

Sistemas de Informações Geográficas na Avaliação da Sustentabilidade Agrícola

EVARISTO EDUARDO DE MIRANDA¹
ALEJANDRO JORGE DORADO¹
MARCELO GUIMARÃES¹
JOÃO ALFREDO DE CARVALHO MANGABEIRA²
JOSÉ ROBERTO MIRANDA²

¹ ECOFORÇA - Pesquisa e Desenvolvimento. Rua Dr. José Inocêncio de Campos, 148. Cambuí - Campinas - SP. CEP: 13024-230. Fone: 0192-55-4332. Fax: 0192-54-0343. E-mail: {mir, alejo, marcelo}@ecof.org.br

² NMA/EMBRAPA - Núcleo de Monitoramento Ambiental e de Recursos Naturais por Satélite. Rua Dr. Júlio Soares de Arruda, 803. Pq. São Quirino - Campinas - SP. CEP: 13001-970. Fone: 0192-53-1363. Fax: 0192-54-1100. E-mail: {manga, jrm}@nma.embrapa.br

Abstract: This work shows an example of the geographic information systems application for agriculture environmental impact assessment, for agriculture sustainability diagnostic and for possibles development stages for a microregion.

Keywords: Sustainability, Production Systems, GIS, Environmental Impact

1 Introdução

Os sistemas de informações geográficas, GIS, são ferramentas cada vez mais utilizadas nos processos de planificação econômica, territorial e ambiental. Este trabalho apresenta um exemplo de aplicação dos GIS na avaliação do impacto ambiental da agricultura e na caracterização da sustentabilidade agrícola e de possíveis cenários de desenvolvimento para uma micro-região (município de Campinas, São Paulo). A metodologia que permitiu atingir esses resultados foi desenvolvida através de um projeto de pesquisa proposto e executado pela organização não governamental ECOFORÇA - Pesquisa e Desenvolvimento, no âmbito do programa de desenvolvimento metodológico da *Red Internacional de Metodologías de Investigación de Sistemas de Producción* (RIMISP) e com o apoio financeiro do *Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo* (CIID), do governo do Canadá (Miranda et al., 1995a; b). O projeto teve a colaboração técnica e científica de pesquisadores e técnicos do Núcleo de Monitoramento Ambiental e de Recursos Naturais por Satélite (NMA/EMBRAPA) e do Núcleo de Ciências e Aplicações de Tecnologia Espaciais (NUCATE/UNICAMP). Os resultados mostram que o desafio de avaliar a sustentabilidade agrícola e o impacto ambiental de diferentes sistemas de produção - associados a diversas categorias de usos de terras - encontra uma resposta satisfatória nesta ferramenta complementar de planejamento e pesquisa, que são os GIS (Miranda et al., 1995a; b). Na realidade tratam-se de respostas, já que a metodologia desenvolvida permite esclarecer a natureza

dos fenômenos, os processos e as áreas críticas em escalas espaciais variáveis e unidades paisagísticas intrinsecamente heterogêneas e mutáveis (campo, propriedade, bacia, comunidade e micro-região). Finalmente este trabalho mostra alguns aspectos de como os GIS são também um interessante instrumento complementar para a definição e simulação de cenários evolutivos, segundo diferentes estratégias de ação aos níveis micro (tecnologias agrícolas/sistemas de produção), e macro (políticas públicas/uso das terras).

2 Objetivos

- I. Desenvolver uma metodologia, baseada em GIS, para caracterizar de forma integrada e ampla a capacidade do uso agrícola das terras.
- II. Consolidar uma metodologia de caracterização do uso atual das terras e dos principais sistemas de produção, com base em GIS e imagens orbitais.
- III. Desenvolver uma metodologia, apoiada em GIS, de caracterização do impacto ambiental da atividade agrícola e dos insumos, em escala micro-regional, sobre o solo, a água, o ar, a vegetação e a fauna.
- IV. Consolidar uma metodologia de avaliação da sustentabilidade dos sistemas de produção dos pequenos agricultores, apoiada em GIS, na escala de comunidades, bacias hidrográficas e municípios (micro-regional).

3 Metodologia para avaliar a sustentabilidade agrícola

Os itinerários metodológicos foram baseados numa única estrutura georreferenciada (GIS/INPE) e numa única

escala (1:50.000). Esta opção de unificação de estrutura e escala representa um marco de referência primordial para a tomada de dados e sua manipulação geocodificada. Neste projeto foi utilizada como base inicial a versão 2.4 do logicial de Sistemas de Informações Geográficas, desenvolvida pelo INPE.

A metodologia desenvolvida e testada no trabalho abarcou várias etapas e fases, em função dos objetivos propostos e que são apresentadas, de forma resumida, a seguir.

Através da integração dos planos de informações (PI's) pedológico, declividades, bacias e hidrográfico, foi obtido o mapa de disponibilidade hídrica potencial. Um procedimento análogo foi aplicado tendo como base o mapa pedológico digital para obter os mapas das limitações de fertilidade química (alumínio, fixação de fósforo e bases trocáveis). Estes últimos PI's, junto com os planos de erodibilidade e problemas de fertilidade química, foram a base para a geração do mapa de capacidade de uso agrícola das terras.

A caracterização do uso atual das terras e dos principais sistemas de produção foi dividida em dois sub-objetivos e realizada a partir do uso e tratamento de imagens multiespectrais de satélite (LANDSAT TM 5 e SPOT), de cartas topográficas do IBGE e de confirmações em campo.

A avaliação e o mapeamento do impacto ambiental das atividades agrícolas, através das rotinas disponíveis, foi realizado por cruzamentos entre o grupo de dados numéricos sobre os sistemas de produção e a base de dados cartográficos no GIS. O objetivo foi avaliar, dentro de diferentes situações, o impacto ambiental das atividades agrícolas sobre o solo, o ar, as águas de superfície, a fauna e a vegetação natural.

A avaliação da sustentabilidade dos sistemas de produção na escala de comunidades, bacias ou municípios foi realizada a partir dos dados gerados nas etapas anteriores. Foram três etapas principais de síntese e análise:

- Impacto Ambiental da Agricultura
- Valores Produtivos, Econômicos e Sociais da Atividade Agrícola
- Avaliação da Sustentabilidade Agrícola

4 Discussão e Conclusões

Este projeto de pesquisa demonstrou a importância e a operacionalidade dos GIS, como ferramentas metodológicas para avaliar a sustentabilidade agrícola dos sistemas de produção. Estes sistemas foram considerados ao nível de município, bacia hidrográfica e comunidade, integrando os dados obtidos ao nível de propriedade.

A metodologia proposta no início do projeto foi sendo adaptada e validada ao longo de sua execução, em função dos benefícios e dificuldades na sua aplicação.

Os sistemas de produção abrangem os diferentes tipos de uso e um mesmo uso pode comportar vários sistemas. A análise de 100 propriedades e o acompanhamento dinâmico de 40 foram determinantes para estabelecer essas relações sob uma estratégia de amostragem estratificada e ao acaso. A complexidade do tema levou à elaboração de 17 mapas de impactos ambientais dos insumos agrícolas, dos recursos naturais afetados, dos sistemas ecológicos e da adequabilidade ambiental da atividade agrícola, tanto em termos de localização como de recursos mobilizados.

Os quatro objetivos metodológicos propostos têm sido atingidos e permitiram a estruturação de um sistema de informações geográficas com cerca de 50 planos de informação.

4.1 - Capacidade do uso agrícola das terras

O uso do GIS permitiu uma caracterização da capacidade do uso agrícola das terras de uma forma muito mais ampla que a tradicional. O mapa final representa uma integração hierarquizada de doze mapas diferentes. Cada mapa intermediário, ou temático, elaborado pôde servir à distintas aplicações: estudos de exposições ao sol e aos ventos dominantes das pendentes; estudos da repartição espacial dos riscos de geadas; estudos das relações existentes entre os solos, a topografia e as unidades da paisagem etc.

As facilidades oferecidas pelos GIS permitiram que cada mapa pudesse ser construído e testado sob diversas configurações numéricas. O poder de discriminação espacial dos intervalos de classes e dos cruzamentos propostos, também foram validados e analisados graças aos recursos do GIS.

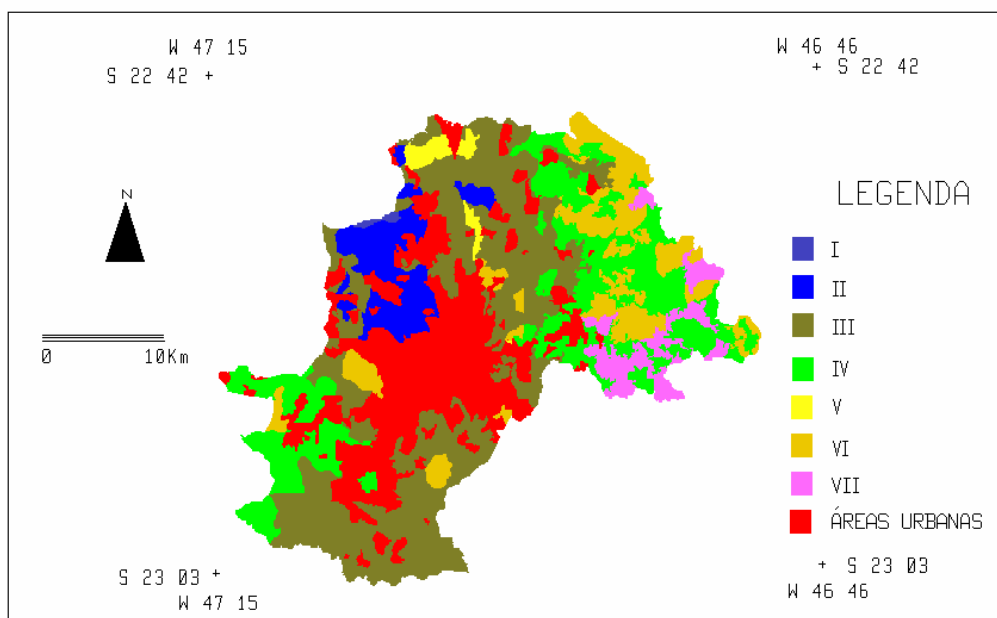
O mapa final da capacidade de uso agrícola das terras (figura 1), apresentou-se passível de dar origem imediatamente - via GIS - a um mapa de erodibilidade ou de disponibilidade hídrica ou ainda a um mapa sobre a toxicidade do alumínio livre nos solos, por exemplo. Esta primeira etapa do projeto conseguiu definir de forma coerente os métodos e as estruturas de um banco de dados geocodificado, capaz de servir nas mais diferentes avaliações da capacidade de uso (*carring capacity*), dos recursos naturais mobilizados pela agricultura em um território determinado.

4.2 - Uso atual das terras

Nesta etapa procurou-se valorizar os recursos instrumentais oferecidos pelos GIS e o tratamento de imagens de satélites, em áreas de pequena agricultura e em escala micro-regional. O uso do GIS e das imagens

MUNICÍPIO DE CAMPINAS (SP)

CAPACIDADE DE USO DAS TERRAS



RIMISP

IDRC
CIID

EMBRAPA

Legenda:

- I. Terras próprias para cultivos anuais sem limitações ou com limitações ligeiras.
- II. Terras próprias para cultivos anuais sem limitações ou com limitações ligeiras - os problemas são simples a moderados para manutenção da produtividade e conservação.
- III. Terras próprias para cultivos anuais e perenes com limitações moderadas a fortes - os problemas são de moderados a complexos para manutenção da produtividade e conservação.
- IV. Terras ocasionalmente próprias para cultivos anuais sendo mais apropriadas para cultivos perenes e pastos - problemas complexos de conservação.
- V. Terras de planícies aluvionares não trabalhadas, sujeitas à inundação - pastagens naturais, cultivos apropriados.
- VI. Terras muito acidentadas e/ou solos rasos, sendo indicadas para pastagens e reflorestamento - os problemas de conservação do solo, considerando o uso indicado, são simples a moderados.
- VII. Terras demasiadamente acidentadas, com declives maiores que 40%, próprias para reflorestamento e restritas para pastagens.
- VIII. Áreas urbanas.

Figura 1: Capacidade de Uso das Terras

de satélites (SPOT e LANDSAT-TM 5) na forma digital e analógica permitiram a caracterização e o mapeamento do uso agrícola das terras da seguinte forma:

O mapa final do uso das terras representou um instrumento para a organização da amostragem e do acompanhamento das propriedades, visando a descrição técnica dos sistemas de produção vinculados às unidades de uso das terras. Foi necessária a criação de um banco de dados referente aos coeficientes técnicos dos sistemas de produção, vinculados aos diferentes tipos de uso de terras.

As técnicas e estratégias de amostragem cumpriram um papel importante neste caso, já que não se dispunha de mapas de cadastro rural atualizados e unificados para o conjunto do município de Campinas. Com propriedades foram estudadas e destas, quarenta foram objeto de um acompanhamento dinâmico simplificado. Dados de literatura e entrevistas com pesquisadores e extensionistas contribuíram para completar o banco de dados que continua evoluindo. Todas as etapas e passos metodológicos para conseguir essa integração entre o GIS

e as imagens de satélites foram a base para atingir o 4.3 - Impacto ambiental da agricultura

A metodologia desenvolvida de avaliação do impacto ambiental do uso agrícola das terras, foi subsidiária das etapas anteriores e se baseou na exploração simultânea - via GIS - do mapa de capacidade de uso das terras (e de todos os PI derivados) do mapa de uso atual das terras e do banco de dados sobre os coeficientes técnicos dos sistemas de produção. Com o uso do GIS, os impactos ambientais da agricultura puderam ser considerados sob três perspectivas.

A primeira considerou o impacto ambiental direto e indireto de cada um dos insumos agrícolas, considerados seus usos nos sistemas técnicos de produção vinculados à cada uso das terras. Neste nível de informação foi possível, para cada tipo de insumo mais impactante, como os pesticidas ou fertilizantes nitrogenados, detectar e identificar as áreas críticas e simultaneamente afetadas.

Na segunda perspectiva foi considerado o impacto ambiental da agricultura sobre os recursos naturais (solos,

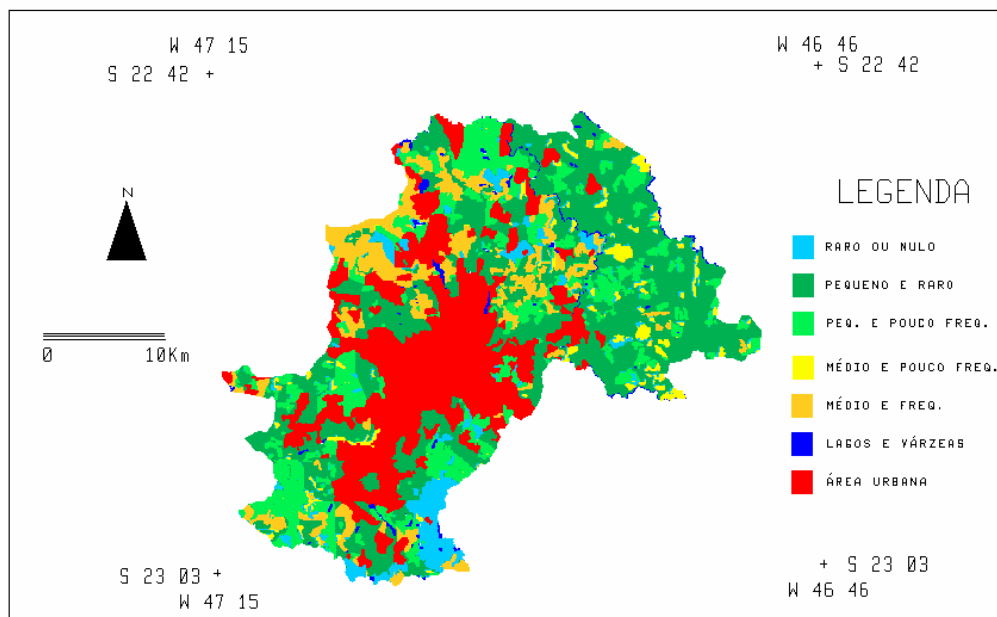
terceiro objetivo.

águas superficiais, ar, vegetação natural e fauna). Os modelos definidos e os arquivos de regras construídos para integrar os mapas temáticos com esta finalidade, foram diferentes em função da natureza do recurso natural considerado. Por exemplo, no caso da vegetação natural impactada pela agricultura, considerou-se o entorno dessas unidades preservadas, os sistemas de produção praticados, os ventos dominantes, as pendentes etc. Nestes casos o impacto era eminentemente externo enquanto que nos outros, os impactos eram produzidos *in situ*.

Em última perspectiva, os mapas anteriores foram integrados e considerados ao nível de sistemas ecológicos, dando origem aos mapas de impacto ambiental da agricultura sobre os sistemas bióticos e abióticos. Um mapa de síntese final pôde ser elaborado resumindo o impacto ambiental da agricultura no município de Campinas (figura 2).

MUNICÍPIO DE CAMPINAS (SP)

IMPACTO AMBIENTAL DAS ATIVIDADES AGRÍCOLAS



RIMISP



IDRC
CIID



NMA
EMBRAPA

Figura 2: Impacto Ambiental das Atividades Agrícolas

4.4 - Avaliação da sustentabilidade agrícola

Cada um dos mapas analíticos ou sintéticos foram integrados com pesos diferentes e de formas variadas, para gerar os dois mapas finais do impacto ambiental do uso das terras e dos sistemas de produção, sobre os sistemas bióticos e abióticos, assim como o mapa de síntese. Alguns mapas ou temas, como os recursos hídricos, participaram tanto dos mapas sintéticos sobre os sistemas bióticos, como dos abióticos. Outros mapas só intervieram em um dos casos. Verificações de campo permitiram constatar a pertinência dos mapas obtidos.

Deve-se sinalizar que os mapas mais sintéticos estão absolutamente condicionados pelo que considerou-se como prioridades, em termos ambientais ou problemas críticos mais importantes. No total o terceiro objetivo do projeto gerou um conjunto de 15 mapas diferentes relativos ao impacto ambiental das atividades agrícolas.

Este objetivo foi o mais complexo do trabalho. Atingi-lo implicou num trabalho de natureza cartográfica e simulações de cenários quantitativos e qualitativos. Isto levou a uma série de produtos de grande interesse para o estudo da sustentabilidade agrícola. Procurou-se gerar, com base nos resultados anteriores, indicadores da sustentabilidade agrícola que pudessem combinar: a dimensão espacial (áreas críticas, localização dos usos, ...), a natureza dos fenômenos necessitando maior sustentabilidade e os processos mais críticos no atual contexto (acumulação, sinergias, ...).

Neste enfoque metodológico as mudanças de escala (município, bacias, comunidade, por exemplo), implicaram, muitas vezes, em mudanças nos fenômenos a serem considerados. A intensidade e a natureza dos processos considerados também puderam mudar completamente.

Considerando a sustentabilidade como um objetivo a ser buscado de forma permanente pela agricultura, o projeto confrontou o consumo e a produção de recursos *sensu lato* por parte da atividade agrícola. A primeira etapa da avaliação da sustentabilidade agrícola passou, obrigatoriamente, por uma avaliação do impacto ambiental dos insumos, dos sistemas de produção e do uso das terras. O mapa de impacto ambiental logrado neste trabalho considerou dimensões muito diferentes como a conservação da vegetação nativa e a qualidade d'água de superfície, a conservação das populações faunísticas e a conservação das características físicas dos solos.

Os problemas de impacto ambiental não podem ser vistos como sinônimos de problemas de sustentabilidade. Para fazer um balanço entre consumo e produção de recursos, através do GIS, do banco de dados sobre os coeficientes técnicos dos sistemas de produção e do mapa dois cenários ou estratégias foram

de uso das terras, procurou-se valorizar a atividade agrícola em termos econômicos e sociais.

A geração dos mapas de sustentabilidade agrícola foi o resultado que envolveu os aspectos mais complexos do trabalho. Na primeira parte, a geração do mapa de adequabilidade do uso das terras exigiu uma avaliação numérica da disponibilidade de unidades de capacidade de uso de terras, a partir do mapa de capacidade de uso. A realização de um produto cruzado (tabela cruzada), via GIS, entre a capacidade de uso das terras e dos usos atuais devidamente "capacitados" foi determinante na identificação das situações mais críticas (figura 3).

De forma análoga, a avaliação da sustentabilidade econômica e social, ao buscar um possível balanço entre o mapa de impacto ambiental da agricultura e os mapas dos indicadores de desempenhos econômico e social, também exigiu vários produtos cruzados, seguindo algumas reclassificações fundamentais para esclarecer possíveis padrões espaciais. A identificação e a hierarquização das situações mais críticas a partir de uma avaliação numérica das superfícies e valores envolvidos, foram muito úteis na criação do arquivo de regras definitivo. Este arquivo foi utilizado para a integração dos mapas de impacto ambiental, de desempenho econômico e de desempenho social, via GIS, no mapa final da sustentabilidade econômica da agricultura para o município de Campinas.

Os recursos do GIS, como os bancos de dados articulados a cada polígono do mapa, permitiram identificar, em termos territoriais ou de áreas (localização, superfícies, entorno, situação espacial, ...), as situações mais críticas em termos de sustentabilidade. Isto está vinculado não só a processos (mecanização, preparação dos solos, uso de determinadas tecnologias, ...) e a fenômenos (perda de solos, contaminação de aquíferos, produção de riqueza, ...), mas também à determinadas situações geomorfológicas ou padrões de repartição espacial do uso das terras que podem ser identificados via GIS. Algumas dessas situações evocam uma possível acumulação histórica de problemas, que a natureza desta pesquisa não permitia avaliar. Essas dimensões temporais, que podem significar acumulação, compensação ou exacerbação de problemas de sustentabilidade, não puderam ser devidamente analisadas neste caso.

4.5 - Cenários para aumentar a sustentabilidade agrícola

Um dos interesses dos GIS está na possibilidade de simular novos cenários de mudanças e desenvolvimento, para um determinado espaço geográfico. A título de exercício, no caso de Campinas,

definidas com o objetivo de simular um possível aumento da sustentabilidade dos recursos naturais e obter uma redução de áreas e processos críticos (Miranda et al., 1995a).

Esse exercício foi um diagnóstico dos problemas de sustentabilidade para provar o uso do GIS no processo de geração de políticas de pesquisa, fomento, extensão, urbanização, assistência técnica.

Aspectos de integração entre micro e macro, que tanto preocupam na América Latina, poderiam encontrar nos GIS uma ferramenta interessante, levando em consideração o poder resolutivo que o GIS pôde cumprir na construção e avaliação de cada cenário.

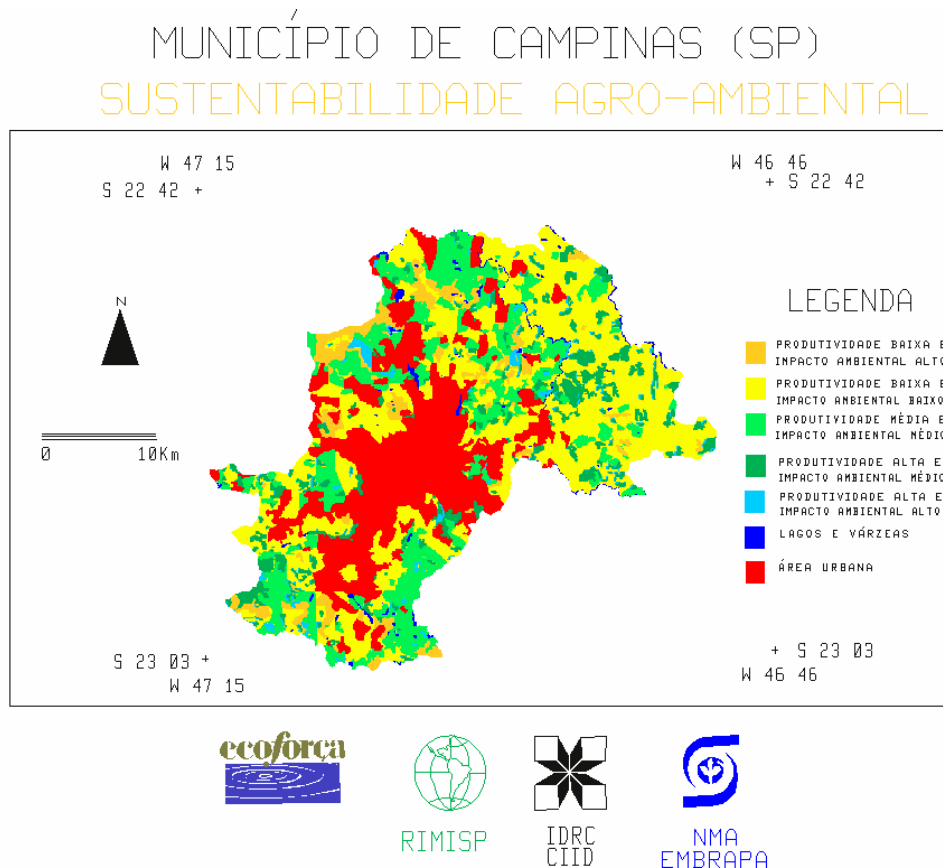


Figura 3: Sustentabilidade Agro-Ambiental

Referências

Miranda, E.E. de; Dorado, A.J.; Guimarães, M.; Mangabeira, J.A. & Miranda, J.R. Sistemas de informaciones geográficas como instrumento complementario para la evaluación de sistemas de producción sostenibles. Campinas, SP, ECOFORÇA/RIMISP, 1995a. (Relatório Final) fotografias.

Miranda, E.E. de; Dorado, A.J.; Guimarães, M.; Mangabeira, J.A.; Miranda, J.R.; Lourenço, F.A. & Monteiro, N.A. Sistemas de informaciones geográficas como instrumento complementario para la evaluación de sistemas de producción sostenibles. Campinas, SP, ECOFORÇA, 1995b.