

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Meio Ambiente
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Indicadores de Sustentabilidade em Agroecossistemas

Editores Técnicos

*João Fernando Marques
Ladislau Araújo Skorupa
José Maria Gusman Ferraz*

Jaguariúna, SP
2003

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Meio Ambiente

Rodovia SP 340, Km 127,5 – Tanquinho Velho
Caixa Postal 69
13820-000 Jaguariúna, SP
Fone: (19) 3867-8700 – Fax: (19) 3867-8740
sac@cpma.embrapa.br
www.cnpma.embrapa.br

Embrapa Informação Tecnológica

Parque Estação Biológica – PqEB,
Av. W3 Norte (final)
70770-901 Brasília, DF
Fone: (61) 3340-9999
Fax: (61) 3340-2753
sac@sct.embrapa.br
www.sct.embrapa.br/liv

Comitê de Publicações da Unidade:

Presidente: *Geraldo Stachetti Rodrigues*
Secretária-executiva: *Maria Amélia de Toledo Leme*
Membros: *Cláudio Cesar de Almeida Buschinelli*
Heloisa Ferreira Filizola
José Maria Guzman Ferraz
Manoel Dornelas de Souza
Marcelo Augusto Boechat Morandi
Maria Lúcia Saito
Sandro Freitas Nunes

Supervisão editorial: *Nilce Chaves Gattaz*

Revisão de texto: *Maria Cristina Tordin*

Normalização bibliográfica: *Maria Amélia de Toledo Leme*

Projeto gráfico: *Silvana Cristina Teixeira*

Capa: *Ladislau A. Skorupa, João Fernando Marques, José Maria Gusman Ferraz*

Editoração eletrônica: *Silvana Cristina Teixeira, Alexandre Rita da Conceição*

Foto da capa: *Arquivo Embrapa Meio Ambiente, Ernesto de Souza*

Tratamento das ilustrações: *Alexandre Rita da Conceição, Silvana Cristina Teixeira*

1ª edição

1ª impressão (2003): 1.000 exemplares

2ª impressão (2008): 2.000 exemplares

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9610).

Dados internacionais de catalogação na publicação (CIP)

Embrapa Meio Ambiente

139 Indicadores de sustentabilidade em agroecossistemas / Editores Técnicos João
Fernando Marques, Ladislau Araújo Skorupa, José Maria Gusman Ferraz.
Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente: 2003.

281p.
ISBN 85-85771-23-2

1. Agropecuária - Brasil. 2. Desenvolvimento sustentável. 3. Ecologia. 4. Agricultura.
5. Meio Ambiente. I. Marques, João Fernando. II. Skorupa, Ladislau Araújo. III. Ferraz,
José Maria Gusman. IV. Embrapa Meio Ambiente.

CDD: 632.950981

© Embrapa 2003

Apresentação

Este livro resulta de um esforço conjunto de um grupo de pesquisadores da Embrapa Meio Ambiente, participantes do projeto “Desenvolvimento de metodologias para definição e monitoramento de indicadores de sustentabilidade em agroecossistemas”.

O projeto teve como preocupação básica buscar o entendimento das relações agricultura x meio ambiente refletidas por meio de indicadores de sustentabilidade.

A preocupação com os impactos ambientais decorrentes das atividades agrícolas tomou grande dimensão, particularmente na última década. Esses impactos se expressam, por exemplo, na redução da diversidade biológica, na erosão e contaminação dos solos, na contaminação e assoreamento dos mananciais, entre outros. Os reflexos dessa degradação ambiental podem ser traduzidos por variações na produção e produtividade agrícolas, e no bem-estar socioeconômico de uma comunidade.

As relações conflituosas entre as atividades agrícolas e o meio ambiente, como descritas, e a incorporação do conceito de sustentabilidade, têm levado a pesquisa agropecuária a uma crescente busca por modelos alternativos e sustentáveis para a agricultura. A sustentabilidade entendida sob três dimensões: a ecológica, se referindo à estabilidade do ambiente e dos recursos naturais; a econômica, à rentabilidade; e a social, à equidade entre os membros da sociedade.

Nesse contexto, um dos desafios que se tem apresentado para a pesquisa é o desenvolvimento de indicadores que possam avaliar o estado atual de um sistema, bem como medir os progressos alcançados pela introdução de mudanças requeridas para se alcançar a sustentabilidade.

A incorporação do conceito de sustentabilidade pelos mais diversos segmentos da sociedade, sejam pesquisadores, executivos empresariais, governantes, formuladores de políticas, bem como a comunidade em geral, tem demandado, de forma crescente, o desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade que possam subsidiar as tomadas de decisão em seus respectivos âmbitos de atuação.

Este livro tem por objetivo prover uma seleção representativa dos indicadores de sustentabilidade de agroecossistemas, fornecendo tanto uma abordagem teórica sobre o tema, quanto prática, com base nos resultados obtidos no estudo de caso de uma microbacia hidrográfica, em Sumaré, SP.

Esta publicação é dividida em duas partes: a Parte I, constituída de quatro capítulos, contemplando os aspectos teóricos mais relevantes sobre o entendimento da sustentabilidade e seus indicadores; e a Parte II, constituída de nove capítulos, contendo um conjunto de trabalhos que orientaram a coleta, sistematização e análise de dados, tendo como objetivo a construção de indicadores de sustentabilidade.

O primeiro capítulo apresenta e discute os diversos aspectos relativos ao conceito de agricultura sustentável, desde aquele que considera a necessidade de simples alterações nos sistemas vigentes até aqueles que pregam a necessidade de mudanças estruturais. Discute, ainda, as interpretações apoiadas nos princípios da economia neoclássica e da economia ecológica da sustentabilidade, além de fazer uma breve apresentação do conceito de Emergia. Aborda também o conceito de agroecossistema, suas dimensão temporal e espacial. A partir das propriedades dos agroecossistemas – resiliência, estabilidade e equidade – enfatiza que um conjunto de indicadores deve refletir alterações nestes atributos.

O segundo capítulo apresenta e discute os procedimentos para a escolha de indicadores de sustentabilidade. Fornece uma revisão dos principais trabalhos conceituais sobre o tema “indicadores de sustentabilidade” e, com base nesta, aponta para a necessidade de uma visão abrangente dos processos que determinam uma realidade. Finalmente, a partir de uma perspectiva sistêmica, os autores apresentam um modelo conceitual global de impactos ambientais contemplando os componentes mais significativos de um agroecossistema. Na seqüência, o Capítulo 3 reforça a importância das etapas para a definição de descritores e indicadores, e reforça ainda o papel do Diagnóstico Rural Rápido Participativo no levantamento dos fatores de criticidade.

Finalmente, o quarto capítulo apresenta os fundamentos metodológicos da Análise Emergética, que estuda as interações entre os sistemas naturais e antrópicos, através da conversão dos fluxos em equivalentes de energia solar. Com base nessa nova abordagem, vislumbra-se uma nova possibilidade para a construção de indicadores de sustentabilidade.

Abrindo a Parte II, o Capítulo 1 apresenta uma caracterização geral da Microbacia do Córrego Taquara Branca, em Sumaré, SP, objeto de estudo de caso, e ponto focal dos capítulos subseqüentes.

O Capítulo 2 apresenta um modelo conceitual de indicadores de sustentabilidade para a Microbacia do Córrego Taquara Branca, apoiando-se no modelo conceitual global apresentado no Capítulo 2 da Parte I.

Uma avaliação física e econômica das perdas de solo por erosão na microbacia é apresentada no Capítulo 3. Nele são estimadas as perdas de solo pela Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), bem como os custos anuais necessários para a reposição dos nutrientes perdidos. São também apresentadas simulações quanto

às alterações de perdas de solo pela adoção de medidas conservacionistas e aos correspondentes custos de reposição de nutrientes.

No Capítulo 4, os autores abordam a importância da cobertura vegetal no agroecossistema, tanto pelo seu valor físico, como pelos serviços ambientais gerados pela biodiversidade. Os indicadores de cobertura vegetal apresentados se referem à cobertura arbórea total, presença de matas ciliares, diversidade da flora arbórea nativa, e ao grau de proteção das nascentes.

O Capítulo 5 relata métodos de coleta, preparo e determinação do teor de íons de metais pesados – total e disponível às plantas - em solos de mata, pasto e uso agrícola da microbacia. Os teores de metais pesados encontrados são discutidos à luz dos padrões internacionais e sob a perspectiva da sustentabilidade agrícola.

A supressividade de solos a fitopatógenos e suas relações com os fatores bióticos e abióticos de solos, submetidos a diferentes sistemas de produção, são discutidas no Capítulo 6.

Avaliação de risco à exposição ao uso de agrotóxicos e o estabelecimento de bioindicadores relativos à saúde humana são os principais tópicos abordados pelo Capítulo 7. Nele são apresentados indicadores clínicos da exposição de agricultores aos agrotóxicos, bem como metodologias para o estabelecimento de bioindicadores por meio de testes em animais em laboratório.

O Capítulo 8 apresenta uma metodologia de avaliação de impacto ambiental de atividades agrícolas utilizando-se de técnicas de sistemas de informações geográficas e modelagem matemática de forma integrada. O sistema avalia a aptidão agrícola das terras, identifica o conflito entre o uso atual e potencial do solo, e recomenda práticas de manejo e de conservação do solo para minimizar os impactos negativos das atividades agrícolas.

Ao final, é apresentado um banco de dados com a finalidade de organizar, armazenar e recuperar informações relativas a indicadores de sustentabilidade. Contém referências sobre indicadores de sustentabilidade mais utilizados mundialmente, unidades de medidas de indicadores, bibliografias, profissionais envolvidos e instituições que tratam do tema.

Apesar da crescente demanda e dos esforços de pesquisa, o tema “indicadores de sustentabilidade” encontra-se ainda em fase de aprimoramento, seja no campo conceitual ou no campo das aplicações práticas. Os resultados das pesquisas, como os relatados no presente livro, apontam nesta direção. Diante disso, a temática envolvendo indicadores de sustentabilidade deverá, certamente, nortear as agendas de ensino e pesquisa para os próximos anos.

Sumário

Parte I

Indicadores de Sustentabilidade: Aspectos Teóricos

1. As Dimensões da Sustentabilidade e seus Indicadores 15
2. Subsídios para a Escolha de Indicadores de Sustentabilidade 36
3. Proposta Metodológica para a Escolha de Indicadores de Sustentabilidade ... 59
4. Indicadores de Sustentabilidade sob a Perspectiva da Análise Emergética 73

Parte II

Indicadores de Sustentabilidade: o Caso da Microbacia do Córrego Taquara Branca

1. Caracterização da Microbacia do Córrego Taquara Branca 93
2. Modelo Conceitual de Indicadores de Sustentabilidade para a Microbacia do Córrego Taquara Branca, Sumaré, SP 109
3. Erosão do Solo: Indicadores Físicos e Econômicos 129
4. Indicadores de Cobertura Vegetal 155
5. Metais Pesados em Solos 191
6. Supressividade de Solos a Fitopatógenos 209
7. Avaliação da Saúde de Agricultores e Estabelecimento de Bioindicadores .. 229
8. EROSYS: Sistema Integrado para Avaliação dos Impactos Ambientais de Atividades Agropecuárias 249
9. Banco de Dados de Indicadores de Sustentabilidade 271