou o uso de imagens de outras datas. O reconhecimento de campo foi realizado *a priori* para o levantamento dos pontos GPS, utilizados no georeferenciamento, e para a caracterização das classes temáticas, usadas nas classificações supervisionadas. Nenhum pré-tratamento foi realizado nas imagens. O programa computacional utilizado foi o Spring 4.2 do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil).

O erro de georeferenciamento é considerado pequeno (0,6 pixels para a imagem de 1992; 0,5 pixels para 2001; e 1 pixel para a imagem de 2003, cuja a cobertura de nuvens é maior). Como grande parte das imagens era coberta pelo mar, pois trata-se de uma região litorânea, um recorte foi executado. A partir da linha de costa, dos limites municipais fornecidos pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Brasil), foi excluída das imagens a porção de mar. Essas imagens recortadas foram utilizadas nas classificações supervisionadas por região, quando foi usado o classificador Bhattacharya. Neste primeiro momento, as classificações contavam com 13 classes temáticas. Apesar de terem sido pouco freqüentes os reconhecimentos de campo, as classificações apresentam bons resultados, tanto visual quanto em relação a sua acurácia estatística (o coeficiente de concordância de Tau para a classificação de 1992 é de 98,42%; para a de 2001 é de 98,76%; e por fim, para a de 2003 é de 98,43%).

Para viabilizar a análise espacial foi realizada uma generalização da legenda. O interesse em confrontar a dinâmica do crescimento urbano com a redução, ou expansão, da cobertura vegetal levou a uma agregação de classes temáticas através do programa LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) do Spring. Nele foi possível unir as classes temáticas em 3 grandes famílias: cobertura vegetal arbórea/duna (*cob.veg.arb/duna*), área urbana (*a.urb.*), e outras classes (*outras*). A classe *cob.veg.arb/duna* representa, além dos campos de dunas, os principais tipos de vegetação existentes na área, tais como a restinga arbórea, a savana arbórea aberta e o mangue (Brasil, 2003). A agregação das classes cobertura vegetal arbórea e campos de dunas se justifica pelo fato de ambas serem classes de grande interesse ecológico e por estarem susceptíveis ao avanço da ocupação urbana, apesar da legislação ambiental. A proximidade imediata dessas classes com áreas urbanas as colocam sob forte pressão fundiária.

A **Figura 2** mostra o resultado das classificações para as 3 datas. Vemos claramente a contraposição entre o aumento da *a.urb.* e a redução das superfícies da classe *cob.veg.arb/duna*. Em 1992, a *a.urb.* representava 109,8 km² (26% da área total do território) e a *cob.veg.arb/duna* cobria 148,4 km², isto é, 35,2% do território. As outras classes totalizavam 163,5 km² (38,8%). Em 2001, observamos um significativo aumento da *a.urb.* que passa a cobrir 155,5 km² (37,1% do território), ou seja, um aumento de 45,7 km². As áreas que representam a cobertura vegetal/duna sofrem uma regressão e recobrem 133,2 km² (31,7% do território). Porém, neste ano a redução mais expressiva é da classe *outras* que passa a cobrir 130,8 km² (31,2% do território), uma redução de 32,7 km². Finalmente, em 2003 vemos a confirmação duas principais tendências: o aumento da *a.urb.* e o decréscimo da classe *cob.veg.arb/duna*. No último ano a *a.urb.* registra 172,7 km² (41,1% do território), contra 115,1 km² (27,4% do território) para a classe *cob.veg.arb/duna*. Uma aumento de 17,2 km² para a primeira classe e uma redução de 18,1 km² para a segunda classe. Já as *outras classes* apresentam uma relativa estabilidade, cobrindo 132,5 km² (31,5% do território), área similar a encontrada em 2001 (**Gráfico 1**).



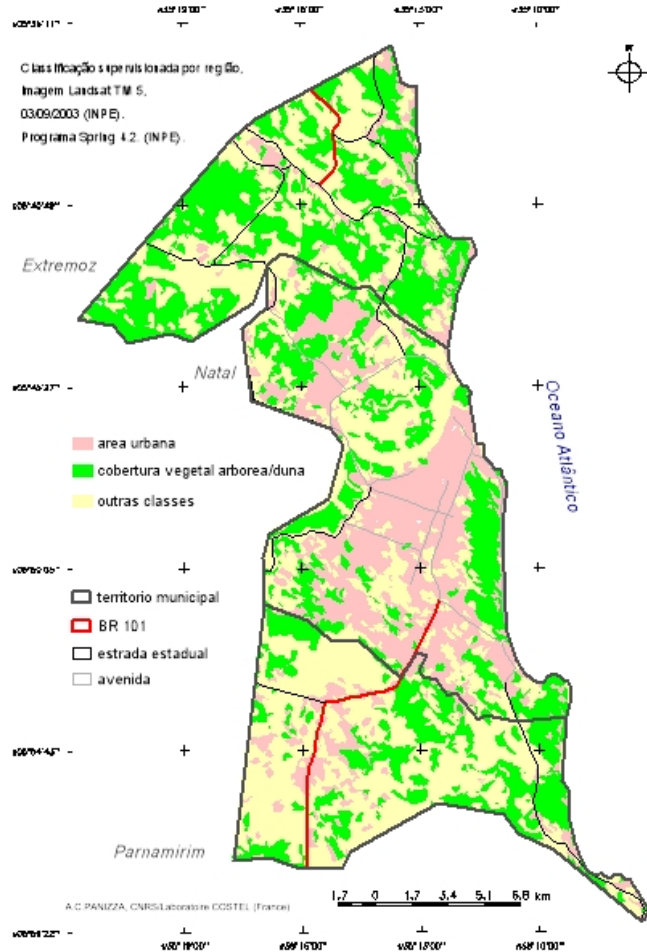
A partir do formato *raster* das bases cartográficas (**Figura 2**) os índices de medidas espaciais foram calculados, como veremos a seguir.

3. Análise espacial e os índices geométricos

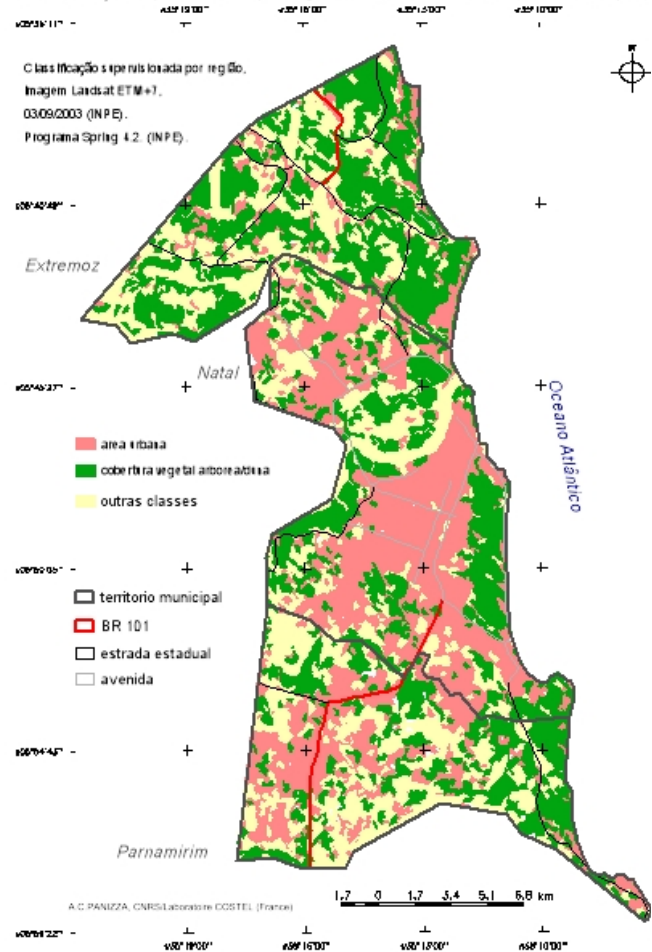
Os dados produzidos nas classificações supervisionadas por região fornecem informações qualitativas e quantitativas, tais como a localização e a distribuição das classes temáticas e suas áreas (em km²). No entanto, para aprofundar a análise gostaríamos de melhor caracterizar as transformações espaço-temporais. Mas como medi-las ?

A análise espacial, realçada pela Geografia Quantitativa dos anos 60, aplica conceitos e técnicas estatísticas para observar a dependência no espaço de regiões vizinhas (Câmara et al, 2003). Ela focaliza, assim, as relações horizontais passíveis de explicar, em parte, a localização e a distribuição de objetos geográficos. Sabemos, entretanto, que os métodos quantitativos utilizados em abordagens geográficas são uma condição desejável, mas nem sempre suficiente (Ullman apud Santos, 1986) para atingirmos o nível explicativo dos fenômenos. Insistiremos, entretanto, que a análise espacial definida como “uma análise formalizada da configuração do espaço geográfico, tal como ele é produzido e vivido pelas sociedades humanas” (Pumain & Saint-Julien, 1997) enriquece e complementa a investigação geográfica, podendo ser extremamente útil ao planejamento territorial e aos gestores.

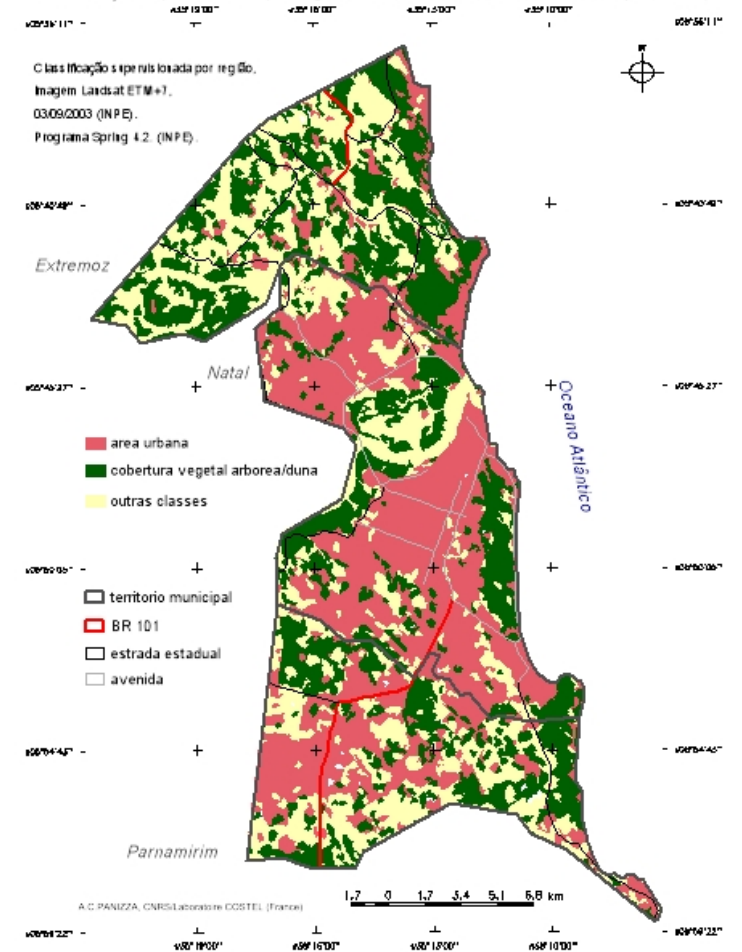
Figura 2:
Classificação supervisionada por região, 1992, Extremoz, Natal, Parnamirim (RN,



Classificação supervisionada por região, 2001, Extremoz, Natal, Parnamirim (RN,



Classificação supervisionada por região, 2003, Extremoz, Natal, Parnamirim (RN, Brasil)



Por outro lado, sabemos também que a abordagem da Ecologia da paisagem, além de constituir uma nova área do conhecimento, pode representar uma proposta metodológica de interesse para vários estudos, inclusive os geográficos (Fournier, 2001). Mas ela focaliza prioritariamente as relações entre os padrões espaciais e os processos ecológicos (Metzger, 2001). A Geografia não trata de processos ecológicos. No entanto, já vimos que trabalhar com a definição de paisagem como um mosaico de manchas heterogêneas pode ser útil. Assim, com o objetivo de medir as transformações espaço-temporais e extrair as estruturas espaciais da área estudada utilizamos índices de medidas espaciais normalmente aplicados em trabalhos de ecologia e biologia da conservação. O programa computacional de domínio público e disponível na internet também provém desta área do conhecimento, trata-se do programa *Fragstats 3.3 (Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure)*.

Dentro desta abordagem é possível trabalhar em 3 níveis escalares (Fournier et al, 2005): o das manchas (*patch*), o das classes (*class*) e o da paisagem (*land*). As manchas de um mesmo tipo são os polígonos que formam uma classe, como por exemplo a classe *a.urb.*. O conjunto de classes forma a paisagem ou o mosaico, como foi definido acima. Neste estudo, utilizamos o nível escalar das classes, pois procuramos caracterizar a evolução das classes *a.urb.* e *cob.veg. arb/duna*.

Apesar da grande diversidade de índices disponíveis, apresentamos aqui somente os resultados provenientes dos índices geométricos. Os resultados dos índices topológicos, que revelam características sobre a vizinhança e a contigüidade das classes não serão apresentados. Esses índices são semelhantes aos utilizados por Panizza (2004) e Fournier et al (2005) em um estudo sobre a dinâmica da ocupação em áreas litorâneas do litoral norte paulista.

A **Tabela 1** traz um resumo dos tipos de medidas utilizadas. As variáveis área e perímetro são utilizadas nos índices NP (*Number of patches*), PLAND (*Percentage of landscape*) e LSI (*Landscape shape index*). NP mede a quantidade de manchas de uma classe. PLAND mede a abundância relativa de manchas de cada tipo de classe na paisagem, mostrando sua completa homogeneidade (PLAND = 100), quando há uma única classe; ou sua heterogeneidade (PLAND = 0), quando várias tipos de classes estão presentes. LSI mede o agrupamento da classe pelo perímetro das manchas que a compõem; LSI = 1, quando a paisagem é um único bloco; LSI aumento quando os perímetros das classes aumentam indicando uma desagregação de suas manchas. Por fim, a medida da forma, FRAC (*Fractal index distribution*), também baseia-se no perímetro das manchas, pois um perímetro simples, como um quadrado, denota uma forma pouco complexa (FRAC = 1); já uma forma com convoluções aumenta o perímetro e indica maior complexidade.

Tabela 1: Relação das medidas e índices aplicados.

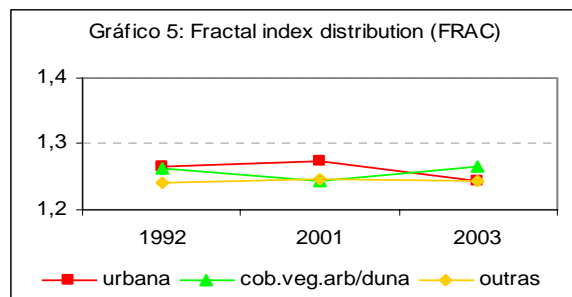
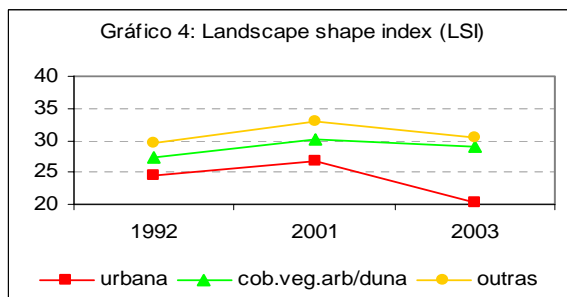
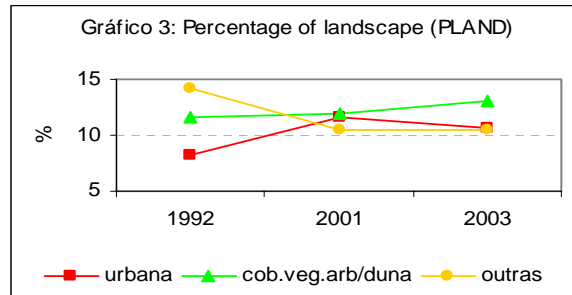
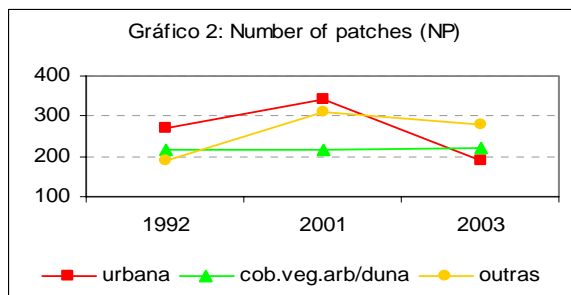
Medida	Índice	Amplitude, unidade	Análise
Área e perímetro	NP (Number of patches)	$NP \geq 1$, em número de manchas	Mede o número de manchas do mosaico
	PLAND (Percentage of landscape)	$0 < PLAND \leq 100$; em %	Mede a abundância de cada classe no mosaico
	LSI (Landscape shape index)	$LSI \geq 1$, sem limite, sem unidade	Mede a agregação ou agrupamento de uma classe
Forma	FRAC (Fractal index distribution)	$1 \leq FRAC \leq 2$, sem unidade	Mede a dimensão fractal das manchas de uma classe

4. Análise dos resultados

Os resultados apresentam dados estatísticos das 3 datas. Esses devem ser analisados de forma relativa, pois só a comparação revela a evolução da paisagem.

O **Gráfico 2** (NP) indica duas tendências, uma vista no 1º período estudado (1992 a 2001) e outra no 2º período (2001 a 2003). No 1º há aumento no número de manchas para as

três classes, porém mais expressivo para as classes *a.urb.* e *outras*. Para essas mesmas classes, vemos no 2º período diminuição do NP, sendo essa queda significativa para a classe *a.urb.*. A classe *cob.veg.arb/duna* apresenta um ligeiro aumento no número de manchas. Isso mostra que, no 1º período, em todas as classes houve desagregação das manchas, porém no 2º período houve agregação das manchas das classes, principalmente a *a.urb.*. O **Gráfico 3** (PLAND) confirma, de modo geral, a heterogeneidade da paisagem, pois mostra porcentagens baixas para todas as classes. No entanto, ao detalhar essa informação vemos que a classe *a.urb.* evoluiu de uma situação heterogênea para uma homogênea, mesma tendência verificada para a classe *cob.veg.arb/duna*, porém com números pouco expressivos. Já a classe *outras* faz o caminho inverso, ou seja, parte de uma situação homogênea para um heterogênea. O **Gráfico 4** (LSI) permite detalhar melhor a informação já apresentada pelo NP. Vemos basicamente que para todas as classes o LSI aumentou no 1º período; no 2º período houve queda do LSI nas 3 classes, sendo que ligeira para a classe *cob.veg.arb/duna* e expressiva para a classe *a.urb.*. Isso confirma os dois tipos de comportamentos detectados no **Gráfico 2**, ou seja, desagregação das manchas das classes no 1º período, seguido de agregação no 2º período, sendo essa agregação quase insignificante para a classe *cob.veg.arb/duna*. O **Gráfico 5** mostra valores próximos para as três classes, o que significa formas pouco complexas. No entanto, podemos notar comportamentos diferentes nos dois períodos. No 1º, embora com pequenas diferenças, há aumento da complexidade das formas das manchas da classes *a.urb.* e queda de complexidade para as manchas da classe *cob.veg.arb/duna*. No 2º há queda de complexidade das formas para a classe *a.urb.*; e aumento da complexidade para a classe *cob.veg.arb/duna*. Observamos, mais uma vez, caminhos inversos entre as classes *a.urb.* e *cob.veg.arb/duna*. As oscilações da classe *outras* são pouco significativas, denotando estabilidade.



5. Considerações finais

Os índices de medidas espaciais quantificam e comprovam as informações detectadas pelas classificações multi-temporais. Na área estudada observamos dois comportamentos: 1º período) fragmentação das classes, queda de heterogeneidade para as classes *a.urb.* e *cob.veg.arb/duna*, aumento de complexidade das formas para *a.urb.* e *outras* e queda para a classe *cob.veg.arb/duna*; 2º período) agregação das classes, relativa homogeneidade para as classes *a.urb.* e *cob.veg.arb/duna*, queda de complexidade das formas para a *a.urb.* e aumento para a *cob.veg.arb/duna*. Confirmamos assim o comportamento oposto entre as classes *a.urb.* e *cob.veg.arb/duna* já detectado anteriormente. Além disso, vemos que o crescimento da

a.urb. se dá com a agregação de suas manchas, com diminuição da complexidade e tendendo para a homogeneidade, isto é, abundância de manchas dessa classe na paisagem. A expansão da *a.urb.* se efetiva como uma “mancha de óleo”. Observamos também nítidos vetores de crescimento no sudeste (em Parnamirim) e noroeste (divisa municipal entre Natal e Extremoz), como já havia mencionado Oliveira & Nunes (2005). Uma melhora no sistema viário de Natal, com a criação da Ponte Forte-Redinha, deve intensificar ainda mais ocupação urbana desse setor. O comportamento da classe *cob.veg.arb/duna* revela uma tendência para a desagregação, para heterogeneidade da classe (o que revela que as manchas dessa classe tornam-se mais raras na paisagem) e aumento da complexidade das formas, uma característica da fragmentação. Essas informações também corroboram com aquela encontrada nas classificações supervisionadas. Trata-se de uma classe que vêm sofrendo uma redução e fragmentação de sua área.

A informação espaço-temporal quantificada pelo processamento de imagens de satélite e pelos índices espaciais pode servir como um indicador da evolução da paisagem. Sendo assim, pode dar suporte às ações do planejamento territorial e do desenvolvimento sustentado. Metzger (2000) já ressaltava a aplicabilidade da Ecologia da paisagem como uma área do conhecimento indicada para trazer respostas aos problemas ambientais. Acreditamos, no entanto, que a busca pela interdisciplinaridade possa proporcionar reflexões complementares. A Geografia, com seu arcabouço teórico e suas técnicas de investigação espaço-temporal pode complementar e ampliar a discussão sobre a sustentabilidade.

Referências

- Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Projeto Radam Brasil, folhas SB.24/25, Jaguaribe/Natal**. CD-Rom, edição fac-similar. IBGE : Rio de Janeiro, v. 23, 2003, 739p.
- Brunet, R.; Ferras, R.; Théry, H. **Les mots de la Géographie**. 3. éd. Montpellier, Paris: RECLUS, 1993, 520 p.
- Câmara, G. ; Monteiro, A.M.V. ;Medeiros, J.S. Representações computacionais do espaço: fundamentos epistemológicos da ciência da geoinformação. **Geografia**, Rio Claro, v. 28, n. 1, p. 83-96, 2003.
- Corgne, S. & Robin, M. Evolution de l’occupation du sol à la périphérie du Parc National de Taï (Côte d’Ivoire). **Photo-interprétation**, n° 1/2, p. 40-46, 2000.
- Fournier, J. A natureza da geografia e a geografia da natureza. **Boletim Paulista de Geografia**, SP, n. 78, p.97-120, 2001.
- Fournier,J.; Panizza,A.C.; Luchiar,A. Reflexões metodológicas sobre a utilização dos índices geométricos e topológicos na análise espacial de classificações de imagens Landsat. **Geografia**,Rio Claro, v.30, n.1, p.77-94, 2005.
- Metzger, J. P. O que é ecologia de paisagens ? **Biota Neotropica**, Campinas, v. 1, n. 1/2, p. 1-9, 2001.
- Oliveira, F. F.G. & Nunes, E. Sensoriamento Remoto na análise espaço-temporal da expansão da mancha urbana em Natal/RN (1969, 2002). In: Simpósio Brasileiro Sensoriamento Remoto (SBSR), 12, 2005, Goiânia. **Anais São José dos Campos: INPE**. Artigo, p. 3871-3878. On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível: <<http://marte.dpi.inpe.br/rep-/ltid.inpe.br/sbsr/2004/>>. Acesso: maio 2006.
- Panizza,A.C.&Fournier,J.Forêt atlantique, entre l’occupation et préservation. **Grafiéo**,Paris,n.30,p.59-67, 2006.
- Panizza, A. C. **Imagens orbitais, cartas e coremas: uma proposta metodológica para o estudo da organização e dinâmica espacial: aplicação ao município de Ubatuba, Litoral Norte, Estado de São Paulo, Brasil**. 2004. 302f. Tese (Doutorado em Geografia), F.F.L.C.H., Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-30092005-180603/>>
- Pumain,D&S-Julien,T. **L’analyse spatiale, localisations dans l’espace**.Paris:Masson/Armand Colin,1997,167p.
- Santos, M. **Por uma Geografia Nova**. 3 ed. São Paulo: Hucitec, 1986, 236p.
- Santos, M. **Metamorfoses do espaço habitado**. 5 ed. São Paulo: Hucitec, 1997, 124p.
- Referências internet : IBGE.**Malha Digital Municipal**.Disponível:<<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso: set. 2005.