

## Modelagem da dinâmica do uso e ocupação do solo (1987, 2000 e 2015)

Murilo Dias Postigo<sup>1</sup>  
Anderson Antonio da Conceição Sartori<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade do Sagrado Coração-USC  
Rua Irmã Arminda, 10-50, CEP: 17011-160, Bauru, SP, Brasil  
murilo.postigo@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Programa de Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade do Sagrado Coração-USC  
Rua Irmã Arminda, 10-50, CEP: 17011-160, Bauru, SP, Brasil.  
sartori80@gmail.com

**Abstract.** The increasing demand for natural resources has been very intense in recent years, negatively impacting the environment, as the substitution of forest remnants by agricultural crops, and disorder urban sprawl. All these human activities compromise the watersheds, potentializing the problems related to water resources and consequently to the public supply of water. In this context, the objective of this work was to detect the main changes in land use (gains, losses and persistence) with the Land Change Modeler (LCM) tool in three periods 1987, 2000 and 2015 In the Alto Batalha-SP basin. After elaborated the land use maps, were inserted in the Land Change Modeler - LCM module this generated results in the form of tables and maps. Thus it is possible to analyze the dynamics of the different classes of land use between the two periods studied. We can conclude that the dynamics of gain, loss and persistence of land use, between the years studied, identified the main changes, in terms of quantity and spatial distribution in the landscape. The temporal analysis in both periods it possible a better understanding of environmental pressures in the natural areas that have led to the degradation of water resources in the watersheds.

**Palavras-chave:** watersheds, water resources, geoprocessing, remote sensing, bacias hidrográficas, recursos hídricos, geoprocessamento, sensoriamento remoto.

### 1. Introdução

A demanda crescente por recursos naturais tem sido muito intensa nos últimos anos, impactando negativamente o ambiente. A inadequada utilização do solo por práticas incompatíveis, como a substituição dos remanescentes florestais por plantações, em geral monoculturas com uso intensivo de agrotóxicos, somando-se a rápida e desordenada expansão urbana, o despejo de esgotos e resíduos sólidos em locais inapropriados.

Todas essas atividades comprometem drasticamente as bacias hidrográficas, potencializando os problemas relacionados aos recursos hídricos e conseqüentemente ao abastecimento público de água.

A disponibilidade de água de uma bacia hidrográfica é fortemente influenciada pelo uso e manejo do solo, onde a quantidade e qualidade da água podem ser modificadas pela presença ou não da cobertura florestal (Tucci e Clarke, 1998).

De acordo com Silva et al. (2005), a cobertura vegetal conserva o aporte hídrico e evita a perda de solo e nutrientes, podendo ser explicado pela ação que a cobertura tem em dissipar a energia cinética do impacto direto das gotas da chuva sobre a superfície, diminuindo a desagregação inicial das partículas de solo e, conseqüentemente, a concentração de sedimentos na enxurrada; além disso, a cobertura do solo representa um obstáculo mecânico ao livre escoamento superficial da água, ocasionando diminuição da velocidade e da capacidade de desagregação e transporte de sedimentos.

O Rio Batalha tem sofrido durante anos a degradação de sua mata ciliar e o mau uso do solo pela falta de planejamento em suas margens. Isso levou às erosões, o que também tem influenciado no nível de preservação da captação, principalmente nas épocas de estiagem.

Todo o material que as chuvas carregam das erosões chega à captação, provocando o assoreamento da represa (DAE, 2014).

Desta forma o conhecimento das dinâmicas de transformação do uso e cobertura do solo mostra-se cada vez mais importante para compreensão do espaço, possibilitando inferir tendências de cenários futuros (Brannstrom et al., 2008).

Desta maneira, o recente e rápido desenvolvimento da tecnologia de sensoriamento remoto e de SIG contribuíram para a evolução das próprias ciências da terra e ambientais, ao mesmo tempo em que facilitam a inter-relação entre elas. Como ressaltou Baker (1992), em qualquer ciência o surgimento de novas técnicas não é importante em si mesmo, mas sim por permitir novas descobertas que estimulam o progresso científico.

O Land Change Modeler (LCM) enquadra-se neste sentido, pois é um módulo de avaliação e projeção de mudanças de cobertura da terra e implicações para espécies, habitats e biodiversidade. O LCM apresenta-se em uma estrutura fixa que divide a modelagem em etapas como: análise das mudanças de cobertura da terra, cálculo dos potenciais de transição, simulação de mudanças futuras, além de ferramentas para avaliação de intervenções planejadas no uso da terra e impactos para biodiversidade (Eastman, 2009).

Sartori et al. (2013) identificaram os processos de mudanças no uso e ocupação do solo por meio de análises multitemporais, dados de ganho, perda e persistência das classes de uso do solo entre os anos estudados, permitindo identificar as principais mudanças, em termos de quantidade e na sua distribuição espacial.

Nesse contexto o objetivo deste trabalho foi detectar as principais mudanças de uso e ocupação do solo (ganhos, perdas e persistência) com a ferramenta Land Change Modeler - LCM, em três períodos 1987, 2000 e 2015 e as influencias da degradação nos recursos hídricos.

## 2. Material e Métodos

### 2.1 Área de estudo

A sub-bacia do Alto Batalha (Figura 1) está situada no centro geográfico do Estado de São Paulo, entre os paralelos 22° 20' e 22° 30' Sul e os meridianos 49° 00' e 49° 10' WG, possui uma área aproximada de 14.654,6 hectares, inseridos na UGRHI 13 Tietê Jacaré e UGRHI 16 Tietê Batalha, abrangendo o território pertencente aos municípios de Agudos, Bauru e Piratininga-SP.

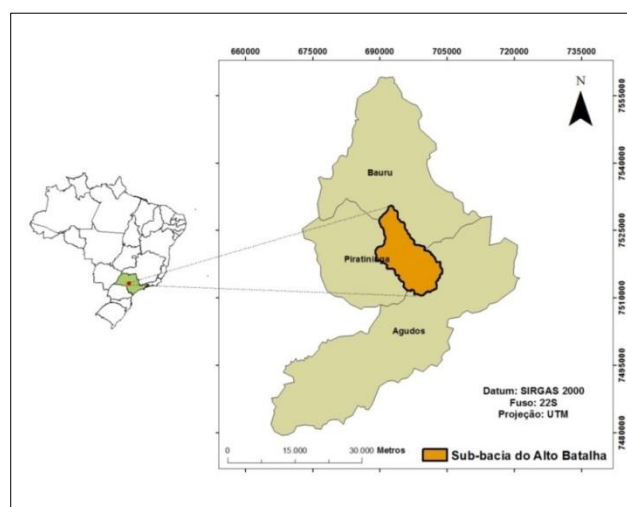


Figura 1. Localização da sub-bacia hidrográfica do Alto Batalha.

O rio Batalha é um rio brasileiro do estado de São Paulo que nasce na Serra da Jacutinga, no município de Agudos (SP), passa por Piratininga (SP) e Bauru (SP) seguindo em direção

noroeste passando no município de Avaí (SP), onde se desvia para norte e atravessa a cidade de Reginópolis (SP), até desaguar no rio Tietê próximo à cidade de Uru (SP). Todo o trajeto tem cerca de 170 quilômetros. A sub-bacia do Alto Batalha tem sua importância no abastecimento de água em qualidade e quantidade, aproximadamente 40% da população de Bauru são abastecidas pelo rio Batalha (Bacia..., 2016).

## 2.2 Delimitação da bacia hidrográfica, rede de drenagem e curvas de nível

Para a vetorização das curvas de nível, rede de drenagem e delimitação da área de estudo, foram utilizadas as cartas planialtimétricas do IGC em escala 1:10.000,00 com equidistância vertical entre as curvas de nível de 05 m. As cartas foram editadas em 1977 pelo Instituto Geográfico Cartográfico - IGC. Foi utilizado como referência o mosaico das cartas digitais já georreferenciadas. Como orientação na delimitação da sub-bacia, foram utilizadas as curvas de nível e a rede de drenagem, por onde se buscou encontrar os divisores de águas.

## 2.3 Modelo Numérico do Terreno (MNT)

O Modelo Numérico do Terreno (MNT) foi realizado com a ferramenta “Topo to Raster”, esse procedimento faz interpolação dos dados vetoriais a partir de do valor de elevação z, para converte-lo em um arquivo raster. O arquivo gerado foi utilizado para modelagem de informações de altimetria, sendo fundamental como informação de entrada (*input*) para realização das modelagens para verificar as mudanças de uso da terra através do módulo Land Change Modeler – LCM.

## 2.4 Imagens orbitais

Para o recobrimento da sub-bacia do Alto Batalha foram utilizadas imagens espectrais do satélite americano Landsat 5 e 8, cenas situadas na órbita 221 e pontos 75 e 76. As imagens foram adquiridas gratuitamente através de download pelo site do DGI/INPE.

Para realização da análise temporal da sub-bacia do Alto Batalha, buscou-se estudar a área com intervalos de 15 (quinze) em 15 (quinze) anos, iniciando em 1985 e terminando em 2015. Porém não foi possível obter uma cena de qualidade do ano de 1985, com isso, foi utilizado uma cena de 1987. Portanto o intervalo entre a primeira e a segunda cena foi de 13 (treze) anos e o intervalo entre a segunda e a terceira cena foi de 15 (quinze) anos.

Para realização do estudo foram utilizadas quatro cenas do satélite Landsat, sendo três da série do satélite Landsat 5 TM, com duas cenas datadas em 17/04/1987 no ponto 75 e 76, a segunda datada em 23/06/2000 no ponto 75 e a terceira cena da série do satélite Landsat 8 OLI, datada em 10/07/2015, no ponto 75.

## 2.5 Uso da terra (1987, 2000 e 2015)

O procedimento na elaboração do plano de informação uso da terra seguiu as seguintes etapas: registro de imagem, realce de contraste e classificação do uso da terra em tela, saída de campo/fotografia aérea e classificação final, que serão descritas a seguir:

a) registro de imagem: a etapa de georreferenciamento da imagem compreendeu uma transformação geométrica que relacionou as coordenadas da imagem (linhas e colunas) com as coordenadas do sistema de referência utilizado, neste caso, o sistema Universal Transverse Mercator (UTM) de coordenadas métricas, com o Datum SIRGAS 2000;

b) realce de contraste: foram gerados os RGBs dos respectivos mapas de uso da terra (1987, 2000 e 2015), desta forma, foram estudadas as chaves de interpretação que explicam as melhores combinações de faixas espectrais para ter uma melhor interpretação visual;

c) classificação: foram digitalizados os polígonos em áreas específicas para caracterizar os diferentes tipos de uso da terra que estão presentes nas imagens de satélite. Os mapas de

uso da terra foram elaborados a partir da classificação em tela, desta forma evitando misturas das respostas espectrais dos pixels;

d) saída de campo/fotografia aérea: para classificação da imagem de 2015 foram realizadas saídas a campo e utilizado fotos áreas obtidas através de um voo de helicóptero na sub-bacia do Alto Batalha, para conferir se as informações que haviam sido geradas eram coerentes com a realidade; e

e) classificação final: elaboração do mapa temático de uso da terra de 1987, 2000 e 2015.

## 2.6 Modelagem da mudança do uso da terra

Após serem elaborados os mapas de uso da terra no formato vetorial, através da interpretação visual das imagens dos satélites Landsat 5 e 8, os mesmos foram transformados em *raster* e inseridos no módulo *Land Change Modeler - LCM* do software *IDRISI Selva*, este gerou resultados em formato de tabelas e mapas. Desta forma pode-se analisar a dinâmica das diferentes classes de uso da terra em ganhos, perdas e persistência entre os dois períodos estudados, permitindo identificar as mudanças no uso da terra, em termos de quantidade e na sua distribuição espacial.

## 3. Resultados e Discussão

Uso da terra: análise das mudanças entre os anos de 1987 e 2000.

A partir da elaboração dos mapas de uso da terra dos anos de 1987, 2000 e 2015, foi realizado um comparativo entre os anos estudados para detectar as principais mudanças de uso. Para modelagem desses dados utilizou-se o módulo Land Change Modeler (LCM) pertencente ao SIG Idrisi Selva, esse possibilitou avaliar as perdas, os ganhos e a persistência. O resultado da classificação e modelagem dos mapas de 1987 e 2000 está apresentado na Figura 2 e Tabela 1.

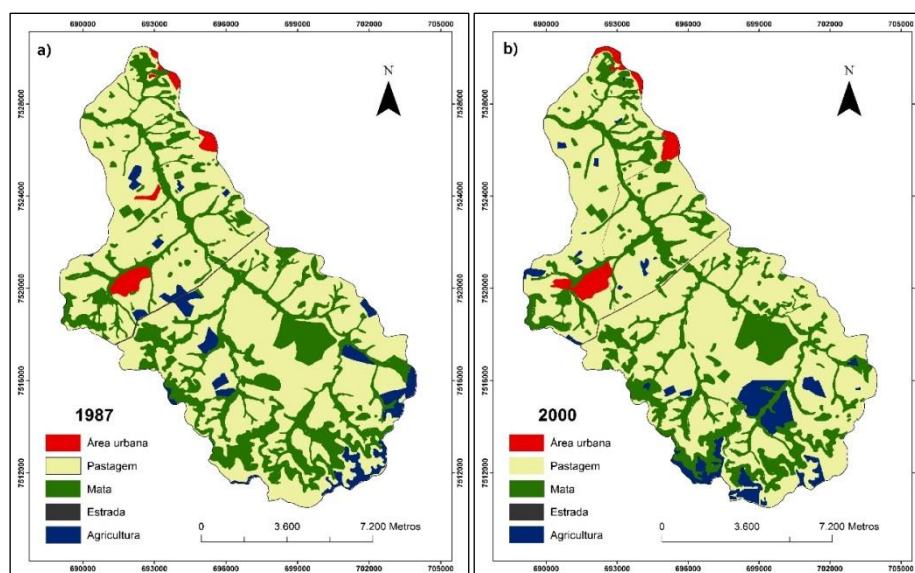


Figura 2. Mapa de uso da terra nos anos de 1987 e 2000 sub-bacia hidrográfica do Alto Batalha.

Analisando os mapas de 1987 e 2000 (Figura 2 e Tabela 1), foi possível verificar a predominância da pastagem nos dois períodos, o avanço da área urbana, a redução das áreas de mata e o aumento das mudanças em áreas de agricultura.

De acordo com a Tabela 1, a área urbana em 1987 ocupava 243 ha, em 2000, passou ocupar 322,2 ha. O crescimento registrado foi de 32,5% em relação à área urbana existente no ano de 1987.

Tabela 1. Uso da terra e análises de ganho, perda e persistência nos anos de 1987 e 2000.

Classe de uso	Área 1987 (ha)	Área 2000 (ha)	Ganhos	Perdas	Persistência
Área urbana	243,05	322,29	125,0	45,76	197,29
Mata	4151,08	3944,43	876,35	1083,0	3068,07
Pastagem	9469,11	9471,31	1572,5	1570,3	7898,7
Agricultura	657,5	785,72	707,15	578,92	78,57
Estradas	43,91	40,89	17,54	20,56	23,34
<b>Total</b>	<b>14564,65</b>	<b>14564,64</b>	<b>3298,54</b>	<b>3298,54</b>	<b>11265,97</b>

O crescimento demográfico do período ajuda comprovar a expansão territorial observada, segundo DATASUS, a população de Bauru em 1987 era 234,234 habitantes, em 2000 esse número subiu para 316,064 habitantes, isto é, a cidade teve aumento populacional de aproximadamente 34,9%. Também houve crescimento da população Piratininga-SP, porém menos expressivo, passando de 9.800 habitantes em 1987 para 10.584 habitantes em 2000. (Brasil, 2016).

Outra classe de uso que tem destaque é a pastagem, está se encontra- predominante na sub-bacia em diferentes formas de manejo e diferentes níveis de degradação e/ou regeneração, em 1987 essa classe ocupava 9469,1 ha, em 2000 obteve um pequeno aumento e passou ocupar 9471,3 ha. Os dados de ganhos, perdas e persistência mostram que grande parcela persistiu, os ganhos e as perdas foram próximos, ou seja, as perdas foram compensadas em novos lugares da sub-bacia.

Já para a classe denominada como agricultura, que compreende as culturas semi-perenes (cana de açúcar), perenes (café) e silvicultura. Essa classe em 1987 ocupava 657,5 ha, em 2000 passou ocupar 785,7 ha, obtendo um aumento de 128,22 ha. A partir dos dados de perdas, ganhos e persistência foi observado que a área ocupada pela agricultura em 1987, apenas 78,5 ha persistiram, totalizando uma perda de 578,92 ha e um ganho de 707,15 ha, a partir disso foi possível constatar que a agricultura passou ser praticada em novas áreas, evidenciando uma grande dinâmica na área de estudo.

Com a expansão da área urbana, pastagem e agricultura a classe denominada mata, que compreende a mata nativa, a mata ciliar e as áreas de várzea, foi observado uma redução nesta classe, passando de 4151,1 ha em 1987 para 3944,4 ha em 2000. Para melhor ilustrar essa dinâmica a Figura 3 demonstra os locais onde ocorreram os ganhos, as perdas e a persistência.

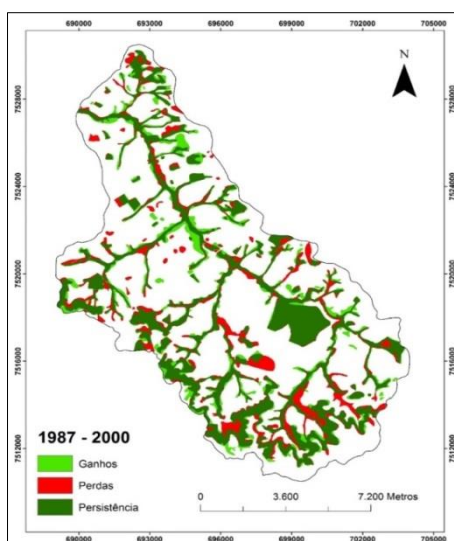


Figura 3. Mapa de perdas, ganho e persistência da classe mata entre os anos de 1987 e 2000.

A partir do mapa de perdas, ganhos e persistência para o período de 1987 a 2000, foi possível notar que as principais perdas e ganhos ocorreram nas áreas próximas aos corpos hídricos, ou seja, Áreas de Preservação Permanente – APP's.

As consequências do desmatamento descontrolado da vegetação nativa em uma bacia hidrográfica, independente do seu porte, podem causar impactos negativos nos recursos hídricos locais e regionais (Silva e Silva, 2013).

Uso da terra: análise das mudanças entre os anos de 2000 e 2015

Analisando os mapas de uso da terra no ano 2000 e 2015 (Figura 4 e Tabela 2) foi possível perceber o avanço da área urbana, a redução das áreas de pastagem, o aumento das áreas de mata, agricultura e estradas.

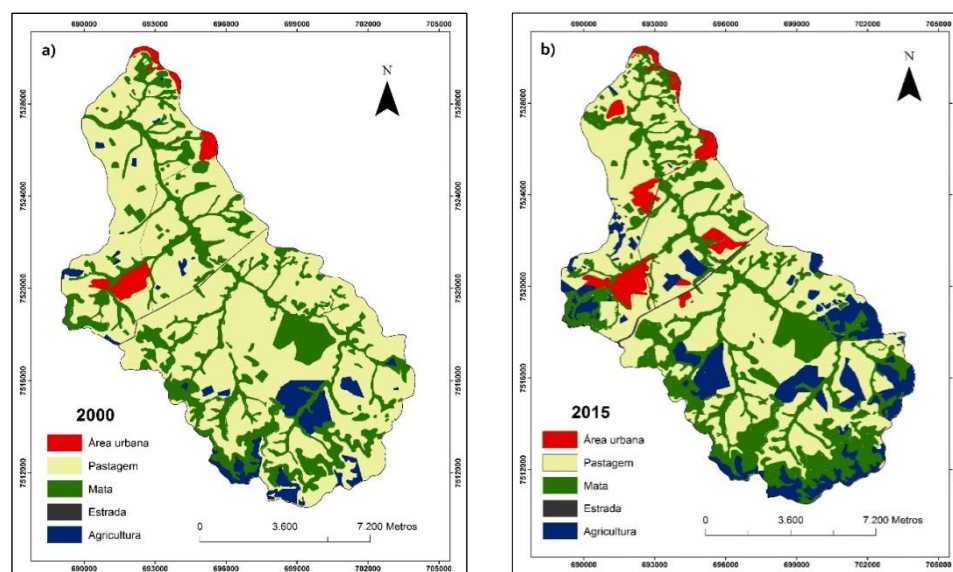


Figura 4. Mapa de uso da terra nos anos de 2000 e 2015 sub-bacia hidrográfica do Alto Batalha.

Analisando a Tabela 2, podemos verificar o grande avanço da área urbana, em 2000 essa classe ocupava 322,2 ha, em 2015 passou ocupar 674,5 ha, ou seja, o aumento registrado foi maior que o dobro (109,34%). Analisando a Tabela 4, podemos verificar o grande avanço da área urbana, em 2000 essa classe ocupava 322,2 ha, em 2015 passou ocupar 674,5 ha, ou seja, o aumento registrado foi maior que o dobro (109,34%).

Diferentemente do período de 1987 a 2000, o motivo não se deve ao crescimento demográfico. De 2000 a 2015 foi previsto crescimento de 16,11%, passando 316,064 hab. em 2000 para 366,992 hab. em 2015 (IBGE, 2016).

Tabela 2. Uso da terra e análises de ganho, perda e persistência nos anos 2000 e 2015.

Classe de uso	Área 2000 (ha)	Área 2015 (ha)	Ganhos (ha)	Perdas (ha)	Persistência (ha)
Área urbana	322,29	674,55	377,66	25,4	296,88
Mata	3944,43	4649,65	1351,24	646,02	3298,4
Pastagem	9471,31	7309,93	782,04	2943,42	6527,88
Agricultura	785,72	1853,36	1404,03	336,39	449,33
Estradas	40,89	77,15	53,37	17,11	23,78
<b>Total</b>	<b>14564,64</b>	<b>14564,64</b>	<b>3968,34</b>	<b>3968,34</b>	<b>10596,27</b>

Mendonça (2013) afirmou que os principais motivos que explicam o crescimento do setor imobiliário presenciado nos últimos anos, sobretudo a partir do ano de 2005, são: as

mudanças na legislação no que concerne ao crédito imobiliário, a estabilidade de preços, a queda na taxa de juros, a expansão do crédito direcionado, a expectativa futura de valorização dos preços dos imóveis após um período longo de estagnação.

Na classe agricultura houve grande expansão, em 2000 essa classe ocupava 785,72 ha, após 15 anos, passou ocupar 1853,36 ha, obtendo um aumento de 135,8%. Observando a dinâmica de perdas, ganhos e persistência no período avaliado (2000 – 2015) os valores de ganhos comprovam que agricultura teve expansão em novas áreas. Esse crescimento ocorreu principalmente na cabeceira da sub-bacia, onde grande parte de suas terras agrícolas são cultivadas com reflorestamentos de eucalipto e pinos, devido à demanda das indústrias locais.

A classe mata obteve aumento de 17,87% no período. A perda foi superada pelos ganhos e a persistência, obtendo desta forma um saldo positivo. O aumento pode ser justificado principalmente pelos projetos de reflorestamento em Áreas de Preservação Permanente – APP, financiado pelo Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO). Ao todo já foram realizados sete projetos FEHIDRO na área de estudo e atualmente estão em andamento quatro projetos, sendo dois pelo FEHIDRO, um pela Agência Nacional de Água (ANA) e um projeto firmado junto a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB para cumprimento de Termo de Compromisso de Recuperação Ambiental (TCRA) SAGA (2016).

A dinâmica da ocupação da classe de mata está ilustrada na Figura 5, possibilitando verificar as principais mudanças espaciais em perdas, ganhos e persistência.

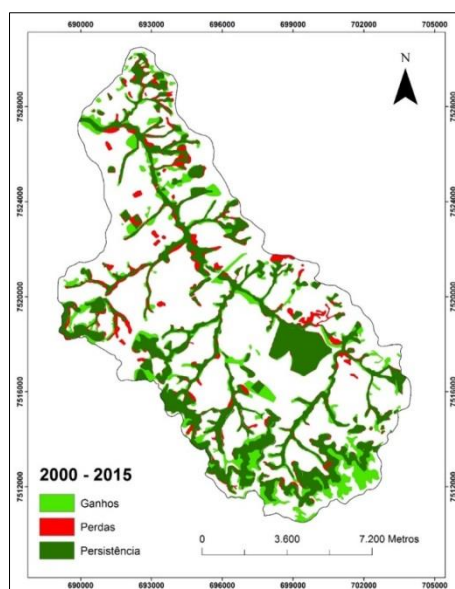


Figura 5. Mapa de ganhos, perda e área de persistência de classe mata entre os anos 2000 e 2015.

A partir do mapa de perdas, ganhos e persistência (Figura 5) foi possível verificar que os ganhos ocorreram principalmente nas áreas próximas aos cursos hídricos (áreas de preservação permanente – APP's) e de forma mais expressiva na cabeceira da sub-bacia, na Serra do Jacutinga onde encontra-se a nascente do rio Batalha, região que foi priorizada com projeto de reflorestamento. As perdas tiveram maior incidência nos municípios de Bauru (SP) e Paratinga (SP), ocorrendo maiores distúrbios em áreas de vegetação nativa próximas aos cursos hídricos e também em fragmentos isolados, já a persistência ocorreu principalmente em APP's.

#### 4. Conclusões

Podemos concluir que os dados de ganho, perda e persistência das classes de uso da terra entre os anos estudados, permitiram identificar as principais mudanças, em termos de quantidade e na sua distribuição espacial.

O módulo Land Change Modeler (LCM) além de simplificar as complexidades das análises, foi fundamental para compreensão da dinâmica das mudanças de uso da terra. Um aspecto a ser considerado são os dados de entrada, que devem ser cuidadosamente elaborados para obtenção de resultados coerentes.

A análise temporal no período de 1987 a 2000 e 2000 a 2015 possibilitou um melhor entendimento das pressões ambientais nas áreas naturais que têm levado à degradação dos recursos hídricos na sub-bacia do Alto Batalha. Este processo mostrou-se de grande importância visto que as complexas e dinâmicas modificações nos ambientes estão relacionadas aos aspectos naturais, atividades humanas e suas interrelações.

#### Referências Bibliográficas

Bacia do rio Batalha perde curso natural após chuva em Bauru e região. **g1.globo**, 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sp/bauru-marilia/noticia/2016/01/bacia-do-rio-batalha-perde-curso-natural-apos-chuva-em-bauru-e-regiao.html>>. Acesso em: 22 ago. 2016.

Baker, W. The role programs for multiscale analysis of landscape structure using the GRASS geographical information system. **Landscape Ecology**. v. 7. p. 291-302, 1992.

BRASIL. Ministério da Saúde. DATASUS. **População Residente - São Paulo**. Brasília, DF, [2016?]. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?ibge/cnv/popsp.def>>. Acesso em: 22 ago. 2016.

Eastman, J.R. **IDRISI 32 for Windows: guide to GIS and image processing**. Massachusetts: Clark University, 1999. 2v.

Brannstrom, C; Jepson, W.; Filippi, A. M.; Redo, D.; Xu, S.; Ganesh, S. Land change in the Brazilian Savanna (Cerrado), 1986-2002: Comparative analysis and implications for land-use policy. **In: Land Use Policy**. v.25. p. 579-595, 2008.

Dae Bauru, 2014. Disponível em: <[http://www.daebauru.com.br/2014/empresa/rio\\_batalha.php?imprime=1](http://www.daebauru.com.br/2014/empresa/rio_batalha.php?imprime=1)>. Acesso em: 20 de abril de 2016.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades. **IBGE**, 2016. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=350600>> Acesso em: 23/04/2016.

Mendonça, M. J. O Crédito Imobiliário no Brasil e sua Relação com a Política Monetária. **Revista Brasileira de Educação**, Rio de Janeiro, v. 67, n.4, p.457-495, Out-Dez 2013.

Sartori, A. A. C.; Polonio, V. D. P.; Argentin, R. N.; Zimback, C. R. L. Modelagem da dinâmica do uso e ocupação do solo (1985-2011) na sub-bacia hidrográfica do Rio Novo-SP: Land Change Modeler-LCM. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013.

Secretaria Municipal de Agricultura e Abastecimento (SAGRA) de Bauru-SP. 2016

Silva, D. D.; Pruski, F. F.; Schaefer, C. E. G. R.; Amorim, R. S. S.; Paiva, K.W.N. Efeito da cobertura nas perdas de solo em um argissolo vermelho-amarelo utilizando simulador de chuva. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, SP, v.25, n.2, p.409-419. 2005.

Silva, J. S.; Silva, F. R. O impacto desmatamento das nascentes sub-bacias hidrográficas a percepção dos moradores caso sub-bacia rio Zumbi Jaboatao - PE. **Ebah**, c2006-2013. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAfvcvsAH/impacto-desmatamento-das-nascentes-sub-bacias-hidrograficas-a-percepcao-dos-moradores-caso-sub-bacia-rio-zumbi-jaboatao-pe#>>. Acesso em: 22 ago. 2016.

Tucci, C. E. M.; Clarke, R. T.; 1998. Environmental Issues in the La Plata Basin. **Water Resources Development**. v.14, n.2, p.157-173.