

# ANÁLISE DA DINÂMICA DA COBERTURA FLORESTAL E USO DA TERRA DA BACIA CÓRREGO SANTA CRUZINHA- SP UTILIZANDO SIG

Amanda Lopes Maciel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National Institute for Space Research – INPE

Av. dos Astronautas, 1758 – Jardim da Granja, São José dos Campos – SP, 12227-010, Brasil;

amanda.maciel@inpe.br

## RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a dinâmica da cobertura florestal na bacia Córrego Santa Cruzinha-SP, através de técnicas de sensoriamento remoto. A partir da classificação digital de imagens do satélite LANDSAT 5/TM e LANDSAT 8/OLI, dos anos de 2005 e 2016, respectivamente, foram gerados mapas temáticos do uso e cobertura da terra de ambas datas. Esses mapas foram posteriormente cruzados por meio de álgebra de mapas, a qual possibilitou a determinação dos seguintes processos: manutenção florestal, regeneração florestal e desmatamento. Entre os principais resultados destacam-se o aumento na cobertura florestal em 211,06 ha e ainda a ocorrência de 193,86 ha de desmatamento no fim do período. Conclui-se que houve um acréscimo de floresta e uma redução das áreas agropastoris. Esse fato pode estar relacionado com o crescimento de florestas nativas em área que anteriormente eram ocupadas pela agricultura e pecuária e aumento das fiscalizações ambientais.

**Palavras-chave** — Transição florestal, análise temporal, regeneração, incerteza, LEGAL.

## ABSTRACT

*The present study aims to assess the dynamics of the forest cover in the Santa Cruzinha-SP stream, through remote sensing techniques. From the digital classification of satellite images LANDSAT 5 and LANDSAT/TM 8/OLI, the years of 2005 and 2016, respectively, were generated thematic maps of land use and coverage of both dates. These maps were later crossed through map algebra, which enabled the determination of the following processes: forest maintenance, forest regeneration and deforestation. Among the main results include the increase in forest cover in 211.06 ha and even the occurrence of 193.86 ha of deforestation at the end of the period. It is concluded that there was an increase of forest and a reduction of agropastoral areas. This fact may be related with the growth of native forests in the area previously occupied by agriculture and livestock and increase of environmental testing.*

**Keywords** — Forest transition, land use, temporal analysis, regeneration, uncertainty, LEGAL

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação em relação à perda de biodiversidade e outros impactos da degradação de florestas tropicais favoreceu, nas últimas décadas, o desenvolvimento de muitos estudos sobre os processos envolvidos na dinâmica do desflorestamento [1]. Dentre os ecossistemas brasileiros, a Mata Atlântica é o ecossistema brasileiro que mais sofreu e vem sofrendo intensos e persistentes processos de degradação e fragmentação florestal, por isso constitui uma das regiões identificadas mundialmente como *Hotspot* - áreas de maior índice de diversidade, altas taxas de endemismo e ao mesmo tempo maior pressão antrópica [2].

Contudo, estimativas recentes calculam que o estado de São Paulo apresenta atualmente cerca de 16% de sua área de Mata Atlântica original [3]. A esse fenômeno de mudança nas características de uso da terra de uma constante redução da cobertura florestal para um período em que predomina a expansão das florestas é denominado de transição florestal [4]. Assim, a regeneração natural é o processo de recuperação de uma floresta a partir de um distúrbio sofrido, e, portanto, um processo lento de sucessão dependente de diversos fatores, como fonte de sementes, condições ambientais e intensidade e duração do distúrbio [5].

Por esse motivo, este trabalho tem como objetivo abordar a transição florestal por meio da análise temporal da cobertura florestal na bacia em estudo. Espera-se que as informações geradas e os produtos elaborados sejam úteis para subsidiar estratégias e ações políticas de conservação da Mata Atlântica, considerada um dos mais ricos e mais ameaçados de extinção.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo compreende-se a bacia córrego Santa Cruzinha, a qual tem aproximadamente 36,61 km<sup>2</sup> e localiza-se entre os municípios Presidente Epitácio e Caiuá, no oeste paulista (Figura 1). A metodologia adotada para este trabalho foi desenvolvida basicamente considerando-se as seguintes etapas: 1- Delimitação da bacia em estudo ferramenta SWAT do ArcGIS por meio do Google Earth e a base altimétrica o modelo digital de terreno SRTM com 30 m de resolução espacial; 2- Classificação supervisionada por meio da fotointerpretação utilizando o classificador pontual MAXVER, quantificação das classes de uso do solo e classificação da dinâmica florestal da área nos anos de 2005

e 2016; 3- Análise da matriz de confusão das classificações e; 4- Análise em Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algebrico (LEGAL) para geração de mapas de incertezas das classificações.

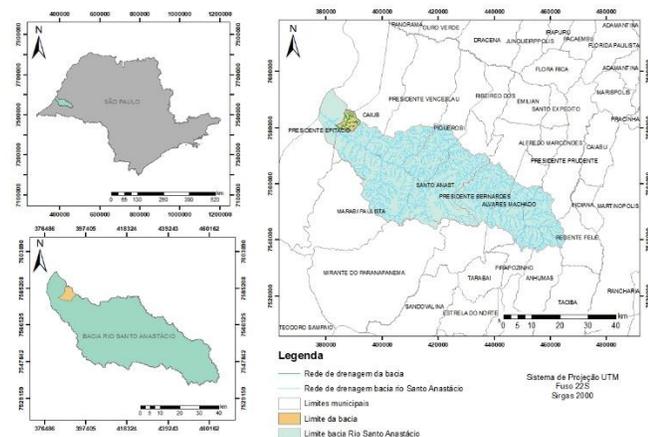


Figura 1. Localização da bacia.

Para o mapeamento temático foram definidas cinco classes: “Vegetação Nativa” correspondente os fragmentos remanescentes de Mata Atlântica, “Regeneração” correspondendo as florestas secundárias ou plantadas com finalidade comercial, “Campo” que incluem campos naturais ou vegetação rasteira, “Solo exposto” referente a solos agrícolas em preparação ou em pousio, e “Solo degradado” que incluem processos erosivos.

O mapa de dinâmica florestal foi gerado a partir dos mapas de uso e cobertura da terra, com base nos cruzamentos das duas imagens classificadas. Foram estudadas as áreas de floresta inalterada, a ocorrência de desmatamentos e de regeneração florestal.

Utilizou-se arquivos *shapefile* de cobertura florestal da Mata Atlântica disponibilizados pelo portal SOS Mata Atlântica dos anos de 2005 e 2016, a fim de calcular a exatidão da classificação, sendo estes considerados como verdade de campo para o presente trabalho. Para avaliar a qualidade da classificação, as matrizes de consusão foram interpretadas.

Os mapas resultantes da análise de incerteza da classificação foram gerados por meio da programação LEGAL do SPRING 5.5.2, retratando a sensibilidade do classificador dada a variação espacial amostral das classes. Ao todo, foram feitas 5 classificações para cada imagem. Assim, cada pixel recebe um valor de incerteza dado por [6]:

$$IC = 1 - \#ClasseMaj / \# \text{ de classificações}$$

em que: *IC* é incerteza da classificação; *# ClasseMaj* é o número de vezes que a classe majoritária foi classificada dentre as classificações para cada pixel da imagem e *#de classificações* é o número total de classificações.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das amostras de treinamento, obteve-se as imagens de uso e ocupação do solo para cada ano (Figura 2). Identificou-se para a bacia perdas, em área, da classe Campo (cerca de 168,45 ha ou 4,60 % da área total da bacia). A classe mais modificada nesse intervalo de tempo foi Regeneração, com ganho de área de 95,60 ha, aproximadamente 3% da área total da bacia, comprovando a ocorrência do fenômeno transição florestal dessa área.

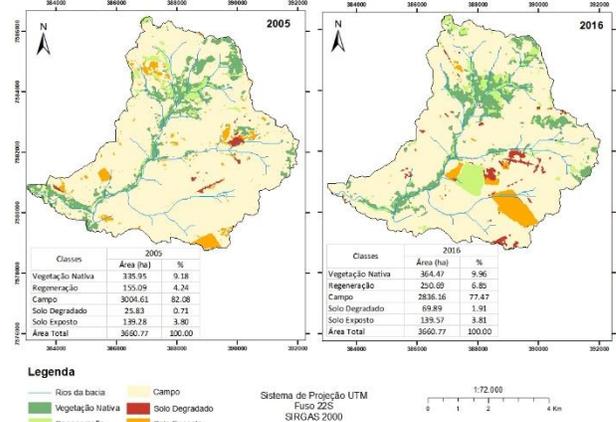


Figura 2. Mapa de uso e ocupação do solo da bacia para os anos de 2005 e 2016.

Isso pode ser explicado pelo fato que os remanescentes florestais terem um padrão visível nas imagens de satélites relacionados a estágios clímax ou avançados de regeneração, sendo englobados a classe de Vegetação Nativa na classificação referente ao ano de 2016 [7]. Já a conversão de Campo nas demais classes acontece preferencialmente pela expansão da agricultura, ocasionado seu decréscimo. Isto permite corroborar estudos que discutiram o acelerado processo de uso e ocupação das terras na bacia do rio Santo Anastácio, afluente da bacia do Córrego Santa Cruzinha, iniciado com a colonização por volta de 1920, tendo a vegetação natural da área removida e substituída por culturas agrícolas e por pastagem [8];[9]; [10].

Em relação a classe de Solo exposto, estes correspondem ao aumento ínfimo de 0,01% da área total da bacia. Em síntese, o que se observa como prática de uso do solo é uma rotatividade de uso, se mantendo em extensão se comparado aos dados obtidos por meio do mapeamento da área em 2005 e 2016. No entanto, apesar das pastagens serem menos agressivas em relação à remobilização dos solos, tal uso encontrou solos depauperados e fragilizados.

Para melhor visualização da dinâmica da cobertura florestal da área, a área foi analisada por meio de álgebra de mapas aplicada entre os mapas temáticos de 2005 e 2016 (Figura 3).

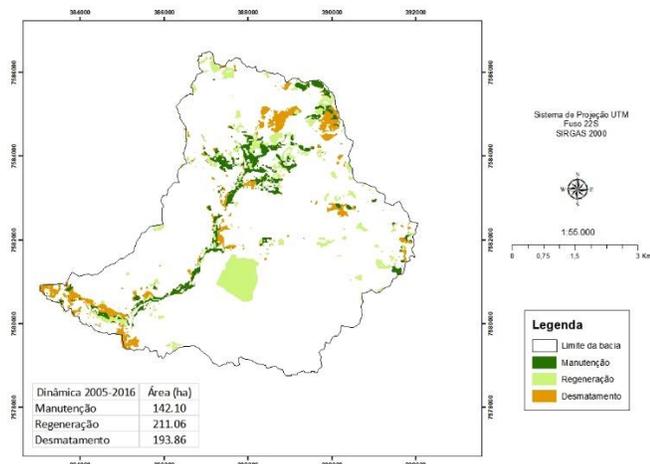


Figura 3. Mapa da dinâmica florestal entre 2005 e 2016 na bacia Córrego Santa Cruzinha-SP.

Os desmatamentos totalizam 193,86 ha e ocorrem em áreas atualmente ocupadas por atividades agropastoris; com isso, observa-se que essa classe apresenta uma área expressiva com relação às demais classes analisadas. A cobertura regenerada apresentou uma distribuição espacial superior em toda a bacia e o acréscimo em área florestal dá-se pelo aumento do tamanho dos fragmentos florestais remanescentes observados em junho de 2005 e pelo surgimento de vegetação pioneira em espaços anteriormente agrícolas, fato que sugere a ocorrência do fenômeno de transição florestal na área em estudo.

Parte da cobertura florestal deve-se ao plantio de florestas comerciais, principalmente do gênero *Eucalyptus*, o qual vem aumentando na região em função da demanda de tal matéria prima [11]. A manutenção florestal totalizou 142,10 ha, essas áreas permaneceram inalteradas em locais íngremes e impróprios para a agricultura e algumas vezes ao longo da rede drenagem. No entanto, verifica-se que ao longo de 10 anos, em parte das matas ciliares, não houve reposição ou conservação.

A confiabilidade do mapeamento, obtida pela matriz de erro (Tabelas 2 e 3), descreve que poucos erros foram encontrados no mapeamento feito pelo algoritmo MAXVER nos anos analisados. As classes 1 a 5 se referem respectivamente a Vegetação Nativa, Regeneração, Campo, Solo degradado e Solo exposto.

Classe	1	2	3	4	5	Total	Usuário (%)
1	26	1	0	0	0	27	96,30
2	5	51	0	0	0	56	91,07
3	0	0	50	0	0	50	100,00
4	0	0	0	126	1	127	99,21
5	13	0	0	412	3765	4217	89,86
Total	44	52	50	538	3766	4477	
Produtor (%)	59.09	98.08	100	23.42	99.97		

Tabela 2. Matriz de correção utilizando o algoritmo MAXVER para o ano de 2005.

Classe	1	2	3	4	5	Total	Usuário (%)
1	207	13	0	0	5	225	92,00
2	15	155	0	0	4	174	89,08
3	0	0	49	1	1	51	96,08
4	0	0	9	642	27	678	94,69
5	61	35	142	57	6816	7111	95,85
Total	283	203	200	700	6853	8239	
Produtor (%)	73.14	76.35	24.5	91.71	99.46		

Tabela 3- Matriz de correção utilizando o algoritmo MAXVER para o ano de 2016.

A matriz de correção obtida para o mapeamento do uso do solo no ano de 2005 mostra que apenas a classe de Campo não houve confusão com as demais e a classe Solo exposto é a classe que mais houve confusão, com cerca de 90% de acertos em relação a amostragem dada. Já a matriz de erro feita para o mapeamento do ano de 2016 mostrou que houve confusão de cada classe com as demais, sendo esses erros considerados ínfimos, visto que o grau de correlação entre as amostragens de cada classe foi alta.

Já as porcentagens em vermelho nas Tabelas 2 e 3 indicam que houve muita confusão entre as classes, obtendo percentuais muito abaixo de 50% para a classe em análise, sendo a classe Solo degradado a única classe que apresentou baixo percentual no ano de 2005 e a classe Campo no ano de 2016. Esses percentuais referem-se a confusões omissas advindas pelas amostragens, resultantes da falta de inclusão de alguns pixels na contabilização final ao analisar uma determinada classe, podendo afetar na qualidade espacial da classificação final das imagens.

As Figura 4 e 5 correspondem as imagens resultantes do mapa de incerteza referente ao ano de 2005 e 2016, respectivamente.

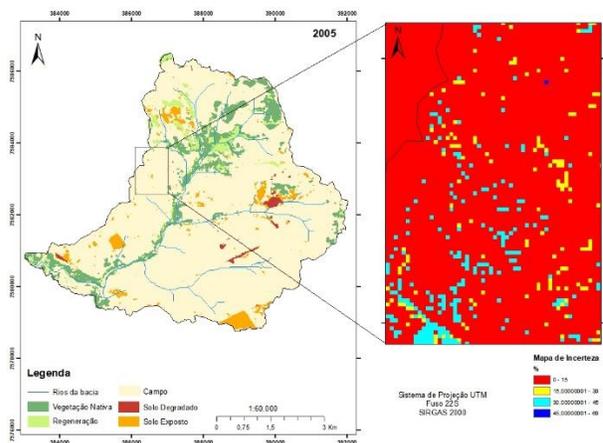
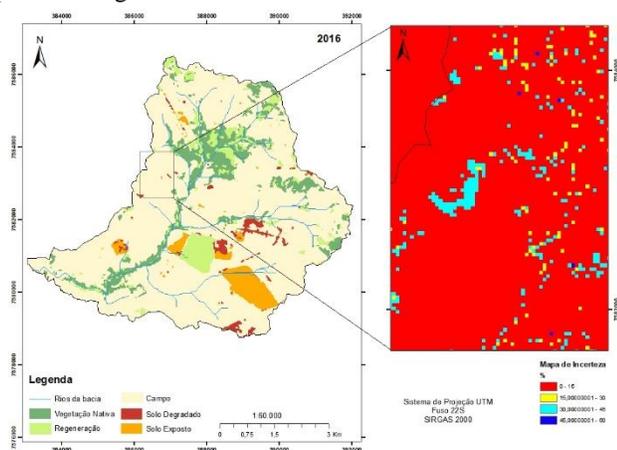


Figura 4- Incertezas, espacialmente explícitas, da classificação referente ao ano de 2005.

Pode-se concluir que a maior incerteza associada a cada pixel é de 60%. Entretanto, há maior confusão entre classes em relação a classificações do ano de 2005, sendo distribuídas por toda a cena selecionada, quando comparado

ao ano de 2016, o qual a incerteza está associada a efeitos de bordas das classes. Esse fato pode ser comprovado comparando os índices determinados, visto que, estatisticamente, a classificação do ano de 2016 foi melhor do que a de 2005. Assim, pode-se aferir que, mesmo que os índices de concordâncias se mostraram satisfatórios para ambas as classificações, especialmente existem incertezas associadas ao comportamento do classificador MAXVER para as imagens analisadas.



**Figura 5- Incertezas, especialmente explícitas, da classificação referente ao ano de 2016.**

Desse modo, com base nos mapas de incertezas, pode-se dizer estes podem ser grandes aliados para melhorar as classificações. Visto que as classificações supervisionadas são dependentes dos treinamentos dado pelo usuário, aumentando a quantidade de amostras atribuídas a cada classe, assim como aumentar o número de classificações, as incertezas associadas ao pixel diminuirão.

#### 4. CONCLUSÃO

As técnicas utilizadas mostraram-se eficientes para a análise espacial multitemporal do uso e cobertura da terra, sendo possível verificar as principais mudanças ocorridas em uma década com relação às cinco classes analisadas, além da quantificação dos diferentes usos da terra para os anos de interesse na bacia Córrego Santa Cruzinha.

Com a ajuda da programação LEGAL pode-se inferir a incerteza associada ao tipo de classificador utilizado na obtenção das mudanças ocorridas na área de estudo, nas diferentes datas de análise. Assim, ele é uma ferramenta auxiliar visando melhorar a qualidade da classificação espacial de uma área.

A partir dos dados obtidos, foi possível constatar que houve um acréscimo de floresta e uma redução das áreas agropastoris, estando relacionado com o crescimento de florestas nativas em área que anteriormente eram ocupadas pela agricultura e pecuária, além do aumento das fiscalizações florestais, evidenciando a ocorrência do fenômeno de transição florestal na área.

#### 5. AGRADECIMENTOS

À Capes, pelo apoio financeiro.

#### 5. REFERENCIAS

- [1] Ferreira, M. P. Análise da dinâmica da cobertura florestal no oeste do estado de São Paulo utilizando imagens de satélite, 2012. 107f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto)- INPE, São José dos Campos, 2012.
- [2] SILVA, V. V. Médio Vale do Paraíba do Sul: fragmentação e vulnerabilidade dos remanescentes da Mata Atlântica. 2002. 109f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais)- UFF, Niteroi, 2002.
- [3] FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA/INPE. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica período 2015-2016. São Paulo: INPE, 2017.
- [4] FARINACI, J. S. As novas matas do estado de São Paulo: um estudo multiescalar sob a perspectiva da teoria da transição florestal. 2012. 209 f. (Doutorado em Ambiente e Sociedade)- IFCH/UNICAMP, Campinas, 2012.
- [5] SOUZA, A. L. et al. Dinâmica da regeneração natural em uma floresta ombrófila densa secundária, após corte de cipós, reserva natural da Companhia Vale do Rio Doce S.A., Estado do Espírito Santo, Brasil. Revista Árvore, v.26, n.4, p.411-419, 2002.
- [6] REIS, M. S. Detecção de mudanças de uso e cobertura da terra utilizando dados óticos e de micro-ondas em uma região da amazônia brasileira. 2014. 331 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto)-INPE, São José dos Campos, 2014.
- [7] FARINACI, J. S., BATISTELLA, M. Variação na cobertura vegetal nativa em São Paulo: um panorama do conhecimento atual. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.36, n.4, p.695-705, 2012.
- [8] STEIN, D.P. Avaliação da degradação do meio físico – Bacia do rio Santo Anastácio, oeste paulista. 1999. 2 v. Tese (Doutorado em Geociências) - UNESP, Rio Claro, 1999.
- [9] QUARESMA, C. C. Reativação da rede de drenagem e processos erosivos na Bacia do Rio Santo Anastácio –SP/Brasil: contribuições à geomorfologia antrópica e ao entendimento das organizações espaciais. Campinas, 2012.256p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual de Campinas – NICAMP.
- [10] QUARESMA, C. C. et al. Erosão remontante em cabeceiras de drenagem e ação antrópica: o caso do córrego Santa Cruzinha, afluente do rio Santo Anastácio – oeste do estado de São Paulo. 2017. ISBN 978-85-85369-16-3.
- [11] SILVA, A. L. Transição florestal e dinâmica de uso e cobertura da terra no centro-sul paulista, 2018. 124f. Dissertação (Mestre em Sensoriamento Remoto) – INPE, São José dos Campos, 2018.