



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - IG**

**MONITORAMENTO DA SUSTENTABILIDADE
AGROAMBIENTAL DO TERRITÓRIO: UM MODELO BASEADO
NO VALOR GEOGRÁFICO DOS SERVIÇOS AGROAMBIENTAIS**

MARISA PRADO

TESE DE DOUTORADO 012

**Brasília - DF
Abril de 2013**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - IG**

**MONITORAMENTO DA SUSTENTABILIDADE
AGROAMBIENTAL DO TERRITÓRIO: UM MODELO BASEADO
NO VALOR GEOGRÁFICO DOS SERVIÇOS AGROAMBIENTAIS**

MARISA PRADO

Tese de doutorado submetida ao Instituto de Geociências, Departamento de Geologia Geral e Aplicada da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutora em Geociências Aplicadas.

Banca Examinadora:

Dr. Edson Eyji Sano

Orientador

Dra. Adriana Chatack Carmelo

Membro Interno

Dr. Henrique Llacer Roig

Membro Interno

Dra. Adriana Reatto

Embrapa Cerrados - Membro Externo

Dr. Jurandir Zullo Junior

UNICAMP - Membro Externo

**Brasília - DF
Abril de 2013**

FICHA CATALOGRÁFICA

Prado, Marisa

Monitoramento da sustentabilidade agroambiental do território: um modelo baseado no valor geográfico dos serviços agroambientais. / Marisa Prado; orientação de Edson Eyji Sano. Brasília, 2013

87p.

Tese de Doutorado (D) – Universidade de Brasília / Instituto de Geociências, 2013

1. Serviços ambientais; 2. Serviços Ecosistêmicos; 3. Valor geográfico dos serviços ambientais, 4. Agronegócio; 5. Zoneamento; 6. Gestão territorial; 7. Modelo Sinaleiro do Território; 8. Projeto GeoCerrado.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Prado, Marisa. Monitoramento da sustentabilidade agroambiental do território: um modelo baseado no valor geográfico dos serviços agroambientais. Brasília, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 2013, 87p. Tese de Doutorado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Marisa Prado

TÍTULO DA TESE DE DOUTORADO: Monitoramento da sustentabilidade agroambiental do território: um modelo baseado no valor geográfico dos serviços agroambientais.

GRAU: Doutor

ANO: 2013

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. Esse direito poderá ocorrer somente após a publicação dos artigos contidos no documento. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Marisa Prado

055.136.316-95

marisa.prado@embrapa.br

*Dedico este trabalho à
Maria José do Prado Gomes, minha mãe,
por ter cuidado de mim, do Leo e do nosso João Vítor
para a realização dessa conquista.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu esposo Leonardo, pelo amor, pela compreensão e por me incentivar a seguir em frente sempre. O seu apoio foi fundamental. Ao meu filho João Vítor, pela paciência em esperar e superar os momentos de ausência da mamãe e por sempre colorir meu dia a dia com um sorriso de inocência e alegria. À minha mãe, eu dedico esta tese.

À minha família, que sempre esteve ao meu lado me incentivando e me amparando. Agradeço em especial à minha irmã Dri, o seu carinho e a sua força não me deixaram desanimar. Aos meus queridos sogros Maria Jovem e Zilmar pela dedicação e amor. Aos meus amados dindinhos Maria Lúcia e Humberto, pelas constantes vibrações de amor e força. Um agradecimento especial ao meu pai e ao meu irmão, que tiveram que partir durante essa jornada, mas sei que estão sempre por perto torcendo pelo meu crescimento.

Ao meu orientador e amigo, Dr. Edson Eyji Sano, pela orientação do trabalho, pelos conhecimentos e sabedoria compartilhados e pelo carinho e amizade de sempre.

À coordenadora do projeto GeoCerrado, Dra. Adriana Reatto, pela oportunidade de trabalho junto ao projeto, pelos conhecimentos compartilhados na área de serviços ambientais e por me incentivar e apoiar em cada momento desse trabalho.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, pela oportunidade e apoio para o desenvolvimento desse trabalho de pesquisa. Ao Instituto de Geociências - IG da Universidade de Brasília – UnB, pela oportunidade de estudo e formação rumo à obtenção do título de Doutora em Geociências Aplicadas.

Agradeço a todos que sonharam comigo e incentivaram a realização dessa conquista. Agradeço também as interferências negativas que surgiram, as quais contribuíram para o meu aprendizado e promoveram saltos na elaboração da pesquisa.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: Apresentação, caracterização do problema e hipótese, objetivos e estrutura da tese.

| | |
|---|----|
| 1.1. Apresentação | 13 |
| 1.2 Caracterização do problema e hipótese | 16 |
| 1.3 Objetivos..... | 17 |
| 1.3.1 Objetivo geral..... | 17 |
| 1.3.2 Objetivos específicos | 17 |
| 1.4 Estrutura da tese..... | 17 |
| 1.5 Referências bibliográficas | 18 |

CAPÍTULO 2: Geographic value of environmental services: a strategic approach for planning and decision-making activities

| | |
|---|----|
| 2.1 Introduction | 21 |
| 2.2 Geographic context: a key issue for ecosystem services evaluation and valuation.. | 24 |
| 2.3 The Geographic Value of Environmental Services | 25 |
| 2.4 Geographic Value of Environmental Services and GIS technologies..... | 27 |
| 2.5 Conclusions | 30 |
| 2.6 References | 31 |

CAPÍTULO 3: Land sustainability vision: a unifying framework for agroenvironmental land management in Brazil

| | |
|--|----|
| 3.1 Introduction | 35 |
| 3.2 Land Sustainability Vision (LSV): the overall approach | 40 |
| 3.2.1 Defining sustainable agroenvironmental areas and their agroenvironmental services..... | 41 |
| 3.2.2 Agroenvironmental performance assessment | 44 |
| 3.3 Land Sustainability Vision (LSV): conceptual framework design..... | 47 |
| 3.4 Conclusions | 50 |
| 3.5 References | 50 |

CAPÍTULO 4: Mapeamento do desempenho agroambiental do território a partir do valor geográfico dos serviços agroambientais: uma aplicação no Estado de Goiás e Distrito Federal

| | |
|---|----|
| 4.1 Introdução..... | 58 |
| 4.2 O valor geográfico dos serviços agroambientais e a sustentabilidade agroambiental do território | 60 |
| 4.3 Materiais e métodos..... | 62 |
| 4.3.1 Definição de indicadores para o nível territorial..... | 62 |
| 4.3.2 Espacialização dos indicadores no espaço celular | 63 |
| 4.3.3 Cálculo do valor geográfico dos serviços agroambientais..... | 67 |
| 4.4 Resultados e discussão | 68 |
| 4.4.1 Análise do comportamento dos componentes ambientais e agrosócioeconômicos..... | 68 |
| 4.4.2 Análise do desempenho agroambiental..... | 72 |
| 4.5 Conclusões..... | 75 |
| 4.6 Referências | 76 |

CAPÍTULO 5: Considerações finais.....

| | |
|---|-----------|
| ANEXO: Levantamento das bases de dados e dos sistemas de monitoramento nacionais para subsidiar a construção de indicadores de serviços agroambientais | 81 |
|---|-----------|

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 2.1. Some contributions associated with the Geographic Value of Environmental Services for planning and decision-making activities focused on sustainable land management practices..... | 29 |
| Tabela 3.1. Main environmental services related to agriculture management practices in increasing ecosystem services. | 42 |
| Tabela 3.2. Main environmental services related to crop/livestock/forest integration management practices in increasing ecosystem services. | 42 |
| Tabela 4.1. Tabela de indicadores adotados nesse trabalho para o nível territorial. | 64 |
| Tabela 4.2. Operadores utilizados para cada variável selecionada para o modelo no nível territorial..... | 65 |
| Tabela 4.3. Valores das notas de desempenho das variáveis indicadoras e do VGSAg para as células selecionadas no Estado de Goiás e Distrito Federal..... | 74 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura. 2.1. Geographic value of environmental services concept..... | 27 |
| Figura. 3.1. Targeting sustainable agroenvironmental development.. | 41 |
| Figura. 3.2. Agroenvironmental areas and their agroenvironmental services benefits. | 43 |
| Figura. 3.3. Agroenvironmental performance assessment and monitoring steps..... | 45 |
| Figura. 3.4. Land sustainability vision: conceptual framework design..... | 48 |
| Figura 4.1. Benefícios típicos de uma área agroambiental sustentável..... | 61 |
| Figura 4.2. (a) Localização da área de estudo e a divisão em células de 50 km x 50 km, (b) Contextualização da área de estudo.... | 66 |
| Figura 4.3. Comportamento espacial dos componentes ambientais: (a) queimadas, (b) desmatamentos, (c) remanescentes, (d) agrotóxicos, (e) pivôs no Estado de Goiás e do Distrito Federal..... | 70 |
| Figura 4.4. Comportamento espacial dos componentes agrosócioeconômicos: (a) produção, (b) PIB agropecuário e (c) IDH no Estado de Goiás e Distrito Federal.. | 71 |
| Figura 4.5. Desempenho agroambiental do Estado de Goiás e do Distrito Federal a partir do Valor Geográfico dos Serviços Agrombientais (período 2002-2006)..... | 72 |
| Figura 4.6. Assinatura do desempenho agroambiental do Estado de Goiás e Distrito Federal para seis células de (50 km x 50 km), considerando as variáveis indicadoras do Modelo Sinaleiro do Território: A) pivôs; B) agrotóxicos; C) queimadas; D) desmatamentos; E) % de remanescentes; F) produção agropecuária; G) PIB agropecuário; e H) IDH..... | 74 |

RESUMO

O desenvolvimento sustentável tornou-se um novo paradigma socioeconômico e ambiental para os diversos setores de produção, incluindo o setor agropecuário. A busca do equilíbrio entre produção e meio ambiente tem sido cada vez maior no âmbito do agronegócio brasileiro. Portanto, as novas abordagens metodológicas devem incluir inovações tecnológicas que auxiliem na busca desse ponto de equilíbrio. Nesse contexto, da necessidade de incentivar práticas sustentáveis de produção nas diversas regiões e escalas de planejamento, bem como, de avaliar a qualidade socioeconômica e ambiental das áreas agroambientais do país, o conceito de serviços ambientais e os programas de pagamento por serviço ambiental (PSA) vêm sendo amplamente discutidos como uma referência e uma oportunidade para avaliar e incentivar políticas e práticas de gestão no âmbito do desenvolvimento agrícola sustentável. Os serviços ambientais operam para manter os serviços ecossistêmicos, mediante incentivos de pagamento ou compensação financeira. Assim, os sistemas agrícolas já reconhecidos como provedores de alimentos, fibras e energia, passam a agregar outras funções relativas à manutenção da qualidade ambiental, tais como, a conservação do solo, da água e da biodiversidade. Embora, no Brasil, o PSA seja uma política de gestão recente, sua aplicação é uma realidade crescente. Atualmente, encontra-se em discussão, no Congresso Nacional, um projeto de lei para instituir a Política Nacional dos Serviços Ambientais e o Programa Federal de Pagamento por Serviços Ambientais. Existe uma demanda crescente por mecanismos capazes de orientar o estabelecimento de programas de PSA no Brasil. O mapeamento da prestação de serviços ambientais pode prover informações valiosas acerca do estado-da-arte da sustentabilidade agroambiental do território, tanto em nível regional quanto de propriedade rural. É nesse contexto que esse trabalho de tese, desenvolvido no âmbito do projeto GeoCerrado da Embrapa Cerrados, se insere. O trabalho propõe o conceito do valor geográfico dos serviços ambientais e o conceito do valor geográfico dos serviços agroambientais, como uma abordagem estratégica para atividades de planejamento e tomada de decisão no âmbito da gestão territorial. Enquanto o valor econômico de um serviço ambiental retrata a contribuição desse serviço ao bem-estar social, o valor geográfico dos serviços ambientais retrata a contribuição de uma dada área do território para o equilíbrio ambiental. Da mesma forma, o valor geográfico dos serviços agroambientais retrata a

contribuição de uma dada área para o equilíbrio agroambiental do território. A partir dessa abordagem, foi construído o modelo conceitual do projeto denominado de Modelo Sinaleiro do Território (ou, *Land Sustainability Vision* em inglês). Esse modelo deverá orientar o processo de mapeamento e monitoramento do potencial de prestação serviços agroambientais (boas práticas de manejo) das áreas agroambientais, gerando alertas periódicos que indicarão áreas que estão e que não estão contribuindo para o equilíbrio agroambiental do território. Foi realizada uma primeira aplicação do Modelo Sinaleiro do Território no mapeamento do desempenho agroambiental do Estado de Goiás e Distrito Federal. A expectativa é que essa nova abordagem e o modelo proposto permitam a identificação de cada porção do território como uma impressão digital espaço-temporal que será monitorada pelos órgãos tomadores de decisão para orientar políticas públicas em diferentes esferas governamentais e não governamentais.

Palavras-chave: serviços ambientais, serviços ecossistêmicos, valor geográfico dos serviços ambientais, agronegócio, zoneamento, gestão territorial, Modelo Sinaleiro do Território, Projeto GeoCerrado.

ABSTRACT

Sustainable development became a new environmental and socioeconomic paradigm for several sectors of production. The seek for the balance between production and the environment has increased in the Brazilian agribusiness. Therefore, new methodological approaches should include technological innovations that aid to find this "point" of equilibrium. In this context, the need to encourage sustainable practices of production in different regions and scales of planning and to evaluate the environmental and socioeconomic qualities of agroenvironmental areas of the country has been widely discussed, along with the concept of ecosystem services and programs of payment for environmental service (PES). Environmental services operate to maintain ecosystemic services upon incentives of payment or compensation. Thus, agricultural systems already recognized as providers of food, fiber and energy, start to add other functions related to the maintenance of environmental quality, such as conservation of soil, water and biodiversity. While in Brazil, the PES is a recent management policy, its implementation is a growing reality. Currently, it is under discussion in the Brazilian Congress, a project of law to establish the National Program of Environmental Services and the Federal Payment for Environmental Services. There is a growing demand for mechanisms to guide the establishment of PES programs in Brazil. The mapping of environmental services can provide valuable information about the state-of-the-art of agroenvironmental sustainability of the territory, both at regional and rural property levels. It is in this context that this Ph.D. dissertation, developed under the project titled GeoCerrado from Embrapa Cerrados, is inserted. The study proposes the concept of geographical value of environmental services and the concept of geographic value of agroenvironmental services as a key approach for activities of planning and decision-making proposals within the scope of territorial management. While the economic value of environmental services portrays the contribution of this service to social welfare, the geographic value of environmental services portrays the contribution of a given area of the territory for environment balance. On the same way, the geographic value of agroenvironmental services portrays the contribution of a given territorial area for the agroenvironmental sustainability. From this concept, we propose a conceptual model called Land Sustainability Vision. This model should guide the process of mapping and monitoring the potential of provision of environmental services (best management

practices) of agroenvironmental areas, generating periodic warnings that indicate areas that are and are not contributing to the agroenvironmental balance of territory. A first application of mapping the agroenvironmental performance was conducted for the Goiás State and Federal District. The expectation is that this new approach and the proposed model enable the identification of each portion of the territory as a space-time fingerprint which will be monitored by the decision makers to guide public policies in different spheres of government and nongovernmental organizations.

Key-words: environmental services, ecosystem services, geographic value of environmental services, agribusiness, zoning, spatial planning, Land Sustainability Vision model, GeoCerrado Project.

CAPÍTULO 1

Apresentação, caracterização do problema e hipótese, objetivos e estrutura da tese.

1.1. Apresentação

O termo sustentabilidade tem estado presente no vocabulário e discurso “politicamente correto” do governo, empresas, meios de comunicação e organizações da sociedade civil, desde que foi delineado na Conferência de Estocolmo em 1972 e consolidado na Conferência Rio-92. No meio acadêmico, têm sido constantes os esforços de pesquisa com foco no planejamento ambiental e ordenamento territorial para buscar alternativas que possibilitem conciliar os interesses de uso com os de proteção dos recursos naturais. O desenvolvimento sustentável tornou-se um novo paradigma socioeconômico e ambiental global para os diversos setores do desenvolvimento.

É nesse contexto que o setor agropecuário brasileiro tem sido fortemente pressionado na questão da sustentabilidade. De um lado, tem-se a pressão para produzir alimentos para garantir a segurança alimentar da nação (Godfray et al., 2010), de outro, existe a pressão para reduzir os impactos nos serviços ecossistêmicos que suportam o bem estar humano (MEA, 2005). Essa temática ganhou ainda mais importância dada a forte pressão vinda de questões como a segurança alimentar, mudanças climáticas globais e barreiras não tarifárias.

Atualmente, o desafio do agronegócio brasileiro é muito maior que dominar uma área a partir de uma tecnologia e torná-la produtiva para uma determinada finalidade e intervalo de tempo. É preciso considerar que a capacidade de uma determinada área de suportar e regular as práticas agrícolas e fornecer recursos naturais deve ser mantida em equilíbrio ao longo do tempo. Essa é a essência do conceito de sustentabilidade. E, para isso, novas abordagens metodológicas devem trabalhar para que as inovações tecnológicas operem nesse ponto de equilíbrio entre os vetores, até então concorrentes, do desenvolvimento econômico e conservação da natureza. Esse discurso tem sido recorrente principalmente quando se refere à expansão da fronteira agrícola do Cerrado para a Amazônia.

Têm sido constantes os esforços de pesquisa e gestão com foco em promover a sustentabilidade do agronegócio brasileiro, buscando estabelecer um cenário agroambiental

economicamente viável, ambientalmente sustentável e socialmente responsável (Lopes & Daher, 2008). Uma abordagem que vem sendo proposta para avaliar a qualidade ambiental de áreas agrícolas, bem como para incentivar práticas sustentáveis, é a baseada no conceito de serviços ambientais e nos programas de Pagamento por Serviço Ambiental (PSA) (PL792/2007; FAO, 2007; Patterson & Coelho, 2009; Lamarque et al., 2011; Priscilla et al., 2012).

Em termos gerais, os serviços ambientais podem ser definidos como iniciativas individuais ou coletivas que podem favorecer a manutenção e recuperação ou dos serviços ecossistêmicos (FAO, 2007). Os serviços ecossistêmicos são definidos como os benefícios relevantes para a sociedade gerados pelos ecossistemas naturais para manutenção das condições ambientais (MEA, 2005). Por sua vez, o PSA é um instrumento econômico que tem por objetivo promover a mudança de uso da terra com foco na sustentabilidade, incentivando os produtores à proteção e restauração das áreas agrícolas por meio de mecanismos de pagamento ou de compensação (FAO, 2007). Dessa forma, pode-se dizer que os serviços ambientais trabalham para manter os serviços ecossistêmicos, mediante incentivos de PSA.

Essa abordagem, baseada em serviços, recebeu crescente atenção a partir da década de 1990, sob a bandeira de “serviços da natureza” e com foco no campo da conservação, sendo muito utilizada pelas comunidades de pesquisa em ecologia e ecossistemas em trabalhos relacionados à conservação da biodiversidade (De Groot, 1992; Daily, 1997). Recentemente é que os sistemas agrícolas, avaliados até então apenas em termos da sua capacidade de provisão de alimentos, passaram a ser considerados como potenciais prestadores de serviços ambientais como a conservação do solo, da água e da biodiversidade, bem como, a sua contribuição para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas, por meio da adoção de boas práticas de manejo (Lamarque et al., 2011). Dessa forma, os sistemas agrícolas já reconhecidos como provedores de alimentos, fibras e energia, passam a agregar outras funções relativas à manutenção da qualidade agroambiental.

Embora no Brasil o PSA seja uma política de gestão recente, sua aplicação é uma realidade crescente, principalmente na gestão da qualidade e quantidade da água nos comitês de bacia hidrográfica, denominados de PSA-hídricos, coordenados pela Agência

Nacional de Águas - ANA. O programa nacional Produtor de Água, implementado desde 2003 pela ANA, recompensa produtores rurais pela restauração e manutenção de florestas e pelas boas práticas de manejo realizadas em suas propriedades com foco na manutenção da qualidade da água (ANA, 2009).

Somando a esses esforços, o governo vem buscando alternativas para inserir as boas práticas agrícolas tais como os sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF), os sistemas de plantio direto e a recuperação de áreas degradadas, já reconhecidos pelo Programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC) do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) como potenciais prestadores de serviços ambientais, no contexto dos programas de PSA, com foco no desenvolvimento agrícola sustentável (FAO, 2010, Embrapa, 2011; BRASIL, 2012). Atualmente, encontra-se em discussão, no Congresso Nacional, um projeto de lei para instituir a Política Nacional dos Serviços Ambientais e o Programa Federal de Pagamento por Serviços Ambientais (Turetta et al., 2010).

Nesse sentido, existe uma demanda crescente por instrumentos capazes de subsidiar o processo de gestão territorial sustentável, incluindo mecanismos para orientar o estabelecimento dos programas de PSA no Brasil. O mapeamento da prestação de serviços ambientais pode prover informações valiosas acerca do status da sustentabilidade agroambiental do território, tanto a nível regional quanto em nível de propriedade rural. Recentemente, o projeto GeoCerrado, liderado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), propôs o desenvolvimento de uma ferramenta baseada em Sistema de Informações Geográficas (SIG) e no conceito de serviços ambientais para subsidiar a tomada de decisão focando na otimização do uso agrícola da terra no bioma Cerrado. O objetivo desse projeto é monitorar o desempenho agroambiental do território em termos da prestação de serviços ambientais (Embrapa, 2010).

É no contexto do projeto GeoCerrado, que esse trabalho de tese propôs o conceito do valor geográfico dos serviços ambientais (VGSA) e o conceito do valor geográfico dos serviços agroambientais (VGSAg) como uma abordagem estratégica para atividades de planejamento e tomada de decisão no âmbito da gestão territorial. Enquanto o valor econômico de um serviço ambiental é a contribuição desse serviço ao bem-estar social, o valor geográfico dos serviços ambientais é a contribuição de uma dada área do território para o equilíbrio ambiental (Prado & Sano, 2013a). Da mesma forma, o valor geográfico

dos serviços agroambientais retrata a contribuição de uma dada área para o equilíbrio agroambiental do território (Prado & Sano, 2013b). A partir desse conceito, foi construído o modelo conceitual do projeto denominado de *Land Sustainability Vision*, o qual foi denominado pela equipe do projeto GeoCerrado de Modelo Sinaleiro do Território (Prado & Sano, 2013b). Esse modelo poderá orientar o processo de mapeamento e monitoramento do potencial de prestação serviços ambientais (boas práticas de manejo) das áreas agroambientais, gerando alertas periódicos que indicarão áreas que estão e que não estão contribuindo para o equilíbrio agroambiental do território. Foi realizada uma primeira aplicação do Modelo Sinaleiro do Território no mapeamento do desempenho agroambiental do Estado de Goiás e Distrito Federal (Prado & Sano, 2013c).

A expectativa é que essa nova abordagem e o modelo proposto possam permitir a identificação de cada porção do território como uma impressão digital espaço-temporal que será monitorada pelos órgãos tomadores de decisão para orientar políticas públicas em diferentes esferas governamentais e não governamentais.

1.2. Caracterização do problema e hipótese

Considerando o conceito de serviço ambiental como um indicador estratégico capaz de expressar o equilíbrio ou desequilíbrio das áreas agroambientais ao longo do tempo e o potencial das técnicas de análise e modelagem espacial, o problema de pesquisa que essa tese de doutorado aborda é: como avaliar o equilíbrio agroambiental de uma área a partir do conceito de serviços ambientais com foco em gestão do território?

A hipótese a ser testada é: o equilíbrio agroambiental de uma área pode ser avaliado em termos do conceito de serviços ambientais.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo geral

O objetivo geral desse trabalho é desenvolver uma abordagem conceitual e metodológica, baseada no conceito de serviços ambientais e nas técnicas de análise e modelagem espacial, para avaliar o equilíbrio agroambiental do território.

1.3.2. Objetivos específicos

- A. Elaborar um modelo conceitual para avaliar o desempenho agroambiental do território com base no conceito de serviços ambientais e Sistemas de Informações Geográficas;
- B. Simular a partir de Sistemas de Informações Geográficas o modelo conceitual proposto para uma das áreas de estudo do projeto GeoCerrado;

1.4. Estrutura da tese

A tese foi dividida em cinco capítulos. No Capítulo 1, é apresentada a contextualização e caracterização do problema da tese e os objetivos. Os Capítulos de 2 a 4 representam as etapas para tratar os objetivos e questões da tese e foram redigidos como artigos interdependentes e sucessivos.

O Capítulo 2 apresenta o estudo referente à abordagem do valor geográfico dos serviços ambientais, intitulado: “Geographic value of environmental services: a strategic account for planning and decision making”.

O Capítulo 3 apresenta o estudo referente à proposta do modelo conceitual para avaliar o desempenho agroambiental do território a partir do conceito do valor geográfico dos serviços ambientais, intitulado: “*Land sustainability vision: a unifying framework for agri-environmental land management in Brazil*”.

O Capítulo 4 apresenta uma simulação em SIG do modelo conceitual *Land Sustainability Vision* para uma das áreas de estudo do projeto GeoCerrado, intitulado: Mapeamento do desempenho agroambiental do território a partir do valor geográfico dos serviços ambientais: uma aplicação no estado de Goiás e no Distrito Federal.

No Capítulo 5, são discutidos os resultados do trabalho e suas implicações no âmbito do objetivo geral proposto com as respectivas conclusões e considerações.

No Anexo é apresentado o levantamento das bases de dados e dos sistemas de monitoramento nacionais para subsidiar a construção de indicadores.

1.5. Referências bibliográficas

- ANA. Agência Nacional de Águas. (2009). *Programa produtor de água: manual operativo*. Agência Nacional de Águas, Brasília.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Ministério. (2012). *Programa ABC*. <http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/plano-abc>. Acesso em: 24 de fevereiro de 2013.
- Daily G.C. (1997). *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Washington DC.
- De Groot R.S. (1992). *Functions of Nature, Evaluation of nature in environmental planning, management and decision making*. Wolters-Noordhoff, Groningen, The Netherlands. p. 211-213.
- EMBRAPA. (2010). *Projeto GeoCerrado, 2010-2014. Modelagem de variáveis geoambientais para a caracterização de serviços ambientais no bioma Cerrado* (02.10.01.015.00.00). Embrapa Cerrados, Planaltina-DF.
- EMBRAPA. (2011). *Marco Referencial Integração Lavoura Pecuária e Floresta*. Brasília, DF.
- FAO. Food and Agricultural Organization. (2007). *The state of food and agriculture: Paying farmers for environmental services*. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1200e/a1200e00.pdf>. Acesso em: 01 de janeiro de 2013.

- FAO. Food and Agriculture Organization. (2010). Payments for environmental services (PES) from agricultural landscapes. <http://www.fao.org/es/esa/pesal/AgRole.html>. Acesso em: 15 de janeiro de 2013.
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M. & Toulmin, C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327, 812–818.
- Lamarque, P., Quétier, F. & Lavorel, S. (2011). The diversity of the ecosystem services concept and its implications for their assessment and management. *Comptes Rendus Biologies*, 334, 441-449.
- Lopes, A. L. & Daher, E. (2008). Agronegócio e Recursos Naturais no Cerrado: desafios para uma coexistência harmônica. In: Faleiro, F. G., & Farias Neto, A. L. F. (Eds.). *Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais*. pp. 173 – 209.
- MEA. Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Current state and trends* (1st ed.), Island Press.
- Patterson, T. M., & Coelho, D. L. (2009). Ecosystem services: foundations, opportunities, and challenges for the forest products sector. *Forest Ecology and Management*, 257, 1637–1646.
- PL792/2007. Projeto de Lei 792/2007. (2007). Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais.
- Prado, M. & Sano, E. E. (2013a). Geographic value of environmental services: a strategic approach for planning and decision making (submetido).
- Prado, M. & Sano, E. E. (2013b). Land sustainability vision: a unifying framework for agroenvironmental land management in Brazil (submetido).
- Prado, M. & Sano, E. E. (2013c). Mapeamento do desempenho agroambiental do território a partir do valor geográfico dos serviços ambientais: uma aplicação no estado de Goiás e Distrito Federal (em preparação para submissão a um periódico nacional indexado).
- Priscilla, S.; Brito, B.; Maschietto, F.; Osório, G., & Monzoni, M. (2012). *Marco regulatório sobre pagamento por serviços ambientais no Brasil*. Belém-PA:IMAZON, FGV. 76p.

Turetta, A. P. D., Prado, R. B., & Schuler, A. E. (2010). Serviços ambientais no Brasil: do conceito à prática. In: Prado, R. B., Turetta, A. P. D., & Andrade, A. G. (Eds.). *Manejo e Conservação do Solo e da Água no Contexto das Mudanças Ambientais*, Rio de Janeiro, Embrapa Solos, pp. 239-253.

CAPÍTULO 2

Geographic value of environmental services: a strategic approach for planning and decision-making activities.

► *We proposed the concept of geographic value of environmental services as a strategic approach for planning and decision making activities focused on sustainability. While the economic value of environmental services portrays the contribution of this service to social welfare, the geographic value portrays the contribution of a given area of the territory for environment balance. This is a flexible framework to make the location and evaluation of environmental services possible. Geographic value of environmental services can work as a common identifier to address several questions related to studies and policies involving the concept of environmental services. Geographic value can guide the formation of markets for environmental services and promote environmental sustainability.*

Submitted on March, 2013.

2.1. Introduction

The concept of environmental services is becoming a new planning agenda for sustainable development. Indeed, Wolcott (2006) stated that environmental service has been considered as reference for the evaluation of policies and management practices. Providing environmental services means making good use of natural resources by retaining the capacity of natural ecosystems to maintain the appropriate environmental conditions that fulfill human well-beings (FAO, 2007). In other words, environmental services work to maintain the benefits of natural ecosystems and are dependent on the practices of various sectors that take advantage of the environment.

The concept of ecosystem services, which is derived from ecological and economic theories, supports the idea that natural ecosystems provide several services that have ecological, social, cultural and economical value (Constanza et al., 1997; Daily, 1997). After the publication of the Millennium Ecosystem Assessment (MEA) report, ecosystem services began to be well recognized because of their capacity to capitalize on ecosystem benefits (MEA, 2005). The MEA framework is built on the concept of ecosystem functionality and classifies ecosystem services into four categories: supporting, regulating, provision and cultural services.

The recognition that natural resources and their processes can support human society supports the idea of sustainability (Tilman et al., 2002; Palmer et al., 2007), and the increasing importance of these concepts contributes to the recognition that land use changes and other drivers affect multiple dimensions of sustainability. Scientists other than ecologists and economists are also developing research in this direction (e.g., Su et al., 2012), and several countries are engaged in integrating the economic role of the environment into their national income accounts (UNCED, 1992; FAO, 1999; OECD, 2001; EC, 2004; Bennett et al., 2013).

Although strategies based on the valuation of natural resources is not new (Huetting, 1974), the relatively recent market-based mechanism of Payment for Environmental Services (PES) has received more attention from researchers and managers (e.g., Pfaff et al., 2008). PES is an innovative public policy to transfer resources, monetary or otherwise, to those intending to maintain ecosystem services by adopting sustainable practices

(providing environmental services). Current PES schemes focus on water, carbon and biodiversity, responding mainly to the public sector but also increasingly to the private sector, and endeavor to address environmental problems through incentives to land managers (FAO, 2007). A recent worldwide report addressing watershed payment showed an existence of 205 active programs and 76 under development. The value of transactions in 2011 reached 8.17 billion dollars, and the amount from 1973 to 2011 was 66 billion dollars. In 2011, the total area managed for watershed services reached 117 million hectares involving more than 30 countries (Bennett et al., 2013).

Despite the many advances in the past two decades, the field of environmental accounting has encountered many challenges with regard to mapping and measuring efforts, with integration, at local and landscape levels, being a key issue (Groot et al., 2010; Muller et al., 2010). Most efforts to map and measure services are efficient only when a single service is involved (Egoh et al., 2007; Fisher et al., 2008). However, developing strategies to create markets for environmental services and identifying providers of potential services and beneficiaries (individuals, communities, businesses, municipalities or organizations) requires unifying efforts to understand how actions that occur in one location affect the conditions of other locations.

There are several barriers to the better adjustment of such approaches into a broader and integrated context that is aligned with sustainability. Worldwide disciplines, resource users, resource managers, regulators and policy-makers at local, regional and national scales do not have effective linkage in balancing the protection of natural resources and management of land use activities. Although there is agreement that both the natural environment and economic benefits are important for human welfare, a single approach involving either natural resource conservation or traditional land use development is conspicuous in most publications regarding land management.

Sustainable strategies require impartial efforts in addressing the multiple sustainability dimensions (López-Ridaaura, 2002). In addition, the numerical, qualitative and spatial aspects that describe environmental components must be considered together (Huetting, 1980). In other words, transdiscipline-oriented work must be in order to integrate different approaches and contradictory goals into a single approach for land management (Clark, 1986; Rindfuss et al., 2004; Turner et al., 2007).

Within this context, the present work considers that a critical point that has limited a more complete integration of approaches for ecosystem services and environmental services is the restricted consideration of the entire spatial context. Geographic context can integrate simultaneously the economical, ecological, cultural and social aspects and values related to these services. Therefore, this study introduces the concept of the geographic value of environmental services as an integrative, impartial and strategic approach for studies focused on sustainability. Geographic value, as supported by geographic information system (GIS) technologies, can strengthen territorial plans and decision making into a overall perspective.

2.2. Geographic context: a key issue for ecosystem services evaluation and valuation

In order to reach the goal of including ecosystem services into the economy as a way to promote sustainability, the discipline of environmental accounting (ecology and economy together) needs to overcome the challenges concerning environmental complexity. This is because different values of ecosystem services are strongly related to geography (Boyd, 2008; Kozac et al., 2011). The understanding of how an action taken in one place affects the conditions in other places is a key issue to evaluate and value these services by focusing on sustainable land management.

In general, markets and business activities do not produce and trade ecosystem services. Consequently, the valuation methods conventionally used to measure the economy do not capture the free public benefits provided by natural systems. In addition, there is some difficulty for ecosystem approaches, as derived from Ecology, to address spatial relationships when focusing on the spatial interconnections (horizontal structure) among ecosystems.

Bailey (1996) stated that the components that are integrated at the site scale (a relatively small area) are termed the vertical structure of an ecosystem. However, ecosystems constantly interact with their surrounding systems, which is named horizontal structure. The author also considered that, to approach ecosystem classification on a integrative basis, it is mandatory to take into account the vertical (spatial superimpositions) and horizontal structures of ecosystems. Boundaries between ecosystems are defined

wherever different vertical structures occur; however, multiple services provided by different natural and land use-dominated systems can exceed these limits due to their spatial interconnections.

Indeed, the relationships involving spatially based cause-and-effect interactions is a great challenge associated with ecosystem service assessments (Boyd & Wainger, 2003). Boyd (2008) emphasized the importance of Geography in describing the spatial dependence of the provision of ecosystem services (e.g., flood and fire protection services) and also in describing the values of ecosystem services (e.g., the value of an ecological feature is greater when it is scarce; the value of the substitute for an ecological feature is greater when it is scarce; the value of an ecological feature is greater when the population benefiting from it is large). Although there are some cases in which geolocation is considered less important, such as carbon markets (e.g., DeClerk & Le Coq, 2011), the present study considers that geolocation, spatial distribution and spatial dependence are crucial for most of the values of ecosystem services.

Thus, it is important to recognize that both the evaluation and valuation of the benefits of ecosystem services are strongly dependent on their geographic context, which consolidates ecological, social, economical and cultural aspects. The way an ecosystem produces services and the way the services are capitalized on (environmental services) tends to be associated with the geolocation and neighborhood. For instance, downstream water quality depends on the upstream land use activities. The value of irrigation and drinking water depends on how many people consume the water, which is a function of where they live in relation to the water resource.

2.3. The Geographic Value of Environmental Services

The concept of ecosystem services implies that, by changing the biophysical conditions, the capacity of an ecosystem to provide certain services also changes (MEA, 2005). Accordingly, valuation implies that, by changing the socioeconomic and cultural contexts, the value of the ecosystem service changes (Boyd, 2008). Thus, it can be said that location can control the service benefits and their values according to biophysical and socioeconomic aspects.

This work proposes the concept of the geographic value of environmental services as a unifying criterion to evaluate how the benefits of ecosystem services are operating in a specific location, over a certain period of time, by measuring the level of environmental services provision. In this context, while the economic value of environmental services portrays the contribution of this service to social welfare, the geographic value portrays the contribution of a given area of the territory for environment balance.

Geographic value is associated with measures of a set of social, economic, ecological and cultural conditions (indicators) that interact with each other at a specific location and between locations over time (Figure 2.1). The geographic value (Gv) can be represented as follows:

$$Gv_{ij} = (\sum_{k=1}^n (W_k \cdot S_k)) T_m \quad (1)$$

where Gv_{ij} = a given cell of the matrix, corresponding to its geographic value; n = the number of considered variables (k) that describe the consolidation of environmental services; W = the weight value; S = the classes or category scores and T = time.

In addition to overlapping multiple services along the vertical axis (spatial superimpositions), geographic value of environmental services can address the spatial relationships on the horizontal axis (spatial interconnections). Each geolocation has typical characteristics that result from the interaction between biophysical aspects, socioeconomic contexts and relationships with the neighborhood. Thus, each cell of the geographic value matrix can be decomposed into a performance signature that indicates its ability to provide environmental services. As this performance can vary over time, it is possible to monitor the dynamics of the territory by comparing time series of geographic value signatures (Figure 2.1).

The geographic value permits the planning of interventions, contributing, for example, to solve conflicts between competing functions and proposing strategies toward sustainability. Within this context, geographic value can work as a common identifier to address several questions related to studies and policies involving the concept of environmental services.

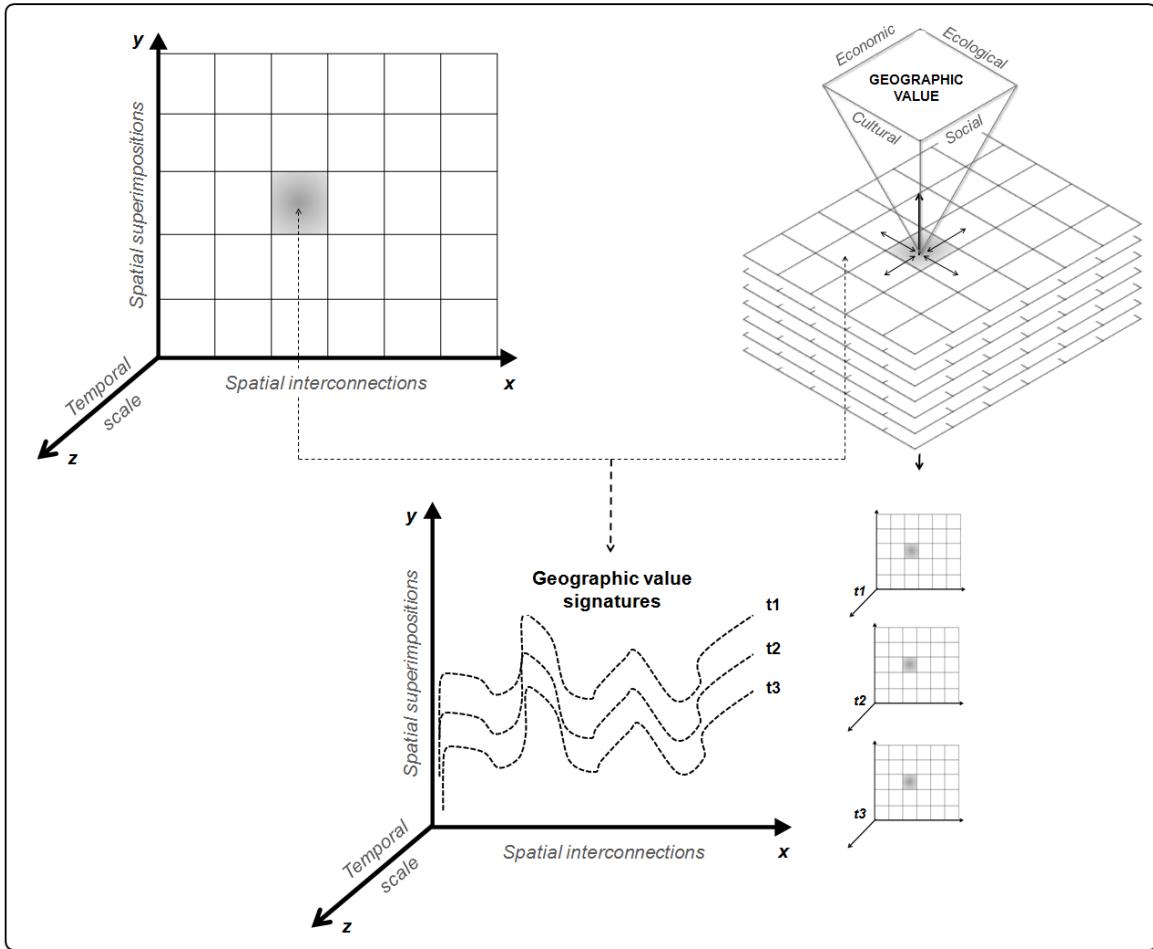


Fig. 2.1. Geographic value of environmental services concept.

2.4. Geographic Value of Environmental Services and GIS technologies

Territory includes a wide range of biophysical conditions, productive arrangements and policy measures. However, land managers and policy-makers at local, regional and national scales do not effectively agree when balancing multipurpose interests (e.g., environmental protection and land use). In general, the same land unit is observed in different ways, and the priority of use occurs according to specific interests. For example, the primary objective of most of the farmers is food production with the highest possible yield. In contrast, a tourism company is more concerned about landscape ecology and scenery, whereas a water supply company wants to preserve the quality of drinking water (Klug & Zeil, 2006).

Currently, there are several isolated efforts focusing on different study areas and units of analysis (watersheds, municipalities and ecoregions), with different temporal and spatial scales and different datasets, indicators and methodologies. If state governments adopt different approaches in their territorial plans and different units of study, the federal government will face difficulties in consolidating this information at the national level for planning and decision-making purposes. Thus, planning and decision-making activities require standardized key concepts and methodologies to integrate the work from the different sectors of government responsible for land management activities. In addition, key measurable aspects at the national, regional and local scales should be considered, or at least estimated, to provide a broad territorial view and also to enable comparisons for defining the priority areas within each region and the context of the analysis. Indeed, reference standards permit the comparison of scenarios beyond the territorial spectrum over long time scales.

This work considers that the geographic value of environmental services, with support from geographical data and geotechnologies, can be a powerful instrument for spatial planning and decision-making activities. The geographic value can function as an engine to geographically integrate the relationships between the benefits of an ecosystem service and the corresponding social, economical and ecological values in the same location and between locations. In addition, geospatial information (Shi et al., 2012) and techniques of spatial analysis (Heywood et al., 1995; Malczewski, 1999; Vizzari, 2011) play an important role in providing data and methods for several operational analyses involving territorial planning.

The geographic value of environmental services can contribute to resolving several challenges regarding the integrated frameworks that consolidate the multiple services and its values, to attend to the interests of different sectors. Furthermore, with an unbiased point of view, the geographic value can help to better integrate the concept of environmental services into strategies of land management that are focused on sustainable development. Table 2.1 summarizes some of the expected contributions of this analytical approach.

Table 2.1. Some contributions associated with the Geographic Value of Environmental Services for planning and decision-making activities focused on sustainable land management practices.

| Challenge | Contributions of the geographic value approach |
|--|--|
| Simultaneous evaluation of economic, environmental and social dimensions related to ecosystem services (Perez-Soba et al., 2008). | Promotion of a reduction in the number of indicators, rendering the sustainability assessment easily interpretable. |
| Evaluation of spatial relationships. Land systems are not isolated; the way a system responds to management practices is partially determined by its relationship to the surrounding systems (Bailey, 1996; Boyd, 2008). | Improvement of mapping and monitoring efforts related to spatially based relationships between causes and effects (the neighborhood context) through the evaluation of the geographic value matrix across space and time. |
| Integration of efforts from different units of analysis and scale. | Provision of a standard territorial address by location (territorial identification), facilitating the compatibility and comparability of different analyses and data across space and time. |
| Solving the competing goals of different sectors and disciplines of land management. | Provision of an unbiased analytical framework to attend to multiple purpose requirements. Geolocation can combine the background of different sectors and disciplines, promoting harmony between its concepts and methodologies. |

Addressing territorial areas using a reference matrix of geographic values can provide a broader, continuous and integrated territorial perspective, thus improving the efficiency of spatial plans. By avoiding boundary restrictions, a reference matrix makes the definition of priority areas possible according to different contexts of analysis, which is important because a problem can often extrapolate the unit of analysis, either physically or

administratively. According to the availability of data at different scales, cells with different spatial resolutions can be used within their identified territorial cells for upscaling and downscaling processes (Bierkens et al., 2000). Layers corresponding to different units of analysis (e.g., watersheds or municipalities) can be overlaid in this matrix to guide governance decisions.

2.5. Conclusions

The achievement of sustainability goals requires overcoming the legal, economic, financial and political barriers in the network of administrative and environmental infrastructures and implies fundamental changes in the approach of spatial management by recognizing that all of Earth's systems are interconnected and interdependent.

The geographic value of environmental services with geospatial data and geotechnologies can be a key instrument to integrate and assess spatial coincidences, patterns and relationships with regard to environmental services across space and time. Indeed, the geographic value of environmental services is a strategic mechanism of decision support. Regarding PES schemes, geographic value can guide and facilitate the formation of markets for environmental services and can promote the development of innovative ways to recognize and reward those who work toward environmental sustainability.

The worth of this analytical approach based on the geographic value of environmental services is that a flexible framework is proposed to make the location and evaluation of environmental services possible at all levels of territory, facilitating compatibility between different efforts across space and time. While the economic value of environmental services portrays the contribution of this service to social welfare, the geographic value portrays the contribution of a given area of the territory for environment balance.

Finally, the geographic value of environmental services should be considered because spatially explicit aspects, such as location, distribution, relationship, integration and dynamic matters for decision making are very important in spatial planning.

2.6. References

- Bailey, R. G. (1996). *Ecosystem Geography*. New York, Springer-Verlag.
- Bennett, G., Carroll, N., & Hamilton, K. (2013). *Charting new waters: state of watershed payments 2012*. Washington, DC, Forest Trends. <http://www.ecosystemmarketplace.com/reports/sowp2012>. Accessed February 22, 2013.
- Bierkens, M. F. P., Finke, P. A. & De Willigen, P. (2000). *Upscaling and Downscaling Methods for Environmental Research*. Kluwer Dordrecht, Academic Publishers.
- Boyd, J. (2008). Location, location, location: the geography of ecosystem services. *Resources for the Future*, 11-15.
- Boyd, J. & Wainger, L. A. (2003). Measuring ecosystem service benefits for wetland mitigation. *National Wetlands Newsletter*, 24(6), 156.
- Clark, W. C. (1986). Sustainable development of the biosphere: themes for research program. In: Clark, W. C., & Munn, R. E. (Eds.). *Sustainable Development of Biosphere*. Cambridge, Cambridge University Press, pp. 5-48.
- Costanza, R., D'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon. B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260.
- Daily, G. C. (1997). *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington, DC, Island Press.
- Groot, R. S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L. & Willemsen, L. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, 7, 260–272.
- DeClerck, F. A. J. & Le Coq, J. F. (2011). The Value of Biodiversity in Agricultural Landscapes. In: Rapidel, B., De Clerck, F., Le Coq, J. F. & Beer, J. (Eds.). *Ecosystem Services from Agriculture and Agroforestry. Measurement and Payment*, 1, 215-216.
- EC. European Commission. (2004). *The common agricultural policy explained*. European Commission Directorate General for Agriculture.

- Egoh, B., Rouget, M., Reyers, B., Knight, A. T., Cowling, R. M., van Jaarsveld, A. S., & Welz, A. (2007). Integrating ecosystem services into conservation assessments: A review. *Ecological Economics*, 63, 714-721.
- FAO. Food and Agricultural Organization. (1999). *Cultivating our futures*. In: FAO/Netherlands Conference on the Multifunctional Character of Agriculture and Land, September 12-17. Maastricht, Netherlands.
- FAO. Food and Agricultural Organization. (2007). *The state of food and agriculture: Paying farmers for environmental services*. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1200e/a1200e00.pdf>. Accessed February 01, 2013.
- Fisher, B., & Turner, R. K. (2008). Ecosystem services: classification for valuation. *Biological Conservation*, 141, 1167-1169.
- Heywood, I., Oliver, J., & Tomlinson, S. (1995). Building an exploratory multicriteria modelling environment for spatial decision support. In: Fisher, P. (Ed.). *Innovations in GIS 2*. London, Taylor & Francis, pp. 127-137.
- Hueting, R. (1974). A statistical system for estimating the deterioration of the human environment. In: Pratt, J. W. (Ed.). *Statistical and Mathematical Aspects of Pollution Problems. Symposium of the International Association of Statistics and Physical Sciences (IASPS)*. New York, Harvard University, Marcel Dekker, p. 392.
- Hueting, R. (1980). *New scarcity and economic growth. more welfare through less production?* Amsterdam, North-Holland Publishing Company.
- Klug H., & Zeil, P. (2006). Bridging multi-functionality of agriculture and multifunctional landscapes by applying the Leitbild approach. In: Meyer, B. C. (Ed.). *Sustainable Land Use in Intensively Used Agricultural Regions*. Wageningen, pp. 82-90.
- Kozak, J., Lant, C., Shaikh, S., & Wang, G. (2011). The geography of ecosystem service value: The case of the Des Plaines and Cache River wetlands, Illinois. *Applied Geography*, 31, 303-311.
- López-Ridaura, S., Masera, O., & Astier, M. (2002). Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems. The MESMIS framework. *Ecological Indicators*, 2, 135-148.
- Malczewski, J. (1999). *GIS and multicriteria decision making analysis*. New York, John Wiley & Sons.

- MEA. Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: current state and trends* (1st ed.), Island Press.
- Müller, F., Groot, R., & Willemen, L. (2010). Ecosystem services at the landscape scale: the need for integrative approaches. *Landscape Online*, 23, 1-11.
- OECD. (2001). *Multifunctionality. Towards an analytical framework*. Paris, OECD.
- Palmer, C., Gothe, J., Mitchell, C., Riedy, C., Sweetapple, K., McLaughlin, S., Grant Hose, G., Lowe, M., Goodall, H., Green, T., Sharma, D., Fane, S., Brew, K., & Jones, P. (2007). Finding integration pathways: developing a transdisciplinary (TD) approach for the Upper Nepean Catchment, in AL Wilson et al., Proceedings of the 5th Australian Stream Management Conference, Charles Stuart University, New South Wales, pp. 306-311.
- Pérez-Soba, M., Petit, S., Jones, L., Bertrand, N., Briquel, V., Omodei-Zorini, L., Contini, C., Helming, K., Farrington, J., Mossello, T., Wascher, D., Kienast, F., & Groot, R. S. (2008). *Land use functions – a new conceptual approach to assess the impact of land use changes on land use sustainability through multifunctionality*. Berlin, Springer.
- Pfaff, A., Robalino, J. A., & Sanchez-Azofeifa, G. A. (2008). *Payments for environmental services: empirical analysis for Costa Rica*. Working Papers Series. Terry Sanford Institute of public policy. Duke. Working Paper SAN08-05. Durham, NC: Terry Sanford Institute of Public Policy, Duke University.
- Rindfuss, R. R., Walsh, S. J., Turner, B. L., Fox, J., & Mishra, V. (2004). Developing a science of land change: challenges and methodological issues. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 101(39), pp. 13976-13981.
- Shi, W., Goodchild, M., Lees, B., & Leung, Y. (2012). *Advances in Geo-spatial Information Science*. London, CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Su, S., Xiao, R., Jiang, Z., & Zhang, Y. (2012). Characterizing landscape pattern and ecosystem service value changes for urbanization impacts at an eco-regional scale. *Applied Geography*, 34, 295-305.
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418, 671-677.

- Turner, W. R., Brandon, K., Brooks, T. M., Costanza, R., Fonseca, G. A. B., & Portela, R. (2007). Global conservation of biodiversity and ecosystem services. *BioScience*, 57, 868-873.
- UNCED. United Nations Conference on Environment and Development. (1992). *Agenda 21: Earth Summit. The United Nations Programme of Action from Rio*. New York, United Nations, Department of Public Information.
- Vizzari, M. (2011). Spatial modeling of potential landscape quality. *Applied Geography*, 31, 108-118.
- Wolcott, R. M. (2006). Prospects for ecosystem services in the future agricultural economy: reflections of a policy hand. *American Journal of Agricultural Economics* 88(5), 1181–1183.

CAPÍTULO 3

Land sustainability vision: a unifying framework for agroenvironmental land management in Brazil.

► *We proposed the Land Sustainability Vision model to evaluate the agroenvironmental sustainability based on the concept of geographic value of environmental services. This conceptual model should be able to assess the equilibrium between agriculture-related land use and natural areas. The geographic value of agroenvironmental services should represent the contribution of a given area to the territorial agroenvironmental balance. This model can support new agroenvironmental policies and guide the establishment of a national agroenvironmental service network.*

Submitted on March, 2013.

3.1. Introduction

There has been a long-standing conflict between food production and environmental conservation (Hueting, 1980). On one hand, there is worldwide pressure for food and energy production to meet the necessities of a growing population (Godfray et al., 2010). On the other hand, there is strong pressure for biodiversity conservation because the production of goods related to human welfare causes the decline of several ecosystem services. The FAO (2009) stated that food production is now a priority in several countries because the demand will soon exceed production. However, the MEA (2005) noted that the potential of providing multiple ecosystem services declines whenever land use substitutes for natural ecosystems.

In Brazil, the federal government supported land occupation and deforestation in the country until the 1980s, especially in the Amazonia and Cerrado (the tropical savanna in the central part of the country) biomes, mostly by improving the infrastructure network, implementing settlements and allowing credit policies to be easily accessed (Laurance et al., 2004; Silva et al., 2008; Jepson et al., 2010). However, meat production and the expansion of mechanized, extensive agriculture in both rainforest and tropical savanna, which were once encouraged, are now considered to be the major threats to the biodiversity conservation in these two major biomes in Brazil. The number of conservation units in Amazonia has increased rapidly. The Brazilian Institute of Environment (IBAMA) has intensified the law enforcement procedures for illegal deforestation in these regions. The Cerrado has become one of the 25 hotspots in the world for biodiversity conservation (Myers et al., 2000).

Although challenging, efforts to reach a balance between these two scenarios are mandatory (Batistella et al., 2012). This balance is often called sustainable development (Dorward, 2013). Brazil plays an important role as a major food supplier and as a major natural environment maintainer. In 2010, Brazilian agribusiness contributed to 22.3% of the gross domestic product (GDP), provided jobs to 37% of the economically active population, took part in 37.9% of exports and was the main sector responsible for the surplus in the country's trade balance (BRASIL, 2010). Although current national agribusiness and economy show positive developments, Brazil still faces many barriers to reaching a desirable sustainable agricultural development, mainly because of its large

territorial area and varying ecosystem, social and economic aspects. These challenges become multifaceted and complex, containing specific complications according to the region and to the type of crop or livestock system (EMBRAPA, 2011).

The recent recognition of environmental services as an important means of decreasing environmental damage caused by agriculture (FAO, 2007; Patterson & Coelho, 2009; Lamarque et al., 2011) has opened new scenarios for the sustainable management of agroenvironmental areas. Environmental service can be defined as making good use of natural resources and preserving the natural ecosystem capacity to maintain appropriate environmental conditions that can fulfill human well-being. In this context, well-managed agroenvironmental systems are considered to be potential providers of environmental services (also called positive externalities or non-commodity goods and services) (FAO, 2007; FAO, 2010a). Environmental service is aligned with the concept of multifunctionality of agriculture, which considers that beyond its primary function of supplying food, fiber and energy, agriculture can also provide environmental benefits, such as land conservation, sustainable management of natural resources, biodiversity preservation or contributions to the social and economic viability of rural areas (OECD 2001; Romstad, 2004).

The concept of environmental service has been considered in different agendas of sustainable development plans as well as in the evaluation of management policies and practices (Wolcott, 2006). Many countries are now incorporating economic aspects of the environment into their national input budgets. Various governments are including both commodities and non-commodity services into their payrolls and subsidies to farmers (UNCED, 1992; FAO, 1999; OECD, 2001; EC, 2004). The management of agricultural landscapes considering structural diversity is becoming part of several planning and political strategies. A number of studies have shown that agricultural landscapes presenting non-productive structures (biogeochemical barriers, such as shelterbelts, hedges, strips of grasslands and small mid-field water reservoirs) can provide ecosystem services that restrict land degradation related to agricultural practices (Ryszkowski & Kedziora, 2006; Vejre et al., 2010).

The ABC (*Agricultura de Baixo Carbono* - Low-Carbon Agriculture) plan from the Ministry of Agriculture of Brazil is one of the most important examples of

agroenvironmental policy in the country (Zanella & Cardoso, 2011). The ABC policy aims to plan actions to adopt sustainable production technologies focusing on commitments to reduce greenhouse gas emissions in the Brazilian agricultural sector (BRASIL, 2012b). The ABC plan already recognizes crop/livestock/forest integration as a promising system to provide environmental services, especially carbon sequestration (Macedo, 2009; FAO, 2010b; Vilela et al., 2011). Indeed, crop/livestock/forest integration is an ultimate reference technology in the Brazilian agriculture context, and it simultaneously takes into account economic aspects, social values and environmental sustainability (EMBRAPA, 2011).

In the National Congress of Brazil, there are two important proposals for subsidies under discussion: the National Program of Environmental Services and the Federal Payment for Environmental Services (PES) (PL5487/2009). PES is an economic instrument designed to provide payments by the beneficiaries to farmers who provide environmental services, especially resources involving water, carbon and biodiversity (FAO, 2010a). The Water Producer Program, which was implemented in 2003 by the National Water Agency (Chaves et al., 2004a,b; ANA, 2009), is a remarkable Brazilian PES mechanism to reward farmers who restore and maintain forests along streams or around lakes and ponds for good practices related to soil and water quality conservation.

Although in the global context, the PES scheme is still recent and not well established (e.g., out of 205 active watershed payment programs in the world, only four are in Brazil) (Bennett et al., 2013), Brazil intends to adopt the PES scheme to a greater extent to promote agricultural sustainability. However, several challenges must be overcome to effectively incorporate this approach into the Brazilian agricultural framework. A potential drawback of this approach is that the benefits provided by the environmental services reach the entire society, but their costs are supported only by landowners.

According to Antoniazzi (2008), the consolidation of practices that involve environmental services depends on more efficient strategies to reward farmers, especially in terms of paybacks. The PES scheme in Brazil should consider the large-scale national agricultural scenario. While subsidies from the Europe Union are increasingly oriented toward non-commodity products (Reichert, 2006), Brazilian agriculture has a key role in the international scenario. Therefore, the PES scheme in Brazil must prioritize the

definition of trade-offs between agricultural commodities and environmental service provisions.

Mapping and monitoring the geographic extent of potential environmental services can provide important information about the status of the agroenvironmental sustainability of a territory. Ecosystem compensation requires performance analyses of benefits to prove that compensations or trades preserving the social benefits will be lost if ecosystems are destroyed or degraded (Boyd & Wainger, 2003). Plans at a landscape scale can positively influence territorial development by means of policy instruments, funding strategies and agribusiness plans (Cairol et al., 2009). For example, farmers can respond to these interventions by changing their farm management practices leading to abandonment of agricultural sites, crop-type diversification and reduction of negative impacts on diversification, processes and landscape functions (Klug & Zeil, 2006).

Although Brazil faces a great challenge in mapping and monitoring its vast and heterogeneous territory, it has increased its capacity to generate geospatial information in recent years. Several systems are being developed: GeoSafras and SigaBrasil (CONAB, 2012a, 2012b); CanaSat (Ruddorff, 2010); Agricultural Zoning of Climatic Risk (Brasil, 2012a); Proarco (INPE, 2004a); and Prodes (INPE, 2004b). These systems work at national or regional scales and are important instruments for spatial plans. However, they focus on specific sectors, e.g., agriculture or environment monitoring. Brazil also needs a solid system framework to better inform policy makers about their agroenvironmental performance regarding sustainability targets. It is crucial that this system uses the maximum number of reliable data and information from other existing systems at a national level to integrate and interact between related sectors.

Land Sustainability Vision (LSV) is a new unifying framework that has been proposed by the Brazilian GeoCerrado project. GeoCerrado is an integrated research project led by the Brazilian Agricultural Research Organization (Embrapa) and is focused on the development of a dynamic decision-making tool to support agriculture land use optimization in the Cerrado biome by using the concept of environmental services (Embrapa, 2010). LSV is a conceptual model that will be converted into a GIS-based tool to evaluate territorial agroenvironmental performance. The objective of the current study was to present the mapping and monitoring framework of GeoCerrado. This framework

should be able to assess the equilibrium between agriculture-related land use and natural area conservation or to assess the level of development of sustainable agriculture in terms of agroenvironmental service provisions. Identification of sustainable pathways plays a decisive role in landscape planning and management, thereby guiding land use optimization. Additionally, LSV can contribute to guiding PES schemes and can facilitate the establishment of a national agroenvironmental sustainable network.

3.2. Land Sustainability Vision (LSV): the overall approach

Considering that agroenvironmental systems must be capable of providing adequate quantity and quality of agricultural products and simultaneously avoid environment damages, the most important factor to consider for guiding this system is how to reach agroenvironmental performance using environmental service concept as a way to reach sustainable agriculture development.

This paper considers that agricultural activities can generate different levels of disturbance (or conflict) in agroenvironmental systems, according to the type of land use. A high conflict level can occur when an area is not been used in accordance to their functional vocation. The main target of this model is not the natural system because there is no natural agricultural land. However, it is possible to achieve sustainable agricultural land (sustainable space) by adopting suitable practices at either the farm or landscape level (Figure 3.1).

In this model, unsustainable systems (high conflict level), which do not adopt sustainable practices, are not desired. For natural systems (low conflict level), the provision of ecosystem services will be hypothetically at its highest level in cases in which there is no agricultural production. In contrast, for unsustainable systems, the ecosystem services tend to be at the lowest level, which, in turn, can affect the performance of agriculture by increasing production costs (production requires soil quality, water and pollinators) and by impacting the rural population, which depends on these services (e.g., potable water consumption) (Figure 3.1).

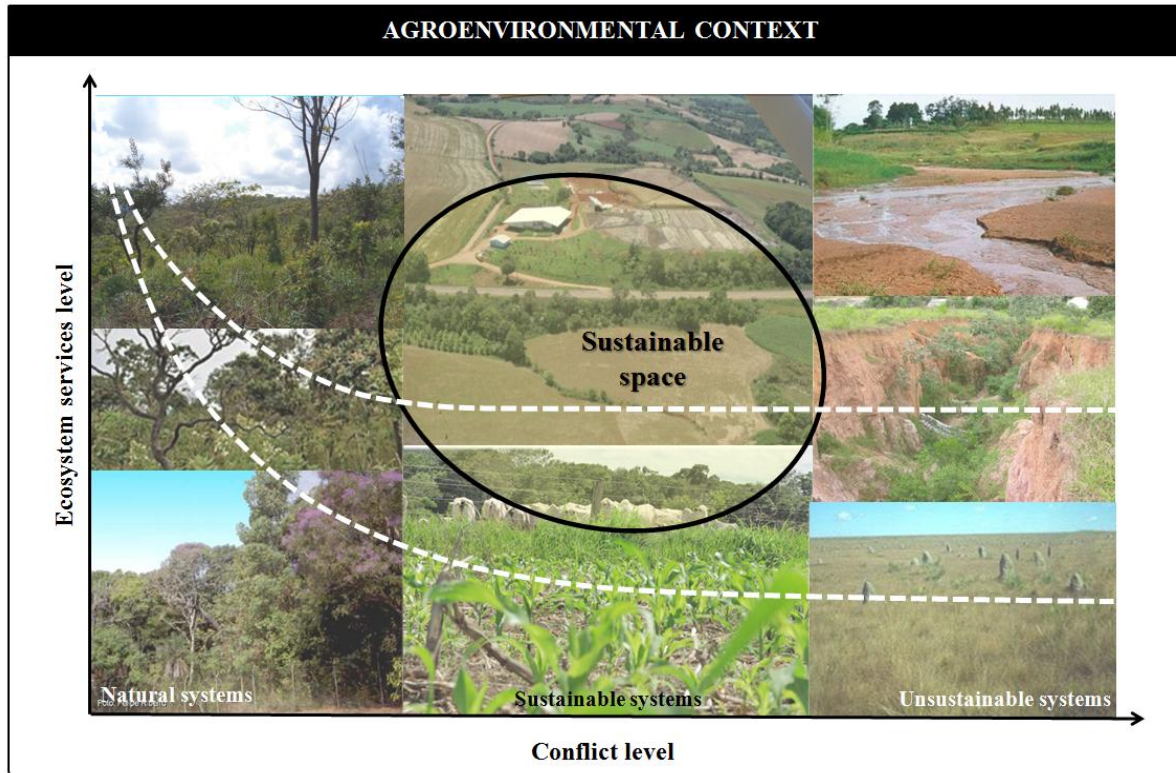


Fig. 3.1. Targeting sustainable agroenvironmental development.

3.2.1. Defining sustainable agroenvironmental areas and their agroenvironmental services

Many research efforts have been dedicated to identifying better ways to design sustainable agriculture land use (Altieri et al., 1983; Pinstrup-Andersen & Pandya-Lorch, 1998; Pretty, 2008). The consensus is that sustainable land use should combine environment-friendly technologies at the farm level with structuring of landscapes (e.g., various stretches of natural vegetation) to maintain both ecosystem and landscape service provisions. Traditionally, research in agronomy is developed at the farm level, leading to more productive and economically efficient methods of production; this approach frequently results in environmental threats that propagate towards the landscape level (Ryszkowski, 1998; 2002; Ryszkowski & Jankowiak, 2002). Currently, it is recognized that the association between cultivated and natural systems provides services that can promote landscape resistance to various threats brought by production, thereby providing a more successful reduction of environmental threats. In addition, protection activities carried out

at the landscape level can enhance environment-friendly technologies applied on farms (Ryszkowski and Kedziora, 2006).

The present work considered that agroenvironmental areas are shaped by interconnected patterns of agriculture land use and natural systems. Based on two basic references (FAO, 2010; and EMBRAPA, 2011) (Tables 3.1 and 3.2), the present study considered that the main benefits from the role of agroenvironmental areas in maintaining and increasing ecosystem services are related to soil quality, water resource quality, water resource quantity, biodiversity, climate regulation, social benefits and economic benefits (Figure 3.2).

Table 3.1. Main environmental services related to agriculture management practices in increasing ecosystem services.

| Benefits | Services |
|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Climate change mitigation | Carbon storage |
| | Carbon sequestration in biomass |
| | Carbon sequestration in the soil |
| Watershed protection services | Land management |
| | Water quantity |
| | Water quality |
| Biodiversity conservation | Preserving biodiversity |
| | Reducing agricultural expansion |
| | Enhancing on-farm wild biodiversity |
| | Conserving agricultural biodiversity |
| Preservation of agriculture landscape | Landscape aesthetics |

Source: FAO (2010a).

Table 3.2. Main environmental services related to crop/livestock/forest integration management practices in increasing ecosystem services.

| Benefits | Services |
|------------------------------|--|
| Ecological and Environmental | Reducing the pressure for conversion of new forest areas into agriculture |
| | Improving the use of natural resources by friendly technologies |
| | Decreasing the use of agricultural chemistry to control insect pest diseases and weeds |
| | Reducing the erosion risk |
| | Mitigation of greenhouse effects arising from a greater capacity of carbon sequestration |

| | |
|---------------------|--|
| | Less methane emissions by kilogram of produced beef cattle |
| | Upgrading biodiversity (niches and habitats to crop pollinators and natural enemies) |
| | Strengthening of nutrient cycling |
| | Increasing soil bioremediation capacity |
| | Landscape restoration encouraging agritourism |
| | Improving the public image associated with environmental awareness of farmers in society |
| Economic and social | Increasing food, fiber, biofuel and biomass annual production at a lower cost |
| | Optimization in many economic sectors, especially at regional levels |
| | Increasing the safety of food supply |
| | Production diversification |
| | Reducing costs and risks |
| | Offering employment and income in field areas |

Source: EMBRAPA (2011).

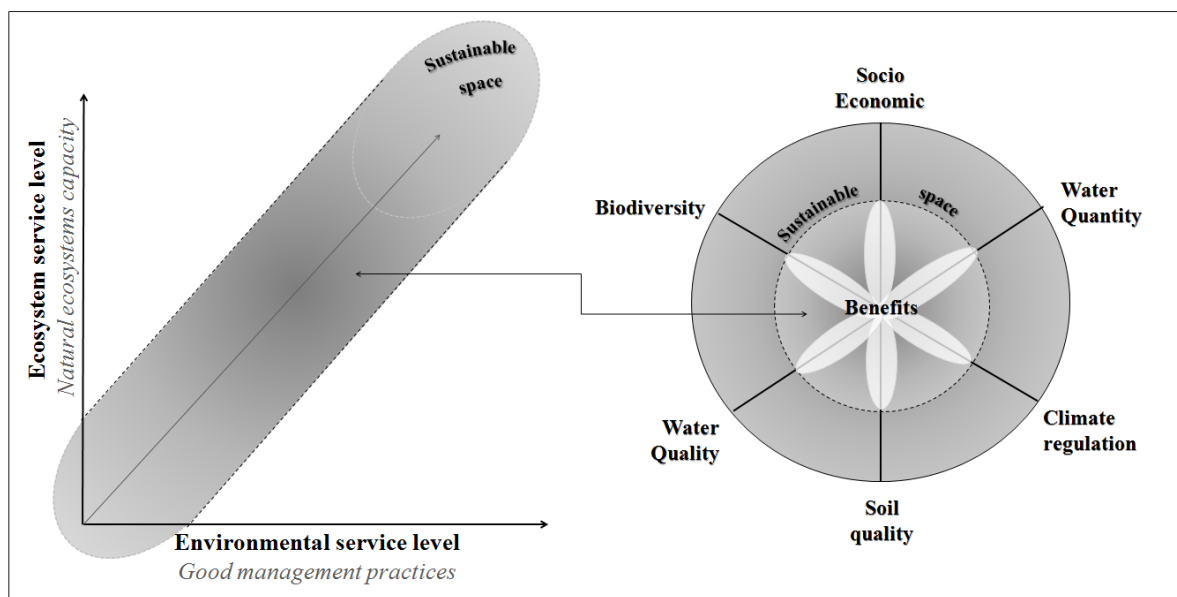


Fig. 3.2. Agroenvironmental areas and their agroenvironmental services benefits.

A number of ecosystem assessment methods underemploy service valuations on behalf of biophysical analyses (Boyd & Wainger, 2003). In the present study, we considered that a comprehensive evaluation of service benefits requires the analysis of biophysical, social and economic attributes. These attributes are equally important in understanding aspects such as the ability to absorb floodwater and in comprehending

factors such as the ecosystem setting in terms of local land use configurations, related human activities, and demography. Thus, a sustainable agroenvironmental scenario must present a satisfactory performance in delivering all of these benefits to society. Hence, a good relationship between land management and natural ecosystem capacity would deliver benefits into a sustainable space (Figure 3.2).

3.2.2. Agroenvironmental performance assessment

According to Boyd and Wainger (2003), although ecosystem benefit assessment is an evaluation method rather than a valuation method, it presents a great potential for regulatory programs that involve trades of ecosystems. It is difficult to guide land use planners to choose future development patterns without benefit measurements, for example, to decide which lands are most in need of preservation or changes in management practices. In this conceptual modeling, the premise is that when natural ecosystems are changed either positively (synergies) or negatively (conflicts) by agricultural practices, their related benefits also change.

The general methodology is based on the use of scores at different locations and scales focusing on the main agroenvironmental benefits that are considered. The first step towards assessing agroenvironmental performance is the identification of agroenvironmental services indicators, which correspond to factors that limit or enhance the ability of an ecosystem to provide services, (Figure 3.3). For example, to check the climate regulation benefit related to carbon emission reduction service, it is necessary to map occurrences of forest burning (first indicator). To assess the water quality maintenance service, it is necessary to map perennial vegetation filters that protect streams (second indicator).

These indicators are analyzed under a cellular framework (Couclelis, 1985; 1991; 1997) in order to promote data integration and harmonization. It is then necessary to define thresholds to categorize these indicators, such as intensity intervals of burning spots, in order to understand their spatial behavior (Figure 3.3).

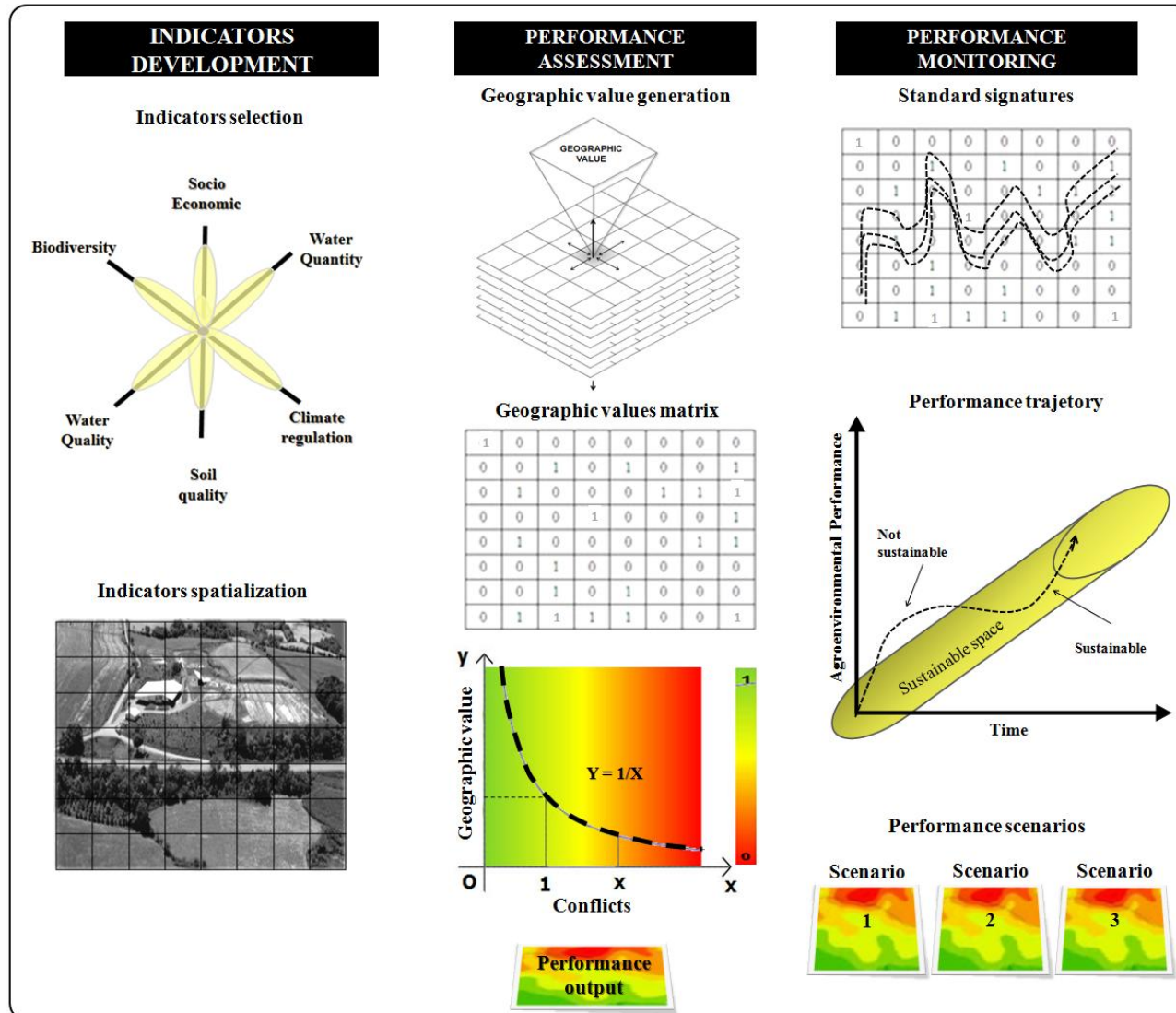


Fig. 3.3. Agroenvironmental performance assessment and monitoring steps.

The performance assessment is based on the concept of geographic value of environmental services, which represents the contribution of a given area of the territory for environment balance (Prado & Sano, 2013a). In this work, this concept was adapted to “geographic value of agroenvironmental services”. Thus, while the economic value of environmental services represents its contribution to the human well-being, the geographic value of agroenvironmental services represents the contribution of a given territorial area to the agroenvironmental balance (Figure 3.3).

The calculation of geographic value results in a matrix in which each cell contains a score indicating the performance of the provided agroenvironmental service. The score ranges from 0 to 1 for each agroenvironmental indicator. Scores for each benefit axis are then summed and divided to obtain the overall average score. This overall score, called geographic value of agroenvironmental services, represents the agroenvironmental performance at a specific location. Greater numbers of warning factors (conflicts) regarding the ability of the ecosystem to provide services result in a lower geographic value of agroenvironmental services. The geographic value can work as a common index by location (Prado & Sano, 2013a). Thus, we suggest that this parameter is transdisciplinary and that integrated criteria are used to simultaneously evaluate the economic, ecological, cultural and social benefits at the landscape level (Figure 3.3).

Concerning the monitoring of spatial temporal dynamics, landscapes change over time in a non-linear way (Naveh, 2001), performing multiple trajectories into (or out of) a sustainability choice space (Potschin & Haines-Young, 2006) according to the decisions and actions of society in a biophysical, socioeconomic and cultural context. For example, a single piece of land can have different benefit values over time, and an example of this variation can be found in crop rotation systems. The crop rotation can take place periodically but in shorter or longer periods (Klug & Zeil, 2006). Thus, the use of performance standards and metrics is becoming an emerging part of planning and management (Lovell & Johnstonn, 2009).

Multifunctional landscape design and planning imply definitions of diverse targeted and composite performance standards (Bastian et al., 2006). The existence of standards demands metrics that can measure the performance of alternative scenarios of landscape patterns and processes that deliver a specified set of services (McCarthy, 2005). Specifying

the optimal range of composite services to be delivered by landscapes presumes knowledge of the supporting, provisioning, regulating, and cultural services that can be delivered in a defined setting as well as those that are desired by end users (Slee, 2009).

In this context, the concept of geographic value of agroenvironmental services can express the realization (or not) of a diverse set of agroenvironmental services in a specific place over a determined period of time; moreover, this concept enables the evaluation and monitoring of agroenvironmental performance in realizing the maintenance of multiple ecosystem service benefits. Thus, the geographic value of agroenvironmental services represents the agroenvironmental capacity to attain collective agreement on the balance between various ecosystem service benefits in a particular site as well as its regional and global setting (Figure 3.3).

Additionally, building a library of geographic value signatures can contribute to creating performance standards in a territorial range, and it can allow the incorporation of performance standards as part of the regular practice throughout Brazilian agribusiness contexts by building reference scenarios based on limit and baseline conditions to monitor land trajectories into a sustainable pathway. These pathways play a decisive role in spatial and management plans by guiding land use optimization towards sustainability. In addition, this library is a proposal for a collaborative indicator platform. The idea is to promote a cooperative learning space in which several performance standards working as management protocols will be developed to monitor regional scenarios (Figure 3.3).

3.3. Land Sustainability Vision (LSV): conceptual framework design

LSV will operate by generating a spatial view of the territorial agroenvironmental balance. This territorial warning information system will work as a display of an alert system informing the decision makers about the territorial hotspots promoting or hindering sustainable agricultural development. Figure 3.4 illustrates the conceptual framework of the main steps to be followed to transform this analytical approach into a management and decision-making tool based on geographical information system (GIS) technologies.

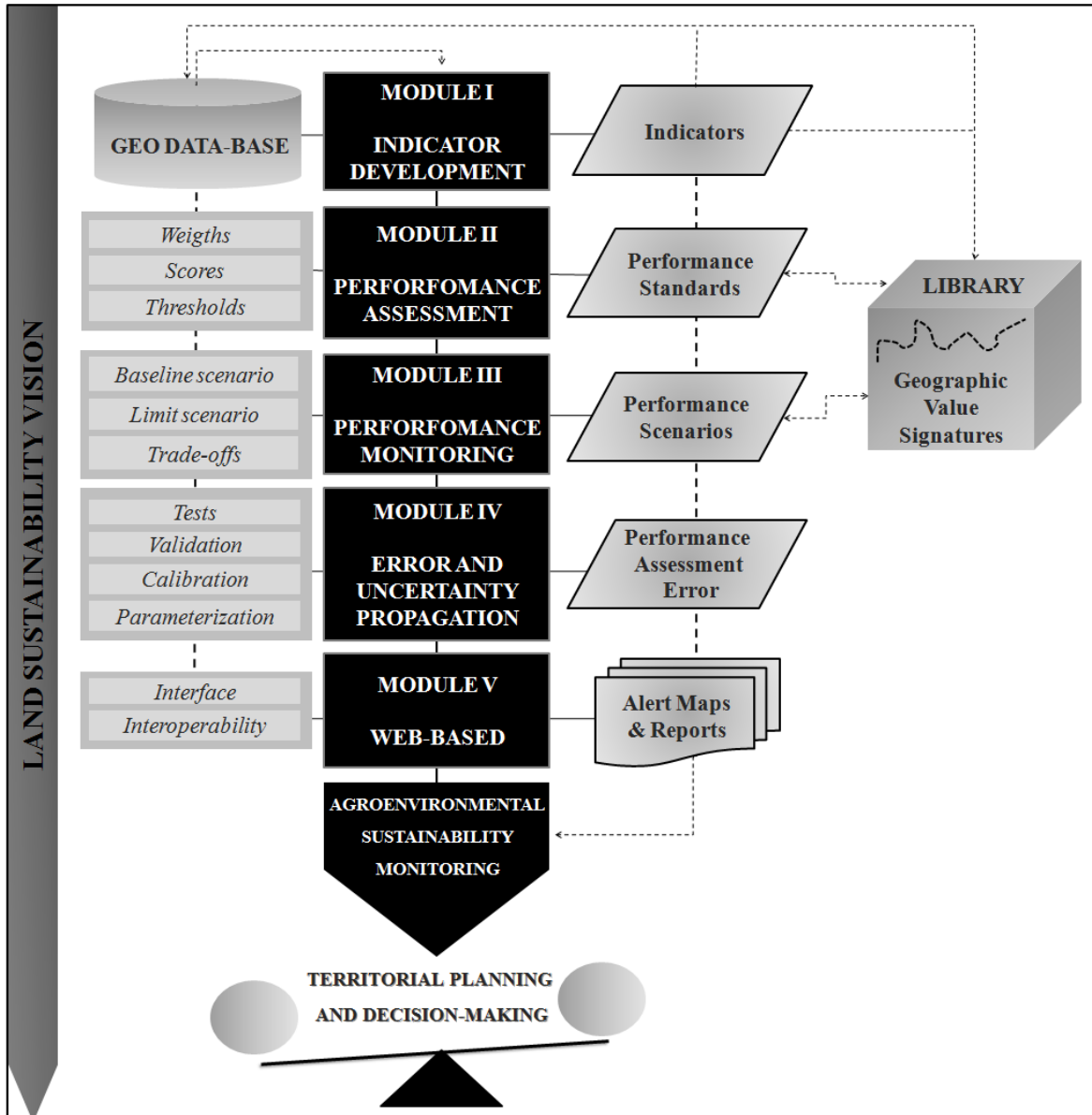


Fig. 3.4. Land sustainability vision: conceptual framework design.

Preferably, this model should follow the Brazilian agricultural crop dynamics for each region. However, data availability must first be evaluated to better define these dynamics. Although there are many guides with selected examples of sustainable development indicators (Dramstad & Lågbu, 2000), selecting and adapting proper indicators are difficult tasks because mapping and monitoring activities require indicators to be updated at regular intervals, which, in turn, requires data that are readily available or

available at reasonable working costs. In addition, data should be documented and of known quality.

In this context, the present study suggests that the LSV database must be structured considering national databases or data derived from globally available information (e.g., Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) satellite images from NASA). This suggestion is aligned with Constanza (1991), who stated that to achieve sustainability, innovative studies should not be divorced from the policy and management processes but rather integrated with them. Thus, a national monitoring system should be linked to other national initiatives. Scanning potential projects and programs providing territorial data is a first step towards checking if government territorial information delivery meets the current demands, and this procedure can also help to guide strategic demands for the need for data and technologies.

Concerning performance assessment and monitoring, it is ideal to have a set of indicators (or proxy indicators) for each benefit and to also consider all sets of benefits to describe the overall performance. However, taking into account the barriers related to data availability, we considered that it is preferable to run a model with minimal data rather than to have the model not working. The existence of more indicators results in a more robust performance assessment. In this case, an uncertainty propagation module (Heuvelink, 1999) can reproduce the associated error, which depends on the quality and quantity of indicators.

As previously mentioned, the analysis will be operated by cells. Thus, the study areas should be divided into grids with a cell size that is compatible with the spatial scale and data resolution. In general, watersheds are considered the appropriate scale of analysis for studies relating to environmental services. However, there are many cases in which services extrapolate watershed boundaries. Thus, the present study suggests that any spatial area studied should be evaluated within a broader context, preferably taking into account the administrative boundaries because decision making involves governance (city and state).

Finally, the potential scope of applications is to guide PES schemes designed for Brazil to identify providers and consumers for different markets indicating the most suitable locations for agricultural development, to support strategic decisions about financial subsidies (e.g., rural credit), to reduce disparities within and between regions by

identifying sensitive regions and to finally help to establish a national agroenvironmental service network.

3.4. Conclusions

Agribusiness sustainability assessment and monitoring involves integrated efforts. This integrated strategy requires agricultural lands to be managed as part of the array of protected areas and protected areas to be managed as part of the surrounding agricultural lands. Planning and management policies must work to adapt, remediate, and repurpose existing sites within this new proposal towards sustainability. Thus, spatially explicit compromises for decision making concerning agricultural land use are needed.

This conceptual model was built to meet a demand within the GeoCerrado project to establish a framework capable of generating a spatial view of the territorial agroenvironmental performance. The overall methodology was organized around the concept of geographic value for agroenvironmental service, and it considered the potential of GIS facilities for mapping and modeling requirements. This analytical approach should be tested in GeoCerrado study areas (Brazilian Cerrado regions) to evaluate its potential and limitations. Ideally, this framework must be implemented by transdisciplinary efforts before it can become an important instrument to support spatial planning and decision making in Brazil.

Agroenvironmental policies can stimulate economic growth while preventing environmental degradation, biodiversity loss and the unsustainable use of natural resources. By guiding the establishment of a national agroenvironmental service network, this model can support new agroenvironmental policies in an evaluation geographic development matrix. In addition, this model can guide the use of PES schemes in Brazil and support strategic decisions about financial subsidies.

3.5. References

Altieri, M. A., Letourneau, D. K., & Davis, J. R. (1983). Developing sustainable agroecosystems. *BioScience*, 33, 45-49.

- ANA. Agencia Nacional de Águas. (2009). *Programa produtor de água: manual operativo*. Agencia Nacional de Águas, Brasília.
- Antoniuzzi, L. B. (2008). *Oferta de serviços ambientais na agricultura*. Piracicaba, Universidade de São Paulo (M.Sc. thesis).
- Bastian, O., Krönert, R., & Lipský, Z. (2006). Landscape diagnosis on different space and time scales – a challenge for landscape planning. *Landscape Ecology*, 21, 359-374.
- Batistella, M., Bolfe, E. L., Victoria, D. C., Custódio, D. O., Silva, G. B. S., & Drucker, D. P. (2012). SOMABRASIL: *Sistema de Observação e Monitoramento da Agricultura no Brasil*. Campinas, Embrapa Monitoramento por Satélite. *Comunicado Técnico*, 29, 1-11.
- Bennett, G., Carroll, N., & Hamilton, K. (2013). *Charting new waters: state of watershed payments 2012*. Washington, DC, Forest Trends. <http://www.ecosystemmarketplace.com/reports/sowp2012>. Accessed February 22, 2013.
- Boyd, J., & Wainger, L. A. (2003). Measuring ecosystem service benefits for wetland mitigation. *National Wetlands Newsletter*, 24(6), p 156.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2010). *Projeções do Agronegócio: Brasil 2009/2010 a 2019/20*. http://www.agricultura.gov.br/imagens/mapa/arquivos_portal/proj_agro2010.pdf. Accessed February 20, 2013.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2012a). *Zoneamento agrícola de risco climático*. <http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/zoneamento-agricola>. Accessed January 29, 2012.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Ministério. (2012b). *Programa ABC*. <http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/plano-abc>. Accessed February 24, 2013.
- Cairol, D., Coudel, E., Knickel, K., Caron, P., & Kroger, M. (2009). Multifunctionality of agriculture and rural areas as reflected in policies. The importance and relevance of the territorial view. *Journal of Environmental Policy & Planning*, 11, 269-289.
- Chaves, H. M. L., Braga, B., Domingues, A. F., & Santos, D. G. (2004a). Quantificação dos benefícios ambientais e compensações financeiras do “Programa do Produtor de Água” (ANA): I. Teoria. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 9(3), 5-14.

- Chaves, H. M. L., Braga, B., Domingues, A. F., & Santos, D. G. (2004b). Quantificação dos benefícios ambientais e compensações financeiras do “Programa do Produtor de Água” (ANA): II. Aplicação. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 9(3), 15-21.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. (2001a). *Projeto GeoSafras*. http://www.conab.gov.br/conabweb/geotecnologia/html_geosafra/geosafra.html. Accessed February 02, 2013.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. (2001b). *Projeto SigaBrasil*. <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=535&t=2>. Accessed November 20, 2012.
- Constanza, R.; Daly, H. E.; Bartholomew, J. A. (1991). Goals, agenda and policy recommendations for ecological economics. In: Constanza, R. (Ed.). *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability*. Columbia University Press, USA. pp 1-21.
- Couclelis, H. (1985). Cellular worlds: a framework for modelling micro-macro dynamics. *Environment and Planning A*, 17 (1): 585-596.
- Couclelis, H. (1991). Requirements for planning-relevant GIS: a spatial perspective. *Papers in Regional Science*, 70(1): 9-19.
- Couclelis, H. (1997). From cellular automata to urban models: new principles for model development and implementation. *Environment and Planning B*, 24 (1): 165-174.
- Dorward, A. (2013). Agricultural labour productivity, food prices and sustainable development impacts and indicators. *Food Policy*, 39, 40-50.
- Dramstad, W. E., & Lagbu, R. (2000). *Landscape Indicators – Where to now?* Norwegian Institute of Land Inventory (NIJOS), Norway.
- EC. European Commission. (2004). *The common agricultural policy explained*. European Commission Directorate General for Agriculture.
- EMBRAPA. (2011). *Marco Referencial Integração Lavoura Pecuária e Floresta*. Brasília, DF.
- EMBRAPA. (2010). *Projeto GeoCerrado, 2010-2014. Modelagem de variáveis geoambientais para a caracterização de serviços ambientais no bioma Cerrado (02.10.01.015.00.00)*. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF.

- FAO. Food and Agricultural Organization. (1999). *Cultivating our futures*. In: FAO/Netherlands Conference on the Multifunctional Character of Agriculture and Land, September 12-17, 1999, Maastricht, Netherlands.
- FAO. Food and Agricultural Organization. (2007). *The state of food and agriculture: Paying farmers for environmental services*. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1200e/a1200e00.pdf>. Accessed February 01, 2013.
- FAO. Food and Agriculture Organization. (2009). *Agricultura é a chave para tratar necessidades de água e energia no futuro*. <https://www.fao.org.br/actnaef.asp>. Accessed December 03, 2013.
- FAO. Food and Agriculture Organization. (2010a). *Payments for environmental services (PES) from agricultural landscapes*. <http://www.fao.org/es/esa/pesal/AgRole.html>. Accessed January 15, 2013.
- FAO. Food and Agriculture Organization. (2010b). An international consultation on integrated crop-livestock systems for development. The way forward for sustainable production intensification. *Integrated Crop Management*, 13, 1-72.
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M. & Toulmin, C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327, 812–818.
- Heuvelink, G. B. M. (1999). Propagation of error in spatial modelling with GIS. In: Longley, P., Goodchild, M., Maguire, D., & Rhind, D. (Eds.). *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Applications, and Management*. New York, pp. 207-217.
- Huetting, R. (1980). *New Scarcity and Economic Growth. More Welfare Through Less Production?* Amsterdam, North-Holland Publishing Company.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2004a). *Banco de Dados de Queimadas*. <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>. Accessed December 07, 2012.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (2004b). *PRODES Digital*. <http://www.obt.inpe.br/prodesdigital/metodologia.html>. Accessed December 07, 2012.
- Jepson, W., Brannstrom, C. & Filippi, A. (2010). Access regimes and regional land change in the Brazilian Cerrado, 1972–2002. *Annals of the Association of American Geographers*, 100(1), 87–111.

- Klug H., & Zeil P. (2006). Bridging multi-functionality of agriculture and multifunctional landscapes by applying the Leitbild approach. In: Meyer, B. C. (Ed.). *Sustainable Land Use in Intensively Used Agricultural Regions*. Wageningen, pp. 82-90.
- Lamarque, P., Quétier, F. & Lavorel, S. (2011). The diversity of the ecosystem services concept and its implications for their assessment and management. *Comptes Rendus Biologies*, 334, 441-449.
- Laurance, W. F., Albernaz, A. K. M., Fearnside, P. M., Vasconcelos, H. L., & Ferreira, L. V. (2004). Deforestation in Amazonia. *Science*, 304, 1109-1111.
- Lovell, S. T., & Douglas, M. J. (2009). Creating multifunctional landscapes: how can the field of ecology inform the design of the landscape? *Frontiers in Ecology and Environment*, 7(4), 212–220.
- Macedo, M. C. M. (2009). Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38, 133-146.
- McCarthy, J. (2005). Rural geography: multifunctional rural geographies – reactionary or radical? *Progress in Human Geography*, 29, 773–782.
- MEA. Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Current state and trends* (1st ed.), Island Press.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Fonseca, G. A. B. & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853-858.
- Naveh, Z. (2001). Ten major premises for a holistic conception of multifunctional landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 57, 269–284.
- OECD. (2001). *Multifunctionality. Towards an analytical framework*. OECD, Paris.
- Patterson, T. M., & Coelho, D. L. (2009). Ecosystem services: foundations, opportunities, and challenges for the forest products sector. *Forest Ecology and Management*, 257, 1637–1646.
- Pinstrup-Andersen, P., & Pandya-Lorch, R. (1998). Food security and sustainable use of natural resources: a 2020 vision. *Ecological Economics*, 26(1), 1-10.
- PL792/2007. Projeto de Lei 792/2007. *Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais*.
- Potschin, M., & Haines-Young, R. (2006). Rio+10, sustainability science and landscape ecology. *Landscape and Urban Planning*, 75 (3-4), 162-174.

- Prado, M. & Sano, E. E. (2013). Geographic value of environmental services: a strategic approach for planning and decision making. (submitted).
- Pretty, J. (2008). Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363, 447-465.
- Reichert, T. (2006). *A closer look at eu agricultural subsidies developing modification criteria*. <http://www.germanwatch.org/tw/eu-agr05e.htm>. Accessed January 16, 2013.
- Romstad, E. (2004). Methodologies for agri-environmental policy design. In: Brouwer, F. (ed.). *Sustaining Agriculture and the Rural Environment: Governance, Policy and Multifunctionality*. Cheltenham, Edward Elgar Publishing. pp. 56-79.
- Rudorff, B. F. T., Aguiar, D. A., Silva, W. F., Sugawara, L. M., Adami, M., & Moreira, M. A. (2010). Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in São Paulo State (Brazil) using Landsat data. *Remote Sensing*, 2(4), 1057-1076.
- Ryszkowski, L., & Jankowiak, J. (2002). Development of agriculture and its impact on landscape functions. In: Ryszkowski, L. (ed.) *Landscape Ecology in Agroecosystems Management*. Boca Raton, CRC Press, 9-28.
- Ryszkowski, L., Kedziora, A. (2006). Multifunctionality of agriculture, ecosystem services and landscape diversification. In: Meyer, B. C. (Ed.). *Sustainable Land Use in Intensively Used Agricultural Regions*. Landscape Europe, Alterra Report No. 1338, Wageningen, pp. 6-14.
- Ryszkowski, L. (1998). Ecological guidelines for the management of agricultural landscapes. In: Ambast, R.S. (Ed.) *Modern Trends in Ecology and Environment*. Leiden, Backhuys Publishers, 187–201.
- Ryszkowski, L. (2002). Agriculture and landscape ecology. In: Ryszkowski, L. (ed.). *Landscape ecology in agroecosystems management*. Boca Raton, CRC Press, 341–348.
- Silva, M. P. S., Camara, G., Escada, M. I. S., & Souza, R. C. M. (2008). Remote-sensing image mining: detecting agents of land-use change in tropical forest areas. *International Journal of Remote Sensing*, 29(16), 4803–4822.
- Slee, Bill. (2009). *Re-imagining forests as multifunctional and sustainable resources for a low carbon rural economy: the potential for forest-based rural development*. In: Conference of Developing Rural Policies to Meet the Needs of a Changing World. Quebec, OECD, October 13–15, 2009.

- Turetta, A. P. D., Prado, R. B., & Schuler, A. E. (2010). Serviços ambientais no Brasil: do conceito à prática. In: Prado, R. B., Turetta, A. P. D., & Andrade, A. G. (Eds.). *Manejo e Conservação do Solo e da Água no Contexto das Mudanças Ambientais*, Rio de Janeiro, Embrapa Solos, pp. 239-253.
- UNCED. United Nations Conference on Environment and Development. (1992). *Agenda 21: Earth Summit. The United Nations Programme of Action from Rio*. New York, United Nations, Department of Public Information.
- Vejre, H., Jensen, F. S., & Thorsen, B. J. (2010). Demonstrating the importance of intangible ecosystem services from peri-urban landscapes. *Ecological Complexity*, 7(3), 338-348.
- Vilela, L., Martha Jr., G. B., Macedo, M. C. M., Marchão, R. L., Guimaraes Jr., R., Pulrolnik, K. & Maciel, G. A. (2011). Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46(10), 1127-1138.
- Zanella, M., & Cardoso, L. (2011). *Agri-environmental policies in Brazil and perspectives for evaluation*. OECD Workshop on the Evaluation of Agri-environmental Policies. OECD Publishing, Paris.
- Wolcott, R. M. (2006). Prospects for ecosystem services in the future agricultural economy: reflections of a policy hand. *American Journal of Agricultural Economics*, 88(5), 1181–1183.

CAPÍTULO 4

Mapeamento do desempenho agroambiental do território a partir do valor geográfico dos serviços agroambientais: uma aplicação no Estado de Goiás e Distrito Federal

► *Esse trabalho realizou uma primeira aplicação do Modelo Sinaleiro do Território no mapeamento do desempenho agroambiental do Estado de Goiás e Distrito Federal. A partir da abordagem do valor geográfico dos serviços agroambientais e da metodologia proposta no capítulo 3, foi possível verificar que o modelo proposto tem potencial para o monitoramento agroambiental do território baseado no conceito de serviços ambientais. A expectativa é que esse modelo possa permitir a identificação de cada porção do território como uma impressão digital espaço-temporal que será monitorada pelos órgãos tomadores de decisão para orientar políticas públicas em diferentes esferas governamentais e não governamentais.*

Em preparação para ser submetido para uma revista nacional indexada.

4.1. Introdução

É consenso geral que os sistemas agrícolas sustentáveis devem ser capazes de fornecer produtos agrícolas em quantidades e qualidades adequadas e, simultaneamente, evitar danos ao meio ambiente. Essa temática se fortaleceu por causa da forte pressão vinda de questões como a segurança alimentar, mudanças climáticas globais e barreiras não tarifárias. Assim, os sistemas agrícolas já reconhecidos como provedores de alimentos, fibras e energia, passam a ser reconhecidos como potenciais prestadores de serviços ambientais por meio da adoção de práticas de manejo capazes de promover a manutenção da qualidade ambiental, tais como o manejo e a conservação do solo e da água, diversificação da produção promovendo a biodiversidade, a mitigação e adaptação às mudanças climáticas, entre outras (FAO, 2007; Lamarque et al., 2011).

Em termos gerais, pode-se dizer que os serviços ambientais colaboram para a manutenção dos serviços ecossistêmicos mediante os incentivos de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). Os serviços ecossistêmicos, definidos pelo MEA (2005), são os benefícios relevantes para a sociedade gerados pelos ecossistemas naturais para manutenção e recuperação das condições ambientais. Por sua vez, os serviços ambientais são definidos como iniciativas individuais ou coletivas que podem favorecer a manutenção, a recuperação ou o melhoramento dos serviços ecossistêmicos (FAO, 2007). O PSA é um dos instrumentos econômicos que tem por objetivo promover a mudança de uso da terra com foco na sustentabilidade, incentivando os produtores a proteger e restaurar áreas agrícolas por meio de mecanismos de pagamento ou de compensação (FAO, 2007).

Esforços de pesquisa e de gestão focados na sustentabilidade do agronegócio brasileiro têm sido constantes, buscando estabelecer um cenário agroambiental economicamente viável, ambientalmente sustentável e socialmente responsável (Lopes & Daher, 2008). Existe uma demanda cada vez mais crescente por mecanismos capazes de incentivar práticas sustentáveis de produção nas diversas regiões e escalas de planejamento, bem como de avaliar a qualidade socioeconômica e ambiental das áreas agroambientais do país. Nesse contexto, o conceito de serviços ambientais e os programas de PSA vêm sendo amplamente discutidos como uma referência e uma oportunidade para avaliar e incentivar

políticas e práticas de gestão no âmbito do desenvolvimento agrícola sustentável (Wolcott, 2006).

No Brasil, encontra-se em discussão, no Congresso Nacional, um projeto de lei para instituir a Política Nacional dos Serviços Ambientais e o Programa Federal de Pagamento por Serviços Ambientais (Projeto de Lei 5487/2009). Além disso, o governo, através de ações como o Programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC) do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), vem buscando alternativas para inserir as boas práticas agrícolas tais como os sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF), os sistemas de plantio direto e a recuperação de áreas degradadas, já reconhecidos como potenciais prestadores de serviços ambientais, no contexto dos programas de PSA, com foco no desenvolvimento agrícola sustentável (FAO, 2010; Embrapa, 2011; BRASIL, 2012). Atualmente, o programa nacional Produtor de Água, implementado pela Agência Nacional de Águas (ANA) desde 2003, recompensa produtores rurais pela restauração e manutenção de florestas e pelas boas práticas de manejo realizadas em suas propriedades como foco na manutenção da qualidade da água (ANA, 2009).

Recentemente, o projeto GeoCerrado, liderado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), propôs o desenvolvimento de uma ferramenta baseada em Sistema de Informações Geográficas (SIG) e no conceito de serviços ambientais para subsidiar a tomada de decisão focando na otimização do uso agrícola da terra no bioma Cerrado. O objetivo desse projeto é monitorar o desempenho agroambiental do território em termos da prestação de serviços ambientais (VGSA) (Embrapa, 2010). Para isso, está sendo utilizado o conceito de valor geográfico dos serviços ambientais (Prado & Sano, 2013a) como uma abordagem estratégica para atividades de planejamento e tomada de decisões no âmbito da gestão territorial.

A partir do conceito do valor geográfico dos serviços agroambientais (VGSaAg), foi construído um fluxograma de trabalho referente ao mapeamento e monitoramento previstos no projeto, considerando as possibilidades oferecidas pelos dados e pelas ferramentas geoespaciais. O modelo conceitual, denominado de Modelo Sinaleiro do Território (*Land Sustainability Vision*, em inglês) deverá orientar o processo de mapeamento e monitoramento do potencial de prestação de serviços agroambientais (boas práticas de manejo) das áreas agroambientais do país. A expectativa é promover uma visão territorial

ampla e regionalizada acerca da prestação de serviços agroambientais no sentido de contribuir para o planejamento de políticas e tomada de decisões de forma mais eficiente, como por exemplo, as relacionadas à concessão de crédito rural e ao estabelecimento de programas de PSA (Prado & Sano, 2013b).

É nesse contexto que o presente trabalho teve como objetivo realizar uma primeira aplicação do Modelo Sinaleiro do Território no mapeamento do desempenho agroambiental da extensão territorial do Estado de Goiás e Distrito Federal a partir da abordagem e da metodologia proposta no âmbito do projeto GeoCerrado.

4.2. O valor geográfico dos serviços agroambientais e a sustentabilidade agroambiental do território

O valor geográfico dos serviços agroambientais (*VGSAg*) funciona como um critério integrador para avaliar como está a prestação de serviços agroambientais no território. Nessa abordagem, cada célula que compõe um espaço celular de representação da superfície terrestre pode ser decomposta numa assinatura de desempenho, que representa a capacidade de uma dada área, num dado intervalo de tempo, de prestar serviços agroambientais. Como o desempenho pode variar ao longo do tempo, é possível monitorar a dinâmica do território por meio da comparação de séries temporais de assinaturas de valores geográficos. Dessa forma, enquanto o valor econômico de um serviço ambiental é a contribuição desse serviço ao bem-estar social, o valor geográfico dos serviços agroambientais (*VGSAg*) é a contribuição de uma dada área do território para o equilíbrio agroambiental (Prado & Sano, 2013b).

As áreas agroambientais podem ser consideradas como um mosaico de áreas agrícolas e naturais que compõem o território, as quais estão intimamente relacionadas e interconectadas na prestação dos serviços agroambientais. No âmbito do projeto GeoCerrado, uma área agroambiental é considerada sustentável do ponto de vista da prestação de serviços ambientais quando mantém os principais benefícios advindos dos serviços ecossistêmicos, tais como a qualidade e quantidade de água, qualidade do solo, regulação climática, biodiversidade, bem como os benefícios socioeconômicos, por meio da adoção de boas práticas de uso, monitorados pelo valor geográfico dos serviços

agroambientais (VGSAg), o qual funciona como uma impressão digital de uma determinada área (Prado & Sano, 2013a; Prado & Sano, 2013b) (Figura 4.1).

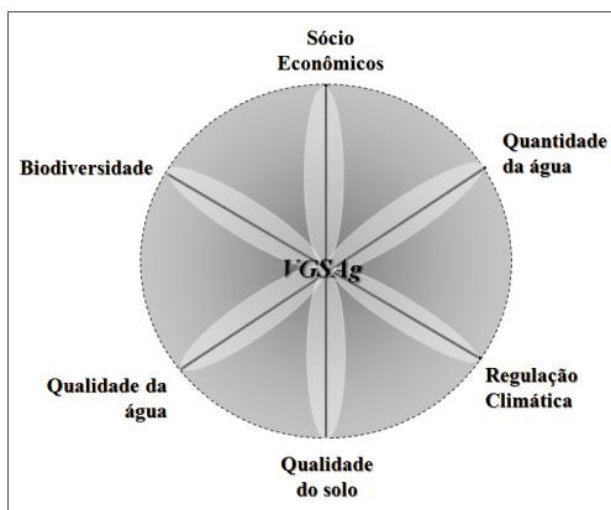


Figura 4.1. Benefícios típicos de uma área agroambiental sustentável.

Fonte: Adaptado de Prado & Sano (2013b).

A manutenção desses benefícios, no nível de propriedade e da paisagem, está relacionada à adoção (ou não) de tecnologias sustentáveis de produção. A associação entre os sistemas naturais e de uso agrícola pode fornecer vários serviços capazes de promover a resistência da paisagem contra vários impactos advindos do processo de produção. Assim como atividades de proteção realizadas no nível da paisagem podem contribuir para melhorar a eficiência de tecnologias aplicadas no nível das propriedades rurais, boas práticas realizadas no âmbito das propriedades podem contribuir para melhorar a qualidade agroambiental no nível da paisagem (Ryszkowski e Kedziora, 2006). Nesse sentido, numa estratégia de gestão integrada, com foco na sustentabilidade, as áreas de uso agrícola devem ser administradas como parte da matriz de áreas naturais, enquanto as áreas naturais devem ser administradas como parte da matriz que envolve as terras agrícolas.

A partir de um conjunto de indicadores capaz de representar os eixos dos benefícios, de acordo com a escala de análise (Figura 4.1), o VGSAg irá funcionar como um identificador comum para abordar várias questões relacionadas aos estudos e políticas envolvendo o conceito de serviço agroambiental. A proposta é atribuir uma nota em cada célula de acordo com o potencial dessa célula de estar prestando serviços agroambientais,

ou seja, mantendo boas práticas. Uma célula que estiver, por exemplo, praticando menos desmatamentos, reduzindo o número de queimadas ou usando menos agrotóxicos, irá apresentar um alto *VGSAg*. Por sua vez, uma célula numa situação oposta apresentará um *VGSAg* baixo, indicando áreas com problemas na prestação de serviços agroambientais (Prado & Sano, 2013b).

Periodicamente, deverão ser gerados alertas, sinalizando áreas que estão e que não estão contribuindo para o equilíbrio agroambiental do território, baseado na prestação de serviços agroambientais. Isso permitirá identificar áreas prioritárias e específicas para a aplicação de políticas públicas direcionadas e regionalizadas, tais como os programas de PSA e de crédito rural (Prado & Sano, 2013b). É nesse contexto que o modelo *Land Sustainability Vision* foi denominado pela equipe do projeto GeoCerrado de Modelo Sinaleiro do Território, e deverá estar alinhado a outras iniciativas nacionais, no sentido de integrar esforços para a gestão territorial.

4.3. Materiais e métodos

4.3.1. Definição de indicadores para o nível territorial

Na proposta de um sistema de monitoramento, a premissa básica para a seleção de indicadores é a possibilidade de medições e atualizações frequentes. Dessa forma, o monitoramento do território com foco na prestação de serviços agroambientais requer a definição de um conjunto de indicadores que possam ser facilmente medidos (ou pelo menos estimados) e monitorados em diferentes escalas. Além disso, esses indicadores devem ser preferencialmente derivados de bases de dados e de outros sistemas de monitoramento nacionais. Conforme destacado por Constanza et al. (1991), para alcançar a sustentabilidade, as pesquisas devem ser integradas aos processos políticos e de gestão do território.

Assim, o *VGSAg* deverá ser calculado, priorizando fontes de dados que produzam informações que são atualizadas em curto ou médio prazo, no sentido de permitir acompanhar a dinâmica de prestação de serviços agroambientais do território. Nesse sentido, se faz necessário realizar um levantamento das bases de dados e dos sistemas de monitoramento nacionais para avaliar até que ponto é possível contar com esses dados para

a construção de indicadores que permitam monitorar o equilíbrio agroambiental do território.

No âmbito do projeto GeoCerrado, a elaboração de indicadores capazes de expressar fatores que podem estar limitando ou aumentando a capacidade de prestação de serviços agroambientais de áreas agroambientais encontra-se em desenvolvimento pela equipe envolvida no projeto. Dessa forma, esse trabalho considerou dados preliminares, identificados como potenciais variáveis indicadoras, no sentido de definir um conjunto de fatores capazes de expressar se uma dada área do território está mantendo (ou não) boas práticas de manejo associadas a prestação de serviços agroambientais (Tabela 4.1).

4.3.2. Espacialização dos indicadores no espaço celular

Um dos grandes desafios da Ciência da Informação Espacial é o desenvolvimento de técnicas capazes de representar adequadamente fenômenos espaço-temporais. Da mesma forma, é um desafio integrar e modelar dados em diferentes formatos e escalas provenientes de várias instituições. Dentre as várias perspectivas de representação de espaços geográficos, há a abordagem do mundo celular (Couclelis, 1985; 1991; 1997) ou da geografia celular (Tobler, 1979). Segundo Câmara (2005) o espaço celular é baseado numa estrutura matricial generalizada em que cada célula possui um identificador único e está associada a vários tipos de atributos armazenados em tabelas.

Essa estrutura de representação é utilizada para homogeneizar informações provenientes de diferentes fontes e formatos (dados vetoriais, matriciais e também outros planos celulares), agregando-os em uma mesma base espaço-temporal. Um mesmo plano celular pode representar variáveis ambientais, demográficas, de estrutura agrária, tecnológicas, servindo como base para atividades de modelagem que atendem múltiplas aplicações (Aguiar, 2006). É nesse contexto que a abordagem do valor geográfico dos serviços ambientais (Prado & Sano, 2013a) adota o espaço celular como unidade espacial de análise.

Tabela 4.1. Tabela de indicadores adotados nesse trabalho para o nível territorial.

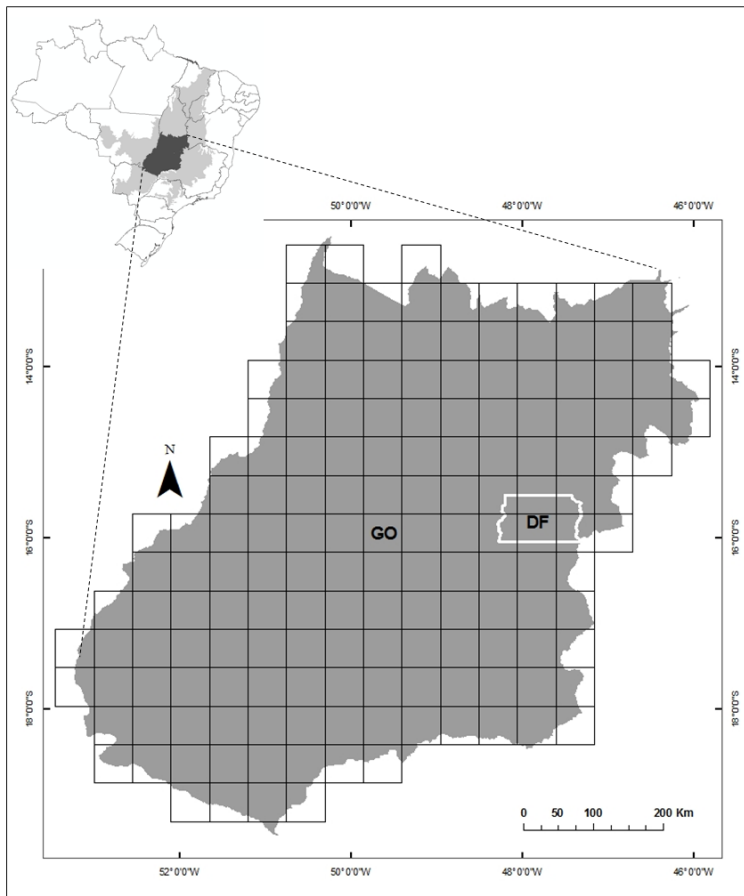
| Benefício Ecosistêmico | Serviço Agroambiental | Indicador | Dado | Formato | Data | Fonte |
|-------------------------------|---|--|---|----------------|-----------------------|--|
| Quantidade de água | Reduzir o uso de água para a irrigação | Uso da água para irrigação | Pivôs cartografados sobre imagens de satélite Landsat 7 ETM+ | Polígono | 2006 | Dado gerado pela Superintendência de Geologia e Mineração do Estado de Goiás. Disponibilizado pelo Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás: http://www.sieg.go.gov.br/ |
| Qualidade da água | Reduzir o uso de agrotóxicos | Uso de agrotóxicos | Estabelecimentos agropecuários que usaram agrotóxicos por município | Atributos | 2006 | Censo agropecuário IBGE. Disponível em: http://downloads.ibge.gov.br/downloads_estatisticas.htm |
| Qualidade do solo | | | | | | |
| Regulação climática | Redução na emissão de carbono por meio da redução da prática de queimadas | Prática de queimadas | Pontos de cicatriz de fogo obtidos a partir de imagens do sensor MODIS/TERRA (manha e tarde). | Pontos | Acumulado 2002 a 2006 | Banco de dados de Queimadas PROARCO. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/ |
| Biodiversidade | Reduzir a expansão da fronteira agrícola | Desmatamento | Alertas de desmatamento gerados a partir de imagens do sensor MODIS/TERRA. | Polígonos | Acumulado 2002 a 2006 | Dados gerados pelo Sistema Integrado de Alerta de Desmatamento do Estado de Goiás – SIAD. Disponibilizado pelo Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento da Universidade Federal de Goiás: http://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/ |
| | Manter a cobertura vegetal remanescente | Presença de cobertura vegetal remanescente | Mapa de uso e cobertura vegetal gerado a partir da interpretação de imagens LANDSAT 7. | Polígonos | 2006 | Dados gerados pelo projeto Determinação de áreas prioritárias para unidades de preservação. Imagem/WWF - EMBRAPA-IBGE/revisado pela SGM/SIC. Disponibilizado pelo Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás: http://www.sieg.go.gov.br/ |
| Socioeconômico | Prover alimentos | Produção agropecuária | Produção total | Atributos | Média 2002 a 2006 | Dado gerado pelo IBGE, com frequência anual. Disponibilizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA): http://www.ipeadata.gov.br/ |
| | Promover o desenvolvimento econômico | PIB agropecuário | PIB Municipal - agropecuário - valor adicionado - preços básicos. | Atributos | Média 2002 a 2006 | Dado gerado pelo IBGE com frequência quinquenal. Unidade: R\$ de 2000. Disponibilizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA): http://www.ipeadata.gov.br/ |
| | Promover o desenvolvimento social | Bem estar social | Índice do Desenvolvimento Humano (IDH). | Atributos | 2000 | Disponibilizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA): http://www.ipeadata.gov.br/ |

No âmbito desse trabalho, os dados descritos na Tabela 4.1, ajustados para o sistema de coordenadas geográficas (latitude e longitude) e datum SAD-69, foram integrados a partir de um banco de dados geográficos no aplicativo TerraView 4.2.2 e redistribuídos em um espaço celular constituído por células regulares com dimensão de 50 km x 50 km que cobrem a área de estudo. Foram geradas 183 células de 2.500 km² cada cobrindo toda a extensão da área de estudo, das quais 22 correspondentes a células que continham menos de 20% de área municipal foram excluídas (Figura 4.2a). Essa resolução espacial foi definida com base nas escalas espaciais do conjunto de dados (variação de 1: 250.000 a 1: 1.000.000), compatível com um contexto de análise regional e territorial.

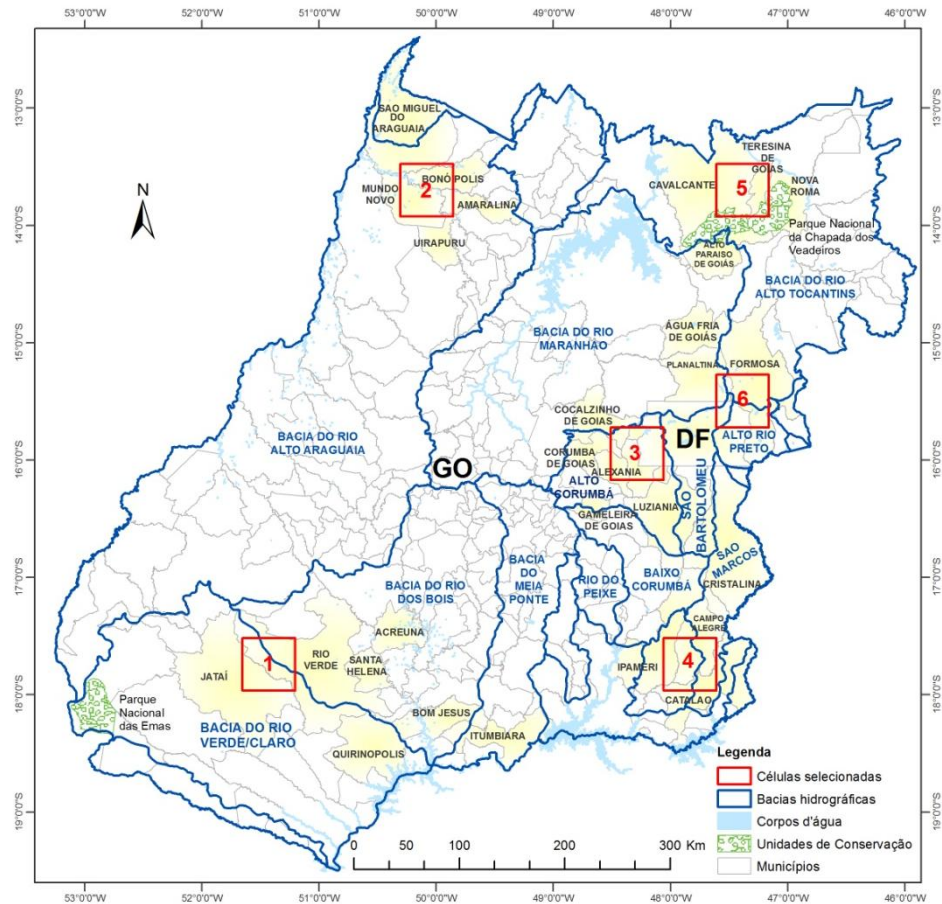
As informações foram inseridas no espaço celular por meio do *plug-in* de “preenchimento de células” conforme metodologia apresentada por Aguiar et al. (2008) (Figura 4.2). Esse *plug-in* possui a função de preencher o espaço celular com as variáveis selecionadas. De acordo com a representação geométrica e a semântica dos atributos dos dados de entrada, diferentes operadores podem ser aplicados, tais como média, valores máximo e mínimo, menor distância, ausência ou presença e porcentagem. A Tabela 4.2 apresenta os operadores utilizados nesse trabalho para cada variável indicadora.

Tabela 4.2. Operadores utilizados para cada variável selecionada para o modelo no nível territorial.

| Componentes | Variáveis Indicadoras | Unidades | Operadores |
|----------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Ambientais | Pivôs | Número de pivôs | Quantidade |
| | Agrotóxicos | Número de estabelecimentos | Soma ponderada por área |
| | Focos de calor | Número de focos | Quantidade |
| | Desmatamentos | Número de alertas | Quantidade |
| | Áreas remanescentes | Hectares | Porcentagem total por área |
| Agro-sócioeconômicos | Produção | R\$ de 2000 | Soma ponderada por área |
| | PIB municipal agropecuário | R\$ de 2000 | Soma ponderada por área |
| | IDH-M | - | Média ponderada por área |



(a)



(b)

Figura 4.2. (a) Localização da área de estudo e a divisão em células de 50 km x 50 km, (b) Contextualização da área de estudo.

Optou-se por fazer uma análise para o Estado de Goiás (GO) e Distrito Federal (DF), dada à disponibilidade de dados, além dessas unidades da federação estarem totalmente inseridas no bioma Cerrado, sendo representativas em termos agroambientais no contexto nacional (Figura 4a e 4b).

Os dados de área referentes aos desmatamentos e aos pivôs foram convertidos para o formato de pontos e considerados o período acumulado de 2002 a 2006. Para os dados de produção e produto interno bruto (PIB), foi considerada a média para o período de 2002 a 2006. Esse intervalo de análise, de 2002 a 2006, foi considerado dado à disponibilidade da base de dados para aplicar e testar o modelo. O dado de IDH do ano de 2000 foi utilizado, uma vez que o dado mais recente se refere ao ano de 2010.

Nessa primeira aplicação do modelo foi desconsiderada a influência de outras atividades que não correspondem ao setor agropecuário. Da mesma forma, as áreas urbanas foram desconsideradas. No entanto, no âmbito do projeto GeoCerrado, encontra-se em desenvolvimento um critério para tratar de forma diferente, as células com grande influência das áreas urbanas, industriais e de exploração mineral.

4.3.3. Cálculo do valor geográfico dos serviços agroambientais

A partir do plano de células com as informações dos indicadores, foi aplicada a Eq. 1 referente ao valor geográfico dos serviços ambientais (Prado & Sano, 2013a), a qual foi ajustada para o conceito de valor geográfico de serviços agroambientais (Prado & Sano, 2013b):

$$VGSAg_{ij} = (\sum_{k=1}^n (P_k \cdot N_k)) T_m \quad (1)$$

onde: $VGSAg_{ij}$ = qualquer célula da matriz com o respectivo valor geográfico dos serviços agroambientais; n = número de variáveis (k) consideradas para descrever a prestação de serviços agroambientais; P = peso; N = notas das classes ou categorias; e T = tempo.

Para a construção da matriz de valores geográficos dos serviços agroambientais ($VGSAg$) foi atribuída uma nota a cada variável indicadora variando de 0 a 1 por meio do

procedimento de normalização dos dados, considerando a média e desvio padrão de cada variável ($N(\mu_K, \sigma_K)$). Esse procedimento foi aplicado de forma padrão para obter a nota de todos os indicadores, a qual foi multiplicada por dez para obter uma nota variando de 0 a 10. Após a normalização foi atribuído um peso de 50% para o conjunto de variáveis indicadoras ambientais e um peso de 50% para as variáveis agro-socioeconômicas no sentido de fazer um balanço do equilíbrio agroambiental.

No âmbito do projeto GeoCerrado estão sendo conduzidas análises para que cada variável indicadora do modelo tenha uma função específica de atribuição de notas. Da mesma forma, serão realizados estudos para comparar o desempenho do procedimento de aplicação de normalização padrão com o procedimento baseado em funções específicas, na resposta do modelo. No que se refere ao peso das variáveis, estão sendo realizadas análises estatísticas para definir o peso de cada variável ou conjunto de variáveis, comparando-as com essa primeira aplicação do modelo baseada no conceito da balança (peso de 50%).

Para a apresentação dos resultados, foram considerados quatro níveis de interpretação do equilíbrio agroambiental do território: nível baixo (0 – 2,5), representado cartograficamente pela cor vermelha, nível médio-baixo (2,5 – 5,0), representado pela cor laranja, nível médio-alto (5,0 – 7,5), representado pela cor amarela, e nível alto (7,5 – 10), representado pela cor verde.

4.4. Resultados e discussão

Em uma primeira abordagem da sustentabilidade agroambiental do Estado de Goiás, fez-se uma discussão do comportamento espacial de cada variável indicadora no espaço celular. Em seguida, foi realizada uma análise do desempenho agroambiental de toda a extensão de Goiás e DF, e por células específicas selecionadas para análise (Figura 4.2 b).

4.4.1. Análise do comportamento dos componentes ambientais e agro-sócioeconômicos

As Figuras 4.3a e 4.3c mostram que existe uma coincidência espacial entre a zona de maior ocorrência de focos de queimada com a zona de maior porcentagem de vegetação

remanescente que fica na região nordeste do Estado. Isso indica que estão ocorrendo queimadas em áreas de cobertura vegetal natural do Estado, contribuindo não apenas no processo de aumento da emissão de carbono, mas também na redução do sequestro pela queima de vegetação. Na região sudeste, as três células que aparecem no nível baixo (0 – 2,5) em termos de queimadas correspondem a municípios de Itumbiara, Santa Helena de Goiás, Bom Jesus de Goiás e Rio Verde, nos quais a ocorrência de queimadas pode estar associada à queima da cana-de-açúcar.

No que se refere aos desmatamentos (Figura 4.3b), o comportamento espacial dos desmatamentos no Estado para o período acumulado de 2002 a 2006 mostra uma clara tendência de expansão de novas áreas em torno das atuais áreas de uso, com *hotspots* (áreas no intervalo de 0 – 2,5) nas regiões do Araguaia, porção noroeste de Goiás, na porção nordeste, abrangendo os municípios de Planaltina de Goiás e Água Fria de Goiás, na porção sudeste, abrangendo os municípios de Campo Alegre, Ipameri, Luziânia e Cristalina, e na porção sudoeste, abrangendo Rio Verde e Jataí.

A variável indicadora de presença de cobertura vegetal remanescente (Figura 4.3c) expressa o benefício da conservação da biodiversidade associada ao serviço agroambiental de manutenção da cobertura vegetal remanescente. No Estado de Goiás, observa-se que, nas porções sudeste, centro e sudoeste, apresentam baixo percentual de remanescentes, uma vez que estão associadas às áreas de produção agropecuária. As Figuras 4.3c-4.3e indicam que existe uma coincidência espacial entre as áreas de uso antrópico do Estado com as áreas que estão sendo desmatadas e usadas na agricultura irrigada (pivôs). A variável indicadora quantidade de pivôs está associada ao serviço agroambiental de redução do uso de água para a irrigação na agricultura.

Na Figura 4.3e, as regiões que aparecem no intervalo representado pelo nível baixo (0 – 2,5) correspondem a 83,5% dos pivôs mapeados no Estado e indicam áreas com alta demanda hídrica e com possíveis problemas de conflitos pelo uso da água. Esses locais diagnosticados com nota baixa em termos de uso da água representam as bacias do Rio Preto, São Bartolomeu e São Marcos (região sudeste do Estado) e as bacias do Rio Uru, São Patrício, Rio Verde, Rio Turvo e Rio Meia Ponte (região sudoeste do Estado).

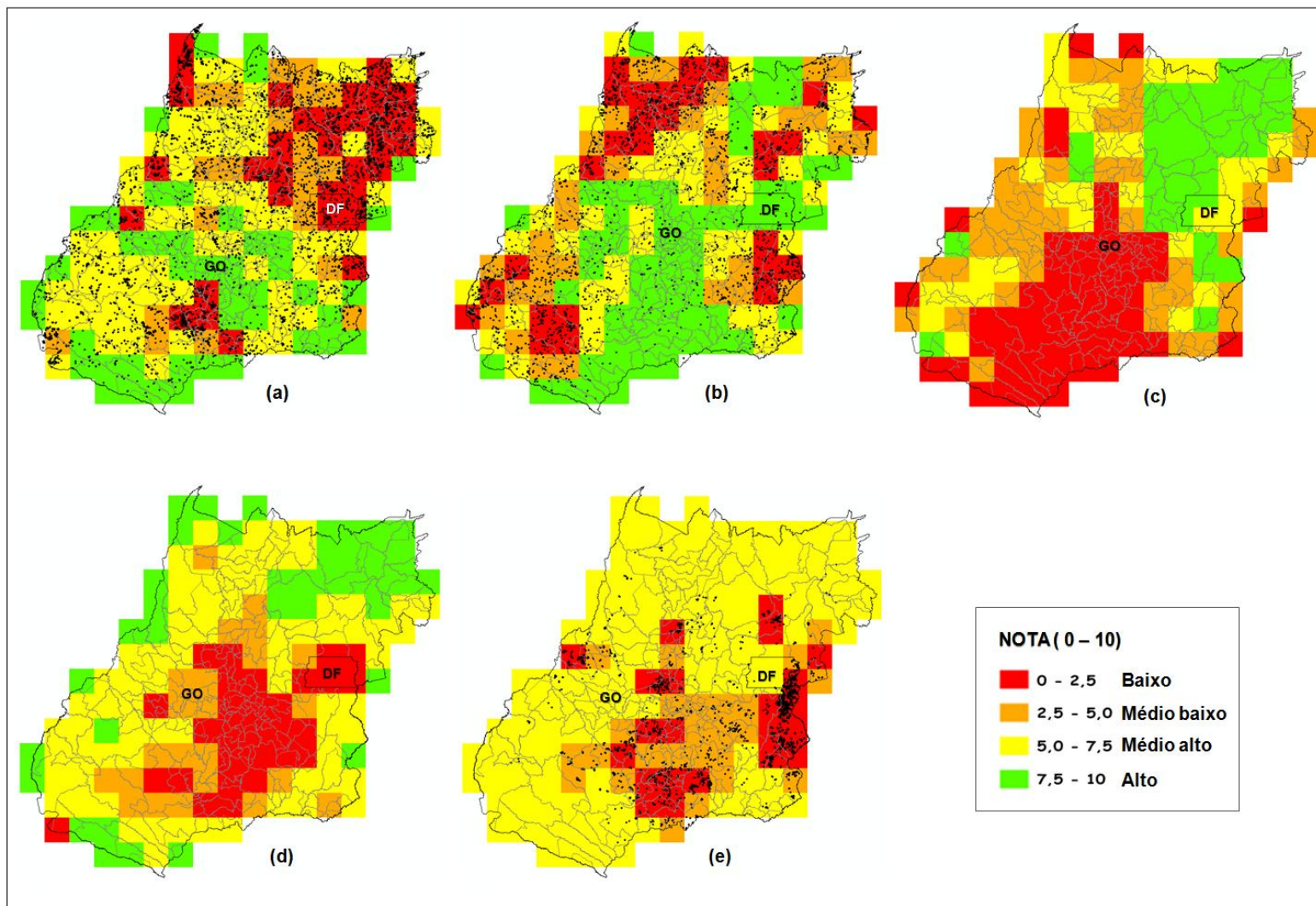


Figura 4.3. Comportamento espacial dos componentes ambientais: (a) queimadas, (b) desmatamentos, (c) remanescentes, (d) agrotóxicos, (e) pivôs no Estado de Goiás e do Distrito Federal.

As variáveis indicadoras para representar os benefícios socioeconômicos são representadas pela produção agropecuária total, PIB agropecuário e IDH, as quais estão associadas respectivamente aos serviços agroambientais de prover alimentos e promover o desenvolvimento econômico e social. No Estado de Goiás, observa-se que o nível alto desses componentes (cor verde) situa-se nas porções centro, sudeste e sudoeste do Estado, enquanto o valor baixo (vermelho) situa-se na porção norte (Figuras 4.4a, 4.4b e 4.4c). As áreas de elevada produção (Figura 4a) e PIB agropecuário (Figura 4b) na região sudeste (cor verde) correspondem aos municípios de Cristalina, Gameleira de Goiás e a região do Distrito Federal. Na porção que aparece em verde, na região sudoeste, estão municípios como Santa Helena de Goiás, Rio Verde, Jataí, Acreuna e Quirinópolis. Essa mesma tendência é observada para o IDH.

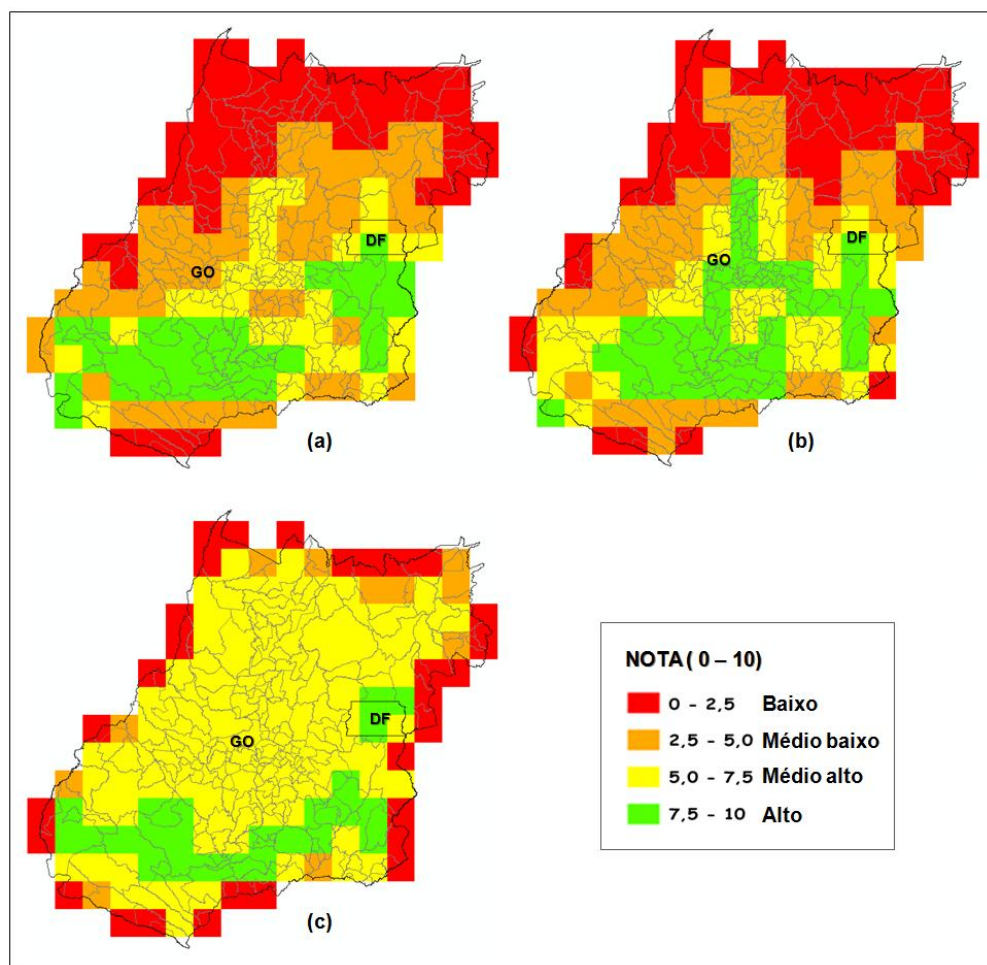


Figura 4.4. Comportamento espacial dos componentes agro-sócioeconômicos: (a) produção, (b) PIB agropecuário e (c) IDH no Estado de Goiás e Distrito Federal.

4.4.2. Análise do Desempenho Agroambiental

O desempenho agroambiental do Estado de Goiás foi diagnosticado através da Eq. 1 já apresentada na metodologia, a qual gera uma matriz de valores geográficos de serviços agroambientais (VGSAg). O resultado da aplicação do *Modelo Sinaleiro do Território* para o Estado de Goiás e Distrito Federal, para o período considerado, está expresso no mapa do potencial de prestação de serviços agroambientais do Estado de Goiás (Figura 4.5).

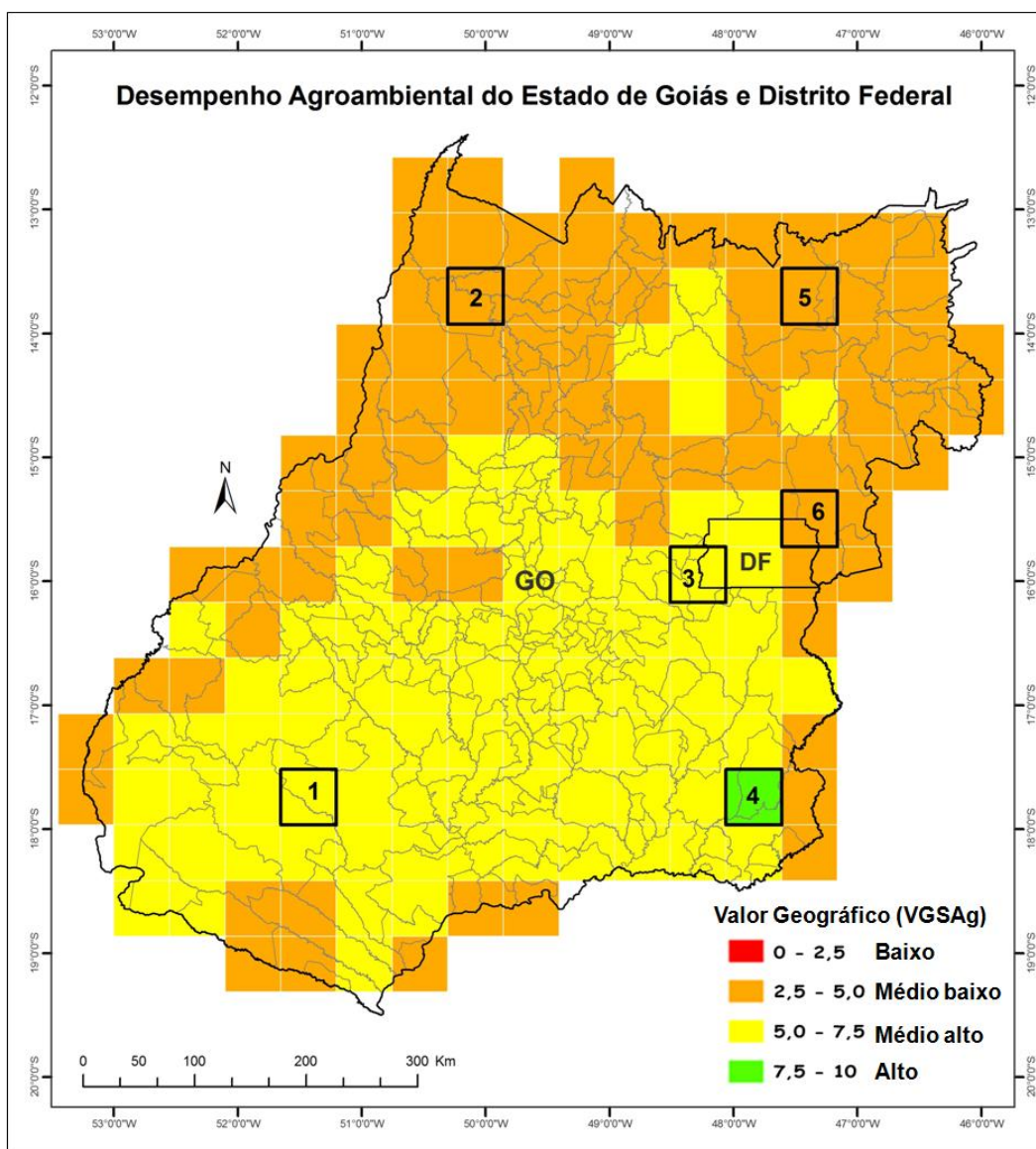


Figura 4.5. Desempenho agroambiental do Estado de Goiás e do Distrito Federal a partir do Valor Geográfico dos Serviços Agroambientais (período 2002-2006).

Em termos gerais, o Estado de Goiás e DF apresentaram 50% do seu território com VGSAg médio-baixo (80 células) e 50 % com VGSAg médio-alto (49 células). Apenas uma célula foi diagnosticada com VGSAg alto, correspondendo aos municípios de Catalão, Ipameri e Campo Alegre de Goiás. Nenhuma célula foi verificada com baixo VGSAg (Figura 4.5). Nesse sentido, pode-se dizer que metade da área territorial de Goiás e DF encontra-se num intervalo satisfatório de equilíbrio agroambiental e a outra metade encontra-se em estado de alerta.

Com base na metodologia do modelo baseada no valor geográfico dos serviços agroambientais, um diagnóstico mais detalhado do desempenho agroambiental pode ser realizado no nível de célula a partir da assinatura do desempenho agroambiental baseada no VGSAg. Nesse sentido, foram selecionadas, com base no conhecimento de campo do Estado pelos autores, seis células distribuídas na área de estudo para a finalidade de avaliar quais fatores (indicadores) estão contribuindo (ou não) para o equilíbrio agroambiental naquela porção do território (Figuras 4.2a e 4.5).

Na célula 1, observa-se que o seu nível médio-alto de VGSAg do desempenho agroambiental está associado a uma nota alta dos componentes agro-socioeconômicos (produção agropecuária, PIB agropecuário e IDH). Por outro lado, essa célula apresenta um desempenho baixo e médio-baixo para os componentes desmatamentos e agrotóxicos respectivamente (Figura 4.6a e Tabela 4.3). Essa célula abrange municípios como Jataí e Rio Verde, os quais apresentam expressiva produção de grãos, carne, fibras e energia.

A célula 2 corresponde à região do Araguaia, abrangendo municípios como Mundo Novo e Bonópolis. Essa célula apresentou um VGSAg médio-baixo. Em termos de decisão política de ordenamento territorial, essa célula apresenta um diagnóstico de alerta em termos do equilíbrio agroambiental desse Estado (Figura 4.6b e Tabela 4.3). A célula 3, que abrange a região do Distrito Federal e entorno, apresentou um valor de VGSAg médio-alto, associado com um desempenho satisfatório dos componentes agro-socioeconômicos, bem como da variável indicadora porcentagem de remanescentes naturais, principalmente associada ao Campo de Instrução de Formosa (Figura 4.6c e Tabela 4.3).

A célula 4, que abrange os municípios de Catalão e Ipameri, apresentou alto VGSAg para todas as variáveis indicadoras, com exceção das variáveis ambientais agrotóxicos e desmatamentos com valor médio de desempenho (Figura 4.6d e Tabela 4.3).

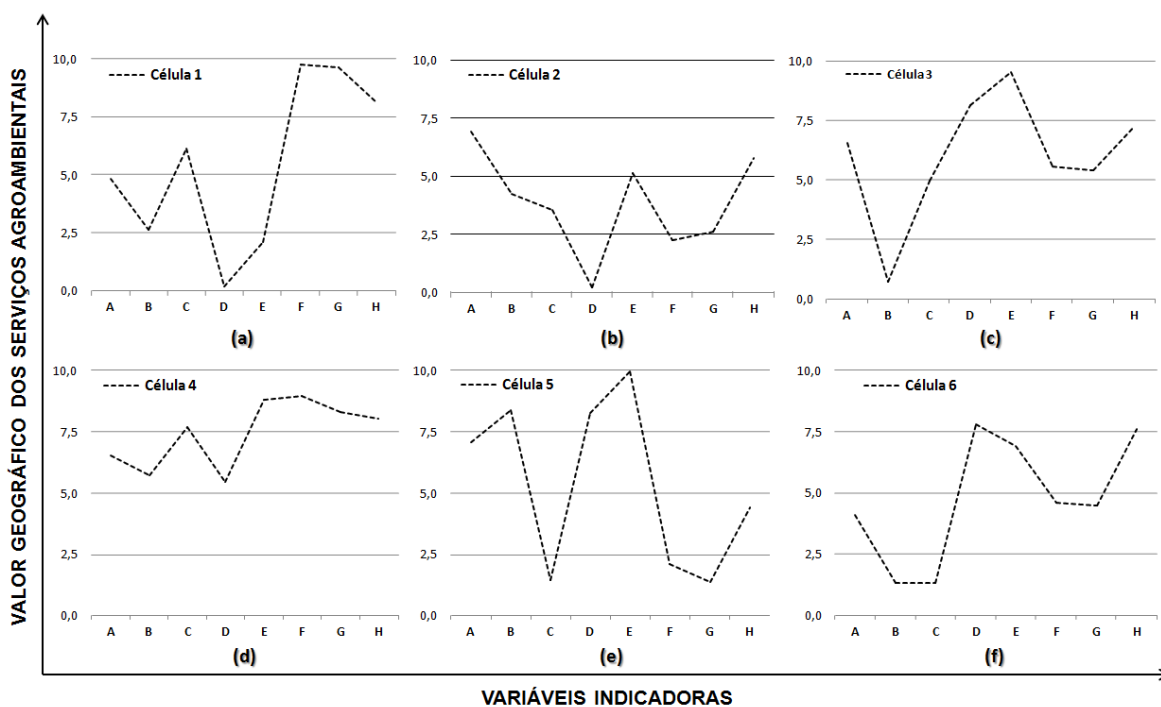


Figura 4.6. Assinatura do desempenho agroambiental do Estado de Goiás e Distrito Federal para seis células de (50 km x 50 km), considerando as variáveis indicadoras do Modelo Sinaleiro do Território: A) pivôs; B) agrotóxicos; C) queimadas; D) desmatamentos; E) % de remanescentes; F) produção agropecuária; G) PIB agropecuário; e H) IDH.

Tabela 4.3. Valores das notas de desempenho das variáveis indicadoras e do valor geográfico dos serviços agroambientais (VGSAg) para as células selecionadas no Estado de Goiás e Distrito Federal.

| Célula | Pivôs | Agrotóxicos | Queimadas | Desmates | % Remanescente | Produção | PIB | IDH | VGSAg |
|--------|-------|-------------|-----------|----------|----------------|----------|------|------|-------------|
| 1 | 4,82 | 2,61 | 6,15 | 0,18 | 2,11 | 9,75 | 9,63 | 8,12 | 6,17 |
| 2 | 6,94 | 4,23 | 3,55 | 0,21 | 5,12 | 2,27 | 2,62 | 5,80 | 3,79 |
| 3 | 6,54 | 0,70 | 4,95 | 8,12 | 9,52 | 5,55 | 5,40 | 7,22 | 6,01 |
| 4 | 6,54 | 5,71 | 7,69 | 5,45 | 8,81 | 8,97 | 8,32 | 8,03 | 7,64 |
| 5 | 7,07 | 8,39 | 1,44 | 8,27 | 9,98 | 2,10 | 1,34 | 4,41 | 4,82 |
| 6 | 4,09 | 1,30 | 1,32 | 7,81 | 6,91 | 4,61 | 4,47 | 7,60 | 4,92 |

A célula 5 apresentou, em sua assinatura de desempenho agroambiental, um valor de VGSAg médio-baixo, estando em estado de alerta nas decisões de planejamento, tendo baixo desempenho nas variáveis indicadoras referentes a queimadas, produção e PIB agropecuário. Essa célula abrange os municípios de Cavalcante e Teresina de Goiás e está

associada ao Parque Nacional Chapada dos Veadeiros, tendo uma vocação funcional para o turismo e não para produção de alimentos (Figura 4.6e e Tabela 4.3).

A célula 6 está associada aos municípios de Formosa, Planaltina e Distrito Federal com valor médio-baixo de VGSAg. Os fatores ambientais que corroboraram com esse desempenho agroambiental em estado de alerta são o intenso uso de agrotóxicos e a intensidade de focos de queimadas. São áreas em que o VGSAg pode ser melhorado com boas práticas de manejo de solo e água, bem como, tecnologias apropriadas para melhorar a produção e o PIB agropecuário da região (Figura 4.6f e Tabela 4.3).

Observa-se que somente uma análise em nível macro do desempenho agroambiental não pontua quais os aspectos positivos e negativos inerentes a cada porção do território. Por exemplo, as células 1 e 3 (Figura 4.6a e 4.6c) tem o mesmo VGSAg de desempenho agroambiental (Figura 4.5), mas agregam assinaturas no nível celular completamente diferentes, as quais terão estratégias orientadoras também diferentes. O recomendado é que após rodado o modelo a nível macro, sejam processadas as assinaturas de desempenho agroambiental a nível celular para compor uma grade decisória para aporte na tomada de decisão.

4.5. Conclusões

A análise espacial utilizando SIG, embora não seja projetada para reproduzir o mundo real de forma exata, pode fornecer orientações úteis para avaliar os impactos relativos de diferentes políticas. Dessa forma, a abordagem do valor geográfico dos serviços agroambientais, como qualquer outra abordagem de modelagem, está sujeita a limitações em relação aos dados, aos parâmetros do modelo e às relações sócioeconômicas e biofísicas representadas.

A representação geográfica dos dados em células é uma excelente solução quando se trabalha com dados durante um período temporal, e as unidades espaciais de indexação dos dados se alteram com o passar do tempo.

A aplicação do modelo *Land Sustainability Vision* ou Modelo Sinaleiro do Território no Goiás e Distrito Federal foi um primeiro esforço de aplicação dessa nova abordagem. A expectativa é que esse modelo possa permitir a identificação de cada porção

do território como uma assinatura digital espaço-temporal que será monitorada pelos órgãos tomadores de decisão para orientar políticas públicas em diferentes esferas governamentais e não governamentais.

4.6. Referências

- Aguiar, A.P.D. (2006). Modelagem de mudança do uso da terra na Amazônia: explorando a heterogeneidade intrarregional. INPE, São José dos Campos. (Tese de Doutorado). 208 pp.
- Aguiar, A. P.; Andrade, P. R.; Ferrari, P. G. (2008). *Preenchimento de Células*. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/terraview/docs/tutorial/Aula15.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2010.
- ANA. (2009). *Programa produtor de água: manual operativo*. Agência Nacional de Águas, Brasília.
- BRASIL. (2012). *Programa ABC*. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/plano-abc>>. Acesso em: 24 fev. 2013.
- Câmara, G. (2005). Representação Computacional de Dados Geográficos. In: Câmara, G.; Davis, C.; Casanova, M. A.; Queiroz, G. R. D. (Eds.). *Bancos de Dados Geográficos*. Curitiba, Editora Mundogeo. p. 1-44.
- Constanza, R.; Daly, H. E.; Bartholomew, J. A. (1991). Goals, agenda and policy recommendations for ecological economics. In: Constanza, R. (Ed.). *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability*. Columbia University Press, USA. p. 1-21.
- Couclelis, H. (1985). Cellular worlds: a framework for modelling micro-macro dynamics. *Environment and Planning A*, 17 (1): 585-596.
- Couclelis, H. (1991). Requirements for planning-relevant GIS: a spatial perspective. *Papers in Regional Science*, 70(1): 9-19.
- Couclelis, H. (1997). From cellular automata to urban models: new principles for model development and implementation. *Environment and Planning B*, 24 (1): 165-174.

- EMBRAPA. (2010). *Projeto GeoCerrado, 2010-2014. Modelagem de variáveis geoambientais para a caracterização de serviços ambientais no bioma Cerrado* (02.10.01.015.00.00). Embrapa Cerrados, Planaltina-DF.
- EMBRAPA. (2011). *Marco Referencial Integração Lavoura Pecuária e Floresta*. Brasília, DF.
- FAO. (2007). *The state of food and agriculture: Paying farmers for environmental services*. Disponível em: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1200e/a1200e00.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2013.
- FAO. (2010). *Payments for environmental services (PES) from agricultural landscapes*. Disponível em: <http://www.fao.org/es/esa/pesal/AgRole.html>. Acesso em: 15 jan. 2013.
- Lamarque, P.; Quétier, F.; Lavorel, S. (2011). The diversity of the ecosystem services concept and its implications for their assessment and management. *Comptes Rendus Biologies*, v. 334, p. 441-449.
- Lopes, A. L. & Daher, E. (2008). Agronegócio e Recursos Naturais no Cerrado: desafios para uma coexistência harmônica. In: Faleiro, F. G., & Farias Neto, A. L. F. (Eds.). *Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais*. pp. 173 – 209.
- MEA. (2005). *Ecosystems and human well-being: Current state and trends* (1st ed.), Island Press.
- Prado, M.; Sano, E. E. (2013a). Geographic value of environmental services: a strategic approach for planning and decision-making activities. (submetido)
- Prado, M.; Sano, E. E. (2013b). Land sustainability vision: a unifying framework for agroenvironmental land management in Brazil. (submetido)
- Tobler, W. R. (1979). Cellular geography. In: Gale, S.; Olsson, G. (eds.) *Philosophy in Geography*. Dordrecht, Holland: Reidel Publishing Company, p. 379-386.
- Ryszkowski, L.; Jankowiak, J. (2002). Development of agriculture and its impact on landscape functions. In: Ryszkowski, L. (ed.) *Landscape Ecology in Agroecosystems Management*. Boca Raton, CRC Press, p. 9-28.

Wolcott, R. M. (2006). Prospects for ecosystem services in the future agricultural economy: reflections of a policy hand. *American Journal of Agricultural Economics*, v. 88, n. 5, p. 1181–1183.

CAPÍTULO 5

Considerações finais

Esse trabalho mostrou ser possível avaliar o equilíbrio agroambiental de uma área do território em termos do conceito de serviços ambientais. Para isso foi desenvolvido o conceito do Valor Geográfico dos Serviços Ambientais (*Geographic Value of Environmental Services*, em inglês) considerando a importância do contexto geográfico tanto na avaliação, quanto na valoração dos serviços ecossistêmicos (prestados pelos sistemas naturais) e dos serviços ambientais (boas práticas capazes de manter os benefícios gerados pelos serviços ecossistêmicos). Enquanto o valor econômico de um serviço ambiental retrata a contribuição desse serviço ao bem-estar social, o valor geográfico dos serviços ambientais retrata a contribuição de uma dada área do território para o equilíbrio ambiental. O conceito de Valor Geográfico dos Serviços Agroambientais (*Geographic Value of Agroenvironmental Services*, em inglês) foi uma adaptação desse conceito, no sentido de abranger o contexto agroambiental considerado nesse trabalho de tese. Dessa forma, o valor geográfico dos serviços agroambientais retrata a contribuição de uma dada área para o equilíbrio agroambiental do território.

A partir do conceito do valor geográfico dos serviços agroambientais foi construído o modelo conceitual do projeto GeoCerrado da Embrapa, denominado de Modelo Sinaleiro do Território (*Land Sustainability Vision*, em inglês). Esse modelo deverá orientar o processo de mapeamento e monitoramento do potencial de prestação serviços agroambientais (boas práticas de manejo) das áreas agroambientais, gerando alertas periódicos que indicarão áreas que estão e que não estão contribuindo para o equilíbrio (ou sustentabilidade) agroambiental do território. O monitoramento terá apoio de uma biblioteca de assinaturas de valor geográfico, a qual será composta de séries temporais de dados representando os indicadores de serviços agroambientais.

Foi realizada uma primeira aplicação do Modelo Sinaleiro do Território no mapeamento do desempenho agroambiental do Estado de Goiás e Distrito Federal. Os resultados mostraram o potencial da abordagem baseada no Valor Geográfico dos Serviços Agroambientais para avaliar o desempenho agroambiental do território, bem como, para orientar a formação dos mercados para serviços ambientais e promover o desenvolvimento

de novas estratégias para reconhecer e recompensar aqueles que trabalham para a sustentabilidade agroambiental. A estrutura de representação do valor geográfico, baseada em células e em assinaturas temporais de desempenho pode possibilitar a localização e a avaliação dos serviços agroambientais em diferentes níveis territoriais, facilitando o processo de compatibilização entre diferentes esforços através do espaço e tempo.

O modelo proposto, como qualquer outra abordagem de modelagem, está sujeito a limitações em relação aos dados, aos parâmetros do modelo e às relações econômicas e biofísicas representadas. A definição dos indicadores de serviços agroambientais que serão utilizados nas diferentes escalas espaciais e temporais ocupa um papel central na evolução desse modelo, pois irão subsidiar os novos ensaios para o processo de validação. De mesma importância são as análises do comportamento espacial (vizinhança) e temporal das células (ou conjunto de células) de valores geográficos para o desenvolvimento dos padrões de assinatura de desempenho agroambiental, as quais subsidiarão a regionalização de cenários.

Esse trabalho considera que a abordagem baseada no Valor Geográfico dos Serviços Ambientais é estratégica para o planejamento e tomada de decisões voltadas para a gestão da sustentabilidade do território. A contribuição metodológica é que o Valor Geográfico dos Serviços Ambientais funciona como um identificador comum para abordar várias questões relacionadas aos estudos e políticas que envolvem o conceito de serviços ambientais.

A expectativa é que o Modelo Sinaleiro do Território, baseado no Valor Geográfico dos Serviços Agroambientais, permita a identificação de cada porção do territorial como uma impressão digital espaço-temporal que será monitorada pelos órgãos tomadores de decisão para orientar políticas públicas em diferentes esferas governamentais e não governamentais. Além disso, as informações geradas, juntamente com outros sistemas nacionais, podem orientar a formação de uma Rede Nacional de Serviços Agroambientais, a qual pode integrar uma Rede Nacional de Sustentabilidade Agroambiental, subsidiando os programas de Pagamento por Serviços Ambientais e os processos de certificação e crédito rural no âmbito do agronegócio brasileiro.

ANEXO

Levantamento das bases de dados e dos sistemas de monitoramento nacionais para subsidiar a construção de indicadores de serviços agroambientais

Esse anexo apresenta um levantamento das bases de dados e dos sistemas de monitoramento nacionais. O propósito foi identificar potenciais fontes de dados e informações para subsidiar a construção de indicadores de serviços agroambientais que permitam monitorar o equilíbrio agroambiental do território. Foram percorridos sites de instituições nacionais (federais, regionais e estaduais) consideradas com interface no âmbito do planejamento e gestão agroambiental do território. Para visualizar como estão distribuídos os principais dados produzidos pelo país relacionados à temática agroambiental, esse levantamento considerou aspectos tais como: os setores e as instituições produtoras e disseminadoras, o objeto da base de dados ou do monitoramento, a abrangência, a escalas espacial e temporal, a metodologia, o produto disponibilizado, a forma de acesso, entre outros. Sintetizando as informações hoje disponíveis, foram elaboradas duas tabelas contendo respectivamente, na Tabela 1, o levantamento de bases de dados digitais no Brasil para o monitoramento agroambiental do território e na Tabela 2, o levantamento dos programas de monitoramento agroambiental do território.

Tabela 1. Levantamento de bases de dados digitais no Brasil para o monitoramento agroambiental do território.

| Bases de dados | Setor/ Instituição | Temas | Abrangência | Formato | Acesso |
|--|-----------------------|--|--|---|--|
| Portal de mapas IBGE e Downloads IBGE | IBGE | Bases cartográficas e temáticas referentes ao mapeamento sistemático do território nacional. Bases de dados estatísticas referente ao território nacional. | Nacional, Regional, Estadual, Municipal | Parte dos dados é disponibilizada no formato PDF (alguns mapas documentos). Outra parte está disponível no formato de tabelas (.xls) e arquivos vetoriais (.shp) para download no Canal Geociências. Alguns mapas podem ser visualizados e obtidos (é permitido o download) pelo SIGonline (mapas interativos). | http://mapas.ibge.gov.br/ http://downloads.ibge.gov.br/ |
| SIDRA Banco de Dados Agregados | IBGE | Dados estatísticos nacionais: Censos demográfico e agropecuário. | Nacional,Regional, Estadual,Municipal | Banco de dados para consulta on-line, onde é possível construir e salvar diferentes tabelas (.xls) a partir do banco. | http://www.sidra.ibge.gov.br/ |
| IPEA DATA | IPEA | Base de dados econômicos e financeiros incluindo séries estatísticas da economia brasileira e dos aspectos que lhe são mais pertinentes na economia internacional. Base de dados demográficos, econômicos e geográficos para as regiões, estados e municípios brasileiros que se iniciam no Censo Demográfico de 1872. Base de dados e indicadores sociais abrangendo temas diversos | Os níveis geográficos disponíveis são município, área metropolitana, micro e mesorregião geográfica, estado, região administrativa | É possível extrair os dados no formato de tabelas ou mapas editáveis (em formato JPEG). | http://www.ipeadata.gov.br/ |
| IPEA MAPS | IPEA | Oferece dados consolidados sobre diversos temas, como educação e pobreza, os quais são derivados de informações já públicas que têm como fonte ministérios e outros órgãos federais, como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) | Nacional | No aplicativo do SIGonline há a opção de salvar a visualização do mapa em diferentes formatos de figura (Tiff, svg, png) ou em PDF. | http://mapas.ipea.gov.br/i3geo/ |

| | | | | | |
|---|------------------------|--|---|--|---|
| SomaBrasil Sistema de Observação e Monitoramento da Agricultura no Brasil | EMBRAPA/ MAPA | Base de dados relevantes para o desenvolvimento agrícola e a gestão de recursos naturais. Prover dados e informações para subsidiar o entendimento de mudanças de uso e cobertura da terra. | Nacional | No aplicativo do SIGonline há a opção de salvar a visualização do mapa em diferentes formatos de figura ou em PDF. | http://geoserver.cnpm.embrapa.br/somabrasil/webgis.html |
| GEOBANK | CPRM | Mapas geológicos Mapas geodiversidade | Nacional | É possível visualizar os mapas no aplicativo WebMap e no Google Hearth. Os mapas podem ser salvos no formato PDF. | http://geobank.sa.cprm.gov.br/ |
| SIT Sistema de Informações Territoriais | MDA | Dados sobre os Territórios Rurais e Territórios da Cidadania | Nacional | Mapas dos territórios e dados socioeconômicos | http://sit.mda.gov.br/mapa.php |
| MAPAS FUNAI | FUNAI | Dados e informações sobre as terras indígenas regularizadas no Brasil, tais como: Terras Indígenas do Brasil (TI), Coordenações Regionais e Técnicas Locais, Aeroportos, Pistas de pouso e Terras Indígenas e Focos de Calor(queimadas) e Terras Indígenas | Nacional | No aplicativo do SIGonline há a opção de salvar a visualização do mapa em formato de figura ou em PDF. | http://mapas.funai.gov.br/ |
| SNIS Sistema Nacional de Informações sobre saneamento | Ministério das Cidades | Mapas temáticos sobre água e esgoto e sobre resíduos sólidos. | Nacional Os dados podem ser consultados por regiões e por bacias hidrográficas. | É possível salvar os mapas no formato de figura. | http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=25 |
| HIDROWEB Sistema nacional de informações sobre os recursos hídricos | ANA | Informações e series histórias de dados hidrológicos. | Nacional. Os dados podem ser consultados por bacias, sub-bacias, rios, estados, municípios, entidades. | As consultas podem ser salvas em arquivo Access e Arquivo Texto. | http://hidroweb.ana.gov.br/ |
| SNIRH Sistema Nacional | ANA | Banco de dados de estações de monitoramento as quais podem ser visualizadas Google Earth. | Nacional | Parte dos dados é disponibilizada no formato PDF (alguns mapas | http://portalsnirh.ana.gov.br/ |

| | | | | | |
|--|----------------------------|--|----------|--|---|
| de Informações sobre Recursos Hídricos | | Mapas interativos Estatísticas do Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos - CNARH Sistema de banco de dados com visualização de mapas sobre a situação das chuvas nas bacias brasileiras | | documentos). Outra parte está disponível no formato de tabelas (.xls) e arquivos vetoriais (.shp) para download no Canal Geociências. Alguns mapas podem ser visualizados e obtidos (é permitido o download) pelo SIGonline (mapas interativos). | |
| BIT Banco de Informações e Mapas de Transportes | Ministério dos Transportes | Disponibiliza informações sobre os modais de transporte no Brasil. Informações georreferenciadas de demanda, oferta e custos, que é utilizado em modelagens, análises e visualização de dados espacialmente referenciados para solucionar problemas complexos de planejamento de transportes. | Nacional | Permite visualizar e salvar mapas no formato de figura. | http://www2.transportes.gov.br/bit/01-inicial/index.html |
| SIEG Sistema Estadual de Estatística e Informações Geográfica de Goiás | Governo Estadual de Goiás | Disponibiliza informações estatísticas e geográficas do estado de Goiás, incluindo as bases cartográficas e temáticas relativas a áreas especiais, biodiversidade, clima, cobertura e uso do solo, geologia, geomorfologia, solo, infraestrutura e recursos hídricos para o estado de Goiás. | Goiás | Os dados podem ser obtidos no formato de tabela (.xls), imagens (.Geotiff) e no formato de arquivo vetorial (.shp). | http://www.sieg.go.gov.br/index.htm |
| Divisão de Geração de Imagens | INPE/MCT | Distribuição de imagens de sensoriamento remoto adquiridas pelos satélites LANDSAT (1,2,3,5,7), CBERS (2, 2B), ResourceSat 1, AQUA e TERRA. | Nacional | As imagens são disponibilizadas em diferentes formatos tais como GeoTiff... | http://www.dgi.inpe.br/siteDgi/index_p_t.php |
| SISCOM Sistema compartilhado de Informações | IBAMA/MMA | Imagens dos satélites LANDSAT, ALOS/PALSAR e CBERS (georreferenciadas). Dados vetoriais referentes as terras indígenas, aldeias indígenas, unidades de conservação e | Nacional | Download de camadas vetoriais em diversos formatos. (WMS, WFS, KML, SHP, ZIP) e a imagens de satélite | http://siscom.ibama.gov.br/ |

| | | | | | |
|---|---|--|----------|--|---|
| Ambientais | | sobre os biomas brasileiros. Dados e estatísticas de desmatamento | | | |
| Portal de dados MMA | MMA | Reúne uma série de dados existentes no servidor de dados geográficos do MMA. | Nacional | Download de camadas vetoriais em diversos formatos e de imagens de satélite. | http://www.mma.gov.br/governanca-ambiental/geoprocessamento |
| Brasil em Relevo | EMBRAPA MONITORAM ENOT POR SATÉLITE/MA PA | Imagens do satélite LANDSAT Dados numéricos de relevo e da topografia do Brasil (a partir de imagens SRTM de 90 metros) de todo o território nacional | Nacional | Os dados de relevo SRTM podem ser obtidos no formato GEOTIFF (16 bits), na resolução espacial de 90 metros e no sistema de Coordenadas Geográfica Datum: WGS-84. | http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br/ |
| SIGEL Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico | ANEEL | Dados espaciais sobre geração, transmissão, distribuição, compensação financeira relacionados ao setor elétrico. | Nacional | - | http://sigel.aneel.gov.br/ |
| Banco de Dados do Censipam | CENSIPAM | Mapas interativos, conjuntos de dados geográficos e imagens de satélite. | Amazônia | - | http://geonetwork.sipam.gov.br:8080/geonetwork/srv/pt/main.home |
| Acervo Fundiário INCRA | INCRA | Contêm dados produzidos pelo Instituto sobre projetos de reforma agrária, imóveis rurais, glebas, territórios quilombolas e faixas de fronteira. | Nacional | - | http://acervofundiario.incra.gov.br/i3geo/interface/openlayers.htm?9f9kk0hi0v13tg2adjef3mt1q2 |
| Geoportal do Exército Brasileiro | CIGEX/EXERC ITO BRASILEIRO | Cartas topográficas nacionais nas escalas de 1:25.000, 1:50.000, 1:100.000 e 1:250.000. | Nacional | Permite imprimir a visualização. | http://www.geoportal.eb.mil.br/dsg/ http://www.geoportal.eb.mil.br/mediador/ |

Tabela 2. Levantamento dos programas de monitoramento agroambiental do território.

| Programa | Setor/ Instituição | Objeto | Abrangência | Escala Temporal | Método | Produto | Forma de acesso/Link |
|--|-----------------------|---|---|--------------------|---|---|---|
| GeoSafras Sistema de levantamento de safras do governo | CONAB/ MAPA | Estimativa da produção | Nacional, com foco em algumas culturas. | Por safra | Consulta direta ao setor produtivo e modelagem estatística e sensoriamento remoto | Estimativa de área plantada. Estimativa de produtividade. | Dados disponíveis no SIG online http://geoweb.conab.gov.br/conab/ |
| SigaBrasil Sistema de Informações Geográficas da Agricultura Brasileira | CONAB/ MAPA | Monitoramento de culturas | Nacional, com foco em algumas culturas. | Por safra | Consulta direta ao setor produtivo e modelagem estatística e sensoriamento remoto | Evolução de Culturas Mapas da Produção Agrícola Mapas Temáticos Redes de Transporte e Corredores de Escoamento da Produção | Dados: mapas no formato . PDF http://conab.gov.br/conteudos.php?a=535&t=2 |
| Zoneamento de Risco Climático Instrumento de política agrícola e gestão de riscos na agricultura | MAPA | Monitoramento do risco climático para as culturas | Nacional | Por safra | São analisados os parâmetros de clima, solo e de ciclos de cultivares, a partir de uma metodologia validada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e adotada pelo Ministério da Agricultura. Desta forma são quantificados os riscos climáticos envolvidos na condução das lavouras que podem ocasionar perdas na produção. | Resulta na relação de municípios indicados ao plantio de determinadas culturas, com seus respectivos calendários de plantio. | Portarias de Zoneamento Agrícola de Risco Climático por Unidade da Federação http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/zoneamento-agricola/portarias-segmentadas-por-uf |
| CanaSat | INPE/MCT | Monitoramento da Cana-de-açúcar | Região centro-sul: Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Paraná e São Paulo: a partir de 2003; Espírito Santo e Rio de Janeiro: a partir de 2010. | Anual | O mapeamento é realizado anualmente utilizando imagens obtidas pelos satélites Landsat, CBERS e Resourcesat-I, disponibilizadas gratuitamente pelo <u>INPE/DGI</u> . | Mapas e gráficos, além de tabelas da área de cana-de-açúcar por municípios e por estados da região centro-sul. Mapas, gráficos e tabelas da área colhida de cana-de-açúcar por municípios e por regiões administrativas do Estado de São Paulo. | Dados disponíveis no SIG online http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/cultivo.html |
| PRODES | INPE/MCT IBAMA/MMA | Monitoramento de desmatamentos na Amazônia | Amazônia | Anual | Interpretação de imagens LANDSAT, desde 1998 | Banco de dados geográfico multitemporal das Taxas Anuais do desflorestamento da Amazônia Legal | Dados disponíveis no SIG online http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodes.php |
| DETER Sistema de alerta para suporte à | INPE | Monitoramento de Desmatamentos na Amazônia | Amazônia | Mensal | Levantamento rápido feito mensalmente pelo INPE desde maio de 2004, com dados do | Alertas de desmatamento | Dados disponíveis no SIG online http://www.obt.inpe.br/det |

| | | | | | | | |
|--|-----------------------|---|-----------------|---------------------------|--|---|--|
| fiscalização e controle de desmatamento. | | | | | sensor MODIS do satélite Terra/Aqua e do Sensor WFI do satélite CBERS, de resolução espacial de 250 m. | | er/indexdeter.php?id=142 |
| SIAD Sistema Integrado de Alerta de Desmatamentos para o Estado de Goiás | LAPIG/UFG | Monitoramento de Desmatamentos no bioma Cerrado | Estado de Goiás | Anual | Produzidos a partir de imagens MODIS (MOD13Q1), sendo utilizadas imagens LANDSAT e CBERS para sua validação. | Alertas de desmatamento | Dados disponíveis no SIG online http://www.lapig.iesa.ufg.br/p/lapig-maps/composer/ |
| PROARCO Banco de dados de queimadas | IBAMA/MMA INPE/MCT | Monitoramento de focos de queimadas | Nacional | Diário Desde 1998 | Mapeamento dos dados de temperatura a partir de vários satélites/sensores | Focos de calor diários partir de vários satélites/sensores | Dados disponíveis no SIG online http://www.dpi.inpe.br/pr/arco/bdqueimadas/ |
| Agritempo Sistema de Monitoramento Agrometeorológico | EMBRAPA/ MAPA | Monitoramento climático | Nacional | Diário Mensal Anual | O sistema foi desenvolvido tendo como infra-estrutura o serviço World Wide Web (WWW) da Internet, a tecnologia JavaTM Servlet e a plataforma Oracle de banco de dados. Os dados são recebidos de várias instituições, em diferentes formatos, e passam por um processo de migração, incluindo a validação, antes de serem inseridos no banco de dados. O sistema já possui dados de 912 estações agrometeorológicas. | Boletins com mapas em PDF e visualização de mapas e gráficos na pagina da web | http://www.agritempo.gov.br/index.php |