

Espacialização e quantificação das mudanças de uso da terra em uma porção territorial da bacia do Paraná

Talita Nogueira Terra¹

Rubens Augusto Camargo Lamparelli²

¹ Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP/FEAGRI
Caixa Postal 6011 - 13083-970 - Campinas - SP, Brasil
talitanogueiraterra@gmail.com

² Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP/NIPE
Caixa Postal 6166 - 13083-896 - Campinas - SP, Brasil
rubens.lamparelli@gmail.com

Abstract. The changes that occur in the patterns of landscapes are better represented and measures when spatialized. Thus, we use remote sensing techniques they offer consistent spatial data, which cover large areas with an appropriate spatial and temporal detail. The objective of this study is to spatially measure the direction of change from human occupation in the Land between the years 2000 and 2014. The study area is located in the southeast of the Paraná basin comprising the southeastern portion of the state of São Paulo - Brazil and a small southern state of Minas Gerais. In this regard, we use photointerpretation of Landsat and the historical evolution of the land cover/land use of these regions was analyzed by dividing the regions into 10.000ha hexagonal units, which were overlaid for each hexagon. The hexagons were classified according to the possible effects of conservation, and the results were quantified in terms of the frequency of land use and ecological flows. It may be noted that in the period under review, the urban area and agriculture grew at the same rate (5%), and the grazing is also growing at a similar pace (4%). These changes occurred thru the conversion of natural area. To wit, around 42% of the area remained as natural area, 30% is moving in the opposite direction to the preservation and 28% no change occurred. The only areas that have not been converted are those that are under protection by the law, Environmental Protection Areas.

Palavras-chave: remote sensing, land use change, landscape, sensoriamento remoto, mudanças de uso da terra, paisagem.

1. Introdução

As mudanças que ocorrem nos padrões de paisagens são mais bem representadas e medidas quando espacializadas. Para tanto, utilizam-se, comumente, técnicas de sensoriamento remoto, pois oferecem dados espaciais consistentes, que cobrem grandes áreas com um apropriado detalhamento espacial e temporal. De forma geral, o sensoriamento remoto pode ser utilizado como uma técnica bastante eficaz para subsidiar o estudo das mudanças tanto no espaço urbano quanto no rural ou natural.

Este mapeamento é permitido a partir das diferentes respostas dos alvos ao longo do espectro eletromagnético (Crósta, 1992). Esta energia está associada a matrizes onde um pixel guarda um valor energia eletromagnética. Todas as bandas em uma mesma imagem são geometricamente registradas entre si. A mudança de uma banda para outra consiste no valor de brilho, também conhecido por número digital (ND) (Jensen, 2009).

As imagens de satélites são vantajosas para estudos na área de agricultura, mas cada imagem tem sua vantagem assim como suas limitações (Ozdogan, 2010). Cada alvo ao longo do espectro eletromagnético tem um valor de reflectância definida como comportamento espectral. Alvos agrícolas apresentam respostas espectrais distintas, devido à constituição biológica, química e física (Sabins, 1987).

Portanto, os planejadores de paisagens vêm cada vez mais empregando o SIG como instrumento para obtenção de índices e modelagens que trabalham com uma série de dados temporais. Aliada as outras tecnologias como o GPS (*Global Positioning Systems*) fornece a

possibilidade de criar cenários e monitorar o crescimento urbano, o espaço intra-urbano, os problemas ambientais decorrentes do processo de expansão das atividades humanas e a definição de estratégias de planejamento urbano e de políticas municipais (Lausch, 2002).

Os estudos das mudanças de paisagens comumente envolvem séries históricas que são trabalhadas pela técnica da sobreposição de imagens de satélite, fotos aéreas ou mapas em diferentes datas (Santos, 2004). Entre as métricas, a mais usual é a classificação cruzada, que é uma forma de comparar as coincidências de área para uma mesma categoria de informação, como o índice Kappa (Santos, 2003). As áreas não coincidentes, qualitativamente, representam as mudanças de uma determinada categoria para outra e, quando somadas célula a célula, permitem a sua quantificação (Santos & Santos, 2008). Em outras palavras, as mudanças são interpretadas pelo inverso do índice de coincidência.

O objetivo deste estudo é medir espacialmente a direção de mudanças provenientes da ocupação humana sob a Terra no intervalo de ano de 2000 a 2014.

2. Materiais e métodos

A área de estudo (Figura 1) compreende a porção sudeste do Estado de São Paulo - Brasil e uma pequena região sul do Estado de Minas Gerais. Está localizada a sudeste da bacia do Paraná, na Ottobacia nível 4 numerada em 8.466, segundo o método de Otto Pfafstetter para classificação de bacias. Nela estão compreendidos 20 municípios em sua totalidade e 50 municípios parciais do estado de São Paulo e um município em sua totalidade e quatro municípios parciais do estado de Minas Gerais.

Para verificar as mudanças de uso e ocupação da terra são necessários pelo menos dois anos para ser comparados, sendo assim foram escolhidos os anos de 2000 e 2014. Para tais anos foram fotointerpretadas imagens de satélite Landsat, sendo o ano de 2000 do Landsat 5 sensor TM e o ano de 2014 do Landsat 8 sensor ETM, ambas com resolução de 30m e localizadas nas órbita/ponto 220/74, 220/75, 220/76, 219/75, 219/76, 218/76, segundo a grade ETM. As imagens foram baixadas do banco de dados USGS - *Earth Explorer* (<http://earthexplorer.usgs.gov>) foram mosaicas e posteriormente cortadas com o limite da área de estudo no *software* Envi 5.1. Foi necessário cortar o mosaico de imagens de satélite para o processamento da classificação da imagem ficar mais leve e, portanto, levar menor tempo para processar.

Foram mapeadas sete classes de uso e ocupação da terra, sendo elas; pastagem, agricultura, reflorestamento, vegetação natural, corpos de água, área urbana e não observado, o qual compreenderá áreas com nuvens, sombra de nuvens e áreas queimadas. O mapeamento foi feito a partir da segmentação do mosaico de cenas Landsat pelo *software* Spring para o ano de 2000. Foram feitos 12 testes mudando os parâmetros de similaridade, de área mínima e bandas e foi concluído que os melhores parâmetros foram o de 1, 1.000 e todas as bandas, respectivamente. Assim foram aplicados estes mesmos parâmetros para o mosaico de 2014.

A classificação final foi feita com base no melhor classificador testado para cada classe de uso da terra. No processo de obtenção das máscaras foi necessária a mudança dos histogramas, classificadores, filtros e bandas para a realização de testes. Os classificadores utilizados para teste estão disponíveis no *software* Spring. Posteriormente, os segmentos classificados foram verificados visualmente e reclassificados quando necessário. Além disso, foi utilizado o Canasat safra 2002 – 2003 para nortear as áreas do ano de 2000.

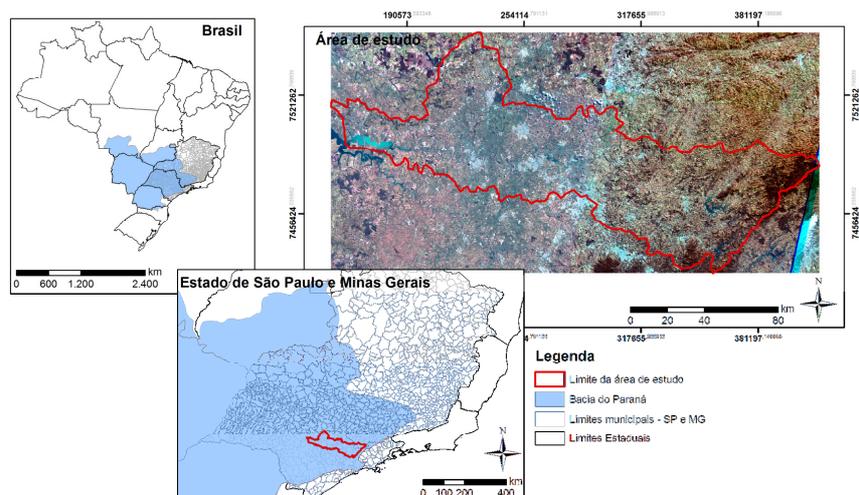


Figura 1 - Localização da área de estudo.

Para avaliar a acurácia do mapeamento foram distribuídos 385 pontos nos mapas confeccionados para 2000 e 2014. A conferência destes pontos foram feitas através das imagens dos satélites Landsat 5 e Landsat 8, respectivamente. Além disso, foram utilizadas as imagens disponíveis pelo *Google Earth* e o perfil gerado pelo EVI da série temporal do Modis disponível pelo INPE através do projeto denominado *Series View*. Foram analisados 385 amostras, segundo o cálculo amostral com erro amostral de 5%, nível de confiança 95% (Santos, 2014) (Equação 1).

Equação 1 – Cálculo do erro amostral.

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{Z^2 \cdot p \cdot (1 - p) + e^2 \cdot (N - 1)}$$

Onde:

n - amostra calculada;

N - população;

Z - variável normal padronizada associada ao nível de confiança;

p - verdadeira probabilidade do evento;

e - erro amostral.

Foi calculado o Índice Kappa (ou Coeficiente Kappa), que é um parâmetro utilizado para determinar a exatidão de dados, ou seja, que fornece uma idéia do quanto às observações se afastam daquelas esperadas nesse caso relacionados ao mapeamento e uso da terra através do sensoriamento remoto. Ele indica o quão legítimo as interpretações são. Segundo Weber e colaboradores (2005) é importante salientar que nesse cruzamento é levado em conta o aspecto locacional dos erros, pois as informações do campo estão associadas à posição do ponto de visada.

O método favorece a visualização dos resultados da classificação temática e expressa a relação entre os erros associados ao sistema de classificação, os de inclusão e os de omissão, (Card, 1982 apud Mangabeira *et al.*, 2003). O Coeficiente Kappa (K) é determinado a partir da Equação 2 (Figueiredo & Vieira, 2007).

Equação 2 - Índice Kappa.

$$ICK_{global} = \frac{N \sum_{i=1}^c x_{ii} - \sum_{i=1}^c x_{i+} x_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}} \quad \text{Onde:}$$

K: índice de concordância Kappa;

N: número total de observações (pixels - por exemplo);

c: número de classes avaliadas (matriz *c x c*);

i : número da linha ou coluna (representa a classe em avaliação);

x_{ii} : Número de observações das classes da diagonal da matriz;

$x_{i+} = \sum_j x_{ij}$: soma dos valores da linha i (linha de totais);

$x_{+i} = \sum_j x_{ji}$: soma dos valores da coluna i (coluna de totais);

Após a verificação da acurácia e ela estando dentro dos valores esperados (para os dois mapas a acurácia encontrada foi acima de 85%), os mapas de uso e ocupação da terra gerados da fotointerpretação foram divididos em hexágonos de 10.000 hectares, utilizando a função “*Make hexagons regions*”, que faz parte do *Patch Analyst* (Rempel *et al.*, 1998), extensão do SIG ArcMap (Figura 2). A área de 10.000 hectares foi utilizada por representar o tamanho mínimo em que se pode representar os padrões da paisagem, na escala de trabalho (Mateucci & Silva, 2005), uma vez que a escala de trabalho tem que ser compatível a resolução da Landsat de 30m. A forma hexagonal tem a vantagem de minimizar a relação perímetro/área, além da malha hexagonal cobrir completamente a paisagem, revelando um mosaico de unidades de paisagem de tamanho, forma e posição iguais (Alvares-Alfonso, 1990).

Quando o mapa é dividido homogeneamente em hexágonos é comum que dentro deles seja encontrado mais de um tipo de uso da terra. Neste caso foi adotado como critério fazer com que cada hexágono fosse categorizado de acordo com o uso da terra mais impactante. Sendo assim foi considerado como o mais impactante a área urbana, seguida na ordem decrescente de impacto a agricultura, pastagem, área natural e corpos de água. As classes de reflorestamento e não observado tiveram uma área insignificante, a qual não entrou nos cálculos apresentados pelas Equações 3 e 4.

Sendo assim, foram feitos vários testes de ponderação de pesos dos usos dentro de cada hexágono, com o intuito que o mapa final mosaicado em hexágonos tivesse uma área similar ao mapa original que possui a feição de cada uso da terra. Os hexágonos do mosaico do ano de 2000 foram ponderados a partir da seguinte Equação 3 e os de 2014 a partir da Equação 4:

Equação 3

=SE (área de área urbanizada total do hexágono > 30% ; área urbanizada SE (área de agricultura total do hexágono > 38% ; agricultura ; SE (área de pastagem total do hexágono > 41% ; pastagem ; SE (área de área natural total do hexágono > 32%;área natural ; SE (área de corpos de água total do hexágono > 70% ; corpos de água ; "outros")))).

Equação 4

=SE (área de área urbanizada total do hexágono > 30% ; área urbanizada SE (área de agricultura total do hexágono > 40% ; agricultura ; SE (área de pastagem total do hexágono > 46% ; pastagem ; SE (área de área natural total do hexágono > 30%;área natural ; SE (área de corpos de água total do hexágono > 70% ; corpos de água ; "outros")))).

Este critério de relação de impacto entre os usos foi aplicado uma vez que, o uso mais impactante alarga as suas fronteiras ao longo do tempo e passa a imperar no espaço ao redor. Esse procedimento foi repetido para cada data de análise dentro da série temporal selecionada obtendo como produto final mapas mosaicados em hexágonos.

Os hexágonos foram sobrepostos para os anos de 2000 e 2014, o que permitiu a criação da linha histórica de uso da terra de 2000 a 2014 para cada hexágono analisado. A visualização desta linha ocorreu através da tabulação dos usos da terra de cada hexágono no *software Excel*.

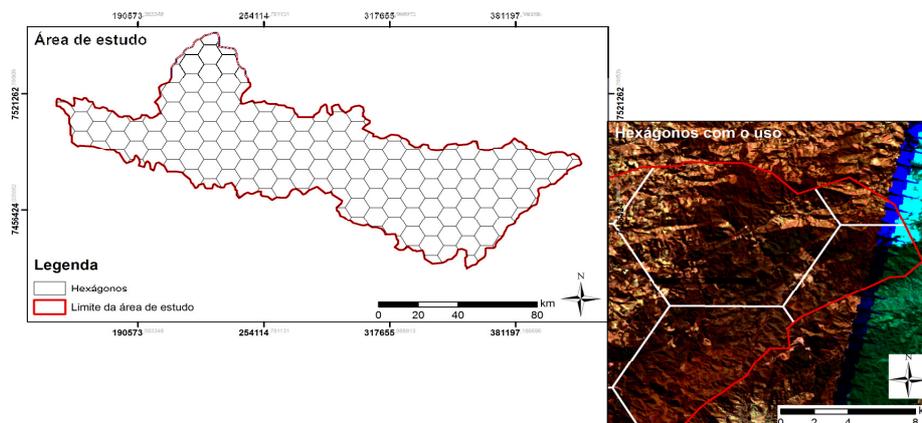


Figura 2 - Área de estudo está coberta com 167 hexágonos, elaborados pela função *Make hexagons regions*. Estes hexágonos foram intersectados com a *layer* do mapa fotointerpretado, para posteriormente serem homogeneizados com um uso, o mais impactante.

3. Resultados e Discussão

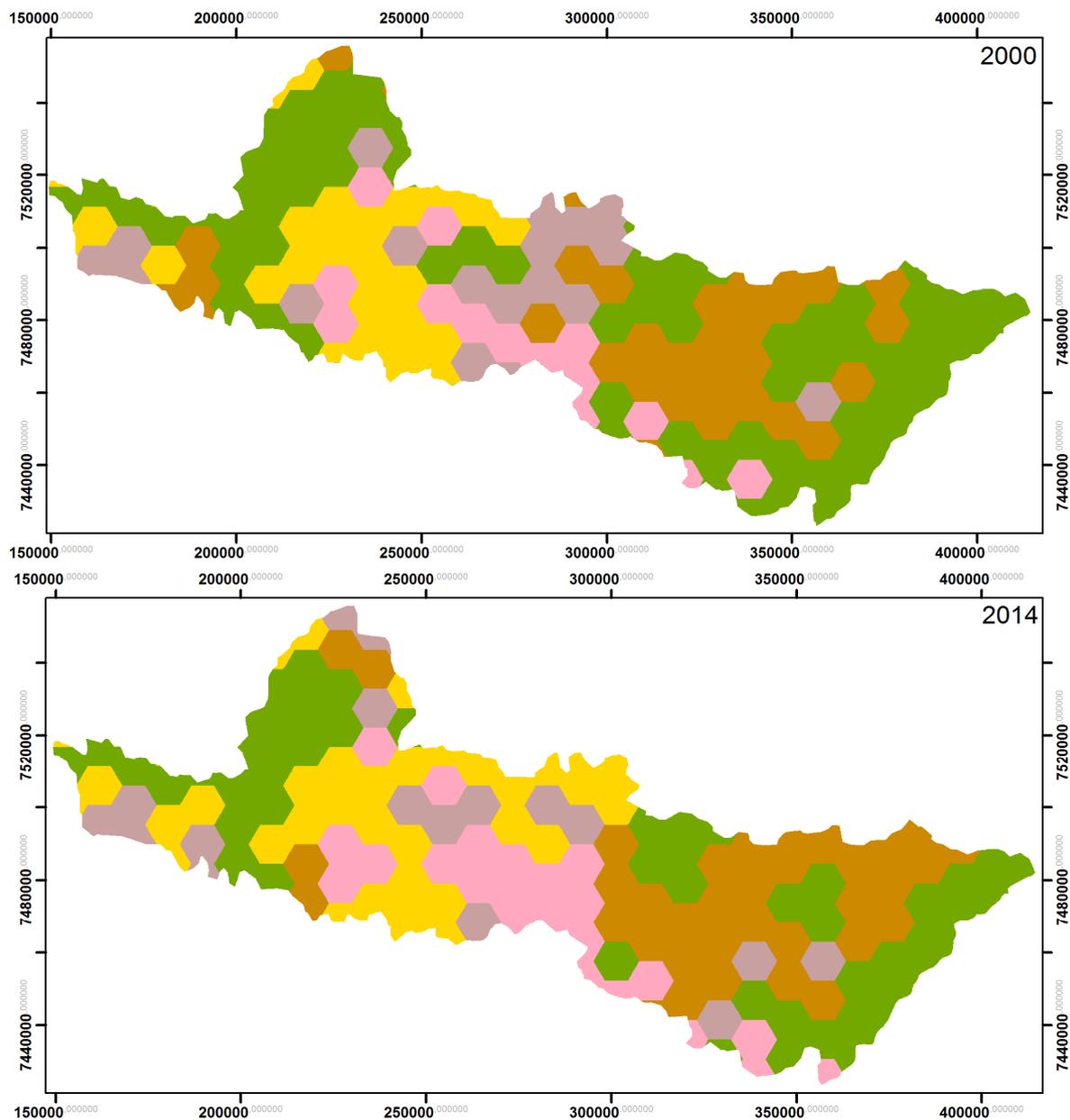
Pode ser observado que no período em análise a área urbana e a agricultura cresceram na mesma velocidade, seguido da pastagem que também vem crescendo em um ritmo similar. Estas mudanças só são possíveis através da conversão da área natural em outros usos, por isso a somatória da perda de área natural deve ser igual à somatória do ganho dos usos da terra.

Já as áreas denominadas “Outros” na Figura 3 são aquelas com diversos usos da terra, os quais não possuem um que predomine na paisagem, sendo assim quando são aplicadas as Equações 3 e 4 ela resulta na categoria “Outros”.

Para avaliar a direção das mudanças os hexágonos foram cruzados e divididos em três classes, hexágonos que sofreram mudanças contrárias à conservação, ou seja, saíram de um uso menos impactante e foram para um uso mais impactante, os hexágonos que não sofreram mudanças, ou seja, que permaneceram com o mesmo uso durante o período de análise e por fim os hexágonos que não sofreram mudanças, mas que era área natural e assim permaneceram (Figura 4). Infelizmente a classe em que sofreram mudanças de uso, mas que foram favoráveis a conservação não foi encontrada. Como resultado tem-se que ao todo 42% da área permaneceram como área natural, 30% está caminhando em sentido contrário a preservação e 28% não ocorreu mudança.

Observando os dois mapas da Figura 3 e o da Figura 4, pode ser constatado duas regiões mais conservadas, sendo uma ao sudeste e outra ao noroeste da área. Estas áreas mais preservadas são todas Áreas de Proteção Ambiental (APAs), o que de fato tem barrado a pressão antrópica. Porém, é necessário mais fiscalização, pois as bordas desta estão sofrendo com a pressão e cada vez mais sendo fragmentadas.

Uso e ocupação da terra



Legenda

Uso da terra

- agricultura
- area urbanizada
- area_natural
- outros
- pastagem

| Uso da terra/ Área ha | Ano 2000 | Ano 2014 | Relação 2000/2014 |
|-----------------------|----------|----------|-------------------|
| Área urbanizada | 118.373 | 179.365 | 5% |
| Agricultura | 192.672 | 252.246 | 5% |
| Pastagem | 256.416 | 308.267 | 4% |
| Área natural | 534.301 | 374.305 | -13% |
| Outros | 152.075 | 139.506 | -1% |

Datum: WGS 1984
UTM Zona 23S



Figura 3 - Mapa mosaicado em hexágonos representando os usos da terra nos anos de 2000 e 2014. A tabela inferior apresenta a área em hectares de hexágonos de cada uso da terra e a relação em porcentagem da mudança do uso.

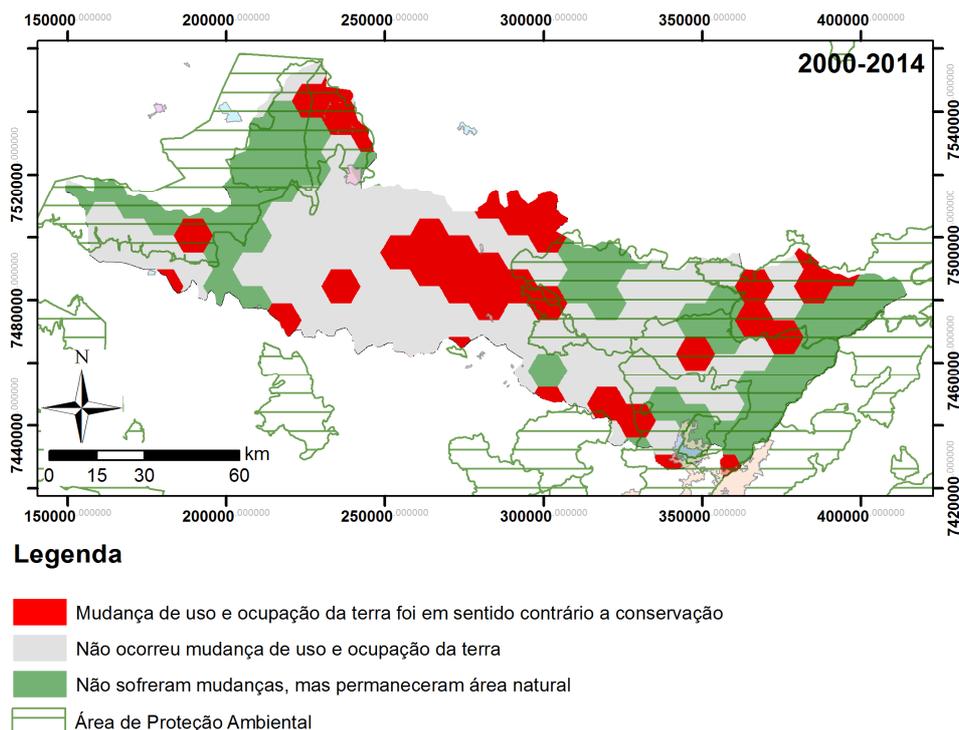


Figura 4 – Direção das mudanças de uso e ocupação da terra entre os anos de 2000 e 2014 em relação à conservação.

4. Conclusão

É possível concluir que a área de estudo em análise está sofrendo forte pressão antrópica. Nos últimos 14 anos 30% de sua malha hexagonal foi convertida em um uso mais impactante que o anterior. As únicas áreas que ainda não foram convertidas são as que estão sob preservação mediante a lei, Áreas de Proteção Ambiental. No entanto, pode ser observado que a forte pressão está diminuindo a matriz da APA e fragmentando lentamente a região. É necessário maior fiscalização e estudos mais aprofundados para caracterizar esta região assim como outras.

Agradecimentos

Ao Dr. Bernardo Rudorff por disponibilizar os dados do Canasat para a safra 2002-2003, aos Dr. Alexandre Camargo Coutinho e Dr. Júlio Cesar Dalla Mora Esquerdo pelo contínuo aprendizado em séries temporais.

Referências Bibliográficas

- Alvares-Alfonso, R.M. **Estudio y valoración del paisaje: territorio de Valderejo Santander**. Cantabria: *Universidad de Cantabria*, 1990.
- Crósta, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: UNICAMP, 1992. 170p.
- Figueiredo, G.C., Vieira, C.A.O. **Estudo do comportamento dos índices de exatidão global, kappa e tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto**. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13. Anais...2007*, Florianópolis, 5762p.
- Jensen, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos, SP: *Parêntese*, 2009. 598p.
- Lausch, A. **Integration of Spatio-Temporal Landscape Analysis in Model Approaches**. - In: Helming, K., Wiggering, H. (Eds.): *Sustainable Development of Multifunctional Landscapes*. Springer, p.111-123, 2002.

Mangabeira, J.A.C., Azevedo, E.C., Lamparelli, R.A.C. Avaliação do levantamento do uso das terras por imagens de satélite de alta e média resolução espacial. **Comunicado técnico 11**. Campinas: Embrapa, 2003.15p.

Mateucci, S.D.; SILVA, M. **Selección de métricas de configuración espacial para la regionalización de un territorio antropizado**, GeoFocus : *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, ISSN 1578-5157, N°. 5, , p. 180-202, 2005.

Ozdogan, M.; Yang, Y.; Allez, G.; Cervantes, C. **Remote Sensing of Irrigated Agriculture: Opportunities and Challenges**. *Remote Sensing*. 2010, 2274-2304.

Rempel, R., Carr, A., Elkie, P., 1998. **Patch Analyst 2.2**. <http://www.cnfer.on.ca/SEP/patchanalyst/>

Sabins Jr., F.F. 1987. **Remote sensing: principles and interpretation**. New York: W.H. Freeman. Disponível em <http://www.ciesin.org/docs/005-477/005-477.html>, visitado em 01/06/2014.

Santos, M. **Construção de cenários em ambiente SIG para avaliar mudanças de uso das terras induzidas por usinas hidrelétricas na região agrícola de Andradina (SP)**. Tese (Dissertação de Mestrado em Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável) - Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas: UNICAMP, 2003.

Santos, R.F. **Planejamento ambiental** - teoria e prática. São Paulo: Oficina de Texto, 2004.

Santos, M.A.; Santos, R.F. **Construção de cenários por análises temporais e métricas espaciais**. *Revista do Instituto Florestal*, 2008.

Santos, Glauber Eduardo de Oliveira. *Cálculo amostral*: calculadora on-line. Disponível em: <<http://www.calculoamostral.vai.la>>. Acesso em: 13/06/2014

Weber, E.; Fontana, D.C.; Ducati, J.; Silva, T.R.; Saraiva, T.S.; Freitas, L.A.S. **Comparação entre resultados de classificação de imagens Landsat e CBERS para estimativa de área cultivada com soja no planalto do Rio Grande do Sul**. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12. Anais...*2005, Goiânia, p.321-328.