

## **Análise do uso do solo na microbacia e nas áreas de Preservação Permanente da Água da Limeira por meio de classificação supervisionada e fusão de imagens ALOS**

Camila Cristina Miranda Delatorre <sup>1</sup>

Marlon Felix Modesto <sup>2</sup>

Edson Luís Piroli <sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universidade Estadual Paulista – UNESP/Campus Experimental de Ourinhos

19910-206 - Ourinhos - SP, Brasil

<sup>1,2</sup> {ccmdl, marlonfmodesto}@gmail.com

<sup>3</sup> elp@ourinhos.unesp.br

**Abstract.** The environment issues and its current situation, is now the subject of many studies and discussions in several areas, and a concern to the world order and crucial to the humankind future. This reality encourages the man to comprehend its interrelationship with the nature and to find means and measures to understand the nature dynamics, thereby allowing the development of new techniques and methods, among which stand out the Remote Sensing and GIS. This study used these tools for the analysis and spatial representation of the use and occupation of the Água da Limeira's watersheds, sub-basin of the Rio Pardo, São Paulo State southwest, as well as the analysis of this use in Permanent Preservation Areas (APPs) through technical Buffer. Such an analysis was possible by mapping the land use by maximum Likelihood supervised classification algorithm for fused image using images from the Japanese satellite ALOS sensors AVNIR-2 and PRISM, followed by the analysis of the accuracy of mapping land use and occupation by the coefficient Kappa, in order to evaluate the agreement between the ground truth data and thematic map. Through the analysis of land use, it was possible established the predominance of the sugarcane cultivation (50.63%), grassland (19.48%) and areas of exposed soil (16.48%), these areas soil preparation for planting of cultivation, or soil newly harvested crop, while areas of native forests and riparian forests represent only 11.1%.

**Palavras-chave:** land use maps; Kappa coefficient; images classification; image fusion; uso e ocupação; coeficiente Kappa; classificação de imagens, fusão de imagem.

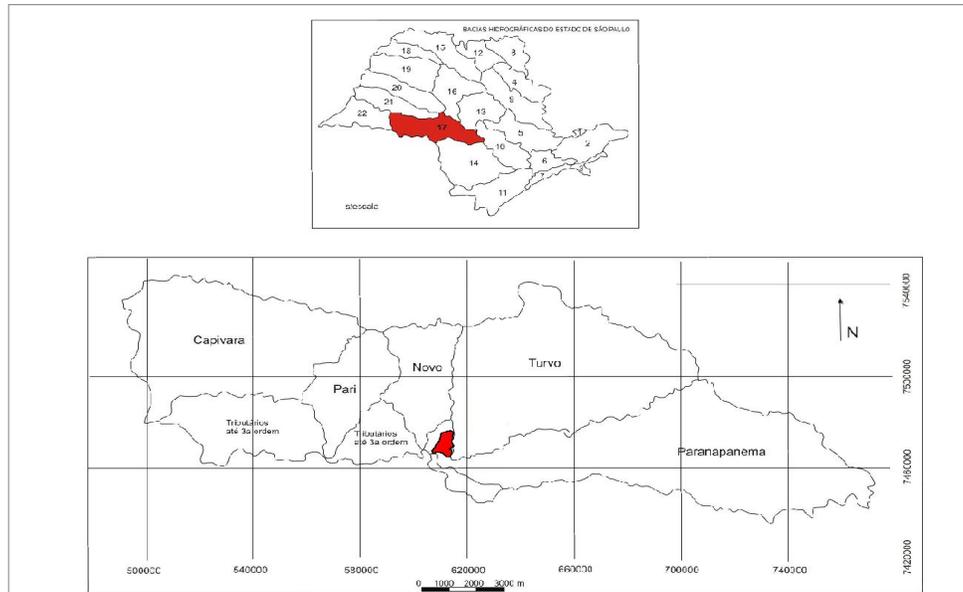
### **1. Introdução**

A degradação ambiental é uma realidade crescente por diversas regiões do planeta. Como consequência deste fato o meio ambiente vem sofrendo alterações, caracterizadas por desmatamentos e degradações, como mostram vários fatores históricos, os quais contribuíram para a acelerada degradação ambiental a partir do século XIX, onde áreas florestadas eram de grande interesse do capital, tornado-se o principal alvo da dinâmica do capital.

Conseqüentemente os impactos causados por diversos fatores relacionados à produção e, por consequência, a produção do espaço, como o crescimento desordenado das cidades e a expansão do agronegócio, prejudicam e reduzem as áreas de cobertura florestal, incluindo as Áreas de Preservação Permanente (APPs), as quais podem ser consideradas um dos principais componentes de proteção aos recursos hídricos, onde sua ausência pode ocasionar erosão, esgotamento do solo, poluição dos rios e mananciais e perda da biodiversidade local.

A microbacia da Água da Limeira, objeto de estudo deste trabalho, abrange uma área de aproximadamente 5.496 ha e está localizada entre as coordenadas 7476500 N, 7465000 S, 615000 E e 606500 O, na faixa F do fuso 22 S do sistema UTM (Universal Transversa de Mercator), porção Sudoeste do Estado de São Paulo, sendo uma microbacia do Rio Pardo e, este um dos principais afluentes localizados na região do Médio Paranapanema de acordo com a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema ( URGHI – 17). A

qual corresponde a uma área que caracteriza de forma fiel o avanço do agronegócio em detrimento da cobertura florestal.



**Figura 1.** Localização da área da microbacia da Água da Limeira em relação à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema ( URGHI – 17).  
Organização: Delatorre (2010).

Como ferramenta para a elaboração deste estudo, utilizou-se o Sensoriamento Remoto e o Geoprocessamento, sendo este considerado como um conjunto de técnicas e tecnologias que manipulam e assimilam dados georreferenciados (FITZ, 2008). Tais ferramentas, como por exemplo, as imagens orbitais, proporcionam recursos consideráveis, resultando em uma melhor e mais fiel análise do assunto estudado.

Segundo Florenzano (2002), o uso de imagens de satélite possibilita o estudo e monitoramento tanto de fenômenos naturais dinâmicos do meio ambiente (erosão do solo, inundações, etc) como fenômenos antrópicos, no caso os desmatamentos. Estes fenômenos impressos na paisagem são registrados nas imagens produtos do sensoriamento remoto, sendo possível, por meio da análise destas, identificar, calcular e monitorar o crescimento de áreas desmatadas, áreas impermeabilizadas, assim como identificar áreas submetidas a processos de erosão.

O uso de imagens de Sensoriamento Remoto, estas consideradas como fontes de informações, tem grande aplicabilidade na produção de mapas temáticos. Assim sendo, de acordo com Demarchi e Piroli (2009), quanto à produção de mapas de uso do solo, a classificação digital de imagens de sensoriamento remoto tem sido uma metodologia amplamente adotada para a geração de mapas, de modo a contribuir com os estudos e análises ambientais.

Este estudo está vinculado ao Projeto de pesquisa “Análise do uso da terra nas áreas de preservação permanente do rio Pardo usando geoprocessamento, e avaliação dos impactos deste uso sobre os recursos naturais destas áreas” financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

## 2. Metodologia de Trabalho

### 2.1. Materiais

- Como base de dados para o desenvolvimento deste estudo, foram utilizados produtos de sensoriamento remoto, como imagens orbitais do satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) dos seus sensores AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2*) com resolução espacial de 10 m, com as bandas 2 (0,52  $\mu\text{m}$  - 0,60  $\mu\text{m}$ ), 3 (0,61  $\mu\text{m}$  - 0,69  $\mu\text{m}$ ) e 4 (0,69  $\mu\text{m}$  - 0,76  $\mu\text{m}$ ) tomada no dia 11/03/2007 e PRISM *Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping* com resolução espacial de 2,5 m com uma banda pancromática (0,52  $\mu\text{m}$  - 0,77  $\mu\text{m}$ ) tomada no dia 13/05/2007. Imagens provenientes do Projeto “Análise do uso da terra nas áreas de preservação permanente do rio Pardo usando geoprocessamento, e avaliação dos impactos deste uso sobre os recursos naturais destas áreas”, financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.
- Carta Topográfica digitalizada na escala 1:50000 do Município de Ourinhos (folha SF-22-Z-A-VI-3) editada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE – em 1973, utilizada para a delimitação do limite da microbacia da Água da Limeira.
- Os Sistemas de Informações Geográficas usados neste trabalho foram o *Software Idrisi Taiga*, desenvolvido pela *Graduate School of Geography da Clark University*, de Massachusetts, Estados Unidos (Eastman, 2006), utilizado na georreferência da carta topográfica e das imagens de satélite, na fusão das imagens dos sensores AVNIR-2 (bandas 1, 2 e 3) e PRISM (banda pancromática) através do módulo “*Pansharpen*”, na classificação supervisionada por algoritmo máxima verossimilhança, verificação da exatidão da classificação supervisionada pelo coeficiente Kappa e para a edição final dos mapas, e o *software ArcGIS* versão 9.3 utilizado na vetorização do limite da microbacia da Água da Limeira e vetorização da hidrografia, sendo estes vetores, posteriormente, importados para o *software Idrisi Taiga*.

### 2.2. Métodos

A metodologia adotada neste trabalho estrutura-se nas etapas descritas a seguir:

- Primeiramente, procedeu-se a aquisição das cartas topográficas, disponibilizadas pelo IBGE e imagens dos sensores AVNIR-2 e PRISM do satélite ALOS, imagens estas tomadas respectivamente nos dias 11/03/2007 e 13/05/2007.

- No aplicativo *Adobe Photoshop 7.0.1*, tanto a carta como as imagens foram transformadas do modo de cores RGB para Indexadas, o que consiste em transformar a imagem de 24 *bits* para 08 *bits*, formato este compatível com o *software Idrisi Taiga*.

#### 2.2.1. Georreferência da carta topográfica e das imagens ALOS

- Para a Georreferência da carta topográfica do Município de Salto Grande (folha SF-22-Z-A-VI-3), foram consideradas como pontos de controle as intersecções da malha, obtendo assim as coordenadas da carta (x, y), totalizando 30 pontos de controle com um erro médio quadrático (EMQ) de 1,63 m.

- Na seqüência, tendo a carta georreferenciada, vetorizou-se o limite da microbacia sobre a mesma para a posterior extração da área da microbacia da imagem ALOS.

- Após a georreferência da carta, por meio da visualização das imagens de satélites, foram anotados os valores dos pontos de controle identificados tanto nas imagens como na carta, sendo

estes, preferencialmente cruzamentos entre estradas e pontes sobre cursos d' água, espacializados de forma uniforme, abrangendo toda a área em questão. O processo de georreferência foi realizado no *software* Idrisi Taiga com a combinação entre a função mapeamento do tipo linear e a reamostragem pelo algoritmo vizinho mais próximo, apresentando um erro médio quadrático (EMQ) das imagens multiespectrais de 3,82 m para um total de 45 pontos por imagem e da imagem pancromática de 3,29 m para um total de 45 pontos.

- Tanto para a georreferência da carta como para as imagens foi adotado o sistema de referência SAD 69 (*South American Datum* de 1969).

### **2.2.2. Fusão das imagens AVNIR-2 e PRISM**

- A seguir, foi realizada a fusão HLS das imagens multiespectrais do sensor AVNIR-2 de 11/03/2007 com a imagem pancromática do sensor PRISM de 13/05/2007, estas referentes a área da microbacia da Água da Limeira, microbacia do Rio Pardo, através do módulo “*Pansharpen*” disponibilizado no *software* Idrisi Taiga.

Segundo Piroli (2010) a fusão de imagens tem como função melhorar a resolução espacial e espectral das mesmas, contribuindo para uma melhor identificação de seus componentes. Para realizar esta fusão utilizou-se o método HLS sigla para *hue*, *lightness* e *saturation*, respectivamente, matiz, brilho e saturação, sendo este um espaço de cor mais uniforme que o espaço RGB (*red*, *green* e *blue*), separando assim, a cromaticidade da luminância, ou seja, a informação acromática (valor) e cromática (matiz e saturação) de uma imagem RGB. As imagens utilizadas foram as bandas multiespectrais do sensor AVNIR-2 com resolução espacial de 10 m e a banda pancromática do sensor PRISM com resolução espacial de 2,5 m, preservando deste modo, a resolução espectral e incorporando uma melhor resolução espacial da banda pancromática.

- A vetorização das feições como rios, açudes e alagadiços foi realizada sobre a imagem fusionada em função da maior resolução espacial a qual facilitou a identificação das feições.

### **2.2.3. Classificação por algoritmo de máxima verossimilhança da imagem fusionada**

- Tendo as imagens devidamente georreferenciadas e fusionadas, foram estabelecidas áreas de treinamento representativas com atribuição de um indicador para os usos do solo verificado, com a criação de assinatura espectral para cada uso (módulo *Makesig*) para posterior aplicabilidade de algoritmo classificatório supervisionado, neste caso, foi utilizado o algoritmo máxima verossimilhança (módulo MAXVER). Nesta fase, utilizou-se o *software* Idrisi Taiga. Na etapa seguinte, agrupou-se em uma única classe os mesmos usos de solo, mas com assinaturas espectrais diferentes, pelo processo de reclassificação (módulo *Reclass*). Sendo estas: 1. Floresta nativa; 2. Mata Ciliar; 3. Açudes; 4. Pastagem; 5. Linhaça; 6. Solo Exposto; 7. Cana-de-açúcar; 8. Área de Banhado.

- Nesta imagem reclassificada foi aplicado o filtro de moda 5 x 5 (módulo *Filter*), com o intuito de suavizar os efeitos de ruídos existentes na cena, corrigindo assim, pequenos erros de classificação.

- Para o recorte do limite da microbacia hidrográfica, foi gerada uma imagem de valor zero (módulo *Initial*), sobre a qual rasterizou-se o limite da microbacia (módulo *RasterVector*) e na sequência, efetuou-se a multiplicação entre a imagem com o limite rasterizado e a imagem classificada (módulo *Overlay*) para recortar a área de estudo, seguida da criação da palheta de cores e associação desta com a imagem classificada e do cálculo da área (módulo *Area*) de cada classe de uso do solo.

### 2.2.4. Geração de *buffer* para as Áreas de Preservação Permanente (APP)

A delimitação das APPs foi realizada por meio do operador de distância (módulo *Buffer*), a partir do vetor dos córregos da microbacia rasterizado (módulo *Rastervector*) sobre uma imagem de valor zero (módulo *Initial*). Na sequência, tendo esta imagem *buffer*, segundo a Lei nº 4.777/65 do Código Florestal, a qual define para cursos hídricos com até 10 m de largura a largura mínima da faixa de matas ciliares de 30 m, foi delimitado o limite da área de APP e em seguida, realizou-se uma operação de multiplicação entre a imagem do limite da APP e a imagem classificada para gerar o mapa de conflito entre o uso e ocupação nas Áreas de Preservação Permanente.

### 2.2.5. Avaliação da exatidão da classificação supervisionada pelo coeficiente Kappa

- A última etapa consistiu da avaliação da exatidão do mapeamento em relação a verdade terrestre. De acordo com Piroli (2010), esta avaliação pode ser feita por meio da geração de pontos aleatórios no mapa para posterior confirmação à campo. Estes pontos são gerados através do módulo *Sample* e após a confirmação do uso do solo para cada ponto amostrado, cria-se um arquivo de valores relacionando os pontos amostrais com a verdade terrestre, por seguinte é gerada uma imagem raster dos pontos amostrais, para então, efetuar a análise estatística da classificação supervisionada.

- A avaliação da exatidão do mapeamento foi calculada através do coeficiente Kappa. Após a criação do arquivo vetorial dos pontos de amostragem (módulo *Sample*) com a utilização do coeficiente *Stratified random* (amostragem do tipo aleatoriamente estratificada), foram anotados os indicadores de cada classe correta do uso do solo e na sequência este arquivo foi salvo em formato avl (arquivo de valores) no módulo *Edit*. O arquivo vetor dos pontos juntamente com o arquivo de valores foram inseridos no módulo *Assign*, para então associar os indicadores corretos do uso do solo ao arquivo vetorial de pontos de amostragem. No módulo *Errmat*, pelo cruzamento do arquivo gerado no módulo *Assign* com a classificação supervisionada, foi fornecida uma matriz de erros e o índice Kappa geral e por categoria. Ainda segundo Piroli (2010), nesta matriz de erro, o erro de omissão representa a probabilidade de uma unidade amostral de referência estar corretamente classificada e o erro de inclusão a probabilidade que um pixel classificado, corresponda a categoria no terreno.

**Tabela 1.** Qualidade da classificação associada aos valores da estatística Kappa.

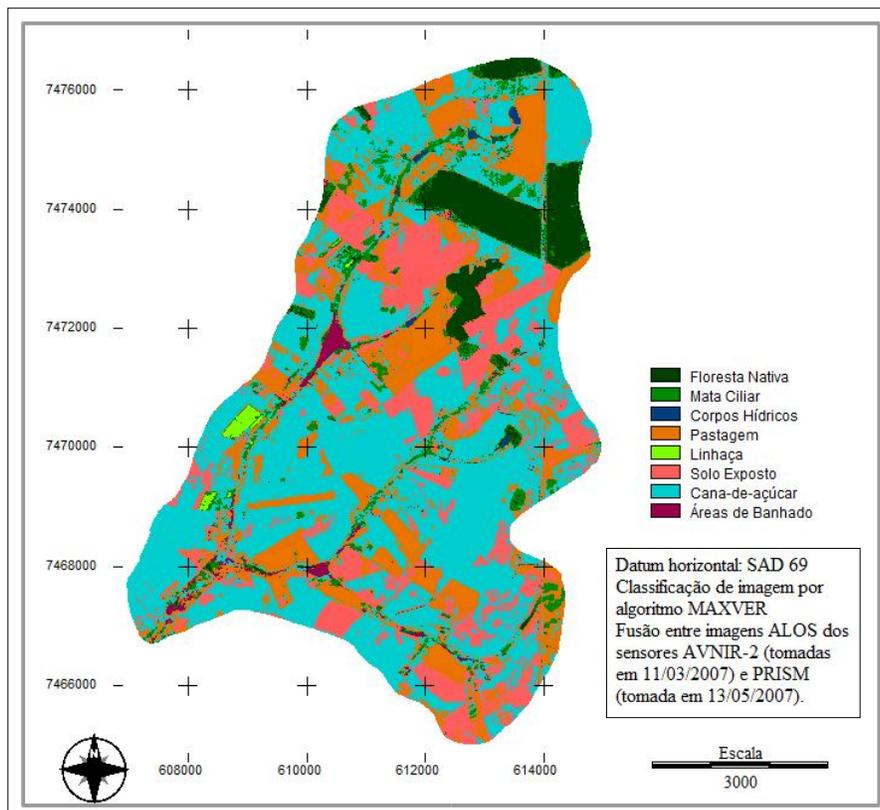
Valor de Kappa	Qualidade do mapa temático
<0,00	Péssima
0,00 - 0,20	Ruim
0,20 - 0,40	Razoável
0,40 - 0,60	Boa
0,60 - 0,80	Muito boa
0,80 - 1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977, apud Piroli, 2010: 42)

## 4. Resultados e Discussão

Os resultados da classificação por algoritmo de máxima verossimilhança das imagens orbitais teve como produto final o mapeamento temático da distribuição espacial das classes de uso do solo na microbacia da Água da Limeira, esta distribuição está representada tanto na forma

de mapeamento temático do uso e ocupação (Figura 1), bem como é apresentada na forma tabular (Tabela 2), a seguir:



**Figura 2.** Uso do solo na Microbacia da Água da Limeira – SP (2007).  
Elaboração: Delatorre et al. (2010)

**Tabela 2.** Área das classes de uso do solo na Microbacia da Água da Limeira em 2007 obtida através da classificação supervisionada por máxima verossimilhança.

Classes	Área (ha)	%
Floresta Nativa	298,63	5,43
Mata Ciliar	311,84	5,67
Açudes	11,82	0,21
Pastagem	1070,76	19,48
Linhaça	23,19	0,42
Solo Exposto	905,78	16,48
Cana-de-açúcar	2783,30	50,63
Área de banhado	90,89	1,65
<b>Total</b>	<b>5496,27</b>	<b>100,00</b>

Elaboração: Delatorre et al. (2010)

Pela análise da imagem classificada e da tabela com as porcentagens de cada uso do solo em relação a área da microbacia, foi possível constatar o predomínio de cultivos de cana-de-açúcar (50,63 %), juntamente com o uso destinado à pastagem (19,48 %) e áreas de solo exposto (16,48 %), áreas estas de solo preparado para a implantação de plantio de culturas ou solos de cultura recém colhida. Portanto, o uso do solo na microbacia da Água da Limeira para o ano de 2007, foi predominantemente ocupado por atividades agro-pastoris, representando 87,01 % em relação ao

total, enquanto as áreas de florestas nativas e mata ciliar representam apenas 11,1 %.

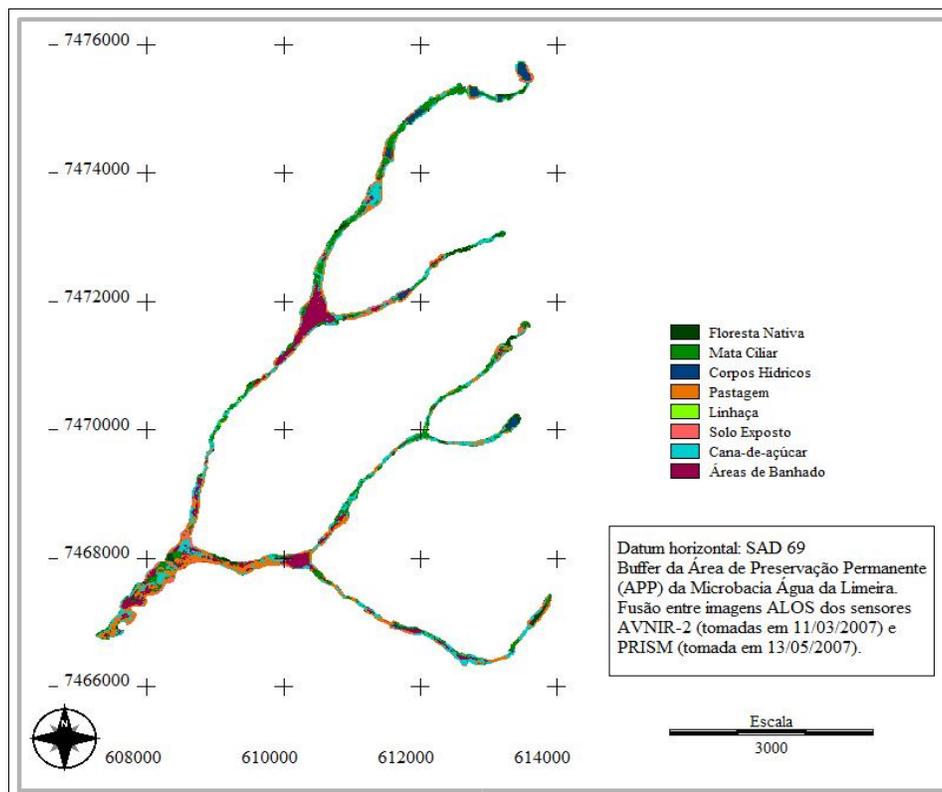
Tendo feito a análise do uso do solo para a imagem classificada, o coeficiente Kappa calculado pelo esquema *Stratified random*, foi de 0,724, portanto, enquadra-se em uma classificação “muito boa”, sendo um valor intermediário entre uma classificação considerada “boa” e “excelente”.

A área total de APPs da microbacia analisada foi de 340,28 hectares, sendo que deste total apenas 22,33 % estava ocupado por mata ciliar, como é ilustrado na Tabela 3 e Figura 2, a seguir:

**Tabela 3.** Área das classes de uso do solo na Área de Preservação Permanente da Microbacia da Água da Limeira em 2007 obtida através da classificação supervisionada por máxima verossimilhança.

Classes	Área (ha)	%
Floresta Nativa	14,31	4,20
Mata Ciliar	76,00	22,33
Açudes	11,79	3,46
Pastagem	78,84	23,16
Linhaça	0,60	0,17
Solo Exposto	13,63	4,00
Cana-de-açúcar	83,16	24,43
Área de banhado	60,97	17,91
<b>Total</b>	<b>340,28</b>	<b>100,00</b>

Elaboração: Delatorre et al. (2010)



**Figura 3.** Uso do solo na Área de Preservação Permanente (APP) da microbacia da Água da Limeira (2007).

Elaboração: Delatorre et al (2010)

Quanto ao uso e ocupação do solo da Área de Preservação Permanente 24,43 % corresponde

à áreas de plantio de cana-de-açúcar, 23,16% à áreas de pastagem e 4,00 % de solo exposto, portanto, 51,59 % do uso é destinado à atividades agro-pastoris, enquanto apenas 26,53 % é de cobertura florestal, tal uso prejudica de forma expressiva a mata ciliar, cuja função é assegurar o bem-estar das áreas de mananciais e de todo o seu ecossistema, incluindo o próprio recurso hídrico, a ausência desta cobertura protetora pode ocasionar erosão, esgotamento do solo, poluição dos rios e mananciais e perda da biodiversidade local.

## 5. Considerações Finais

- A classificação supervisionada por máxima verossimilhança permitiu o levantamento de informações relevantes para a análise do uso e ocupação, no entanto, houve algumas generalizações.

- A utilização do operador de distância (módulo *buffer*) foi satisfatório, facilitando uma análise com maior nível de detalhes nas Áreas de Preservação Permanente.

- A fusão realizada com as imagens do satélite ALOS, foi essencial para o desenvolvimento deste estudo, pois gera uma imagem com melhor resolução espacial e espectral, o que contribuiu na identificação dos usos do solo e portanto, um maior refinamento na escolha das classes de treinamento para a classificação das imagens.

- Os usos e ocupações do solo da microbacia são predominantemente agrícolas, com áreas florestais menores do que o estabelecido pela legislação.

- As APPs estão ocupadas por atividades econômicas em sua maior parte, tendo um pequeno percentual das mesmas cobertas com mata ciliar. Esta situação precisa ser revertida urgentemente visando à adequação das propriedades rurais à legislação ambiental brasileira e à proteção dos recursos naturais destas áreas, que são naturalmente frágeis e importantíssimos para o ecossistema.

## 6. Referências Bibliográficas

Código Florestal. Lei Nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L4771.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771.htm)>. Acesso em 10.nov.

Demarchi, J. C. ; Piroli, E. L. ; Zimback, C. R. L. . **Análise do uso do solo no município de Santa Cruz do Rio Pardo SP, usando imagens Landsat-5 classificadas por máxima verossimilhança, segmentação e índices de vegetação NDVI e SAVI**. In: 7º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 2010, Maringá - PR. Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. Maringá - PR : UEM/DGE/PGE/DEC/PEU, 2010. v. 1. p. 1-17.

Florenzano, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. - São Paulo: Oficina de textos, 2002.

Jensen, J. R. (1949) **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres** /tradução José Carlos Neves Epiphanyo *et al.* São José dos Campos, SP. 2009

Liu, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Editora UNIDERP. Campo Grande, 2006.

Novo, E. M. L. De M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 2ª edição – São Paulo: Edgard Blücher, 1992.

Piroli, E. L. **Disciplina de geoprocessamento: práticas em Idrisi – versão Taiga** / Edson Luís Piroli. - Ourinhos: Unesp/Campus Experimental de Ourinhos, 2010.

Piroli, E. L. ; Demarch, J. C. . **Imagens ALOS para análise do uso do solo nas Áreas de Proteção Permanente do Córrego das Furnas em Ourinhos, SP**. In: IX Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal, 2010, Curitiba - PR. Anais do IX Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal. Curitiba : Fupef, 2010. v. 1. p. 461-467.