



A UTILIZAÇÃO DO MIMES – MULTI-SCALE INTEGRATED MODEL OF THE EARTH SYTEMS ECOLOGICAL SERVICES COMO FERRAMENTA IMPORTANTE PARA A VALORAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS.

Sergio GOMES TÔSTO; LUÍS ALBERTO AMBRÓSIO; ADEMAR RIBEIRO ROMEIRO; MARIA DO CARMO RAMOS FASIABEN; DANIEL CAIXETA ANDRADE;

EMBRAPA

BRASÍLIA - DF - BRASIL

tosto@eco.unicamp.br

PÔSTER

Agropecuária, Meio-Ambiente, e Desenvolvimento Sustentável

A Utilização do MIMES – Multi-scale Integrated □Model of the Earth Sytems Ecological Services como Ferramenta Importante para Valoração de Serviços Ecosystemicos.

Grupo de Pesquisa 6- Agropecuária, Meio-Ambiente, e Desenvolvimento Sustentável

Resumo: O MIMES – **Multi-scale Integrated Model of the Earth Sytems Ecological Services** é o primeiro modelo global a relacionar a dinâmica entre a tecnologia, produção e bem-estar econômico e os bens e serviços ecossistêmicos do sistema dinâmico da Terra, de forma espacializada. É um “meta-modelo” que representa uma síntese de uma simplificação dos diversos modelos globais dinâmicos existentes nas ciências naturais e sociais em um nível intermediário de complexidade.

O objetivo do MIMES é simular o sistema integrado da Terra e avaliar a dinâmica e os valores dos serviços dos ecossistemas. O presente estudo de caso é a modelagem da dinâmica do uso e cobertura das terras na Bacia-Hidrográfica dos Rio Mogi-Guaçu e Pardo em São Paulo. Ele foca a restauração dos serviços ecossistêmicos do controle da erosão. São descritos os estudos da Bacia Hidrográfica e analisado a dinâmica do uso e cobertura das terras, focado nas suas principais forças tais como a legislação ambiental do país e as mudanças nos preços relativos favorecendo uma forte expansão do cultivo da cana-de-açúcar na região. Esta dinâmica tem importante impacto nas taxas de erosão cujas medidas metodológicas são apresentadas com os resultados obtidos. Para simular esta dinâmica foi desenvolvido um modelo seguindo a metodologia do MIMES. O algoritmo desenvolvido modela as mudanças do uso e cobertura das terras baseado principalmente na força das leis ambientais e movimentos dos preços medindo os impactos do processo de erosão. Espera-se que esta dinâmica contribua para a restauração dos serviços ecossistêmicos da Bacia Hidrográfica.

Palavras Chaves: Modelo de mudanças do uso das terras; valoração dos serviços ecossistêmicos; controle da erosão de solos; modelo dinâmico integrado multi-escala.

Abstract: The MIMES – **Multi-scale Integrated Model of the Earth Sytems Ecological Services** is the first global model it relate to dynamic between the technology, output and economic welfare and the property and ecosystem service of the dynamic system of the Land, of form specialited. It is a "goal-model" that represents a synthesis of a simplification of the diverse existing dynamic global models in the social and natural sciences in an intermediate level of complexity. The MIMES objective is going to simulate the system integrated of the Land and evaluate to dynamic and the values of the service of the ecosystems. This paper aims at modeling the land use and land cover dynamics in a watershed in São Paulo State, Brazil. It focuses on the potential restoration of the ecosystem service erosion control. The studied watershed is described and its land use and land cover dynamics analyzed, focusing on its main driving forces such as the legislation enforcement and crop relative price changes favoring a very strong expansion of sugar-cane in the region. This dynamics has important impacts on erosion rates whose measurement methodology is presented along with the results obtained. To simulate this dynamics a model was built following MIMES. The algorithms developed deal with a process of forest recovery, modeling land use/land cover changes pushed mainly by legislation enforcement and price movements and measuring their impacts on the erosion process. It is expected that this dynamics would lead to a restoration of the ecosystem service erosion control.

Keywords: land use change model; ecosystem services valuation; soil erosion control; multi-scale integrated dynamic modeling

1. Introdução

A cobertura vegetal em Bacias-Hidrográficas fornece muitos serviços ecossistêmicos como estoque de água, controle de erosão, bem como aqueles relativos à proteção da biodiversidade e solo. De acordo com a legislação ambiental brasileira, uma Bacia-Hidrográfica deve ser permanentemente protegida com floresta natural em suas áreas mais vulneráveis tais como aquelas ao longo dos rios (floresta ripária) e área com declive muito acentuado (PPA's - Áreas de Preservação Permanente). Nas regiões centrais e sul do país a sua superfície deve ser coberta com 20% de floresta natural como uma reserva legal (RL). Historicamente esta legislação tem sido largamente desrespeitada. Mais recentemente, entretanto, em alguns Estados os governos locais tem tido um grande crescimento na sua capacidade de forçar o cumprimento da lei ajudado pela conscientização da população e pelo medo dos fazendeiros das barreiras que possam ter as commodities agrícolas para exportação. Este é especialmente o caso do Estado de São Paulo onde a Bacia Hidrográfica dos Rios Mogi-Guaçu/ Pardo está localizada. Este trabalho contribui para a modelagem da dinâmica do uso e cobertura das terras desde 1988, as quais têm sido modificadas principalmente pela força das leis ambientais e pelo movimento dos preços que favorecem as produções de cana-de-açúcar.

Foi desenvolvido um modelo seguindo a estrutura do MIMES¹. O algoritmo foi desenvolvido de acordo com o processo de cobertura florestal, modelando as mudanças do uso de cobertura das terras. É esperado que esta dinâmica deva colaborar para a restauração dos serviços ecossistêmicos do controle da erosão, de acordo com cinco tipos de uso e cobertura estudados (agricultura, áreas urbanas, corpos d'água, floresta e pastagem) e calculados suas respectivas perdas de solos potenciais.

1.1 Conceito do MIMES

O MIMES – **Multi-scale Integrated Model of the Earth Systems Ecological Services** é o primeiro modelo global a relacionar a dinâmica entre a tecnologia, produção e bem-estar econômico e os bens e serviços ecossistêmicos do sistema dinâmico da Terra, de forma espacializada. É um “meta-modelo” que representa uma síntese de uma simplificação dos diversos modelos globais dinâmicos existentes nas ciências naturais e sociais em um nível intermediário de complexidade.

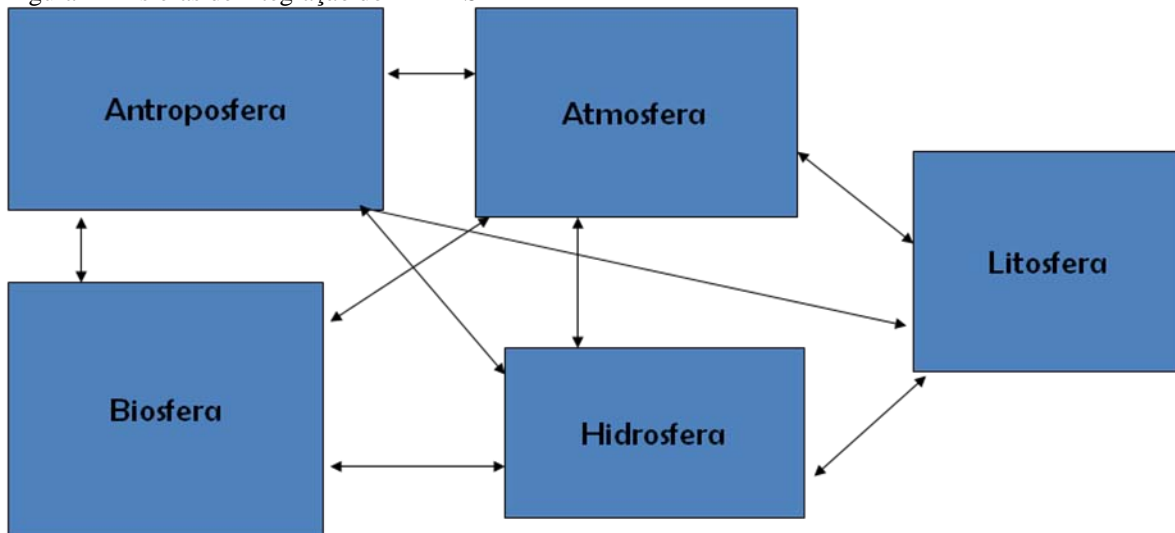
¹ De acordo com seus idealizadores, MIMES (Multi-scale Integrated Models of Ecosystem Services of Earth's Systems) é um conjunto de modelos ecológico-econômico que ajuda no entendimento de ecossistemas complexos. MIMES fornece informações da dinâmica da estrutura ecossistêmica refletindo os serviços ecossistêmicos gerados pelas funções ecossistêmicas. As metas do MIMES são ajudar os pesquisadores realizar diagnósticos mais apurados dos impactos humanos nas atividades tem no meio ambiente e fornecer uma estimativa próxima do real valor dos serviços ecossistêmicos. Neste contexto, MIMES pode ser útil para os tomadores de decisões no gerenciamento ambiental. Para outras informações extras visite <http://www.uvm.edu/giee/mimes/links.html>. A estrutura do MIMES com os sub-modelos podem ser vistos em SourceForge.net (<http://sourceforge.net/projects/mimes/>).

O objetivo do MIMES é simular o sistema integrado da Terra e avaliar a dinâmica e os valores dos serviços dos ecossistemas. A Modelagem Dinâmica do MIMES considera:

- Estruturas e Processos dos Ecossistemas como em plantas e fotossínteses ; usos da terra e erosão;
- b) Funções dos Ecossistemas- A capacidade dos componentes e processos naturais de proverem bens e serviços que satisfaçam as necessidades humanas e
- c) Serviços Ecossistêmicos - Funções para as quais são atribuídos valores. Exemplo: Retenção da erosão. O modelo global é uma base para os modelos regionais e pode ser modificado para atender os problemas regionais.

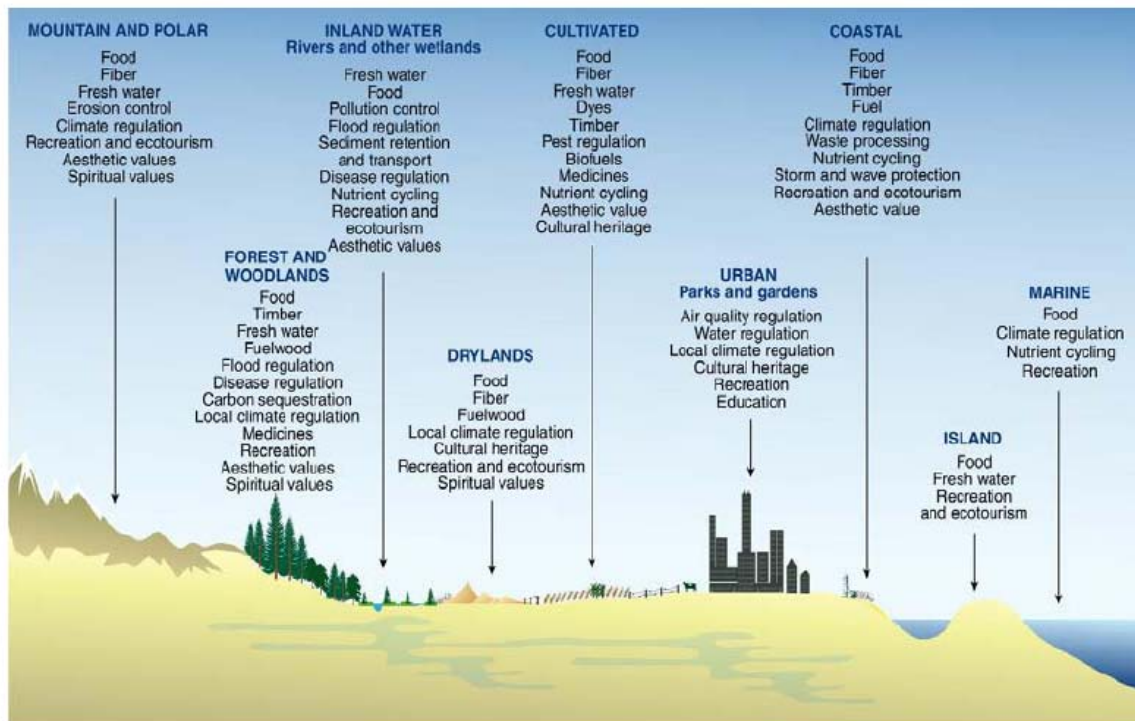
As estruturas e processos estão contidos e organizados hierarquicamente em cinco grandes sub-modelos chamados de “Esferas” de interação: Antroposfera; Atmosfera; Litosfera; Biosfera e hidrosfera representados na Figura 1

Figura 1 – Esferas de integração do MIMES



O MIMES simula a dinâmica dos bens e serviços do ecossistema para cada uma das 11 superfícies da Terra a saber: a) Montanhas e regiões polares; b) Água; c) Florestas e reflorestamento; d) Terras secas; e) Áreas cultivadas; f) Áreas urbanas; g) Regiões costeiras; h) Ilhas e i) Regiões marinhas conforme mostra a Figura 2.

Figura 2 – Ecossistemas de abrangência do MIMES



Fonte: MIMES

Os Sub-modelos se conectam por meio de uma matriz de interação. As Atmosfera, Biosfera, Hidrosfera e Litosfera contêm as estruturas e processos do Capital Natural e a Antroposfera contém as estruturas e processos dos Capital Humano; Capital Social e Capital Físico (Construído).

2. Serviços Ecosistêmicos do Solo

As interações de elemento físico, químico e biológico fornece uma variedade de bens e serviços essenciais ao bem estar humano (Costanza et al., 1997; Daily, 1997; De Groot et al., 2002; Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Naeem et al. 1999). A sua relevância, estas funções de serviços ecossistêmicos não são levados em conta enquanto se analisa e quantifica os impactos de atividades econômicas no meio ambiente. Isto é devido a uma lacuna entendimento das interações ecossistêmica como resultado das funções ecossistêmicas dinâmicas.

Um solo bem conservado possui certa quantidade de propriedades que traduz nos serviços ecossistêmicos muito úteis a produção para produzir: estoque de água, produção de nutriente, controle de pragas e resiliência. De acordo com Costanza et al.,1997 uma importante função ecossistêmica do controle da erosão e retenção de sedimentos é a retenção do solo dentro de um ecossistema, prevenindo perda de solos de diferentes processos de remoção.

O solo é um recurso natural fundamental para a produção agrícola graças a um conjunto de propriedades que permitem que ofereça sustentação às plantas e lhes dê condições necessárias de desenvolvimento.

O solo também tem um papel importante no meio ambiente, onde funciona como integrador ambiental e reator, acumulando energia solar na forma de matéria orgânica, reciclando água, nutrientes e outros elementos e alterando compostos químicos. Desse modo, o solo tem importante função ecológica, influenciando de forma positiva a qualidade ambiental e o funcionamento global da biosfera.

Por causa dessas funções insubstituíveis, no contexto da crescente preocupação ambiental, não se pode mais considerá-lo sem que se leve em conta a preservação ambiental. Assim, a qualidade do solo para a agricultura deve incluir não só as condições necessárias à produção de alimentos e fibras, mas também as de seu funcionamento como interface com o ambiente. Ampliam-se com isso o conceito de solo, que deixa de ser considerado apenas do ponto de vista agrícola, ao qual é acrescentado o papel vital que exerce em processos terrestres fundamentais. O uso adequado do solo deve ser encarado, portanto, sob uma óptica ambiental mais ampla, com o estabelecimento de limites que definam até que ponto a atividade humana pode afetar sua capacidade de funcionar como integrador ambiental.

O manejo inadequado pode resultar em pobreza, má nutrição e desastre econômico. Mesmo nos países com políticas de proteção do solo, não tem sido possível evitar a degradação local e global pelos processos de erosão, acidificação, salinização, perdas de nutrientes, perdas de propriedades de cultivo e de propriedades biológicas a acúmulo de materiais tóxicos (Anjos & Van Raij, 2004).

O solo deve ser usado tendo em vista seus limites, ou capacidade de uso, mesmo considerando que, quando submetido a estresses ambientais, tem a capacidade inerente de resiliência, ou certa elasticidade e poder de recuperação, pois funciona como um tampão ambiental para água, ar, nutrientes e produtos químicos. A avaliação da qualidade do solo deve levar em conta o interesse tanto de produzir como de manter suas funções ecológicas, com a identificação dos limites de atributos que caracterizem, de um lado, as condições desejáveis e, de outro, a ruptura das funções ecológicas ou de produção (Doran & Parkin, 1996).

Define-se erosão como o processo pelo qual partículas do solo são deslocadas e removidas para outros locais pela ação da água ou do vento. Pode ser dividida em erosão laminar e em sulcos ou voçorocas, em função do processo de transporte uniforme e superficial de material do solo, ou concentrando-se em áreas do terreno em que o fluxo subsuperficial de água resulta na remoção em profundidade das camadas de solo.

Os fatores positivos de qualidade de solo, indicativo de resistência à erosão hídrica e que deveriam ser preservados, são as condições que permitem acomodar a entrada de água, facilitar a sua transferência e absorção, resistir à degradação física e sustentar o crescimento das plantas.

Dentre uma variedade de uso agrícola das terras, a produção de cana-de-açúcar naturalmente protege mais os solos do que produção de culturas anuais porque elas são semi-permanente (o solo permanece coberto durante cinco anos) e sua cobertura é muito espessa. É claro que as práticas agrícolas em ambos os tipos de produção pode mudar estes parâmetros: plantio direto e outras práticas de cobertura pode tornar uma produção anual comparativamente favorável a um mal manejo na produção de cana-de-açúcar em termos de perdas de solos. Mas, como uma regra isso pode ser suposto que o aumento da expansão da produção anual da cana-de-açúcar reduz as perdas de solos. O mesmo, entretanto, não pode ser dito em relação as pastagens. Neste caso, para assumir o resultado líquido em termos de erosão da expansão da produção de cana-de-açúcar sobre a superfície de pastagem seria necessário ter informações sobre o manejo da produção de cana e pastagem.

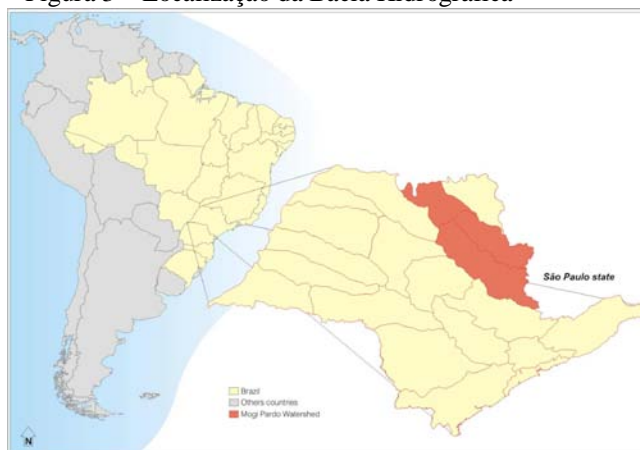
Estando permanente coberta a pastagem tem uma vantagem natural para proteger o solo, mais quando mal manejada sua proteção se reduz bastante permitindo taxa significativa de erosão.

3 –Descrição da Bacia Hidrográfica dos Rios Mogi-Guaçú/Pardo

A Bacia Hidrográfica focada neste estudo, está localizada, na região agrícola mais importante do Estado de São Paulo, é formada por dois rios (Mogi-Guaçú/Pardo), tem uma área de drenagem com cerca de 50.000 Km² (Figura 3), muito dela localizada no Estado de São Paulo (Região Sudeste do Brasil), com 3.000.000 de hectares estendido por 95 municípios. Seu processo colonização ocorreu na metade do século XVIII, quando a produção de café começou a causar sérios desflorestação nesta região. Após 1920, a agricultura (cana-de-açúcar, soja, entre outras) e a pastagem substituiu a produção de café e em 1970, a descentralização industrial e o “Pró-álcool²” intensificou a implementação do agribusiness. Originalmente estes biomas eram savana (cerrado) e floresta de mata atlântica.

Na bacia hidrográfica as florestas nativas tem sido reduzida a fragmentos, com a maior porção de áreas de preservação inseridas em reservas e parques estaduais. Muitos desses fragmentos situados fora dessas áreas de proteção ainda estão sobre pressão de atividades econômicas: a área coberta por florestas de savana (cerrado) de uma importante região da Bacia Hidrográfica Ribeirão Preto foi reduzida em 66% entre 1971-1973 e 1990-1992 (SMA/IF,1993).

Figura 3 – Localização da Bacia Hidrográfica



Fonte: Projeto EcoAgri, 2006

Além de sua diversidade natural a Bacia Hidrográfica, a qual cobre 60% da região nordeste da área do Estado de São Paulo, também apresenta uma importante diversidade socioeconômica, em termos de sistemas agrícolas e topologias dos produtores. Neste

² Após o primeiro choque de petróleo no início dos anos setenta o Governo Brasileiro desenvolveu um plano para substituir a gasolina por álcool produzido a partir da cana-de-açúcar.

sentido, esta área é muito importante como um estudo de caso para uma avaliação ambiental e agrícola que também pode ser representativa de outras regiões do estado economicamente tecnologicamente é a mais avançada região agrícola do país, liderando a lista de produtividades para as principais atividades (cana-de-açúcar, fruticultura e café). Atualmente os municípios da Bacia Hidrográfica gera produto nacional bruto na ordem de US\$25 bilhões de dólares.

Por outro lado os serviços ecossistêmicos fornecidos por esta bacia hidrográfica tais como purificação da água recarga de lençol freático ciclagem de nutrientes regulação do clima, manutenção da biodiversidade e controle da erosão tem sido uma ameaça para as atividades humanas. O passado, processo de desflorestamento acrescido do fato que somente poucos proprietários obedeciam a legislação ambiental causou sérios problemas neste ecossistema. Na Bacia Hidrográfica dos Rios Mogi-Guaçú/Pardo as perdas e restaurações de seus serviços ecossistêmicos (principalmente controle da erosão) depende da dinâmica do uso cobertura do uso da terra e da força da lei.

3.1 Dinâmica do Uso e Cobertura das Terras

A análise da dinâmica e uso e cobertura das terras da Bacia Hidrográfica é baseada em imagens de satélite Landsat tiradas em 1987/1988 e 2002/2003. Esta dinâmica, é caracterizada por uma expansão da cana-de-açúcar sobre outras áreas de produção e pastagem pode ser explicada por duas variáveis: força da lei e preços agrícolas, as outras variáveis desempenham um papel menor neste contexto.

3.1.1 Aspecto Legal

De acordo com a legislação ambiental brasileira, as bacias hidrográficas devem ter três tipos de uso e cobertura da terra: (i) Áreas de Proteção Permanente (APP's) áreas intactas para proteger os serviços ecossistêmicos, determinado pelo IBAMA (Instituto Brasileiro de Meio Ambiente); (ii) Reserva Legal (RL) 20% de cada propriedade deve ter a RL para uso sustentável. Isso não inclui áreas urbanas, corpos d' água e áreas florestadas; e (iii) outras áreas com diferentes tipos de uso todas as quais são supostamente para o uso e conservação dos sistemas produtivos.

Em áreas designadas para serem permanentemente protegidas (APP's) a vegetação natural, deverá ser conservada para fornecer serviços ecossistêmicos, água de boa qualidade, proteção do solo, etc. O artigo 2º da Lei nº 4.771 (Código Florestal de 1965), define e determina o tipo e tamanho das áreas para serem consideradas como proteção permanente.

Historicamente esta legislação tem sido largamente desrespeitada da Bacias Hidrográficas dos Rios Mogi-Guaçú/Pardo poucos fazendeiros obedecem esta legislação. Entretanto, recentemente, o poder da força do Estado de São Paulo tem aumentado, parcialmente devido a consciência ecológica da população e pelo medo dos fazendeiros de barreiras ambientais no comércio das commodities agrícolas. Também o novo programa criado pela Secretaria Estadual do Meio Ambiente para restaurar as matas ripárias tem sido bem recebido. A nível federal uma discussão de política nacional de incentivos econômicos para APP's tem sido conduzido.

Além das APP's, o Código Florestal determina que todo estabelecimento agrícola deve ter uma porção de sua área coberta com floresta natural a qual pode chegar a 80% nas regiões amazônicas, 30 % em áreas de cerrados e 20% na maioria das regiões do País. Desde 2001

os fazendeiros tem 30 anos para restaurar as reservas legais com vegetação natural, plantando a cada três (3) anos 1/10 da área total designada, seguindo um projeto aprovado pelo IBAMA ou pelo Departamento Estadual de Proteção dos Recursos Naturais.

Como uma evidência da nova capacidade de força do Estado de São Paulo, os contratos do mercado de terras são agora incluído informações sobre a restauração de reservas legais. Procedimentos judiciais estão sendo instituídos após a inspeção policial florestal ou ainda após denúncias anônimas sobre desrespeito as leis pelos fazendeiros, forçando-os a fazer acordos judiciais como para restaurar APP's e/ou RL. Em resumo, nos últimos anos a não obediência as leis implica num real risco de crescimento de prejuízos financeiros e ainda o risco de expropriação da propriedade.

3.1.2. Aspectos de Mercado

Nas últimas décadas a agricultura em São Paulo teve um processo de modernização muito rápido puxado pelo agribusiness. A Tabela 1 sumariza esta situação.

Tabela 1: Uso e cobertura das terras na Bacia-hidrográfica dos Rios Mogi Guaçu/Pardo 1987/1988 – 2002/2003

	Área 1988		Área 2002	
	Superfície (ha)	%	Superfície (ha)	%
AGRICULTURA E PASTAGEM	2,418,297	79.39	2,395,867	78.65
Pastagem	751,617	24.67	391,730	12.86
Cana-de-Açúcar	760,921	24.98	1,535,058	50.39
Culturas anuais	529,537	17.38	76,794	2.52
Fruticultura	228,621	7.51	232,393	7.63
Floresta	104,912	3.44	101,123	3.32
Culturas Anuais Irrigadas	16,194	0.53	33,098	1.09
Heveicultura	175	0.01	3,141	0.10
Cafeicultura	26,319	0.86	22,529	0.74
Áreas modificadas/Humanos	59,025	1.94	79,398	2.61
Áreas Urbanas	55,411	1.82	74,352	2.44
Outros	2,971	0.10	4,390	0.14
Área Exploração Mineral	643	0.02	656	0.02
VEGETAÇÃO NATURAL	519,933	17.07	521,636	17.12
Vegetação Ripária	311,858	10.24	318,701	10.46
Vegetação Natural	208,075	6.83	202,935	6.66
Corpos d'água	48,910	1.61	49,264	1.62
Corpos d'água	48,910	1.61	49,264	1.62
TOTAL	3,046,165	100.00	3,046,165	100.00

Fonte: Projeto EcoAgri – 2006

A primeira coisa que se nota é a desconsiderada diminuição da superfície com vegetação natural e água. Tal como as zonas urbanas eles tem apresentado uma importante aumento de superfície mas, com um impacto menor na substituição dinâmica porque a suas pequenas participações na superfície total da Bacia Hidrográfica. A maior mudança, entretanto, diz respeito a substituição dinâmica da produção agrícola: a produção de culturas anuais e pastagens recuaram diante da expansão da cana-de-açúcar. A superfície de pastagem foi reduzida em quase 48% e aquelas de cultivos anuais diminuiu mais do que 85% entre 1987/1988 e 2002/2003. Enquanto isto, a superfície de cana-de-açúcar mais que

dobrou, chegando a cerca de 1.535.058 ha o qual representa 50% da área da Bacia-Hidrográfica. A cultura do café e fruticultura (principalmente a laranja) apresentaram redução e aumento. As áreas irrigadas (pivô central) expandiu para mais de 104%, mas representa uma pequena parte (cerca de 1%) da área total da Bacia Hidrográfica.

A força que explica a forte expansão da produção da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, o qual concentra 62% da produção nacional, é composta por fatores de demanda e oferta. No lado da demanda o mercado de etanol, nacional e internacional, está expandindo rapidamente. No Brasil os carros flex definitivamente contribuíram para diminuir o medo dos consumidores devido aos problemas de estocagem apresentado pelo Pró-álcool. No mercado internacional há uma preocupação sobre as mudanças climáticas combinado com uma sensata estratégica de redução da dependência do petróleo, especialmente do Oriente Médio. Assim, as pesquisas com o etanol, como alternativa tem-se tornado uma das mais promissoras no curto prazo. A exportação de álcool no ano de 2000 foi de 2,7 bilhões de litros e espera-se chegar a um total de sete bilhões de litros até 2010 (Barros, 2005). Do lado da oferta, tem havido um crescimento técnico muito rápido da produtividade no campo, bem como no processamento industrial.

A expansão da cana-de-açúcar tem puxado para cima os preços pela terra. Quartaroli et. al (2006) tem mostra que a expansão da cana-de-açúcar ocorre principalmente sobre a produção de soja, milho, feijão, amendoim, sogro e mandioca. Algumas destas culturas estão entre as mais beneficiadas por pesquisas científicas e suas produtividades tem subido nos últimos 10 anos (Gonçalves et al.; Barros et al., 2002). Porém, como mostrado por Zafalon (2007), elas têm dificuldades em competir com a cana-de-açúcar no Estado de São Paulo.

As mudanças descritas na cobertura e uso do solo tem impactos nos serviços ecossistêmicos da bacia hidrográfica. A expansão da cana-de-açúcar sobre superfície de culturas anuais, por exemplo, reduz a erosão pois culturas semi perenes como a cana-de-açúcar tem uma cobertura melhor e protege mais o solo. Por outro lado, o mesmo efeito dessa expansão sobre a superfície de pastagem é menos evidente que depende do manejo de produção adotado.

3.2 Erosão de solos na Bacia Hidrográfica dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo

O método empregado para medir as perdas de solos na Bacia Hidrográfica dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo foi baseada no método paramétrico da Equação universal de perdas de Solo – USLE – (Wischmeier & Smith, 1978) adaptado para as condições brasileiras (Bertoni & Lombardi Neto, 1985). Este método permite calcular a média potencial das perdas de solos em uma área (uma bacia hidrográfica, sub Bacia hidrográfica ou mesmo a área agrícola de um Município), baseado em séries históricas confiáveis de relevo, chuva (série de 20 anos), tipo de solos e manejo das culturas.

O modelo consiste de um modelo multiplicativo, pelo qual a perda média anual de solo é obtida pelo produto de seis fatores determinantes, de acordo com a equação.

$$A = R * K * LS * C * P$$

sendo:

$$A = \text{perda anual de solo em Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$$

R = fator erosividade da precipitação e da enxurrada, em MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹

K = fator erodibilidade do solo, definido pela intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva, para um solo específico mantido continuamente sem cobertura, mas sofrendo as operações normais, em um declive de 9% e comprimento de rampa de 25m, em Mg.h⁻¹.MJ.mm⁻¹.

L = fator comprimento de rampa, definido pela relação de perdas de solo entre uma encosta com um comprimento qualquer e uma encosta com 25m de comprimento, para o mesmo solo e grau de inclinação, adimensional;

S = fator grau de declividade, definido pela reação de perdas de solo entre um terreno com uma declividade qualquer e um terreno com declividade de 9%, para o mesmo solo e comprimento de rampa, adimensional;

O fator topográfico **LS**, reúne os fatores declividade e comprimento de rampa, sendo calculado através da equação desenvolvida por BERTONI e LOMBARDI NETO (1992):

$$LS = 0,00984 * L^{0,63} * S^{1,18}$$

C = fator de cobertura e manejo da cultura, definido pela relação de perdas de solo entre um terreno cultivado e dadas condições e um terreno mantido continuamente descoberto, em condições semelhantes àquelas em que o fator K é avaliado, adimensional.

P = fator relacionado à prática de controle de erosão, definido pela relação de perdas de solo entre um terreno cultivado com determinada prática e as perdas quando se planta morro abaixo, adimensional.

A Tabela 2 mostra as taxas de erosão na Bacia Hidrográfica dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo estimada por este método das principais culturas, pastagens e floresta.

Tabela 2 – Potencial Média de Perdas de solos na Bacia-Hidrográfica dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo para o ano de 2002

Use	Perdas de solos (ton.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Perdas de solos (ton.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)
	(sem terraceamento)	(com terraceamento)
Café	54.10	5.85
Culturas anuais	26.70	17.86
Cana-de-Açúcar	26.60	9.84
Fruticultura	15.20	3.05
Floresta	13.60	3.53
Pastagem	10.50	9.03
Floresta	0.58	0.58
heveicultura	6.25	4.91
Floresta Ripária	0.35	0.35

Fonte: Projeto EcoAgri - 2006

A produção de café foi responsável pela maior perda de solos representando uma perda de 54.1 t.ha⁻¹.ano⁻¹ seguido de culturas anuais, cana-de-açúcar e fruticultura. Entretanto, sobre terraceamento, este cenário muda radicalmente, nas quais o café e culturas anuais mudam

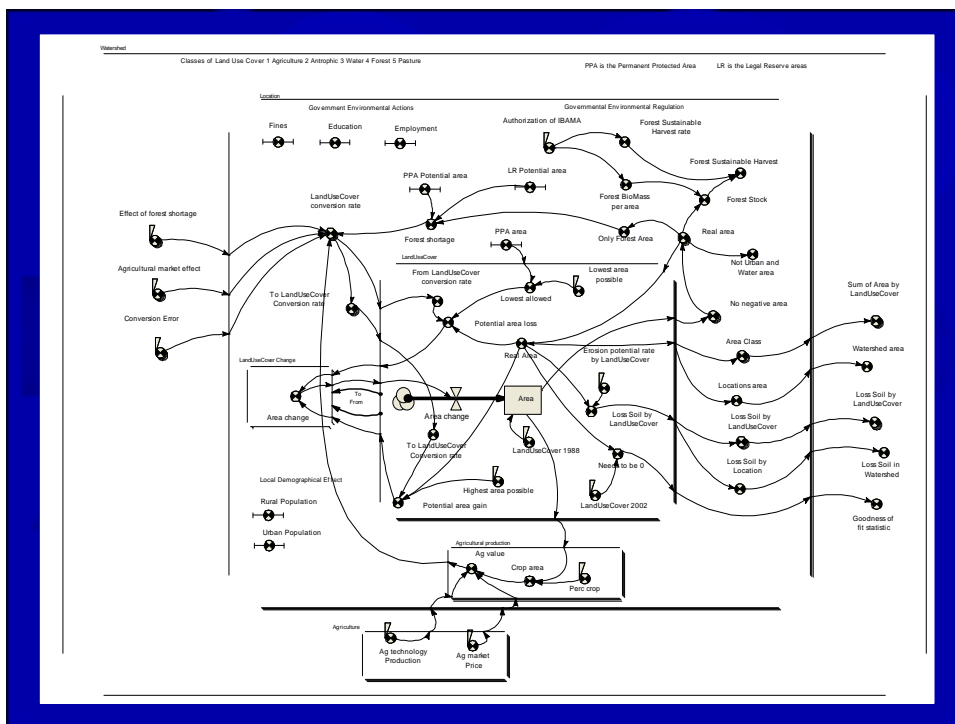
de posição, e as culturas anuais tornam-se as principais culturas que mais causam perdas de solo. Quando produzido em sistema de produção conservacionista, a produção de cana-de-açúcar é uma das atividades que menos causam problemas de erosão na Bacia-Hidrográfica.

4. Modelagem da Restauração dos Serviços Ecológicos: Descrição Conceitual

O modelo construído simula a dinâmica do uso e cobertura das terras na Bacia Hidrográfica dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo, sob as forças das leis ambientais. Isto significa que o algoritmo desenvolvido está de acordo com um processo de recobertura vegetal, modelando as mudanças do uso e cobertura das terras que serão resultados das forças das leis que existem e a medida de seu impacto nos serviços ecossistêmicos (controle da erosão do solo).

O modelo tem cinco tipos de uso e cobertura (agricultura, expansão de áreas urbanas, corpos d'água, floresta e pastagem) sendo calculado seus respectivos potencial de perdas de solos. Implementado no SIMILE³, isto é, estruturado em sub-modelos e rodado com um ano de diferença. A Figura 4 mostra o diagrama do modelo.

Figura 4 – Diagrama do modelo



O sub modelo “Uso e cobertura das terras” contém cinco (um para cada tipo de uso e cobertura); a variável de estado “Área” que indica a extensão em ha de acordo com seus diferentes usos e cobertura para cada período de tempo, começando em 1988 (Uso e cobertura das terras). O fluxo “ Mudança de área” determina a mudança de “área”

³ Simulistics – Ltd (4.8 Version). As equações completas e outros arquivos podem ser encontrados em <http://mimes.svn.sourceforge.net/viewvc/mimes/branches/brazil>.

resultante da dinâmica de substituição do uso e cobertura das terras. As taxas de substituição de áreas são reguladas por duas variáveis totalizadoras (“potencial de perda de área” e “potencial de área ganha”) e as dinâmicas de interações são modeladas associando o sub-modelo “Uso e cobertura das terras.

As variáveis “potencial de área perdida” e “Potencial de área ganha” são influenciadas pela variável “Taxa de conversão do uso e cobertura das terras” a qual é dependente dos parâmetros fixos exógenos do sub-modelo “Agricultura” (“Tecnologia de produção agrícola”), “População urbana”) e ações do Governo (emprego, educação, etc...). Na simulação do modelo os parâmetros fixos “Área potencial de APP”, “Área potencial de Reserva Legal” e “Área de Preservação Permanente” define o uso legal das terras obrigatórias (Áreas de reserva Legal e Áreas de Proteção Permanente que são áreas protegidas pela legislação).

A área total da Bacia-hidrográfica dos Rios Mogi Guaçu/Pardo foi dividida em 7.826 células (locations) com uma área de 400 ha. Estas locações são diferenciadas de acordo com a proporção de uso e cobertura e seus respectivos parâmetros fixos “Taxa de Erosão Potencial de uso e cobertura das terras”. As rotinas descritas acima são simuladas para cada unidade de área no que diz respeito a totalidade das variáveis gerais que calculam o potencial de perdas de solos para cada tipo de uso e cobertura e para a totalidade da Bacia hidrográfica.

O modelo também contém variáveis de controle como para limitar o tamanho das locações e variáveis auxiliares que nos ajuda a calibra os valores da simulação com os dados reais de 2002. Após a calibração, o modelo pode ser usado como referência para estabelecer cenários com a legislação ambiental comparando com cenários sem a aplicação das leis ambientais. As informações que foram utilizadas no modelo inclui dados georreferenciados em SIG (Sistema de Informação Geográfica) (mapas de uso e cobertura das terras), séries temporais (renda, população rural e urbana) e outras variáveis estimadas como taxa de erosão de solo e perda de solo.

5. Discussão e Conclusões

A estrutura do MIMES mostra que o potencial de modelagem de serviços ecossistêmico integrando sub-modelos dinâmico multi-escalar. Ele permite a extração das interações entre serviços ecossistêmicos/funções e bem estar- humano, ajudando globalmente aos tomadores de decisões estimar e entender o real valor dos serviços ecossistêmicos. Também proporciona uma modelagem regional flexível suficiente para descrever estruturas e processos específicos de cada região.

Neste caso o estudo/modelagem do diagrama regional demonstra claramente o complexo relacionamento entre sub-modelos e entre variáveis de estado, variáveis auxiliares e parâmetros fixados. As classes de superfície usado no MIMES inclui todas as superfícies relevantes dentro de estudo de Bacia-Hidrográfica. Entretanto, para responder a demandas regionais, estas superfícies podem ser desagregadas em sub-classes (dependendo da disponibilidade de dados), como gerar informações mais detalhadas. Por exemplo nós percebemos que a classe agricultura podia ser dividida em culturas anuais, café, culturas irrigadas, floresta, heveicultura e cana-de-açúcar e então modelar para simular mudanças entre diferentes tipos de produção e seus impactos individuais no controle da erosão do solo, assim como a classe “Floresta”, medindo o impacto dos serviços ecossistêmicos por

diferentes tipos de florestas tais como: primária, secundária, floresta ripária e savana (cerrado), etc.

Este modelo apresenta um algoritmo o que torna possível simular a dinâmica da substituição do uso e cobertura das terras numa escala global. Isso pode ser conectado para outros modelos como para extrair eficientemente o relacionamento entre uso das terras e outras variáveis de estado da Antroposfera, Hidrosfera, Litosfera, Biosfera e Atmosfera incluídos no MIMES. O modelo construído foi apresentado na II Conferência Sobre Serviços Ecossistêmicos: Modelagem Dinâmica de Serviços Ecossistêmicos para Promover Conservação, realizado na Universidade de Vermont, em julho de 2007. Este modelo agora está pronto para ser calibrado e validado.

MIMES fornece informação econômica e biofísica que são essenciais para valoração de serviços ecossistêmicos sendo uma poderosa ferramenta para desenvolvimento para Pagamento de Serviços Ecossistêmicos (PSE). Nesse particular estudo de caso, o planejamento de PSE pode ajudar a forçar as mudanças no uso e cobertura das terras na Bacia Hidrográfica dos Rios Mogi-Guaçu/Pardo. Alguns princípios recomendados pela Declaração de Heredia (DH) em PSE⁴ pode ser reconhecido e/ou identificado neste estudo de caso. Segue as possibilidades de implementação da Declaração de Heredia em estudos em Bacias Hidrográficas: i) **medida** – este modelo é uma pequena contribuição para desenvolver/melhorar os métodos de medidas e valoração dos serviços ecossistêmicos; ii) **facilidade** – este modelo permite facilmente incluir uma lista enorme de serviços ecossistêmicos relacionados a dinâmica do uso e cobertura das terras. Ele também pode ser integrado a outros modelos como modelos de hidrologia; iii) **participação na implementação de políticas públicas** – A política ambiental do Estado de São Paulo criou instituições de coordenação e participação integradas como: Coordenação estadual dos Recursos Hídricos e Comitês de Bacias Hidrográficas. Também a sociedade civil tem tido um papel importante forçando o cumprimento da legislação e conservação dos serviços ecossistêmicos. Programas ambientais como o de restauração de florestas ripárias é desenvolvido em acordo com o Governo Federal.

Finalmente, a estrutura do MIMES, incluindo este modelo foi apresentado e discutido na Câmara Técnica do Comitê de Bacias Hidrográfica e seu potencial foi reconhecido como uma ferramenta capaz de ajudar no entendimento das interações dinâmicas em Bacias Hidrográficas e uma variedade de projetos de uso sustentável na região.

6.Referências Bibliográficas

⁴ Estabelecimento de um consenso em mecanismo para implementação PSE em nível global, regional e local, assinado por pesquisadores internacionais e locais que participaram de um Encontro Científico na Costa Rica em Março de 2007, financiado pelo Blue Moon Funds.

- Anjos, L.H.C dos, Van Raij, B. Indicadores de processos de degradação de solos. In: Romeiro, A.R. (ed), Avaliação e contabilização de impactos ambientais. Campinas.SP: Editora da Unicamp, São Paulo, SP: Imprensa Oficial do estado de São Paulo, 2004.
- Barros, C.J., O lado azedo da cana. *Repórter Brasil – Agência de notícias*. Available in: <<http://www.reporterbrasil.com.br/exibe.php?id=517>>2005.. Access in: 13 april 2007.
- Barros, J.R.M., Rizzieri, J.A.B., Picchetti, P. Effects of agricultural research on the consumer. In: Barbosa, M.T.L., Impacts of agricultural sector technological change on brazilian economy. Brasília: *Embrapa Informação Tecnológica*, 117-176. 2002.
- Bastos Filho, G., Contabilizando a erosão do solo: *Um ajuste ambiental para o produto bruto agropecuário paulista*. ESALQ. Piracicaba. 127p. Tese Mestrado. 1995.
- Bertoni, J., Lombardi Neto, F., *Conservação do solo*. São Paulo: Livroceres, 392p. 1985.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R., Paruelo, J., Raskin, R., Sutton, P., van den Belt, M., The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387 (15), 253-260. 1997.
- Daily, G.C., Introduction: What are ecosystem services? Pp. 1-10 in G.C. Daily (ed.) *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington, D.C.: Island Press.1997.
- De Groot, R.S., Wilson, M.A., Boumans, R.M.J., A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41:393-408. 2002
- Doran, J.W. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: Doran, J.W., Jones, A.J (ed.),. Methods for assessing soil quality. Madison: *Soil Science Society of America*, 25-37. 1996.

Projeto EcoAgri,. Diagnóstico ambiental da agricultura no Estado de São Paulo: *bases para um desenvolvimento rural sustentável*. Available in: <http://www.cnpm.embrapa.br/projetos/bacia_rio_pardo/95municipios.htm>.

2006Access in: 10 June 2007.

Gonçalves, J.S, Souza, S.A.M., Ângelo, J.A., Coelho, P.S. Agropecuária paulista: transformações do período de 1969-1971 a 2002-2004. In: Cano, W., Brandão, C.S., Maciel, C.S., Macedo, F.C. (Org), 2007. Economia paulista: dinâmica socioeconômica entre 1980 e 2005. Campinas, SP: Editora Alínea.

IEA – Instituto de Economia Agrícola (São Paulo, SP). Economia agrícola paulista: características e potencialidades. *Informações Econômicas*. São Paulo, v.21, p.1-201., Suplemento. 1991.

Millennium Ecosystem Assessment,. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC. 2005.

Naeem, S., Chapin III, F.S., Costanza, R., Ehrlich, P.R., Golley, F.B., Hooper, D.U., Lawton, J.H., O'Neill, R.V., Mooney, H.A., Sala, O.E., Symstad, A.J., Tilman, D.. Biodiversity and ecosystem functioning: Maintaining natural life support processes. Issues in Ecology No. 4. Washington, D.C.: *Ecological Society of America*. 1999.

Quartaroli, C.F., Criscuolo, C., Hott, M.C., Guimarães, M., Alterações no uso e cobertura do solo no nordeste do estado de São Paulo no período 1988 a 2003. *Embrapa Monitoramento por Satélite*. Documento 55. 2006.

Resende, M., Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. *Informe Agropecuário*, v.11, n°128, 3-18. Belo Horizonte. 1985.

SMA/IF, Secretaria de Estado do Meio Ambiente/Instituto Florestal. *Inventário Florestal do Estado de São Paulo*. IF, São Paulo, 198p. 1993.

Símile 4.8 Version. User Guide. System Dynamic and object-based modelling and simulation software.

Souza, J.A. de; Bahia, V.G. Seleção de práticas conservacionistas baseadas em critérios pedológicos. In: Lacerda, V.L.A., Conservação de solos. Informe Agropecuário, vol. 19, nº 191, 20-27. Belo Horizonte. 1998.

Wischmeier, W.H., Smith, D.D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to a conservation planning. Washington: Department of Agriculture, USDA, 58p. (Agriculture Handbook, 537). 1978.

Zafalon, M., Boom do álcool dobra valor de terra e usina. Folha de São Paulo (18/03/2007). Available in: <http://www1.folha.uol.com.br/folha/dinheiro/ult91u115297.shtml>>.2007. Access in: 13 april 2007.