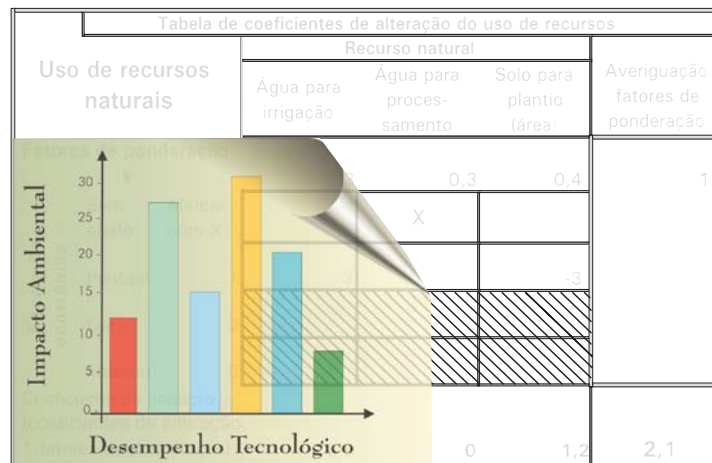


# Documentos

ISSN 1516-4691 **34**  
Maio, 2003

## Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária: AMBITEC-AGRO



**República Federativa do Brasil**

*Luis Inácio Lula da Silva*

Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

*Roberto Rodrigues*

Ministro

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa**

**Conselho de Administração**

*José Amauri Dimázio*

Presidente

*Clayton Campanhola*

Vice-Presidente

*Alexandre Kalil Pires*

*Dietrich Gerhard Quast*

*Sérgio Fausto*

*Urbano Campos Ribeiral*

Membros

**Diretoria Executiva da Embrapa**

*Clayton Campanhola*

Diretor-Presidente

*Gustavo Kauark Chianca*

*Herbert Cavalcante de Lima*

*Mariza Marilena T. Luiz Barbosa*

Diretores-Executivos

**Embrapa Meio Ambiente**

*Paulo Choji Kitamura*

Chefe Geral

*Geraldo Stachetti Rodrigues*

Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

*Maria Cristina Martins Cruz*

Chefe-Adjunto de Administração

*Ariovaldo Luchiari Junior*

Chefe-Adjunto de Comunicação e Negócios



ISSN 1516-4691

Maio, 2003

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

## **Documentos 34**

### **Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária: AMBITEC-AGRO**

Geraldo Stachetti Rodrigues  
Clayton Campanhola  
Paulo Choji Kitamura

Jaguariúna, SP  
2003

Exemplares dessa publicação podem ser solicitados à:

Embrapa Meio Ambiente  
Rodovia SP 340 - km 127,5 - Tanquinho Velho  
Caixa Postal 69 13820-000, Jaguariúna, SP  
Fone: (19) 3867-8750 Fax: (19) 3867-8740  
[sac@cnpma.embrapa.br](mailto:sac@cnpma.embrapa.br)  
[www.cnpma.embrapa.br](http://www.cnpma.embrapa.br)

#### Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Geraldo Stachetti Rodrigues  
Secretária-Executiva: Maria Amélia de Toledo Leme  
Secretário: Sandro Freitas Nunes  
Membros: Marcelo A. Boechat Morandi, Maria Lúcia Saito, José Maria Guzman  
Ferraz, Manoel Dornelas de Souza, Heloisa Ferreira Filizola,  
Cláudio Cesar de A. Buschinelli  
Normalização Bibliográfica: Maria Amélia de Toledo Leme  
Tratamento de Ilustrações: Alexandre Rita da Conceição  
Editoração eletrônica: Alexandre Rita da Conceição

#### 1º edição

1º impressão: 2003, tiragem: exemplares

#### Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no seu todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

---

RODRIGUES, Geraldo S.

**Avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica  
agropecuária: ambitec-agro/Geraldo Stachetti Rodrigues, Clayton  
Campanhola, Paulo Choji Kitamura.**-- Jaguariúna: Embrapa Meio  
Ambiente, 2003.

95p.-- (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 34).

ISSN 1516-4691

1. Impacto ambiental. 2. Inovação tecnológica. 3. Sustentabilidade  
agropecuária I. Título. II. Série.

CDD 333.71

---

© Embrapa 2003

## **Autores**

### **Geraldo Stachetti Rodrigues**

Ecólogo, Ph.D. Ecologia e Biologia Evolutiva,  
Pós-doutorado Políticas Ambientais,  
Embrapa Meio Ambiente  
Rodovia SP 340 - Km 127,5  
Cep 13820-000, Jaguariúna, SP.  
E-mail: stacheti@cnpma.embrapa.br

### **Clayton Campanhola**

Eng. Agrônomo, Pós-doutorado em Desenvolvimento  
Econômico, Espaço e Meio Ambiente,  
Embrapa  
Parque Estação Biológica - PqEB - s/nº  
Cep 70770-901, Brasília, DF.  
E-mail: clayton@cnpma.embrapa.br.

### **Paulo Choji Kitamura**

Eng. Agrônomo, Doutor em Economia,  
Embrapa Meio Ambiente  
Rodovia SP 340 - Km 127,5  
Cep 13820-000, Jaguariúna, SP.  
E-mail: kitamura@cnpma.embrapa.br.

# Sumário

Resumo .....	7
Summary .....	7
Avaliação de impactos ambientais - escopo, fundamentos e objetivos .....	9
AIA da inovação tecnológica agropecuária - contribuição para a sustentabilidade.....	11
Inserção da AIA da inovação tecnológica no contexto institucional .....	16
Sistema de avaliação de impacto ambiental na inovação tecnológica agropecuária .....	21
Desenvolvimento metodológico .....	21
AMBITEC-AGRO .....	29
Aspectos gerais do sistema .....	30
Procedimento de avaliação .....	32
Coeficiente de alteração do componente .....	33
Ponderações segundo a escala de ocorrência e a importância dos componentes na composição dos indicadores .....	35
Fator de ponderação para escala de ocorrência do componente.....	35
Fator de ponderação para importância do componente.....	36
Indicadores e componentes para avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária .....	37
Alcance da tecnologia .....	37
Eficiência tecnológica .....	38
I. Uso de agroquímicos .....	38
II. Uso de energia .....	45

III. Uso de recursos naturais.....	48
Conservação ambiental.....	50
IV. Atmosfera .....	50
V. Capacidade produtiva do solo .....	54
VI. Água .....	58
VII. Biodiversidade .....	62
Recuperação ambiental .....	66
VIII. Variáveis de recuperação ambiental .....	66
AIA da tecnologia .....	69
Discussão.....	81
Agradecimentos.....	83
Referências.....	84

## Resumo

O sistema de avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária (AMBITEC-AGRO) apresentado neste trabalho compõe-se de quatro aspectos de caracterização do impacto ambiental, expressos por oito indicadores e trinta e seis componentes, todos integrados em matrizes de ponderação formuladas em planilhas eletrônicas automatizadas. Cada componente é avaliado a campo em uma entrevista/vistoria aplicada pelo usuário do sistema a um conjunto de produtores/responsáveis pela atividade à qual aplica-se a inovação tecnológica. O produtor expressa seu conhecimento sobre o *coeficiente de alteração do componente* devido à influência da tecnologia avaliada sobre a atividade. Este coeficiente de alteração é então ponderado segundo a escala da ocorrência e o peso do componente para formação do indicador de impacto ambiental e os resultados das avaliações dos indicadores são expressos graficamente nas planilhas. Finalmente, os resultados dos indicadores são ponderados pelo peso dos indicadores para composição do índice de impacto ambiental (Índice I.A.) da inovação tecnológica agropecuária.

## Summary

### **Environmental Impact Assessment of Agricultural Technology Innovation**

The environmental impact assessment system (AMBITEC-AGRO) presented in this paper is composed by a set of four aspects of consideration for the characterization of the impacts of an agricultural technology innovation onto the environment. The system integrates eight indicators comprised by thirty-six components into weighing matrices constructed in an electronic spreadsheet. Each component is evaluated in the field in interviews/surveys conducted by the system user to a group of farmers/managers regarding his/her knowledge of the environmental performance of the activity modified by the technology under evaluation. The farmer/manager specifies the activity's *component change coefficient* due to technology innovation. This coefficient is then weighed according to its particular spatial scale of occurrence and importance toward composition of the environmental impact indicator. The results of these indices and weighing procedures are expressed graphically in the assessment spreadsheets. The results of these indicator evaluations are finally composed into an Environmental Impact Index (E.I. Index) for the agricultural technology innovation.



# **Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária**

---

*Geraldo Stachetti Rodrigues*

*Clayton Campanhola*

*Paulo Choji Kitamura*

## **Avaliação de impactos ambientais: escopo, fundamentos e objetivos**

O presente cenário de extrema diversidade social alcançado pela população humana neste novo milênio veio acompanhado de enormes abismos econômicos e culturais, tanto entre povos quanto entre setores sociais componentes de praticamente todas as populações da Terra. A disparidade de riqueza e acesso aos direitos humanos básicos e as injustiças sociais associadas à desigualdade estão entre as principais causas das contendas entre povos e países. Um interesse comum existe, contudo, entre todos os homens quando o bem-estar social é o cerne de atenção – a necessidade de conservar a natureza e garantir o uso racional dos recursos naturais. Este consenso só pode ser entendido como a expressão de uma realidade global de pressão de degradação sobre o ambiente, resultado da atividade humana em escala superior à capacidade de suporte dos sistemas ecológicos (Vitousek *et al.*, 1986).

A emergência da questão ambiental na agenda social é consequência da extensão na qual a humanidade hoje se apropria dos recursos e altera a capacidade regenerativa da natureza, causando mudanças em escala global, nos principais sistemas naturais de suporte à vida. Como consequência, as funções de provedor de recursos para a produção e de assimilador e depurador de resíduos exercidas pelo ambiente são comprometidas, em um ciclo vicioso de crescente pressão e insuficiência. Existem muitos exemplos de impactos da atividade humana sobre o ambiente global, com drásticas

conseqüências sobre a saúde e o bem-estar da sociedade (Sadler, 1996). Assim sendo, estudos e diagnósticos que contribuem para amenizar estes impactos têm sido realizados e políticas têm sido propostas (Barnthouse *et al.*, 1998; Lubchenco *et al.*, 1991).

Um dos principais instrumentos para o estudo e o direcionamento de políticas que visam assegurar a melhoria das alternativas de desenvolvimento é a Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) (Bisset, 1987). O principal objetivo da AIA é a prevenção dos danos causados ao meio ambiente por atividades antrópicas. Ao considerar que para qualificar-se como impacto ambiental uma alteração ou efeito sobre o ambiente deva atingir (positiva ou negativamente) interesses de pessoas, a AIA incorpora em essência a dimensão política, dado que tanto aqueles efeitos quanto estes interesses não são homoganeamente distribuídos entre grupos sociais ou indivíduos. É por força desta dimensão política que as AIAs são exercícios de julgamento, balizados por objetivos de desenvolvimento, da aceitabilidade das ações e de seus efeitos sobre o ambiente e o bem-estar social (Bisset, 1983), conforme detalha-se adiante neste texto e no sistema de avaliação proposto.

No Brasil, as AIAs foram estabelecidas como requerimento para toda atividade modificadora do ambiente pelo artigo 1º da Resolução 001/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo, 1992), e objetivam contribuir com subsídios técnicos para o planejamento regional, além de servir de instrumento no processo de licenciamento (Pinheiro, 1990). Este papel é de importância no país, devido a três fatores: primeiro, à relevância dos recursos naturais do país no contexto mundial; segundo, por causa da expressiva escala das atividades econômicas e de ocupação dos espaços; e finalmente à inserção das questões ambientais tanto nas preocupações nacionais quanto na perspectiva internacional sobre o país (Rodrigues & Rodrigues, 1999).

A AIA é operacionalizada por meio dos EIA-RIMA (Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental), previstos na Constituição. O papel do EIA é qualificar e, quanto possível, quantificar antecipadamente o impacto ambiental, como suporte adequado ao planejamento de atividades relacionadas com o ambiente (Milare, 1994). O EIA é de maior abrangência que o RIMA e o engloba em si mesmo. O EIA compreende o levantamento da literatura científica e legal pertinente, trabalhos de campo, análises de la-

boratório e a própria redação do relatório. E o RIMA, destina-se ao esclarecimento das vantagens e conseqüências ambientais do empreendimento, e reflete as conclusões do EIA. Desse modo, o RIMA é o instrumento de comunicação do EIA ao gerente e ao público. Um outro ponto a destacar é que o EIA-RIMA de um empreendimento deve ter publicidade e participação pública, ou seja, primeiro o pedido de licenciamento, sua renovação e concessão devem ser publicados em jornal oficial e em um periódico de grande circulação. Segundo, o documento é disponibilizado previamente para ser discutido pelo público interessado em uma audiência pública previamente agendada. Com isso assegura-se o direito à participação da sociedade na tomada de decisão sobre a instalação de um empreendimento em um determinado local.

O setor agrícola brasileiro tem recebido atenção especial com respeito aos impactos ambientais, ou seja, aos danos resultantes das atividades agrícolas pelo uso inadequado de insumos e formas de manejo, às conseqüências de políticas públicas e de influências do mercado internacional de “commodities” sobre a agricultura nacional, e aos desenvolvimentos promovidos pela pesquisa e requisitos para o desenvolvimento rural sustentável (Quirino *et al.*, 1999). Este esforço de estudo e discussão sobre os impactos ambientais da agricultura brasileira vem resultando no direcionamento da pesquisa agrícola oficial para a busca de alternativas para o desenvolvimento sustentável (Embrapa, 1998; Embrapa, 2000). O presente texto tem o objetivo de contribuir para que o processo de inovação tecnológica da agricultura brasileira seja realizado em bases sustentáveis, e que assim contribua para a sustentabilidade da atividade agropecuária. Para tanto, e como parte deste esforço institucional, introduz-se um sistema prático para a avaliação do impacto ambiental resultante da adoção de inovação tecnológica no processo produtivo agropecuário.

### **AIA da inovação tecnológica agropecuária - contribuição para a sustentabilidade**

A degradação ambiental associada à atividade agropecuária é uma conseqüência direta da extensiva alteração do ambiente natural necessária para a abertura e manutenção dos ecossistemas em um estado inicial de sucessão, no qual a produtividade líquida exportável (produção) possa ser maximizada (Rodrigues, 1999). Contudo, o caráter predatório da atividade agropecuária

tem sido principalmente associado a uma determinada forma de praticar agricultura, vinculada a um modelo dependente de insumos externos e trabalho mecanizado, aplicados com o intuito de fornecer nutrição em abundância e proteção generalizada a extensas áreas ocupadas por organismos geneticamente homogêneos (Dulley & Miyasaka, 1994; Paschoal, 1983). Esta agropecuária, genericamente referida como da Revolução Verde, tem sido duramente criticada ao redor do mundo, enquanto é creditada por uns pela geração de excedentes e riquezas (Borlaug, 1997), e responsabilizada por outros pelo ciclo de degradação e pobreza imposto a extensas regiões da Terra (Shiva, 1997).

Este modelo de agricultura foi instituído no Brasil com as políticas de modernização da década de 70 (Ruegg *et al.*, 1987; Silveira & Futino, 1990), que buscavam, de um lado, quebrar os monopólios tradicionais causadores de estagnação agrícola e econômica, mas de outro, atrelavam favorecimento econômico via crédito à adoção compulsória de “pacotes tecnológicos” importados pela anuência de corporações transnacionais e “adaptados” às condições nacionais (Ruegg *et al.*, 1987). Já àquele tempo qualificado como “modernização conservadora” por aprisionar o país à dependência e o produtor rural (especialmente o pequeno) à miséria (Ferrari, 1985), esta agricultura convencional continua impondo enormes prejuízos sociais e ecológicos ao país (Quirino *et al.*, 1999), ainda que permita sua inserção como um dos principais produtores mundiais de “commodities” e sustente uma poderosa e afluyente classe produtora rural.

Se a via tecnológica foi empregada no passado para impor à agricultura nacional uma dinâmica produtiva capaz de impulsionar o emergente setor urbano-industrial (Ferreira *et al.*, 1986), pode-se admitir que a evolução da agricultura para um modelo produtivo sustentável deve necessariamente envolver algum rearranjo tecnológico e gerencial, além de uma outra estrutura de inserção político-social e fundiária. Com efeito, o desenvolvimento agrícola sustentável preconiza, ao invés da abolição de técnicas e insumos, o emprego de mais tecnologia, especialmente aquelas intensivas em conhecimento, bem como adoção de formas de manejo complexas, dependentes prioritariamente de fatores bióticos de produção (Flores *et al.*, 1991a; Flores *et al.*, 1991b).

Um grande desafio à agricultura sustentável é o conflito gerado pelo ainda prevalecente modelo de dependência de insumos não renováveis e de acesso quase irrestrito aos recursos ambientais, que geram forças de mercado e políticas econômicas que favorecem um progresso técnico inadequado, não

conducente à sustentabilidade (Pezzey, 1992). Em parte isto se deve à imprecisão do conceito de desenvolvimento sustentável, que se de um lado permite sua ampla aceitação pelos mais diversos setores da sociedade, de outro estimula idéias e atitudes muitas vezes contrárias ao seu significado fundamental (Bosshard, 2000). O apelo geral do conceito de sustentabilidade resulta da percepção, compartilhada por todos, de uma evidente desestruturação econômica, social e ecológica em praticamente todas as regiões do planeta. Há consenso que os recursos naturais são esgotáveis e que muitos desses recursos encontram-se no limiar de sua utilização, e que a capacidade do ambiente em assimilar resíduos e regenerar os habitats perturbados pelas atividades humanas é restrita, e que muitos habitats já encontram-se degradados além de sua capacidade de recuperação. Contudo, o conceito de sustentabilidade é também suficientemente desforme (ou despojado de rigor) para permitir a projeção de uma ampla gama de idéias, o que resulta em “inflação” de seu uso, muitas vezes em favor de interesses particulares, como por exemplo para a promoção de iniciativas corporativas de autopromoção e obtenção de vantagens empresariais (Bosshard, 2000).

Com o intuito de balizar a adequada inserção de objetivos de desenvolvimento sustentável na AIA da inovação tecnológica agropecuária, tema deste texto, justifica-se uma breve apresentação do conceito. O termo sustentabilidade tem sua origem de significado, em relação às ciências ambientais, no manejo florestal, onde já no século XVIII era utilizado para descrever a utilização de madeira em congruência com sua taxa de crescimento, o que asseguraria a satisfação da demanda a longo termo. Hoje o conceito de sustentabilidade não se restringe ao manejo de recursos naturais individuais, mas tornou-se sinônimo de adequado desenvolvimento econômico, social, e ecológico (Lewandowski *et al.*, 1999). Uma definição frequentemente referenciada de desenvolvimento sustentável é a apresentada pela Comissão Mundial para o Ambiente e o Desenvolvimento – “desenvolvimento sustentável é aquele que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a habilidade das gerações futuras de satisfazer suas próprias necessidades” (OECD, 1993).

Mais apropriado à AIA da inovação tecnológica agropecuária, “agricultura sustentável é o manejo e utilização dos ecossistemas agrícolas de forma a manter sua diversidade biológica, produtividade, capacidade de regeneração, vitalidade e habilidade de funcionar de maneira que possa satisfazer – hoje e no futuro – significativas funções ecológicas, econômicas e sociais em nível local, nacional

e global, e que não ameace outros ecossistemas” (nossa tradução a partir de Lewandowski *et al.* (1999), da definição formulada na Conferência de Ministros Europeus do Ambiente, Helsinki, Agosto de 1993). O valor desta definição para os propósitos da AIA na agricultura é sua perspectiva de atenção centrada nos ecossistemas agrícolas e em especial na conservação e recuperação da paisagem rural. Com esta perspectiva, dirime-se a necessidade de atribuir valor diferenciado às alternativas de ocupação do espaço rural, favorecendo a consideração da *qualidade* e do *estado de conservação* deste espaço. Aliado ao estado de conservação ambiental da paisagem rural, deve-se ainda enfatizar a recuperação das áreas de proteção permanente para atendimento da legislação de proteção ambiental, ou em outras palavras, reverter o presente estado de deterioração da paisagem rural que se observa na grande maioria das regiões do país (Bowers & Hopkinson, 1994). Ademais, esta definição de agricultura sustentável imprime ação (*o manejo*) ao conceito de agricultura sustentável, então identificando-a como tecnologicamente intensiva, ainda que enquanto conservadora de recursos (Neher, 1992).

Assim, a AIA da inovação tecnológica agropecuária é primordial para o desenvolvimento sustentável da agricultura, pois a interação tecnologia – ambiente e sociedade, com seus múltiplos interesses e objetivos, pode resultar em impactos não-intencionais, indiretos e retardados (Porter, 1995). É somente com a sistemática avaliação desses impactos, empregando métodos especificamente desenhados para tanto, e inseridos no correto contexto institucional, que o curso do desenvolvimento e da adoção de inovações tecnológicas agropecuárias contribuirá, com maior segurança, para a sustentabilidade.

Um aspecto relevante que poucas vezes leva-se em conta é que os objetivos da sustentabilidade variam conforme as condições ecológicas, econômicas, sociais e culturais, tanto nos âmbitos regionais como locais (Brooks, 1992). Em outras palavras, o que é sustentável em um país, região ou local, em um determinado período de tempo e em um certo estágio de desenvolvimento, não necessariamente será sustentável em outro. O contexto deve ser caracterizado e as iniciativas de sustentabilidade devem ser adaptadas às necessidades e capacidades particulares.

Quanto ao enfoque ambiental, Gardner & Roseland (1989) relatam que a interpretação de desenvolvimento sustentável dada pelo Conselho de Ciência do Canadá, por exemplo, enfatiza que as comunidades devem definir e desenvol-

ver suas próprias soluções para os problemas ambientais e de desenvolvimento, e que aqueles que estão mais próximos ao meio ambiente conhecem melhor como preservá-lo e como protegê-lo. O Conselho entende que, no longo prazo, essa estratégia aumentará a capacidade das comunidades locais em adaptar-se e a responder às mudanças das condições ambientais, sociais e econômicas.

O que se observa é que os recursos naturais deixam de ser meros fatores de produção para se tornarem componentes da paisagem e dos atributos culturais da comunidade, tendo seus valores de uso substituídos por valores de troca, e contribuindo para gerar bens e serviços de consumo característicos do meio rural.

Em nosso país a situação é bem diferente: predominam os instrumentos legais de controle, cuja eficácia é muito baixa devido aos custos e dificuldades de sua fiscalização. No meio rural em particular, praticamente a única atividade que tem sido controlada pela exigência de EIA-RIMA é a instalação de usinas hidrelétricas, conforme a lei nacional do meio ambiente vigente. Porém, as outras atividades, inclusive indústrias, geralmente passam despercebidas em relação a essa exigência.

Em muitos casos, as avaliações de impacto ambiental são vistas como imposições de agências financiadoras externas, cujo objetivo parece ser muito mais favorecer o meio ambiente do que o desenvolvimento, colocando essas duas vertentes em posições antagônicas. Além disso, o foco dessas avaliações tem sido em variáveis de estado do meio ambiente e de estrutura dos recursos naturais, e como elas têm sido afetadas pelas atividades econômicas. As avaliações não levam em conta muitas mudanças econômicas, sociais e culturais que podem ocorrer nas pessoas da comunidade envolvidas direta e indiretamente no empreendimento, tais como: distribuição de renda, acesso à educação, acesso a serviços básicos, padrão de consumo, acesso a esporte e lazer, conservação do patrimônio histórico e artístico, qualidade do emprego, segurança e saúde ocupacional, oportunidade de emprego local qualificado e participação comunitária.

Muitos conflitos significativos ainda persistem em relação à interação apropriada de formas e iniciativas de sustentabilidade. Ainda mais desafiador é se definir critérios e métodos que procurem padronizar minimamente as avaliações *ex-ante* e *ex-post* da sustentabilidade de programas e projetos de desenvolvimento

rural. A dificuldade está também em se definir critérios e/ou indicadores integrados que considerem não apenas a avaliação do impacto ambiental de projetos específicos, mas de todo o conjunto de atividades que estão sendo ou vão ser desenvolvidas em um determinado território ou local.

Pelo que foi apresentado, nota-se que não se pode tratar as propostas para o desenvolvimento sustentável de modo único e geral, sendo uma de suas premissas o envolvimento da comunidade local em todas as fases de planejamento e de tomada de decisão. Outra diferença entre o processo de desenvolvimento tradicional e a estratégia de desenvolvimento local sustentável é que este requer uma leitura territorial ao invés de uma leitura setorial dos processos sociais e econômicos de desenvolvimento (Marsden, 1999).

As estratégias de uso sustentável dos recursos rurais variam com a comunidade e sua localização. As demandas sociais são múltiplas e há sempre dificuldades para compatibilizá-las entre si. A solução não é simples, pois há diferentes perspectivas e necessidades dos diferentes atores sociais da comunidade, que nem sempre são de fácil orquestração. Este é um processo onde há constantes conflitos de interesses, uma vez que os limites socioculturais são visualizados de forma diversa por diferentes usuários de uma mesma área, como por exemplo, a decisão sobre extração de madeira vs. conservação vs. lazer. A avaliação de impactos de inovações tecnológicas, que interferem com estes interesses, deve, portanto, ser adequadamente inserida no contexto institucional, para que possa contribuir para uma nova forma de se desenhar políticas públicas, baseando-se na horizontalidade setorial e espacial no processo de planejamento e gestão, e tendo como princípios orientadores a participação comunitária e o processo de construção social coletiva “de baixo para cima”.

### **Inserção da AIA da inovação tecnológica no contexto institucional**

O desenvolvimento e a aplicação sistemática de instrumentos de AIA de tecnologias agropecuárias tem sido alvo de interesse por parte dos Institutos Nacionais de Investigação Agropecuária dos países do Cone Sul, conforme manifestado pela organização de eventos científicos sobre o tema (Puignau, 1998) e na proposição de projetos cooperativos de pesquisa e desenvolvimento



metodológico (Rodrigues *et al.*, 1998). Na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), o interesse na AIA de tecnologias iniciou-se na década de 80 (Castro *et al.*, 1988), mas somente no final da década de 90 é que se apoiou efetivamente a elaboração de método prático que pudesse ser usado para a avaliação *ex-post* das tecnologias geradas pela instituição e adotadas pelo setor produtivo agropecuário.

Ao levar em consideração que devido à sua própria fundamentação metodológica as AIAs devem ser realizadas em todos os estágios dos processos sob avaliação, desde o planejamento e seleção do projeto até sua implementação (Haque, 1991), o primeiro passo para inserção no contexto de instituições de pesquisa deve constar da aplicação de AIAs na etapa de formulação de projetos de pesquisa. Uma iniciativa neste sentido consta de um documento motivador apresentado por Rodrigues (1998a), cujo objetivo é sensibilizar os técnicos envolvidos com o processo de formulação e execução de projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico agropecuário a considerarem aspectos de conservação da qualidade ambiental desde a formulação de seus projetos. Esta perspectiva de avaliação prospectiva (*ex-ante*) dos impactos potenciais de tecnologias, sempre levando em consideração objetivos de desenvolvimento a serem favorecidos pela tecnologia ou projeto em avaliação, enquadra-se na categoria de avaliação ambiental estratégica (Pinfield, 1992; Smith & McDonald, 1998).

Uma vantagem especial de iniciarem-se as AIAs por avaliações estratégicas é a possibilidade de fiar-se em fontes de dados e conhecimentos pré-existent, organizando e sistematizando estas informações para o fim específico de avaliação de impacto ambiental (Lee & Walsh, 1992). Seguindo este direcionamento, um método para AIA em projetos de desenvolvimento tecnológico agropecuário foi proposto e aplicado a um grande conjunto de projetos de pesquisa (Rodrigues *et al.*, 2000). Com base na comparação com os resultados obtidos para estes projetos, o usuário do método pode avaliar *ex-ante*, segundo especificação de seus dados técnicos, a performance de seu projeto em relação aos efeitos ambientais. O método aborda os impactos prospectivos da tecnologia segundo quatro aspectos ambientais, (i) *alcance*, que representa a escala geográfica de influência da tecnologia; (ii) *eficiência*, uma medida do resultado esperado da tecnologia em relação à conservação de insumos (renováveis e não renováveis); (iii) *resiliência*, ou potencial para promover a recuperação da qualidade ambiental; e (iv) *conservação*,

relativa ao efeito da tecnologia sobre os compartimentos dos ecossistemas, segundo consideração de 18 indicadores de qualidade ambiental passíveis de modificação pela adoção da tecnologia. O impacto ambiental é avaliado segundo o efeito esperado da tecnologia sobre estes aspectos e indicadores, conforme os dados técnicos do projeto de pesquisa e ponderação do avaliador (em geral o pesquisador proponente do projeto), em uma planilha eletrônica que expressa os resultados em forma gráfica (Rodrigues *et al.*, 2000).

O passo subsequente para a inserção de AIA no contexto institucional é a consideração dos impactos efetivamente observados (*ex-post*) em campo, com a adoção da tecnologia. É somente a partir desta escala que os efeitos da inovação tecnológica passam a influenciar e a contribuir para a agricultura sustentável. Idealmente, as dimensões econômica, ecológica, social e política necessitam ser simultaneamente consideradas (Tacconi & Tisdell, 1993). Estas dimensões devem ainda convergir para um objetivo bem definido, que em geral quando relacionado à agricultura sustentável, envolve o conceito ecológico de resiliência (a capacidade de recuperar um estado de equilíbrio dinâmico anterior a um distúrbio), e depende da constância do estoque de “capital natural” (Barbier *et al.*, 1990).

A simplicidade do enunciado de uma tal postura filosófica para a definição do objetivo da agricultura sustentável contrasta com a dificuldade de definir-se um objetivo operacional e um método ou sistema de avaliação aplicável à formulação de políticas consequentes (Smith & McDonald, 1998). Por exemplo, na maioria das vezes o alívio da pressão de degradação ambiental depende, ao menos parcialmente, da melhoria de renda, da tomada de consciência e da sedimentação de conhecimentos por parte da população local envolvida, sobre o valor intrínseco do recurso ambiental ameaçado (nas palavras de Poore & Sayer. (1991). - “para a conservação de florestas, é melhor começar pelas pessoas que pelas árvores”). Isso implica que para validar sua avaliação, a tecnologia deve trazer, além de benefícios ambientais, melhoria das condições de vida dos usuários, sendo portanto compatível com objetivos econômicos e sociais (Warford, 1987).

É claro que deve-se manter em perspectiva que dificilmente é possível obter consenso sobre objetivos de desenvolvimento, especialmente entre interesses ambientais e socioeconômicos, e que a regra é que expectativas contraditórias existam tanto sobre procedimentos de avaliação quanto sobre políticas deles derivadas (Morvaridi *et al.*, 1994). Esta dificuldade é exacerbada

pela impossibilidade de aplicação de métodos convencionais de abordagem, principalmente aqueles do tipo análise de benefício/custo, que buscam reduzir a avaliação de “bens” ambientais à contabilização de interesses econômicos (Green *et al.*, 1990). Daí deriva a abordagem empregada nos métodos de avaliação de impactos, que preconizam o julgamento de eficiência no atingimento de objetivos (no presente caso, melhor tecnologia) relativo à eficácia de cumprimento de uma norma (no presente caso, melhor ambiente) (Girardin *et al.*, 2000).

Julgamentos de valor são, portanto, componentes intrínsecos de avaliações de impacto, e são exercidos ao longo de toda avaliação, desde a compreensão que impactos não são distribuídos homoganeamente entre pessoas e grupos sociais, até o entendimento de que grupos e pessoas exibem valores e interesses distintos (Bisset, 1983). Com este preceito em mente, pode-se definir AIA para a agricultura sustentável como a interpretação e o julgamento sobre alterações no ambiente conforme um *objetivo* e em relação a uma *norma* (Girardin *et al.*, 1999). No sentido de definir o objetivo da AIA da inovação tecnológica no contexto institucional, leva-se em consideração a atual missão institucional da Embrapa de “viabilizar soluções para o desenvolvimento sustentável do agronegócio brasileiro por meio de geração, adaptação e transferência de conhecimentos e tecnologias, em benefício da sociedade” (Embrapa., 1998). Como orientação básica para avaliação ambiental (Dumanski *et al.*, 1990), endereça-se tanto o desenvolvimento tecnológico quanto o sistema para sua avaliação a condições locais, e à busca de recuperar conhecimentos e envolver atores sociais locais no processo.

Com estas premissas, define-se a *escala*, delimita-se o *escopo*, traça-se o *objetivo*, e estabelece-se a *norma* para a formulação de um sistema de AIA da inovação tecnológica agropecuária no contexto institucional:

- i) Escala – a adoção de uma inovação tecnológica agropecuária influencia o ambiente imediato (pontual) onde desenvolve-se a atividade à qual a tecnologia é aplicada, os ambientes limítrofes (local), e possivelmente, principalmente devido à emissão de resíduos, o entorno, sendo portanto estas as escalas de endereçamento das avaliações.

ii) Escopo – embora as dimensões social, econômica e ecológica sejam igualmente fundamentais para sustentabilidade, o sistema de AIA demandado no contexto institucional indica restrição à dimensão ecológica, dado que sistemas para avaliação econômica e social vêm sendo formulados separadamente, para posterior integração.

iii) Objetivo – promover o desenvolvimento sustentável pela adoção de inovações tecnológicas que minimizem os impactos negativos sobre a qualidade do ambiente, e contribuam para sua recuperação conforme a legislação vigente, ou seja, favoreçam o resgate do atual passivo ambiental da agricultura brasileira.

iv) Norma – a recomendação da inovação tecnológica é condicionada à melhoria da performance da atividade à qual a tecnologia se aplica, referenciando-se à situação anterior à adoção e utilizando-se indicadores ambientais. Idealmente, esta norma implica que os coeficientes de impacto ambiental da inovação tecnológica não devem ser negativos. Como esta condição ideal dificilmente pode ser satisfeita, considera-se que os coeficientes de alteração negativos devem ser minimizados, de forma que o índice de impacto da inovação tecnológica seja positivo.

Estes preceitos definidos para a avaliação de impactos ambientais da inovação tecnológica agropecuária no contexto institucional podem ser conjuntamente resumidos em uma expressão simples, que baliza aquilo que o sistema de avaliação proposto adiante deve promover:

**Desenvolvimento local sustentável**  
**(para detalhes, ver Campanhola & Graziano da Silva (2000))**

Uma última consideração para inserção de AIA da inovação tecnológica agropecuária no contexto institucional é a definição da abordagem (Castro *et al.*, 1988). Dentre quatro principais escolas de avaliação de impacto de tecnologias (Porter, 1995), o presente contexto institucional (pró-ativo porém de restrita experiência prévia) determina que procure-se integrar a abordagem mais básica (escola regulatória) com uma mais avançada (escola experimental/participativa). Na primeira abordagem, busca-se *reagir* aos impactos presentes ou projetados de tecnologias em uso, estabelecendo limites e propondo precauções. Ao mesmo tempo, pela segunda abordagem,

estende-se *intervenção ativa*, pela participação dos setores interessados, à melhoria do desenho (desenvolvimento) das inovações tecnológicas. Cabe ressaltar que as outras abordagens (promocional e construtiva) devem igualmente receber atenção no contexto institucional, em apoio ao planejamento estratégico e em resposta às prioridades políticas e sociais (Porter, 1995).

Neste subitem foram expressos os conceitos e paradigmas para AIA de tecnologias agropecuárias no contexto institucional. Estes conceitos, idéias e paradigmas são traduzidos em ação concreta (avaliação) por julgamentos de valor conforme os objetivos e a norma anteriormente enunciados. Quando julgamentos de valor são sistematizados, eles passam a configurar procedimentos de avaliação (Bosshard, 2000). No subitem que segue, são definidas as bases metodológicas desses procedimentos para formulação do *sistema de avaliação de impactos ambientais da inovação tecnológica agropecuária*.

## **Sistema de avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária**

### **Desenvolvimento metodológico**

Existe à disposição dos avaliadores de impacto ambiental um vasto arsenal metodológico, com mais de cem métodos descritos para os mais variados propósitos e situações (Bisset, 1987; Canter, 1986; Canter, 1996; Orea, 1998). Essa variedade é previsível, dada a multiplicidade de situações passíveis de serem submetidas a AIA, as disparidades de escala e de qualidade e disponibilidade de dados, a experiência passada em avaliações e projetos semelhantes, e o objetivo das avaliações.

No Brasil, o IBAMA (1995) definiu os principais instrumentos da política ambiental e os procedimentos para atendimento dos requisitos para AIA de projetos e empreendimentos, com breve descrição dos principais métodos normalmente empregados. Ainda na literatura brasileira, há um manual de AIA elaborado em um convênio (SURHEMA-GTZ, 1992), no qual os principais métodos disponíveis são descritos e exemplificados, com ênfase para avaliação de projetos envolvendo obras de engenharia. Os fundamentos e introdução à metodologia para avaliação de impactos das atividades

agropecuárias foram apresentados por Rodrigues (1998a), que direcionou a abordagem para avaliação de impactos em projetos de pesquisa (Rodrigues *et al.*, 2000).

Independente do método adotado, as AIAs referem-se basicamente à identificação e avaliação das conseqüências ambientais de projetos, planos, programas e políticas, além de tecnologias, buscando selecionar a melhor alternativa para desenvolvimento. Por causa desta ampla gama de métodos e da variedade de situações ambientais a que se aplicam, os sistemas de AIA naturalmente apresentam uma heurística própria, sendo que os procedimentos para sua delimitação e formulação são objeto de uma vasta literatura. Um aspecto comum desses procedimentos é a necessidade de integrar as três dimensões do conceito de desenvolvimento sustentável (econômica, social e ecológica), cada qual sendo caracterizada por indicadores específicos.

O uso de indicadores faz-se necessário pela necessidade de traduzir a realidade complexa e na qual as múltiplas variáveis do ambiente estudado são interdependentes, em unidades sintéticas mais facilmente medidas e expressas (Girardin *et al.*, 1999). Por sua vez, as diferentes unidades de medida características dos indicadores de cada dimensão (econômica, social e ecológica) determinam diferentes ações do processo de avaliação. Disso resulta que três variações de enfoque devem ser integradas em qualquer avaliação de impacto: (i) na dimensão econômica essencialmente faz-se *valorar*, dada a existência da unidade monetária comum a todos os indicadores; (ii) na dimensão ecológica faz-se *comparar*, dado que a norma de qualidade dos indicadores varia de acordo com o ambiente e características intrínsecas do ecossistema local, que altera-se no espaço e no tempo; (iii) na dimensão social faz-se *julgar* a melhoria de qualidade de vida, em acordo com valores culturais e políticos da população envolvida. Estes preceitos emolduram a formulação do sistema de avaliação, que então consiste da seleção dos indicadores de acordo com os *objetivos* de desenvolvimento, que são medidos segundo aderência à *norma* (anteriormente definidos para o contexto institucional), e finalmente agregados para expressão da utilidade da tecnologia avaliada para o desenvolvimento sustentável.

Os indicadores são importantes para entender os sistemas complexos e têm como principais funções: i) sintetizar grande volume de dados; ii) mostrar a situação atual em relação a situações almejadas; iii) demonstrar o progresso

em direção a objetivos e metas e iv) comunicar a situação atual aos usuários – cientistas e técnicos, elaboradores de políticas públicas e sociedade – para que decisões efetivas sejam tomadas com o objetivo de cumprir uma norma traçada (Mitchell *et al.*, 1995). Além disso, os indicadores servem para: i) monitorar variações com o tempo; ii) antecipar condições críticas e adotar medidas preventivas; iii) identificar agentes causais para delinear medidas gerenciais apropriadas e iv) demonstrar a interdependência entre indicadores para tornar os processos de avaliação mais efetivos quanto aos custos, ou para reforçar a tomada adequada de decisões.

Assim, o primeiro passo para formulação de um sistema de AIA da inovação tecnológica agropecuária consiste da seleção de indicadores e sua organização em uma plataforma operacional para medida, ponderação e expressão de resultados. Várias abordagens metodológicas são sugeridas para guiar este processo (p.ex., Mitchell *et al.*, 1995), e a seguir emprega-se o procedimento proposto por Girardin *et al.* (1999), que ao revisar o tema, definiu sete passos de elaboração de indicadores: (i) definição de objetivo, (ii) definição de interessados/usuários; (iii) construção do indicador; (iv) determinação da norma; (v) teste de sensibilidade; (vi) teste de probabilidade; (vii) teste de utilidade.

**i. Definição de objetivo** – neste primeiro passo, já apresentado neste texto para o presente contexto institucional, estabelece-se, de acordo com a aplicação tecnológica (ou projeto avaliado) e o interesse dos usuários, o objetivo de desenvolvimento a ser atingido. Normalmente este objetivo segue um conceito amplo, subsidiário ao paradigma predominante almejado pelo grupo ou organização. Atualmente o conceito de Produção Integrada tem guiado o desenvolvimento tecnológico agropecuário (Girardin *et al.*, 1999) e associado ao conceito de agricultura sustentável, balizou a definição do objetivo do presente sistema. Definido o paradigma, pode-se considerar os temas ambientais relevantes, a partir dos quais são derivados os indicadores. Um exemplo de organização de temas ambientais para definição de indicadores foi apresentado pela OECD (1993), cuja qualificação de indicadores de pressão-estado-resposta tem sido amplamente utilizada em sistemas de avaliação de sustentabilidade. A derivação de indicadores a partir desses temas normalmente realiza-se pela elaboração de listas de controle (“check-lists”, vide tópicos em Johansen (1996)), baseadas em extensa consulta bibliográfica. No contexto do sistema aqui proposto, o

objetivo pode ser resumido como “possibilitar a AIA da inovação tecnológica a fim de que possam ser desenvolvidas e selecionadas tecnologias que atendam aos princípios da sustentabilidade”.

**ii. Definição de interessados/usuários** – a necessidade de compatibilizar localmente os níveis adequados de resposta dos indicadores (julgamento conforme objetivo definido e aderência à norma estabelecida), e de equilíbrio entre objetivos ecológicos, econômicos e sócio-culturais, condiciona que o usuário/adotante da tecnologia em avaliação deva ter participação ativa e decisória no processo, como forma de incorporar seu conhecimento e experiência (Dumanski *et al.*, 1990). Este mesmo usuário/adotante da tecnologia é, no presente contexto institucional, o interessado/usuário do sistema de avaliação, ainda que no mais das vezes, via intermediação da instituição de pesquisa. Dessa forma, o sistema proposto busca atender, de um lado, ao pesquisador e à instituição de pesquisa, no sentido de prover avaliação de impacto ambiental da tecnologia para balizar seu melhoramento e recomendação; e de outro, incorpora a perspectiva dos produtores adotantes das tecnologias, que são a fonte das informações sobre o efeito dessas tecnologias no ambiente, conforme sua experiência sobre a alteração dos indicadores de impacto no campo. A interação entre o pesquisador proponente da tecnologia/avaliador do impacto, e o produtor adotante, promovida pelo sistema proposto, deve ser tomada como uma oportunidade para a resolução de conflitos de perspectiva entre estes usuários do sistema de AIA (van Pelt, 1994).

**iii. Construção dos indicadores** – a construção dos indicadores envolve consideração simultânea dos requerimentos dos usuários, da disponibilidade de informações, do esforço de coleta, e do estado de conhecimento disponível sobre o tema. Ademais, deve-se compatibilizar conflitos de interesses sociais, econômicos e ecológicos, e as diferenças de medida características dos indicadores dessas dimensões. Os métodos mais bem sucedidos na literatura de avaliação de impactos ambientais voltada para sustentabilidade (Bockstaller *et al.*, 1997; Bosshard, 2000; Girardin *et al.*, 1999; Girardin *et al.*, 2000; OECD, 1993) têm favorecido abordagens que prescindem do reducionismo monetário, dadas suas limitações (Green *et al.*, 1990), e geralmente consistem de variações de análise multicritério aplicadas a estimativas sobre alteração de indicadores ambientais (van Pelt, 1993). No caso do sistema proposto, essas estimativas são obtidas por pontuação – coeficiente



de alteração – segundo avaliação do produtor adotante da tecnologia, em entrevista/vistoria a campo. O sistema de pontuação utilizado reflete a avaliação sensorial e a experiência do produtor sobre a alteração quantitativa dos componentes do indicador de impacto ambiental. A alteração refere-se à performance da atividade desenvolvida com a inovação tecnológica, em comparação à atividade na ausência da inovação, em levantamento rápido de campo (Haque, 1991). Os componentes dos indicadores são ponderados de acordo com a escala espacial em que ocorre a alteração, e por um coeficiente de importância na composição do indicador. Finalmente, os indicadores são expressos graficamente, e agregados para expressão do índice de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária.

**iv. Determinação da norma** – o estabelecimento da norma de cumprimento do objetivo – que no presente caso pode ser expressa como “melhoria da performance ambiental da atividade à qual a tecnologia se aplica” – depende da interação entre a tecnologia, o ambiente, e o sistema de produção ao qual a tecnologia é inserida. Segundo preceitos da Produção Integrada<sup>1</sup>, a inovação tecnológica deve inserir-se no sistema de produção de forma complementar, aumentando a conectividade das operações, o aproveitamento de insumos e subprodutos, e “feed-backs” do sistema. Por outro lado, o ecossistema ao qual a tecnologia será imposta pode ser sensível à degradação, ou seja, frágil frente a estresses, como por exemplo áreas montanhosas ou de pequena biodiversidade; ou pouco resiliente, ou seja, incapaz de recuperar um estado de equilíbrio dinâmico após ação de estresse, como áreas em solos pobres ou ambientes aquáticos oligotróficos. Esses condicionantes da interação entre a inovação tecnológica, os sistemas de produção, e o ambiente local determinam como será o comportamento dos indicadores de impacto. Ou seja, o desempenho ambiental da inovação tecnológica varia com as condições ecológicas e com os diferentes sistemas de manejo adotados. Embora a regra fundamental de sustentabilidade possa ser expressa simplesmente como a busca de “constância do capital natural” (Barbier *et al.*, 1990), objetivos de maior alcance são indicados pelas dimensões sociais e econômicas, inclusive com certos impactos sendo qualificados como não negociáveis, ou seja, existem critérios que permitem a imposição de normas invioláveis em AIAs (Sippe, 1996). No caso do sistema proposto, contudo, a norma dirige-se à maximização de impactos positivos pela adoção da inovação tecnológica.

<sup>1</sup> “A produção integrada é um sistema de exploração agrária que produz alimentos e outros produtos de alta qualidade mediante o uso dos recursos naturais e de mecanismos reguladores para minimizar o uso de insumos e contaminantes e para assegurar uma produção agrária sustentável” (Titi *et al.* 1995).”

**v. Teste de sensibilidade** – enumerados os indicadores e estabelecidos os objetivos e a norma da avaliação, pode-se definir o significado da alteração (isto é, o seu sentido) e o seu grau de importância (isto é, o seu valor). O sentido da alteração (dos componentes e do indicador) permite julgar se a alteração é aceitável ou não (se ela contribui ou prejudica) para o atingimento do objetivo. O valor da variável determina a extensão na qual ela contribui (ou prejudica) para o atingimento do objetivo, normalmente em relação à sua escala de ocorrência espacial e temporal, além do peso que a variável exerce no conjunto de indicadores considerados. São estas características que, ao serem construídas para cada indicador, permitem converter coeficientes de variação, obtidos a campo para os diversos indicadores e aspectos ambientais, em medidas de qualidade da tecnologia, e assim ordenar diferentes tecnologias segundo sua melhor ou pior performance para o alcance do objetivo (Andreoli & Tellarini, 2000). No caso do sistema proposto, a pontuação obtida para os componentes dos indicadores é ponderada por coeficientes relativos à escala espacial de ocorrência da alteração, e normalizados (para importância total igual à unidade) segundo o número de componentes em cada indicador. Ao final, os resultados dos indicadores são ponderados segundo sua importância, para composição do índice de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária.

**vi. Teste de probabilidade** – em geral não se observa uma relação simples e linear entre variável, indicador e performance da tecnologia (ou projeto) em avaliação, de forma que “zonas de probabilidade” devem ser delimitadas (Girardin *et al.*, 1999). Essas são funções de transformação entre os indicadores e o resultado de performance a ser expresso, construídas conforme as características de sensibilidade (pesos e ponderações, vide subitem anterior) dos indicadores, caso a caso (Dee *et al.*, 1973). Essas funções expressam as áreas de probabilidade de ocorrência correspondentes à interação entre a variável de medida dos componentes (e dos indicadores) e as unidades de impacto ambiental. Em geral, nos métodos de análise multicritério, funções de utilidade são associadas às variáveis, de forma que a transformação envolve definição de sentido e escala em uma única operação (Andreoli & Tellarini, 2000)<sup>2</sup>. A vantagem de transformar variáveis e indicadores ambientais diretamente em unidades de utilidade, é a possibilidade de aplicar análise quantitativa de multiatributo às AIAs (Bisset, 1987). No caso do sistema proposto, devido à forma de pontuação usada na estruturação dos componentes, e da normaliza-

<sup>2</sup> Para maiores detalhes sobre técnicas e procedimentos de transformação de variáveis, e exemplos de funções de utilidade para parâmetros de qualidade ambiental, recomenda-se: Andreoli & Tellarini (2000); Canter (1996); Dee et al. (1973) e Orea (1998).

ção dos indicadores e coeficientes de impacto efetuada no teste de sensibilidade, nenhuma função de transformação adicional foi aplicada.

**vii. Teste de utilidade** – consiste na averiguação da aplicabilidade dos indicadores para a avaliação proposta. Os indicadores selecionados para a construção do sistema de avaliação de impactos ambientais da inovação tecnológica agropecuária foram testados no contexto institucional em uma série de video-conferências apresentadas a todas as Unidades da Embrapa e em dois seminários de trabalho junto ao Grupo de Estudos sobre Organização da Pesquisa e da Inovação (GEOPI), do Departamento de Política Científica e Tecnológica da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), nos quais exemplos de avaliações de impacto foram apresentados e discutidos com os usuários potenciais do sistema. A partir desse teste, uma série de adequações foram procedidas no sistema, que ora é apresentado em seu formato operacional. Finalmente, a utilidade do sistema de avaliação no contexto institucional será materializada após sua aplicação prática em um amplo programa de AIA de tecnologias. Em tal programa, cada avaliação compõem-se de uma unidade amostral de impacto ambiental, e o diagnóstico sobre possíveis adequações a serem implementadas para melhoria da tecnologia, ou para sua adequada recomendação condicionada a formas de manejo ou ambientes específicos, realiza-se pela observação do comportamento de cada indicador. O teste de hipótese sobre a contribuição da tecnologia para atingimento do objetivo e aderência à norma é realizado pela análise de variância aplicada ao conjunto dos indicadores. Já a comparação entre tecnologias pode ser efetuada pela comparação das médias dos índices de impacto ambiental entre conjuntos de avaliações de diferentes tecnologias. Porém, a AIA de uma certa tecnologia por meio de um sistema de avaliação deve ser acompanhada de uma análise descritiva do avaliador que qualifique os componentes dos indicadores e justifique os resultados obtidos, possibilitando, assim, a identificação das causas dos impactos negativos e a adoção de medidas mitigadoras ou corretivas.

Sistemas de AIA devem ser direcionados à indicação de tendências e magnitudes de impactos, sem a preocupação de fornecer números precisos ou inventários detalhados de estado do ambiente. Bom senso, exercitado de maneira sistemática provida pelos métodos disponíveis, pode contribuir efetivamente para a tomada de decisões relativas ao manejo ambiental das inovações tecnológicas (Lutz & Munasinghe, 1994). Cabe ao executor das

avaliações exercitar uma postura proativa, recomendada por Sadler (1996):

- Focalizar na execução: isso envolve aproveitar a informação e o conhecimento prático de administradores, executores e outros peritos;
- Aprender fazendo: experiência operacional e exemplos de casos fornecem a base primária para a prática da avaliação, padronizando a performance e identificando melhorias e avanços em processos e procedimentos;
- Reconhecer que o sucesso é relativo: uma perspectiva crítica e voltada à demanda sobre a efetividade dos trabalhos é necessária, pois vários atores são envolvidos e influenciam a condução da AIA e a extensão na qual atingem-se as metas;
- Explorar a arte do possível: os benefícios da pesquisa em AIA depositam-se na resolução de problemas, antes que em sua procura (ou na busca de falhas e danos). Deve-se contrastar o que *vem sendo* feito com o que *pode ser* feito para adaptar a prática de AIA a novas demandas e realidades;
- Crescer com a realização: tanto quanto possível, o desenvolvimento de processos e inovações deve ser fundado em componentes tentados e testados.

A avaliação do impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária, medida pelo sistema AMBITEC-AGRO (Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária), gera o "Índice I.A.", que é o resultado final das diversas etapas de mensuração explicadas a seguir.

Inicialmente, foi preciso assumir algumas orientações que devem pautar um método de AIA: i) deve ser simples e prático, mas suficiente para uma avaliação adequada; ii) deve ter custos administrativos compatíveis com os recursos institucionais disponíveis para essa atividade; iii) deve ser aceito por cientistas, técnicos, políticos e usuários e iv) deve facilitar a comunicação dos resultados entre a institucionalidade pública, os usuários e a sociedade. Portanto, é evidente que não existe método de AIA perfeito, mas sim aquele que é mais adequado nas condições disponíveis e para os objetivos traçados.

## AMBITEC-AGRO

A complexa natureza das interações socioculturais que ocorrem quando uma tecnologia é introduzida, ampliada ou modificada, implica grande incerteza sobre os possíveis impactos da inovação. O estudo sistemático desses impactos de acordo com objetivos de sustentabilidade pode contribuir para que o desenvolvimento e a recomendação tecnológica resultem em um máximo de ganhos econômicos e sociais, com um mínimo de custos ambientais. A avaliação de impactos de tecnologias envolve uma ampla variedade de tópicos relativos aos contextos institucional, social, cultural e político, no âmbito da segurança econômica, de saúde e ambiental, tanto individual como comunitária. Quando objetivos de sustentabilidade são definidos, a avaliação tende a endereçar o ciclo de vida tecnológico. A montante, isto significa que deve-se considerar os recursos necessários ao desenvolvimento tecnológico (matérias-primas e habitats afetados), e a jusante deve-se endereçar os resíduos (Porter, 1995), envolvendo toda extensão de alcance da tecnologia. O sistema de avaliação de impactos ora proposto, por sua vez, restringe-se à demanda institucional previamente delimitada, de avaliar impactos ambientais de inovação tecnológica agropecuária, segundo objetivos de desenvolvimento sustentável, empregando uma plataforma prática de execução simples, baixo custo, e passível de aplicação a todo universo tecnológico e ambiental de inserção institucional.

O AMBITEC-AGRO tem uma estrutura hierárquica simples, que parte da escala de campo de cultivo ou unidade produtiva agropecuária e estende-se até os sistemas ecológicos de entorno, na escala de paisagem rural ou microbacia hidrográfica, e atenta para a qualidade dos ecossistemas e para a manutenção de sua capacidade de suporte (Lowrance *et al.*, 1986). Esta estrutura é bastante similar àquela dos métodos de avaliação de impactos amplamente descritos na literatura, que incorporam parâmetros indicadores de alguma qualidade desejada do ambiente, que são ponderados, para obtenção de medidas padronizadas de impacto (formato comum aos métodos citados como clássicos, por exemplo, de Leopold e outros, Batelle, etc. (Bolea, 1980; Dee *et al.*, 1973)).

Ao contrário desses métodos, contudo, que buscam ser exaustivos ao listar indicadores e muitas vezes constróem indicadores complexos pela interação de variáveis (vide p.ex., a crítica de Rossi & Nota (2000) ao método recente-

mente proposto pela União Européia), o AMBITEC-AGRO concentra-se em uma experiência prévia de método de AIA aplicada a projetos de pesquisa no âmbito institucional (Rodrigues *et al.*, 2000).

### Aspectos gerais do sistema

O Sistema de Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária (AMBITEC-AGRO<sup>3</sup>) envolve três etapas: a primeira, refere-se ao processo de levantamento e coleta de dados gerais sobre a tecnologia e a cultura à qual ela se aplica, desde a obtenção de dados sobre o alcance da tecnologia (abrangência e influência), a delimitação da área geográfica e do universo de produtores adotantes da tecnologia, e a definição da amostra de produtores. A segunda etapa trata da aplicação dos questionários em entrevistas individuais com os produtores selecionados e inserção dos dados sobre os indicadores de impacto nas planilhas eletrônicas componentes do sistema, obtendo-se os resultados quantitativos dos impactos e os índices parciais e agregado de impacto ambiental da tecnologia selecionada. E a terceira e última etapa consiste da interpretação desses índices e indicação de alternativas de manejo e de tecnologias que permitam minimizar os impactos negativos e potencializar os impactos positivos, contribuindo para o desenvolvimento local sustentável.

O conjunto de planilhas eletrônicas (em plataforma MS-Excel®) permite a consideração de quatro aspectos de contribuição de uma dada inovação tecnológica para melhoria ambiental na produção agropecuária, quais sejam, **Alcance, Eficiência, Conservação e Recuperação Ambiental** (Fig.1) (Rodrigues *et al.*, 2000). Cada um destes aspectos é composto por um conjunto de *indicadores* organizados em matrizes de ponderação automatizadas, nas quais os *componentes* dos indicadores são valorados com *coeficientes de alteração*, conforme conhecimento pessoal do produtor adotante da tecnologia.

---

<sup>3</sup> O arquivo contendo o sistema AMBITEC-AGRO é disponível para "download" via acesso à página da Embrapa Meio Ambiente na internet (<http://www.cnpma.embrapa.br>).

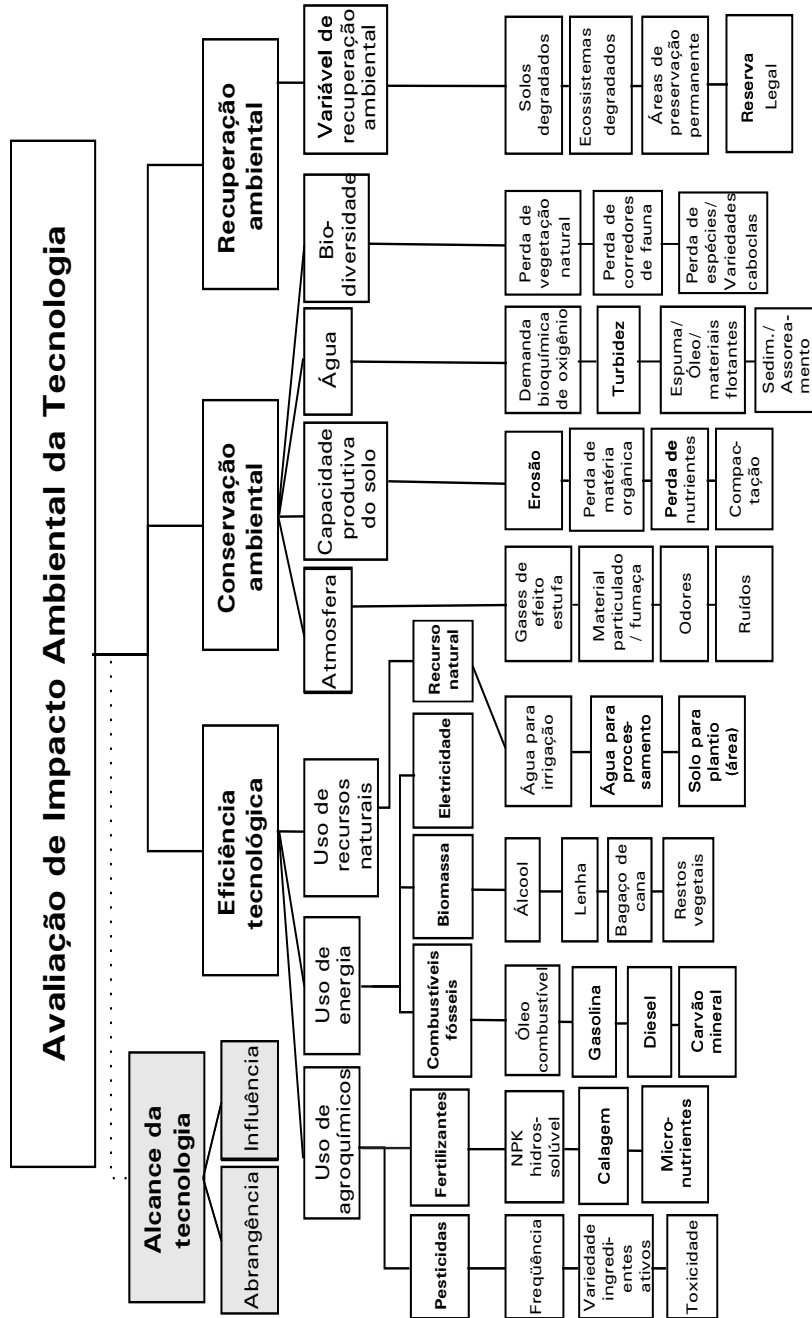


Fig. 1. Diagrama de Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária, apresentando os aspectos, indicadores e componentes do sistema AMBITEC-AGRO.

A aplicação do sistema de avaliação de impacto ambiental de uma inovação tecnológica envolve uma entrevista/vistoria conduzida pelo usuário do sistema e aplicada ao produtor/responsável pela propriedade rural. A amostra de produtores deve ser selecionada aleatoriamente, podendo-se considerar a sua estratificação pela renda ou pela área cultivada. Recomenda-se que na amostra seja considerado um mínimo de 50 propriedades, podendo esse número ser ampliado em função da disponibilidade de recursos e da abrangência que se quer dar à avaliação. A entrevista deve dirigir-se à obtenção do *coeficiente de alteração do componente*, para cada um dos indicadores de impacto, conforme avaliação do produtor/responsável, especificamente em consequência da aplicação da tecnologia à atividade, na situação vigente na propriedade.

A inserção desses *coeficientes de alteração do componente* diretamente nas matrizes e seqüencialmente nas planilhas de Eficiência Tecnológica, Conservação Ambiental, e Recuperação Ambiental resultam na expressão automática do *coeficiente de impacto ambiental* da tecnologia, relativizada por *fatores de ponderação* devido à *escala da ocorrência da alteração* e ao *peso do componente na composição do indicador*. Os resultados finais da avaliação de impacto são expressos graficamente na planilha AIA da Tecnologia, após ponderação automática dos *coeficientes de alteração* fornecidos pelo produtor/responsável pelos *fatores de ponderação* dados.

Finalmente, os indicadores são considerados em seu conjunto, para composição do *Índice de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária*. A composição deste índice envolve ponderação da importância do indicador e os pesos relativos aos indicadores podem ser alterados pelo usuário do sistema, desde que o total seja igual à unidade (1).

### **Procedimento de avaliação**

O procedimento de avaliação do AMBITEC-AGRO consiste em solicitar ao produtor/responsável adotante da tecnologia que indique os *coeficientes de alteração dos componentes* para cada indicador, em razão específica da aplicação da tecnologia à atividade e nas condições de manejo particulares a sua situação, sendo que cada produtor constitui uma unidade amostral de impacto ambiental da tecnologia. O *coeficiente de alteração do componente* é definido conforme padronização expressa na Tabela 1:



**Tabela 1.** Efeitos da inovação tecnológica e *coeficientes de alteração do componente* a serem inseridos nas células das matrizes de avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica.

<b>Efeito da tecnologia na atividade sob as condições de manejo específicas</b>	<b>Coeficiente de alteração do componente</b>
Grande aumento no componente	+3
Moderado aumento no componente	+1
Componente inalterado	0
Moderada diminuição no componente	-1
Grande diminuição no componente	-3

Durante a entrevista o avaliador informa o produtor/responsável sobre os aspectos e indicadores de impacto ambiental, e vistoria a propriedade e unidades de produção com o intuito de averiguar a qualidade das informações. Como o resultado da avaliação é totalmente dependente dos *coeficientes de alteração dos componentes*, rigor deve ser exercitado em sua obtenção. A subjetividade de avaliações baseadas em entrevistas, como é o caso do AMBITEC-AGRO, deve ser reduzida, quando assim demande o objetivo da avaliação, pela padronização dos coeficientes, de um lado, e de sua interpretação de outro. A padronização da interpretação dos coeficientes no presente sistema faz-se em duas etapas: primeiramente, pela seleção e formulação objetiva dos componentes e indicadores; e segundo pela clara delimitação e definição desses componentes no contexto tecnológico e ambiental.

Nesse sentido, a primeira consideração de padronização é dada pela escolha da escala de alteração dos componentes, conforme expresso na Tabela 1, na qual os limites de alteração apresentam grande contraste, cujo objetivo é reduzir a dubiedade da informação. Dessa forma, é mais simples ao avaliador, em consenso com o produtor/responsável, decidir objetivamente sobre o *coeficiente de alteração* a ser adotado, uma vez que quanto mais valores intermediários são possíveis, mais aumenta a subjetividade da avaliação. Assim, embora seja algebricamente possível utilizar valores intermediários (2) ou mesmo extremos (maiores que 3) para os *coeficientes de alteração dos componentes*, essa prática não é recomendada.

No caso presente, os indicadores e componentes foram selecionados e formulados de forma a exigir a avaliação sensorial, ou seja, a percepção dos sentidos do produtor/responsável e do avaliador, conforme seu conhecimento e experiência. Deve-se evitar que a percepção não-sensorial, ou seja, aquela relativa à opinião sociocultural do produtor, mascare alterações objetivas do ambiente, que é o que se busca nas avaliações. É neste sentido que o procedimento de avaliação consiste de uma entrevista/vistoria, e deve ser realizada no campo, com ativa participação do avaliador, que deve ser treinado e estar ciente das características tecnológicas e ambientais contingentes a cada avaliação específica.

Essas características tecnológicas e ambientais dos *coeficientes de alteração dos componentes* dos indicadores são contingentes a cada avaliação devido tanto a especificidades *relativas* quanto *comparativas*. Por exemplo, uma tecnologia pode causar uma *comparativamente* 'grande alteração do componente' quando aplicada a uma determinada forma de manejo que emprega tal componente de maneira *relativamente* pouco importante, resultando em uma alteração 'moderada do componente'. Um exemplo de tal caso pode ser uma tecnologia de manejo de pastagens que recomende adubação de reposição de fósforo em substituição a uma forma de manejo que não utilize qualquer aplicação de fertilizantes. Esta *alteração do componente* deve ser considerada como 'moderada (+1)' embora *comparativamente* ao manejo anterior tenha implicado uma grande alteração (de nenhuma para alguma fertilização), pois *relativamente* no contexto do manejo agropecuário em geral, a alteração é pequena. Essas considerações consistem de aspectos da etapa de construção de indicadores anteriormente descrita como teste de sensibilidade (Andreoli & Tellarini, 2000; Girardin *et al.*, 1999) e devem ser realizadas caso-a-caso, para cada componente, em cada avaliação. A base objetiva para esses julgamentos é exemplificada adiante neste texto, quando os componentes dos indicadores de impacto ambiental são definidos e discutidos.

Um último detalhe sobre o procedimento de avaliação e preenchimento das matrizes de ponderação refere-se àqueles componentes dos indicadores que não afetam uma dada tecnologia na situação específica em avaliação. Todas as matrizes de ponderação têm uma linha para estes casos, na qual indica-se que o componente não tem efeito, o que automaticamente expressa-se no gráfico final da avaliação. A ocorrência de componentes de indicadores sem efeito é consequência da formulação do método ter que ser suficientemente ampla para permitir aplicação a inovações tecnológicas em geral. Como quanto mais geral

for uma regra maiores são as excessões, é natural que em determinados casos os indicadores não sejam afetados pela inovação tecnológica. A expressão desses casos nos gráficos de resultados permite ao usuário do sistema avaliar a extensão na qual o método é adequado para a tecnologia e situação em estudo.

### **Ponderações segundo a escala de ocorrência e a importância dos componentes na composição dos indicadores**

Os *coeficientes de alteração do componente* discutidos no item anterior representam a variável explicativa do efeito da tecnologia, conforme o conhecimento do produtor adotante, da situação particular de seu estabelecimento. As matrizes automáticas incluem ainda dois *fatores de ponderação* que referem-se à escala de ocorrência, e à importância do componente para a formação do indicador.

#### **Fator de ponderação para escala de ocorrência do componente**

A escala da ocorrência explicita o espaço no qual ocorre a alteração no *componente* do indicador, conforme a situação específica de aplicação da tecnologia, e pode ser:

- i. *pontual* quando o efeito da tecnologia no componente restringe-se *ao campo de cultivo ou unidade produtiva* na qual esteja ocorrendo a alteração;
- ii. *local* quando o efeito faça-se sentir externamente a essa unidade produtiva, porém confinado aos limites da propriedade;
- iii. *no entorno* quando o efeito abranja além dos limites da propriedade;

Devido à característica de alguns dos componentes dos indicadores, algumas matrizes limitam a escala da ocorrência ao âmbito pontual; por exemplo, os usos de insumos (componentes dos indicadores de Eficiência Tecnológica) restringem-se ao campo agrícola ou unidade produtiva, e são considerados somente nessa escala. O fator de ponderação da escala da ocorrência implica a multiplicação do *coeficiente de alteração do componente* por um valor pré-determinado, conforme apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2.** Fator de ponderação multiplicativa relativo à escala da ocorrência do efeito da tecnologia sobre o componente do indicador de impacto ambiental.

Escala de ocorrência	Fator de ponderação
Pontual	1
Local	2
Entorno	5

Estes fatores de ponderação foram selecionados de forma a exprimir o aumento do impacto conforme a escala espacial, agravando-o quando a escala de ocorrência estende-se além dos limites da unidade produtiva, atingindo o entorno e conseqüentemente os habitats e populações naturais aí presentes. Os fatores de ponderação para a escala de ocorrência não podem ser modificados pelo usuário do sistema.

#### **Fator de ponderação para importância do componente**

O segundo *fator de ponderação* incluído nas matrizes de avaliação de impacto da inovação tecnológica é a importância do componente para a formação do indicador de impacto ambiental. Os valores dos pesos dos componentes variam conforme a sua quantidade na formação do indicador, sendo, portanto, usados para normalizar os indicadores conforme o teste de sensibilidade aplicado caso-a-caso (Girardin *et al.*, 1999). Os pesos dos componentes expressos nas matrizes podem ser alterados pelo usuário do sistema, para melhor refletir situações específicas de avaliação, nas quais pretenda-se enfatizar alguns dos componentes, desde que o peso total dos componentes para um dado indicador seja igual à unidade (1). Cabe ressaltar que para uma mesma tecnologia, mesmo quando utilizada em diferentes sistemas naturais, os valores dos pesos dos componentes dos indicadores devem permanecer os mesmos, a fim de que os resultados sejam comparáveis.

## Indicadores e componentes para avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária

### Alcance da tecnologia

O alcance da tecnologia expressa a escala geográfica na qual esta influencia a atividade ou produto, e é definido pela *abrangência* (a área total cultivada com o produto ou dedicada à atividade - em hectares) e a *influência* (porcentagem desta área à qual a tecnologia se aplica). Este é um aspecto geral da tecnologia, independente do seu uso local, portanto não está incluído nas matrizes de avaliação, e deve ser obtido a partir das informações do projeto de desenvolvimento tecnológico, ou do pesquisador por ele responsável. Como nem sempre essas informações estão disponíveis no projeto, e nem o pesquisador responsável pela geração da tecnologia pode fornecê-las com precisão, recomenda-se obtê-las junto a órgãos oficiais de extensão rural, ou secretarias municipais e estaduais de agricultura, ou censos e estatísticas agropecuários realizados pelo IBGE.

Todos os outros aspectos considerados para avaliação do impacto ambiental da inovação tecnológica (eficiência, conservação e recuperação ambiental) são representativos do efeito do uso local da tecnologia, e as informações devem ser obtidas junto ao produtor adotante, considerando a atividade e as condições específicas de manejo nas quais a tecnologia esteja sendo efetivamente aplicada.

No texto que segue, apresentam-se características das matrizes de ponderação utilizadas para inserção dos *coeficientes de alteração dos componentes* de cada indicador, e uma discussão sobre cada componente, seu significado no contexto tecnológico e ambiental e sua importância para a composição do indicador de impacto ambiental. Estas matrizes trazem, como exemplo ilustrativo, os resultados da avaliação da tecnologia "Viabilidade de recuperação de áreas degradadas utilizando plantas associadas a microrganismos e uso de adubos mais baratos no mercado", coordenada pelo pesquisador Avílio Antonio Franco, da Embrapa Agrobiologia, as discussões sobre os componentes e indicadores, bem como os resultados finais da AIA.

## **Eficiência tecnológica**

O aspecto de Eficiência Tecnológica refere-se à contribuição da tecnologia para a sustentabilidade da atividade agropecuária a montante do processo produtivo, representado pela redução da dependência do uso de insumos, sejam estes insumos tecnológicos ou naturais. Os indicadores de eficiência tecnológica são: (I) uso de agroquímicos, (II) uso de energia, e (III) uso de recursos naturais.

### **I. Uso de agroquímicos**

Uma característica comum a toda atividade agropecuária é a busca de produção de excedentes que possam ser colhidos e utilizados para consumo na propriedade ou vendidos. Esta produção de excedentes faz-se à custa de nutrientes do solo, que devem ser repostos a uma taxa compatível com sua extração. Quando a atividade agropecuária é de intensidade tal que as taxas naturais de reposição de nutrientes do solo não são suficientes para repor sua extração pela colheita, estes devem ser aplicados na forma de fertilizantes. Por outro lado, com o intuito de maximizar a produção, quaisquer organismos que possam reduzir a produtividade são controlados com pesticidas. Estes produtos empregados para fertilização do solo e controle de organismos praga são genericamente denominados agroquímicos. Geralmente o uso de agroquímicos é considerado como sendo inversamente proporcional à sustentabilidade agropecuária, por dois motivos principais: primeiro por serem recursos externos à propriedade e terem um valor comparativo alto, impondo assim um importante dreno de capital; segundo por terem alto potencial poluidor, e causarem problemas de contaminação quando não empregados de forma adequada. Existe uma grande variedade de alternativas tecnológicas que contribuem para reduzir e racionalizar o uso de agroquímicos (Pimentel, 1998). Dentre as tecnologias de substituição de fertilizantes lista-se, por exemplo, as rotações de culturas, adubação-verde, inoculação de microrganismos fixadores de nitrogênio atmosférico, inoculação de fungos micorrízicos que facilitam a absorção de fósforo, cultivo de plantas que favorecem estes microrganismos simbiotes, e técnicas de cultivo mínimo, como o plantio-direto na palha. Exemplos de tecnologias dirigidas à racionalização do uso de pesticidas incluem métodos físicos de controle, várias formas de controle biológico, técnicas especiais de aplicação (ultra-baixo volume e pulverização eletrostática, entre outras), uso de

substâncias pouco tóxicas ou específicas como feromônios, plantio de variedades resistentes e combinações de tecnologias inseridas no contexto de manejo ecológico ou integrado de pragas (MIP). Frente à especificidade dos impactos gerados e das alternativas para racionalização do uso de pesticidas e de fertilizantes, estes formam dois grupos de componentes para avaliação no sistema AMBITEC-AGRO.

#### *1.a. Uso de pesticidas*

Sob a denominação geral de pesticidas (praguicidas, agrotóxicos, biocidas, defensivos agrícolas) incluem-se milhares de substâncias das mais diversas classes químicas e toxicológicas, geralmente agrupadas segundo seu uso como inseticidas/acaricidas/nematicidas, fungicidas, herbicidas, esterilizantes de solo, rodenticidas e uma variedade de outros agentes de controle químico. Resíduos de pesticidas hoje ocorrem em todos os ambientes do planeta, e graves problemas ocupacionais e toxicológicos estão associados ao seu uso (Rodrigues, 1998b). Importantes avanços tecnológicos e de conscientização sobre estes problemas, contudo, têm sido observados nos últimos anos, e uma grande atenção tem sido dirigida à necessidade de racionalização do uso de pesticidas (Rodrigues, 1998c). Devido à enorme diversidade de classes químicas existentes e das possíveis interações físico-químicas com a água, o solo e matrizes biológicas, o estudo do comportamento ambiental dos pesticidas é extremamente complexo. Inúmeros modelos de simulação do destino de pesticidas no ambiente descrevem sua dissipação, degradação e acumulação, sendo cada qual indicado para um fim específico de estudo (Pessoa *et al.*, 1997). Esta complexidade é resolvida no sistema AMBITEC-AGRO pela consideração de três componentes descritivos da alteração do uso de pesticidas devido à inovação tecnológica em avaliação, quais sejam: i) a frequência, ii) a variedade de ingredientes ativos, e iii) a toxicidade dos produtos.

**i) Frequência:** a alteração na frequência do uso de pesticidas refere-se especificamente ao número de operações de aplicação, independentemente do tipo de produto utilizado. O *coeficiente de alteração do componente* deve levar em consideração o aumento ou diminuição do número de aplicações primeiro *comparativamente*, considerando a situação de manejo da atividade em avaliação antes e depois da adoção da inovação tecnológica. Em seguida deve-se avaliar a frequência de uso de pesticidas

*relativamente* ao contexto agropecuário. Tipicamente, atividades intensivas como culturas anuais, horticultura, floricultura e fruticultura envolvem múltiplas aplicações (até dezenas) de pesticidas por estação. Nesses casos, alterações que envolvam mudanças significativas, 50% ou mais no número de aplicações, devem ser consideradas muito grandes, e receber *coeficiente de alteração* correspondente ( $\pm 3$ ). Atividades agropecuárias tipicamente extensivas, como pastagens, reflorestamentos, a maioria das culturas perenes e atividades intensivas manejadas racionalmente, geralmente envolvem no máximo umas poucas aplicações (até cinco por estação). Nesses casos, alterações que impliquem menos que 50% de mudança no número de aplicações devem ser consideradas moderadas ( $\pm 1$ ).

**ii) Variedade de ingredientes ativos:** este componente refere-se ao número de produtos e formulações de pesticidas usados na atividade avaliada e expressa a alteração na *dependência* de produtos pesticidas imposta pela inovação tecnológica. A consideração de alteração *relativa e comparativa*, neste caso, é mais simples, pois a dependência de pesticidas somente se altera com significativa mudança comparativa, independente do seu aspecto relativo. Em outras palavras, a dependência tem um caráter absoluto (em seu extremo, ela simplesmente existe ou não existe) que praticamente pouco varia com o número absoluto de ingredientes ativos necessários. Dessa forma, significativas alterações comparativas no número de ingredientes ativos devem ocorrer para resultarem em mudanças na dependência. Para que o *componente de alteração* seja grande ( $\pm 3$ ), a tecnologia deve implicar em pelo menos 50% de variação no número de ingredientes ativos necessários para o manejo da atividade em avaliação.

**iii) Toxicidade:** expressa o potencial de dano ambiental dos pesticidas utilizados na atividade em avaliação. Este componente tem um caráter extremamente complexo, e depende das características físico-químicas de cada produto, de sua condição específica de formulação e de uso em cada situação particular, e das inúmeras possíveis combinações entre estes condicionantes. Deve-se considerar ainda que o sistema de categorização de pesticidas segundo classes toxicológicas é complexo e controverso, e que interações entre produtos fazem com que considerações gerais comparativas e relativas sobre a toxicidade de grupos de



pesticidas sejam muito difíceis. A resolução dessa complexidade para definição do *componente de alteração* da toxicidade faz-se pela consideração agregada do conjunto dos produtos utilizados, segundo sua classe toxicológica, antes e depois da adoção da inovação tecnológica. As classes toxicológicas dos agrotóxicos foram definidas pela Portaria da Secretaria Nacional de Vigilância Sanitária no. 3/1992, sendo identificadas por faixas com cores específicas que aparecem no rótulo dos produtos, a saber:

Vermelho – Classe I – extremamente tóxico  
Amarelo – Classe II – altamente tóxico  
Azul – Classe III – medianamente tóxico  
Verde – Classe IV – pouco tóxico

Qualifica-se como grande ( $\pm 3$ ) qualquer alteração que, no balanço final do conjunto dos produtos, implique a substituição de produto extremamente tóxico por produto moderadamente tóxico (ou vice-versa), ou seja, uma alteração de mais de um nível da classificação toxicológica. Para os casos nos quais o pareamento dos produtos resulte em alteração de apenas um nível de classe toxicológica, o *coeficiente de alteração* é igual a  $\pm 1$ . Operacionalmente, isso implica compor o conjunto dos produtos utilizados antes e depois da adoção da inovação, parear estes produtos um-a-um segundo classe toxicológica, e obter o saldo de níveis de classes toxicológicas para os produtos não pareados. É importante notar que para evitar dupla contagem a variedade de ingredientes ativos não deve ser considerada nessa comparação, mas somente o pareamento de classes toxicológicas.

#### *I.b. Uso de fertilizantes*

A manutenção e recuperação da fertilidade do solo é um dos aspectos fundamentais do desenvolvimento agrícola sustentável. A fertilidade do solo resulta da interação de fatores dinâmicos físicos, químicos e biológicos, que atuando sobre a matriz geológica ao longo do tempo e sob a influência do clima condiciona a gênese e a evolução do perfil do solo. As atividades agropecuárias causam drásticas alterações nesses mecanismos de evolução do solo, como depleção química pela extração e exportação dos nutrientes contidos na produção ou lixiviados pelo excesso de água, ou degradação física resultante da erosão e oxidação da matéria orgânica. O adequado

manejo do solo é essencial para a sustentabilidade agrícola, e deve envolver, de um lado, cuidados para evitar a erosão e a conseqüente perda de solo do perfil; e de outro, mecanismos para reposição dos nutrientes exportados na colheita ou perdidos devido à exposição e ao tempo. Em relação à avaliação de impactos de inovações tecnológicas, essas medidas de manejo do solo podem ser separadas segundo seu objetivo de evitar a degradação físico-química-biológica do solo (incluídas adiante no aspecto de Conservação Ambiental), e de repor a depleção química, que na grande maioria das vezes depende da aplicação de fertilizantes, e é aqui incluída no aspecto de Eficiência Tecnológica. Três categorias de insumos de fertilidade são incluídas no AMBITEC-AGRO, quais sejam, i) NPK hidrossolúvel, ii) calagem, e iii) micronutrientes necessários em conseqüência da tecnologia em avaliação.

**i) NPK hidrossolúvel:** os principais macronutrientes necessários para o desenvolvimento vegetal obtidos do solo são o nitrogênio, o fósforo e o potássio, que compõem as formulações dos fertilizantes mais comuns freqüentemente utilizados nas culturas agrícolas em geral. Estes fertilizantes são formulados a partir de rochas fosfáticas e potássicas obtidas em depósitos minerais, e de processos químicos intensivos em energia para fixação do nitrogênio atmosférico, e condicionados de forma a ficarem prontamente disponíveis na solução do solo para absorção pelas plantas. Assim, de um lado esses fertilizantes são recursos não renováveis de alto valor monetário relativo, e de outro, devido à sua alta solubilidade, podem ser facilmente lixiviados e carreados para corpos d'água (superficiais ou subterrâneos), onde comportam-se como poluentes. Dessa forma, o uso de NPK hidrossolúvel apresenta dupla inserção para avaliação de *alteração do componente*: de um lado, determina dependência de insumo externo à propriedade (caráter pouco relativo); e de outro determina potencial poluente de forte interação com múltiplas alternativas de manejo conservacionista, segundo o qual pequenas modificações comparativas podem ser importantes. Assim, independente do contexto relativo, alterações superiores a 25% no uso de NPK hidrossolúvel podem ser consideradas significativas e devem ser qualificadas como grandes ( $\pm 3$ ), enquanto alterações menores que 25% são moderadas ( $\pm 1$ ).

**ii) Calagem:** uma conseqüência da exposição do solo promovida pela remoção da vegetação nativa e das operações de aração e gradagem normalmente realizadas para cultivo é a oxidação da matéria orgânica e a diminuição da

capacidade de retenção de cátions pelo solo. A lixiviação preferencial de compostos hidrossolúveis resulta em desequilíbrios químicos, dentre os quais o acúmulo de  $H^+$  e acidificação do solo. Em solos ácidos a capacidade de troca de cátions é diminuída, a interação eletroquímica entre as partículas é modificada, prejudicando a estrutura e a condutividade hidráulica e elementos tóxicos como o alumínio têm sua atividade aumentada. Todos estes fatores causam severo comprometimento da capacidade produtiva em solos ácidos. A aplicação periódica de calcário é utilizada para reverter a acidificação e traz grande melhoria nas características físico-químicas do solo, devendo ser considerada uma prática benéfica quando realizada em intervalos adequados. O aumento das operações de calagem, contudo, deve ser considerado um impacto negativo, por impor um dreno de capital à propriedade e indicar manejo inadequado do solo. Assim, uma diminuição correspondente a 50% no intervalo de tempo entre calagens é qualificada como um grande aumento (+3) nesse componente. Inversamente, um aumento superior a 50% no intervalo de tempo entre calagens indica melhoria de manejo e da eficiência tecnológica, sendo qualificada como grande redução (-3) nesse componente, e alterações inferiores a 50% são consideradas moderadas ( $\pm 1$ ).

**iii) Micronutrientes:** um outro desequilíbrio comum que resulta do manejo inadequado do solo é a lixiviação e conseqüente deficiência de micronutrientes. A reposição de micronutrientes é uma atividade de custo relativamente elevado, e deve ser realizada com cautela, pois muitos desses elementos são tóxicos quando presentes em níveis elevados no solo. A mudança na necessidade de aplicação de micronutrientes com uma periodicidade acima de 50%, devido a uma inovação tecnológica, deve ser considerada uma grande alteração desse componente ( $\pm 3$ ), enquanto alterações com periodicidade inferior a 50% são consideradas moderadas ( $\pm 1$ ).

A matriz de ponderação do indicador Uso de Agroquímicos restringe a ocorrência dos componentes à escala pontual, já que os insumos são aplicados somente dentro dos limites do campo agrícola ou unidade produtiva na qual desenvolve-se a atividade à qual aplica-se a inovação tecnológica em avaliação (Figura 2). Já em relação à ponderação de importância dos componentes para formação do indicador, considera-se que o uso de pesticidas tem um maior impacto potencial, correspondente a 70% do valor total do indicador Uso de Agroquímicos. Por sua vez, a toxicidade é considerada como o componente de maior importância, com

30% do valor total da ponderação, enquanto 20% são igualmente alocados para alteração na frequência e variedade de ingredientes ativos. Os restantes 30% são igualmente distribuídos entre os componentes de uso de fertilizantes.

Uso de agroquímicos		Tabela de coeficientes de alteração do uso de insumos						Averiguação fatores de ponderação
		Pesticidas			Fertilizantes			
		Frequência	Variedade de ingredientes ativos	Toxicidade	NPK hidrossolúvel	Calagem	Micro-nutrientes	
Fatores de ponderação k		0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	1
Sem efeito	Marcar com X				X			
Pontual	1	1	1	-1			1	
Local	2							
Entorno	5							
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)		-0,2	-0,2	-0,3	0,1	0	-0,1	-0,7

**Fig.2.** Matriz de ponderação dos componentes do indicador Uso de Agroquímicos, do aspecto Eficiência Tecnológica, do sistema de Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária, AMBITEC-AGRO.

No exemplo representado pela tecnologia “Viabilidade de recuperação de áreas degradadas utilizando plantas associadas a microrganismos e uso de adubos mais baratos no mercado” (Fig.2), um moderado aumento ocorreu nos três componentes de uso de pesticidas, principalmente para controle de formigas cortadeiras nas áreas de implantação das mudas. Por outro lado, ocorreu diminuição da necessidade de NPK hidrossolúvel, já que as plantas introduzidas são fixadoras de nitrogênio. O uso de calcário foi considerado como não aplicável, e como o substrato das áreas degradadas corresponde a rejeitos de mineração, houve necessidade de aplicação de micronutrientes. Com estas alterações nos componentes, o *coeficiente de impacto* do indicador Uso de Agroquímicos foi igual a -0,7 (para um máximo de 3,0, correspondente à escala pontual somente), o que corresponde a um impacto negativo e, para este indicador, implica infringimento da norma buscada para recomendação das inovações tecnológicas agropecuárias. Este resultado indica que esforços adicionais de pesquisa dirigidos à melhoria dessa tecnologia em relação ao uso de pesticidas poderá redundar em maiores ganhos de sua performance ambiental.

## II. Uso de energia

O segundo indicador de Eficiência Tecnológica considerado no AMBITEC-AGRO é o Uso de Energia. O uso de energia é essencial em todas as etapas da produção agropecuária e envolve desde fontes naturais como as energias solar e hidráulica, passando pela energia embutida nos insumos como fertilizantes, até o consumo mais evidente de combustíveis empregados nas operações mecanizadas. Com o intuito de avaliar o impacto ambiental relativo à eficiência tecnológica e de evitar dupla contagem relacionada com outros insumos, somente estes últimos usos, relativos a combustíveis em geral e eletricidade são incluídos neste indicador. A interação entre consumo de energia das mais diversas fontes e o impacto ambiental das atividades agropecuárias é complexa, sendo que atividades mais intensivas em geral dependem mais fortemente de fontes de energia externas à propriedade. Os usos mais proeminentes de energia são aqueles relativos a combustíveis líquidos para operação de motores a explosão em bombas e máquinas de tração, combustíveis sólidos ou óleo combustível para geração de calor em fornos, secadores e caldeiras utilizadas em operações agroindustriais, e eletricidade para os mais diversos fins, desde motores, aquecimento, iluminação, etc. Considerando estes agrupamentos, o Uso de Energia é aqui subdividido em combustíveis fósseis, biomassa e eletricidade.

### II.a. *Combustíveis fósseis*

Combustíveis fósseis são materiais combustíveis obtidos em depósitos minerais, estando geralmente relacionados com o carvão mineral e derivados do petróleo. No Brasil o uso de outros combustíveis fósseis como turfa, hulha e gás natural são incomuns no meio rural, e o uso de carvão mineral é muito restrito. Para fins de avaliação de consumo de combustíveis fósseis no AMBITEC-AGRO consideram-se os componentes óleo combustível, gasolina, diesel e carvão mineral. Por serem recursos não renováveis necessariamente obtidos fora da propriedade, portanto impondo um dreno de capital, alterações maiores que 25% nesses componentes devem ser consideradas grandes ( $\pm 3$ ).

i) **Óleo combustível:** de uso muito restrito, aplica-se somente para geração de calor em operações agroindustriais de grande porte.

**ii) Gasolina:** motores e veículos leves.

**iii) Diesel:** motores e veículos pesados.

**iv) Carvão mineral:** de uso muito restrito e regionalizado no sul do país, aplica-se somente para geração de calor em operações agroindustriais de grande porte.

#### II.b. *Biomassa*

Uma parte considerável da energia consumida no meio rural é geralmente suprida diretamente por combustão de biomassa. Além de ser uma fonte renovável de energia normalmente produzida na propriedade, quando bem planejada a queima de biomassa também oferece um destino valioso a excedentes de restos vegetais que muitas vezes não têm outra aplicação. Por outro lado, a extração de vegetação para produção de lenha, acima da capacidade de suporte, tem sido responsável por enorme degradação ambiental em muitas regiões do mundo, inclusive em extensas áreas do Brasil. O uso de biomassa pode fazer-se diretamente pela queima, ou indiretamente, pela produção de álcool combustível ou gás em biodigestores. Enquanto este último uso é pouco importante no país, a produção de álcool é uma das principais atividades do agronegócio nacional. Ademais, nas destilarias de álcool, o bagaço-de-cana configura-se um importante combustível, contribuindo significativamente para o balanço energético total. Assim, para avaliação do uso de biomassa na avaliação de impacto de inovações tecnológicas, considera-se o consumo de álcool, lenha, bagaço-de-cana, e restos vegetais. Pelas características de disponibilidade mencionadas, e por normalmente comporem recursos próprios, recomenda-se que somente alterações superiores a 50% no consumo de combustíveis derivados de biomassa sejam consideradas como grandes ( $\pm 3$ ).

**i) Álcool:** veículos leves.

**ii) Lenha:** muito importante nas atividades domésticas, é também bastante utilizada em processos agroindustriais no meio rural.

**iii) Bagaço-de-cana:** principal combustível associado ao processamento sucroalcooleiro, geralmente é produzido em excesso e pode contribuir para geração de energia exportável nas destilarias.

**iv) Restos vegetais:** importante principalmente nas atividades domésticas.

II.c. *Eletricidade*

Por ser uma forma de energia de mais alta qualidade e normalmente ser obtida desde fora da propriedade, o uso de eletricidade normalmente implica um dreno de capital importante. Ademais, no presente contexto de grande crescimento da demanda por eletricidade na matriz energética nacional, com perspectivas de aumentos de preços e imposição de restrição do consumo, a avaliação de impacto ambiental do aspecto Eficiência Tecnológica deve favorecer a economia de eletricidade. Assim, variações acima de 25% no consumo de eletricidade devem ser consideradas grandes ( $\pm 3$ ).

O uso de energia é considerado como restrito à escala pontual na matriz de ponderação, uma vez que considera-se que o enfoque de avaliação deve direcionar-se à demanda de energia dedicada à atividade em particular, e segundo a alteração resultante da adoção da inovação tecnológica. A matriz de ponderação de impacto do uso de energia busca enfatizar as diferenças de disponibilidade das fontes de energia no meio rural alocando fatores de ponderação de importância diferenciados para os componentes desse indicador (Fig.3), distribuídos de forma que combustíveis fósseis respondam por 40% do valor total do indicador (10% possível para cada combustível), 30% para biomassa (correspondendo a 7,5% para cada tipo) e 30% para eletricidade.

Tabela de coeficientes de alteração do uso de fontes de energia										
Uso de energia	Combustíveis fósseis				Biomassa				Eletricidade de	Averiguação fatores de ponderação
	Óleo combustível	Gasolina	Diesel	Carvão mineral	Álcool	Lenha	Bagaço de cana	Restos vegetais		
Fatores de ponderação										
k	0,1	0,1	0,1	0,1	0,075	0,075	0,075	0,075	0,3	
Sem efeito					X	X	X	X	X	
Marcar com X										
Escala da ocorrência										
Pontual	1	-3	-3	-3						
Local	2									
Entorno	5									
Coefficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)	0,3	0,3	0,3	0,3	0	0	0	0	0	1,2

Fig.3. Matriz de ponderação dos componentes do indicador Uso de Energia, do aspecto Eficiência Tecnológica, do sistema de Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária, AMBITEC-AGRO.

No caso do projeto estudado, “Viabilidade de recuperação de áreas degradadas utilizando plantas associadas a microrganismos e uso de adubos mais baratos no mercado” (Figura 3), a tecnologia contribuiu para grande redução no uso de todos os combustíveis fósseis, enquanto que as outras fontes de energia não são aplicáveis, resultando em um coeficiente de impacto ambiental de 1,2 (para um máximo de 3,0, correspondente à escala pontual somente) para o indicador Uso de Energia. Isso indica que esta tecnologia contribui fortemente para reduzir o uso de energia necessário para a recuperação de áreas degradadas.

### III. Uso de recursos naturais

Além do uso dos insumos tecnológicos providos pelo sistema econômico, mencionados acima, a produção agropecuária depende do uso de recursos naturais, considerados não simplesmente como base para locação ou sustentação das atividades, o que considera-se no aspecto de Conservação Ambiental, mas recursos incorporados diretamente ao processo produtivo como insumos, cujo uso é passível de alteração segundo a eficiência tecnológica. Nesse indicador, então, avalia-se a necessidade imposta pela tecnologia do uso de água para irrigação, água para processamento, e solo para plantio.

**i) Água para irrigação:** ainda que restrito às atividades agrícolas de produção irrigada, o uso de água para irrigação é um importante componente do uso de recursos naturais no meio rural. O uso racional da água para irrigação implica, de um lado, a conservação desse recurso crescentemente escasso na maioria das regiões do país, e de outro, a eficiência do processo como um todo. Alterações superiores a 25% no volume de água para irrigação devem ser consideradas grandes ( $\pm 3$ ).

**ii) Água para processamento:** o uso de água para processamento relaciona-se principalmente às atividades de pós-colheita e processamento da produção. Na maioria dos casos de produção agroindustrial esse uso é não-consuntivo, mas muitas vezes resulta em comprometimento da qualidade da água. Esta alteração de qualidade, contudo, é considerada no aspecto de Conservação Ambiental, e não deve ser avaliada neste componente, para evitar dupla contagem. Novamente, devido à crescente escassez de água de boa qualidade na maioria das regiões do país, alterações superiores a 25%



no uso de água para processamento devem ser consideradas grandes ( $\pm 3$ ).

**iii) Solo para plantio (área):** em termos de eficiência tecnológica agropecuária, o uso do solo pode ser equiparado com produtividade. Com maior produtividade, menos área cultivada necessita ser incorporada ao processo produtivo, o que resulta em economias em toda sorte de insumos. Mais importante, reduz-se a pressão para ocupação de novas áreas, geralmente hoje compostas por áreas marginais ou habitats naturais nas regiões da fronteira de expansão da ocupação agropecuária. Por estas implicações, alterações superiores a 25% na necessidade de área para plantio (ou seja, alterações correspondentes de produtividade) devem ser consideradas grandes ( $\pm 3$ ).

Pela equiparação da consideração do uso de recursos naturais como insumos, para efeito de avaliação de eficiência tecnológica, a matriz de ponderação desse indicador restringe a escala espacial ao âmbito pontual. Os componentes referentes ao uso de água compõem, em seu conjunto, 60% da importância do indicador (30% para cada uso), enquanto 40% refere-se ao uso de solo para plantio (Fig.4).

Tabela de coeficientes de alteração do uso de recursos						
Uso de recursos naturais		Recurso natural			Averiguação fatores de ponderação	
		Água para irrigação	Água para processamento	Solo para plantio (área)		
Fatores de ponderação k		0,3	0,3	0,4	1	
Escala da ocorrência	Sem efeito		X			
	Pontual	1	-3	-3		
	Local	2				
	Entorno	5				
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)		0,9	0	1,2	2,1	

**Fig.4.** Matriz de ponderação dos componentes do indicador Uso de Recursos Naturais, do aspecto Eficiência Tecnológica, do sistema de Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária, AMBITEC-AGRO.

No exemplo de tecnologia de recuperação de áreas degradadas com plantas associadas a microrganismos estudado (Figura 4), enquanto o componente água para processamento não se aplica, observou-se grande redução da necessidade de água para irrigação e de solo para plantio na propriedade, resultando em um índice de impacto igual a +2,1 para este indicador (para um máximo de 3,0, correspondente à escala pontual somente), atestando a grande contribuição da tecnologia para a eficiência no uso de recursos naturais.

### **Conservação Ambiental**

Uma vez considerada a eficiência da inovação tecnológica sobre o uso de insumos, que representa sua contribuição para a sustentabilidade da atividade agropecuária a montante do processo produtivo, deve-se atentar para os impactos da inovação tecnológica a jusante, ou seja, a contaminação do ambiente pelos resíduos gerados pela atividade produtiva agropecuária e a depauperação dos habitats naturais e da diversidade biológica devido à adoção da tecnologia. Esses impactos são avaliados por indicadores de emissão de poluentes relacionados com comprometimento potencial da qualidade ambiental dos compartimentos IV) atmosfera, V) capacidade produtiva do solo, VI) água e pela perda de VII) biodiversidade.

#### **IV) Atmosfera**

Os impactos ambientais das atividades agropecuárias têm atingido tamanha grandeza e intensidade que recentemente vêm sendo incluídos nos inventários e projetos de investigação sobre as mudanças do clima planetário. Isto deve-se principalmente à contribuição das atividades agropecuárias para o aquecimento global da atmosfera, com a emissão de gases causadores do efeito estufa. Além desse impacto de escala global, as atividades agropecuárias freqüentemente causam emissões de poeiras, odores e podem ainda gerar ruídos. Assim, os componentes para avaliação do indicador de impacto ambiental sobre qualidade da atmosfera referem-se à emissão de i) gases de efeito estufa, ii) material particulado/fumaça, iii) odores e iv) ruídos.

**i) Emissão de gases de efeito estufa:** Dois dos principais gases associados

com o aquecimento global resultante do efeito estufa são gerados em grandes quantidades pelas atividades agropecuárias, quais sejam, o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e o metano ( $\text{CH}_4$ ); e uma contribuição importante é também atribuída aos óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ). O  $\text{CO}_2$  é gerado por todas as atividades que envolvem combustão. Dentre estas, as principais são aquelas relacionadas com o uso de combustíveis fósseis, mas incluem também a queima de resíduos de colheita, de pastagens, e da vegetação em geral, em especial as queimadas de áreas florestais para fins de limpeza relacionada com agricultura itinerante. Uma exceção importante que deve ser considerada nesta avaliação é a queima de biomassa, inclusive de álcool combustível, pois estes são resultado de um ciclo curto de produção de combustíveis pela fixação de  $\text{CO}_2$  atmosférico, balanceando a emissão. Uma outra fonte importante de  $\text{CO}_2$  é a oxidação da matéria orgânica dos solos, porém sua consideração para fins de avaliação é complexa e controversa. O  $\text{CH}_4$  é gerado nos processos metabólicos anaeróbicos, principalmente aqueles relacionados com a digestão de ruminantes e decomposição da matéria orgânica em ambientes anóxicos, como solos inundados (Lima, 2000). Assim, a criação bovina e as áreas de irrigação por inundação, comuns na produção de arroz, são consideradas fontes importantes. A emissão de  $\text{NO}_x$  deve-se principalmente à denitrificação de compostos nitrogenados promovida por microrganismos do solo, de forma que processos que causem grandes adições de nitrogênio ao solo, como cultivo de plantas leguminosas e adubação nitrogenada, são relacionados com a emissão desses gases. Devido à complexidade envolvida nos processos de geração e emissão de gases de efeito estufa, e às controversas discussões sobre o papel exercido pelas atividades agropecuárias como fontes ou sumidouros desses gases, recomenda-se parcimônia na consideração dos coeficientes de alteração desse componente. Para o caso mais simples de emissões devidas à combustão, recomenda-se que somente operações de larga escala e aumentos significativos devidos a combustíveis fósseis sejam considerados como grandes (+3). Já no sentido inverso, recomenda-se que somente atividades extensivas e permanentes de fixação carbono, como florestamentos definitivos com plantas nativas, sejam considerados como grandes alterações (-3). Em relação às emissões de metano e óxidos de nitrogênio, recomenda-se que somente sob evidência direta e documentada de significativo aumento devido à inovação tecnológica este componente seja considera-

do como grande (+3). No mais das vezes e quando forem aplicáveis, as alterações devem ser consideradas inalteradas ou moderadas ( $\pm 1$ ).

**ii) Material particulado e fumaça:** as emissões de poeiras e fumaça pelas atividades agropecuárias têm dupla vertente de consideração, por um lado como um incômodo para as populações diretamente expostas, e de outro pelo efeito negativo que promovem sobre as plantas e os animais de criação. A poeira prejudica a atividade fotossintética e funciona como um abrasivo que pode danificar as membranas protetoras das plantas, debilitando-as frente ao ataque de pragas. A emissão de fumaça indica a presença de resíduos de combustão incompleta, principalmente CO, mas pode incluir quantidades consideráveis de hidrocarbonetos, que sob ação da luz solar são os precursores da formação de ozônio troposférico, reconhecidamente o poluente mais prejudicial à produção vegetal (Martins & Rodrigues, 2003). A avaliação da alteração nesse componente é passível de grande subjetividade, e operacionalmente recomenda-se que seja realizada segundo a periodicidade de ocorrência da emissão, levando em consideração sua intensidade. A alteração na emissão de material particulado/fumaça deve ser considerada moderada ( $\pm 1$ ) quando, devido à adoção da inovação tecnológica, ocorrerem incrementos (ou reduções) de até 50% na periodicidade das emissões. Quando a adoção de uma inovação tecnológica implicar alteração superior a 50% nessa periodicidade, esta deve ser considerada grande ( $\pm 3$ ).

**iii) Odores:** o impacto causado pela emissão de odores relaciona-se essencialmente ao desconforto para as pessoas expostas, e deve ser avaliado com base nesse critério. Pode-se qualificar essa percepção sensorial da ocorrência de odores segundo níveis de conforto como, por exemplo, fraco, incômodo e insuportável. Recomenda-se que se determine a alteração na geração de odores causada pela adoção da tecnologia, considerando-a moderada ( $\pm 1$ ) quando a percepção sensorial envolver uma mudança em um nível de conforto, por exemplo, de insuportável para incômodo (ou vice-versa) ou de incômodo para fraco (ou vice-versa). Quando essa mudança de conforto envolver dois níveis, considera-se a alteração grande ( $\pm 3$ ).

**iv) Ruídos:** as mesmas considerações quanto aos efeitos, e o mesmo raciocínio quanto à avaliação aplicados acima para geração de odores aplicam-se à geração de ruídos. Pode-se qualificar os níveis de conforto relativos a ruídos igualmente como fracos, incômodos ou insuportáveis, considerando-se a

alteração do componente devido à adoção da tecnologia como moderada ( $\pm 1$ ) quando ocorrer mudança de um nível, e considerá-la grande ( $\pm 3$ ) quando envolver mudança maior que dois níveis de conforto entre a situação de desenvolvimento da atividade com ou sem a adoção da inovação tecnológica em avaliação.

A ponderação desses componentes para composição do indicador de qualidade da atmosfera incluída na matriz de ponderação enfatiza a emissão de gases de efeito estufa e de material particulado/fumaça como mais importantes para o impacto ambiental das atividades agropecuárias, respondendo por 80% do indicador (40% cada componente). Os outros 20% são igualmente distribuídos pelos fatores de geração de odores e ruídos (Fig.5). Estes componentes são ainda passíveis de ponderação segundo sua escala de ocorrência pontual, local, ou no entorno (vide Tabela 2).

Atmosfera		Tabela de coeficientes de alteração da emissão de poluentes				Averiguação fatores de ponderação
		Tipo do poluente				
		Gases de efeito estufa	Material particulado / fumaça	Odores	Ruídos	
Fatores de ponderação k		0,4	0,4	0,1	0,1	1
Escala da ocorrência =	Sem efeito		X	X		
	Marcar com X					
	Pontual	1	-3			
	Local	2			-1	
Entorno	5					
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)		1,2	0	0	0,2	1,4

**Fig.5.** Matriz de ponderação dos componentes do indicador de qualidade da Atmosfera, do aspecto Conservação Ambiental, do sistema de Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária, AMBITEC-AGRO.

No exemplo da tecnologia de recuperação de áreas degradadas, devido ao plantio de espécies para formação florestal permanente (Fig.5), considerou-se que há um seqüestro definitivo de carbono, com grande redução na extensão da área recuperada (escala pontual de emissão de gases de efeito estufa). Considerou-se ainda que não há implicações relativas à emissão de materiais particulados ou odores, mas pela aplicação de uma tecnologia baseada em associações biológicas ao contrário de maquinário de manejo do

solo, houve moderada redução na geração de ruídos na escala local, da propriedade. Com estas implicações, a tecnologia apresentou um coeficiente de impacto ambiental relativo ao indicador qualidade da atmosfera igual a 1,4, de um total máximo possível de 15, o que indica que a contribuição é positiva, aderindo à norma de reduzir os impactos ambientais negativos.

#### V. Capacidade produtiva do solo

A avaliação de impactos ambientais relativos ao compartimento solo não pode ser diretamente medida pela alteração dos parâmetros de qualidade, normalmente relacionados com determinação da fertilidade para fins agrícolas. Isso deve-se ao fato de que a fertilidade do solo não é, necessariamente, equivalente à qualidade do ambiente. De fato, são comuns as situações nas quais solos férteis e produtivos estão inseridos em ambientes fortemente degradados, e vice-versa, muitos ambientes naturais de alto valor ecológico ocorrem em solos extremamente pobres e inférteis. Ainda assim, a qualidade do solo é um indicador fundamental da sustentabilidade das atividades agropecuárias, e deve ser inserida nas avaliações de impacto ambiental de tecnologias. Para tanto, pode-se associar ao indicador de qualidade do solo um condicionante de tempo, dependente das ações de manejo, e um sentido em acordo com o objetivo da avaliação (no caso presente o uso sustentável), de maneira que as alterações na fertilidade do solo sejam enfatizadas, antes que suas características genéticas. O indicador de contribuição da inovação tecnológica agropecuária para a conservação ambiental relativa à qualidade do solo no AMBITEC-AGRO é, assim, representado por alteração na capacidade produtiva, avaliada pelos componentes erosão, perda de matéria orgânica e de nutrientes, e compactação.

**i) Erosão:** a erosão é o principal fator de degradação do solo, especialmente em regiões tropicais sujeitas a chuvas torrenciais altamente erosivas. A erosão compromete a produtividade pela degradação da estrutura do solo e diminuição da uniformidade de condições agronômicas no campo cultivado, pela redução na capacidade de retenção de água e pela perda de nutrientes e matéria orgânica, sendo portanto um componente composto, que inclui outros componentes de avaliação de efeitos da tecnologia sobre a capacidade produtiva do solo. Por ser função de uma complexa interação de fatores ambientais e de manejo, que envolvem características de erodibilidade do solo, da declividade e extensão

da pendente, da cobertura vegetal, da erosividade das chuvas, e das práticas e medidas de controle, a erosão potencial é extremamente variável. De uma forma geral, considera-se que taxas de erosão de até uma dezena de toneladas de solo perdidas por hectare por ano podem ser admitidas (limite aproximado estabelecido pelo Serviço Americano de Conservação do Solo, Cox & Atkins, 1979, p. 277), mas este limite pode variar grandemente de região para região. Devido à complexidade de sua avaliação e da variabilidade dos limites aceitáveis segundo as condições locais, recomenda-se que a avaliação do coeficiente de alteração desse componente faça-se pela comparação da ocorrência de três categorias de erosão, devido à adoção da tecnologia, quais sejam, erosão laminar, em sulcos e ravinamento, sendo que a gravidade do processo erosivo aumenta grandemente da primeira para a última categoria. O coeficiente de alteração do componente deve ser considerado moderado ( $\pm 1$ ), quando envolver alteração de uma categoria para a imediatamente subsequente. Por outro lado, a alteração é considerada grande ( $\pm 3$ ) quando envolve mudança de dois níveis de gravidade de erosão.

**ii) Perda de matéria orgânica:** a matéria orgânica é um condicionante essencial da fertilidade e da resistência do solo, ou seja, da capacidade de manter suas características físico-químico-biológicas quando submetido ao manejo agrícola. Especialmente em solos tropicais, mormente compostos por argilas fortemente hidrolizadas e oxidadas cuja capacidade de troca de cátions é restrita, a matéria orgânica exerce duplo papel: de condicionante químico, servindo como sítio de adsorção e troca de nutrientes, e de condicionante físico, como cimento para as partículas minerais do solo, contribuindo para sua estruturação e retenção de água. Ademais, a matéria orgânica é o substrato para desenvolvimento da biota do solo, responsável pela aeração do perfil e pelo ciclo dos nutrientes. A oxidação da matéria orgânica devido à exposição do solo pela retirada da vegetação nativa e pelas operações de aração e gradagem resultam em redução do conteúdo orgânico dos solos, perda de sua estrutura e da capacidade de retenção de nutrientes e água. O conteúdo orgânico é extremamente variável segundo a gênese e o histórico de ocupação do solo. Para avaliação operacional do coeficiente de perda da matéria orgânica do solo recomenda-se obtenção de informação de análises para fins de fertilização e calagem (geralmente disponível na propriedade), considerando as alterações como grandes ( $\pm 3$ ) quando estas envolverem mudança superior a 25% do conteúdo orgânico devido à adoção da

tecnologia. Na ausência de informações analíticas, solicita-se que o produtor/responsável avalie a extensão da perda de matéria orgânica segundo seu conhecimento sobre as características do solo local e sua experiência com o uso da tecnologia.

**iii) Perda de nutrientes:** este componente do indicador de capacidade produtiva do solo é relacionado com os componentes anteriores, e deve ser avaliado segundo informações analíticas para fins de fertilização e calagem, normalmente disponíveis na propriedade, considerando alterações superiores a 25% na necessidade histórica de aplicação de fertilizantes, como indicativas de grande alteração ( $\pm 3$ ) na perda de nutrientes devido à tecnologia. Esta avaliação deve concentrar-se, contudo, na alteração da necessidade de aplicação de fertilizantes para reposição de perdas, excluindo possíveis mudanças devidas a exigências nutricionais ou características tecnológicas típicas de intensificação produtiva, anteriormente inseridas no componente NPK hidrossolúvel, do indicador de uso de agroquímicos, no aspecto de Eficiência Tecnológica. Com isto procura-se reduzir dupla contagem, embora deva-se admitir que total independência entre estes componentes e indicadores não existe. Na ausência de informações analíticas, solicita-se que o produtor/responsável avalie a extensão da perda de nutrientes segundo seu conhecimento sobre as características do solo local e sua experiência histórica de fertilização da área, o sobre os efeitos do uso da tecnologia em avaliação.

**iv) Compactação:** o uso intensivo de maquinário pesado e o sobrepastoreio são as principais causas da compactação do solo. Solos compactados dificultam a aeração e a condutividade da água, prejudicando a penetração das raízes e comprometendo fortemente a produtividade. A avaliação operacional do coeficiente de alteração desse componente deve basear-se na cobertura relativa de superfície compactada na área de influência da atividade à qual a tecnologia é aplicada. Solicita-se que o produtor/responsável avalie a extensão da compactação segundo seu conhecimento sobre as características do solo local e sua experiência histórica de uso e característica da área, recomendando que considere como grande ( $\pm 3$ ) a alteração que implique mais de 25% de superfície compactada na área considerada.



Similarmente aos indicadores de eficiência tecnológica, alterações da capacidade produtiva do solo restringem-se à área cultivada, portanto esses componentes envolvem somente a escala de ocorrência pontual (Fig.6). Quanto à importância para composição do indicador, os coeficientes de ponderação são uniformemente distribuídos (25% para cada componente), devido à interação que ocorre entre os componentes para determinação da capacidade produtiva do solo.

Capacidade produtiva do Solo		Tabela de coeficientes de alteração da variável				Averiguação fatores de ponderação
		Variável de capacidade produtiva do solo				
Fatores de ponderação k		Erosão	Perda de matéria orgânica	Perda de nutrientes	Compactação	1
Sem efeito		0,25	0,25	0,25	0,25	
Marcar com X						
Escala da ocorrência =	Pontual	-3	-3	-3	-3	15
	Local					
	Entorno					
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)		3,75	3,75	3,75	3,75	15

**Fig.6.** Matriz de ponderação dos componentes do indicador de Capacidade Produtiva do Solo, do aspecto Conservação Ambiental, do sistema de Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária, AMBITEC-AGRO.

No exemplo representado pela adoção da tecnologia “Viabilidade de recuperação de áreas degradadas utilizando plantas associadas a microrganismos e uso de adubos mais baratos no mercado” (Fig.6), houve grande redução em todos os componentes desse indicador. O coeficiente de impacto ambiental resultante foi igual a 15, correspondente ao máximo possível. Vale notar que esse valor máximo para o coeficiente de impacto sobre a capacidade produtiva do solo é similar àqueles correspondentes aos indicadores passíveis de ocorrência em escala local e no entorno, além da escala pontual exclusivamente, como é o caso deste indicador. Isso se deve à aplicação de um fator de correção embutido neste indicador, que tem a finalidade de normalizá-lo relativamente aos outros indicadores que compõem o aspecto de Conservação Ambiental.

## VI. Água

A qualidade da água é possivelmente o indicador mais sensível dos impactos causados pelas atividades agropecuárias, pois praticamente toda inadequação do manejo resultará em conseqüências negativas sobre as águas, seja no ambiente imediato no qual desenvolve-se a atividade produtiva, seja no seu entorno. Nesse sentido, a avaliação de alterações na qualidade das águas tem um caráter composto, que reflete as conseqüências de ações de manejo em geral, e portanto não é possível tratar este componente como totalmente independente dos anteriormente mencionados, não só em relação ao aspecto de Conservação Ambiental, mas também quanto à Eficiência Tecnológica. Isto significa que é necessário ter em mente que uma certa dupla contagem ocorre quando as alterações da qualidade das águas são consideradas na avaliação de impactos ambientais da inovação tecnológica, mas isto é inevitável, dado o caráter sistêmico do ambiente. Uma outra consideração importante do caráter sistêmico da avaliação dos impactos das atividades agrícolas sobre as águas diz respeito à compartimentação das águas em duas unidades interrelacionadas e de igual importância, quais sejam, as águas superficiais e subterrâneas. Embora o estudo dessas unidades compreenda especificidades fundamentais, que são refletidas em todos os aspectos de consideração, desde legais, de vulnerabilidade, de manejo e de conservação, no presente sistema de avaliação somente os aspectos de qualidade das águas superficiais são explicitamente inseridos. Isto é devido à dificuldade de se obterem informações confiáveis, ao nível da propriedade rural no qual desenvolve-se este trabalho, sobre as alterações imediatas causadas diretamente por atividades de manejo, e implicadas nas mudanças causadas por inovações tecnológicas, na qualidade e quantidade das águas subterrâneas, tanto na escala de ocorrência pontual, quanto local e no entorno. Ademais, considera-se, para efeito do sistema de avaliação proposto, que a continuidade sistêmica entre as águas superficiais e subterrâneas nestas escalas de ocorrência consideradas, permitem que o coeficiente de alteração aplicado aos componentes seguintes, sejam suficientes para refletir os impactos da inovação tecnológica sobre a qualidade da água em geral. Estes componentes são a demanda bioquímica de oxigênio, a turbidez, a presença de espuma/óleo/materiais flotantes, e a sedimentação/assoreamento de corpos d'água.

**i) Demanda bioquímica de oxigênio:** a  $DBO_5$  refere-se ao conteúdo orgânico das águas, sendo uma medida da quantidade de oxigênio dissolvido necessária para oxidar a carga orgânica presente na água. Uma alta  $DBO_5$  implica que a água está sujeita a depleção de oxigênio até o limite da anoxia, quando torna-se imprópria para sustentar qualquer organismo aeróbio. A  $DBO_5$ , portanto, varia com a oxigenação do corpo d'água, pois a concentração de oxigênio será uma função de seu consumo e sua incorporação, via difusão, na água. Em corpos d'água onde ocorre pouca turbulência, concentrações de apenas 5 mg/l de  $DBO_5$  podem produzir condições indesejáveis. Operacionalmente, a avaliação deste componente pode ser realizada analiticamente de duas formas: diretamente, pelo envio de amostras a laboratórios especializados em análise de qualidade da água, e indiretamente, pela medida de oxigênio dissolvido, que é facilmente obtida com o uso de um oxímetro. Na inviabilidade dessas medidas, ou quando a situação amostral for complexa, recomenda-se a utilização de "proxis" representados pela presença de organismos aquáticos, conforme conhecimento do produtor/responsável. Considera-se a alteração nesse componente grande ( $\pm 3$ ) quando, em consequência da adoção da inovação tecnológica, ocorrerem (ou deixarem de ocorrer para o caso de melhoria do componente) episódios de anoxia, indicados por medidas de concentração de  $O_2$ , ou pela presença de organismos mortos por esta causa, ou ainda pela presença de maus odores típicos de decomposição anaeróbia. A alteração será considerada moderada ( $\pm 1$ ) quando ocorrer (ou deixar de ocorrer) indicação de depleção de oxigênio, porém insuficientes para anoxia, indicada por medida da concentração de  $O_2$ , ou por comportamento indicativo de asfixia nos organismos aquáticos, como diminuição da atividade e busca de pontos de maior aeração na superfície.

**ii) Turbidez:** representa a presença de sólidos em suspensão na água, sejam partículas ou colóides, orgânicos ou inorgânicos, sedimentáveis ou não. A turbidez reduz a penetração dos raios solares, comprometendo a fotossíntese, e implica dificuldades para filtração e desinfecção da água para uso, além de prejuízo estético. A turbidez pode ser medida de forma simples pela imersão de um objeto branco (o conhecido disco de Secchi) e medida da profundidade em que é observável. A turbidez obviamente é extremamente variável segundo a tipologia do corpo d'água e as condições de momento (intensidade de chuvas, p.ex.) e de local. Assim, a avaliação dependerá sempre do conhecimento do produtor/responsável sobre as condi-

ções locais e devem ser baseadas na periodicidade de ocorrência. Recomenda-se que alterações nas condições de turbidez sejam consideradas grandes ( $\pm 3$ ) quando, em consequência da adoção da inovação tecnológica, houver alteração superior a 50% no tempo de ocorrência da condição de aumento (ou redução) da turbidez.

**iii) Espuma/óleo/materiais flotantes:** a presença desses materiais compromete todos os usos potenciais das águas e causa grande depauperação estética. Similarmente ao componente anterior, a avaliação deste componente dependerá sempre do conhecimento do produtor/responsável sobre as condições locais e deve ser baseada na periodicidade de ocorrência. Recomenda-se que alterações na presença de espumas/óleo/materiais flotantes sejam consideradas grandes ( $\pm 3$ ) quando, em consequência da adoção da inovação tecnológica, houver alteração superior a 50% no tempo de ocorrência da condição de aumento (ou redução) desses materiais.

**iv) Sedimentação/assoreamento:** este componente expressa o resultado composto da longa exposição de um corpo d'água a condições desfavoráveis de qualidade da água, sendo, portanto, dependente dos componentes anteriores, e pode implicar certa dupla contagem. Sua inclusão em adição àqueles componentes se justifica, contudo, para expressar a consequência última das alterações de qualidade da água no ecossistema considerado. Todo ecossistema aquático está sujeito a uma sucessão ecológica no contexto da paisagem, sendo que o processo de recebimento de carga de sedimentos finalmente resulta em sua colmatação e atingimento de um clímax terrestre. Ao atingir este clímax, o ecossistema aquático deixa de existir, o que significa sua degradação definitiva, enquanto ecossistema aquático que fora. Este processo tem uma taxa de ocorrência que depende da tipologia e das condições de interação do ecossistema aquático com os ecossistemas terrestres limítrofes. Quanto mais equilibradas estas interações, no sentido de serem mínimas as trocas de energia entre os sistemas, mais estendido é o processo evolutivo de sucessão, refletindo melhores condições ambientais de manutenção do ecossistema aquático considerado. A avaliação desse componente reflete alterações na taxa de sucessão do ecossistema aquático, no sentido da sua degradação, causada pela sedimentação/assoreamento. Como este é um processo de longo termo relativo à avaliação do impacto ambiental de uma inovação tecnológica agropecuária, a avaliação necessariamente envolve

o conhecimento, por parte do produtor/responsável, do histórico de evolução do ecossistema aquático na paisagem local. A alteração do componente deve ser considerada grande ( $\pm 3$ ) quando a taxa de colmatação for tal que o ecossistema evidentemente perca sua característica aquática (ou deixe de perdê-la no caso positivo) em qualquer extensão de sua área marginal, ou seja, parte da lâmina d'água transforme-se em terra firme. A alteração será considerada moderada ( $\pm 1$ ) quando a colmatação não implique perda imediata de lâmina d'água, sendo restrita a perda de volume por sedimentação de fundo. Finalmente, considera-se o componente inalterado quando, relativo à dimensão do ambiente aquático, não for observada alteração significativa de sua situação de assoreamento.

A matriz de ponderação de qualidade da água distribui homogeneamente a importância dos componentes, cada qual recebendo 25% do peso na composição deste indicador, de forma a reconhecer a relativa interdependência sistêmica dos impactos sobre a qualidade da água (Fig. 7). A escala de ocorrência desses componentes freqüentemente ultrapassa os limites da propriedade, dado o caráter de veículo para descarga de resíduos exercido pela água. Muita atenção deve ser dada na consideração da escala de ocorrência, pois impactos que alcançam o entorno assumem uma dimensão proporcionalmente maior.

Considerando mais uma vez o exemplo da tecnologia de recuperação de áreas degradadas com plantas associadas a microrganismos, observou-se grande redução da erosão nos limites da área recuperada (pontual), e resultou em grande redução na sedimentação/assoreamento, também restrita ao limite da área recuperada (pontual), enquanto não aplicou-se aos componentes de turbidez e espumas/óleo/materiais flutuantes (Fig. 7). Com esses resultados, o coeficiente de impacto da tecnologia foi igual a 1,5 de um máximo possível de 15, o que indica que a tecnologia é adequada em relação a este indicador.

		Tabela de coeficientes de alteração da variável				Averiguação fatores de ponderação
		Variável de qualidade da água				
Água		Demanda bioquímica de oxigênio	Turbidez	Espuma/óleo/ materiais flotantes	Sedimento / assoreamento	
Fatores de ponderação k		0,25	0,25	0,25	0,25	1
Escala da ocorrência //	Sem efeito	X		X		
	Pontual	1	-3		-3	
	Local	2				
	Entorno	5				
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)		0	0,75	0	0,75	1,5

**Fig.7.** Matriz de ponderação dos componentes do indicador de qualidade da Água, do aspecto Conservação Ambiental, do sistema de Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária, AMBITEC-AGRO.

## VII. Biodiversidade

A conservação da biodiversidade é hoje considerada um objetivo fundamental para o desenvolvimento sustentável e uma oportunidade para exercício do papel multifuncional do setor agropecuário, uma vez que a maior parte do estoque presente de diversidade biológica e cultural encontra-se em áreas sujeitas a algum nível de manejo agropecuário e florestal (Pimentel *et al.*, 1992). As causas dos impactos das atividades agropecuárias sobre a biodiversidade envolvem desde a extensiva destruição de habitats naturais devido à expansão das áreas de fronteira agrícola, até os efeitos da degradação da qualidade ambiental por substâncias tóxicas e resíduos da intensificação agropecuária, bem como a homogeneização genética de plantas e animais de criação, das formas de manejo e até mesmo dos modos de vida tradicionais (Rodrigues, 2001). A magnitude desses impactos é extremamente variável, mas todas as regiões do globo têm experimentado o resultado subjacente à perda de biodiversidade, que é o empobrecimento dos ecossistemas e a homogeneização cultural. As conseqüências desses impactos têm um alcance muito grande, pois uma parte importante das alternativas de manejo, da multifuncionalidade dos ambientes agropecuários e florestais, e da segurança ecológica e mesmo alimentar da humanidade apóia-se nesta biodiversidade. As contribuições da biodiversidade para a produção

agropecuária equiparam-se com as oportunidades para conservação da biodiversidade pelo adequado manejo agropecuário e florestal, representando uma área importante para pesquisa e desenvolvimento de políticas de conservação, inclusive no nível internacional de acordos e convenções cooperativas (Campanhola *et al.*, 1998). No âmbito do AMBITEC-AGRO três componentes são considerados neste indicador, quais sejam: perdas de vegetação nativa, de corredores de fauna, e de espécies e variedades caboclas.

**i) Perda de vegetação nativa:** este componente endereça a necessidade, imposta pela legislação (destacando-se o Art. 2 da lei 4.771/65), de conservação de florestas e demais formas de vegetação natural de preservação permanente, incluindo topos de morros, terrenos com declividade superior a 45°, vegetação ciliar, etc. Devido à semelhança de definição com o indicador de Área de Preservação Permanente constante do aspecto de Recuperação Ambiental apresentado adiante, é de extrema importância para correta avaliação de impacto com o sistema AMBITEC-AGRO que este componente considere exclusivamente áreas de vegetação nativa existentes na propriedade e no seu entorno, e que tenham seu “status” de conservação alterado pela inovação tecnológica em avaliação. Recomenda-se considerar a alteração neste componente como grande ( $\pm 3$ ) quando a adoção da inovação tecnológica agropecuária contribuir efetiva e diretamente para a conservação ou proteção da vegetação nativa ou área de preservação permanente na propriedade ou seu entorno. Esta contribuição direta significa que a tecnologia deve relacionar-se especificamente à conservação (ou impedir uma prática que relacione-se diretamente, para o caso de impacto negativo) da vegetação nativa, aumentando (ou comprometendo para o caso de impacto negativo) a garantia de sua proteção. A sua vez, a alteração será considerada moderada ( $\pm 1$ ) quando a tecnologia em avaliação contribuir (ou prejudicar, para o caso de impacto negativo) indiretamente, por força de alívio (ou aumento) de efetiva pressão de ocupação ou exploração predatória sobre áreas de vegetação nativa, por exemplo.

**ii) Perda de corredores de fauna:** uma certa sobreposição existe entre este componente e o anterior, uma vez que as áreas de preservação permanente em geral, e de vegetação nativa em particular, configuram-se em corredores de fauna. Contudo, e de importância especial para o setor agropecuário, muitas áreas inseridas no processo produtivo e ma-

nejadas em vários graus de intensidade, são igualmente valiosas para permitir o fluxo de populações, favorecendo seu contato genético e assim exercendo o papel de corredores de fauna. Dentre essas áreas podem-se considerar os reflorestamentos, as áreas de pousio e marginais, os ecossistemas aquáticos, as pastagens extensivas pontilhadas de vegetação arbórea ou ilhas de vegetação nativa, entre muitas outras de uso agropecuário pouco intensivo. Mesmo certas atividades agropecuárias intensivas podem constituir-se, em certa medida, em corredores adequados para a fauna, como áreas altamente consorciadas e associações agrofloretais como café sombreado, palmitais, cacauais, entre muitos outros. Recomenda-se que a alteração desse componente seja considerada grande ( $\pm 3$ ) sempre que as áreas manejadas de forma a qualificarem-se como corredores de fauna promovam (ou restrinjam, para o caso negativo) a conexão entre áreas de preservação permanente existentes na propriedade ou no seu entorno. A alteração será considerada moderada ( $\pm 1$ ) quando esta conexão (ou sua restrição) ocorrer entre outras áreas que constituam-se, em si, corredores, contribuindo para a conectividade dos habitats, porém não diretamente entre áreas de preservação permanente.

**iii) Extinção de espécies ou de variedades caboclas:** a profunda modificação imposta aos habitats naturais quando de sua ocupação para desenvolvimento de atividades agropecuárias, necessariamente resulta na extinção da maior parte das espécies nativas deste habitat. Quando a inovação tecnológica agropecuária em avaliação promove este tipo de modificação, seja na propriedade ou no âmbito regional, ela estará causando a extinção local de espécies. Igualmente, muitas inovações tecnológicas implicam a adoção de formas de manejo que são incompatíveis com componentes do manejo anterior ao qual a inovação se aplica, causando substituição ao invés de contribuição no desenvolvimento da atividade. O processo de desenvolvimento agropecuário deve precaver-se contra a homogeneização que pode resultar do avanço tecnológico, procurando evitar os prejuízos associados ao que muitas vezes qualifica-se ingenua e simplesmente como modernização. Esta homogeneização e os prejuízos a ela associados deve ser considerada em suas várias dimensões, incluindo desde a perda local de uma espécie de animal silvestre ou de variedades de plantas ou animais domésticos rústicos ou “caipiras”; o desuso de ferramentas, instrumentos, equipamentos e práticas de cultivo, manejo e construção; ou formas de preparo de alimentos e remédios caseiros; até conhecimentos tradicionais de grande valor histórico ou



étnico sobre atividade terapêutica de plantas medicinais, ou mesmo costumes e crenças ligadas ao relacionamento social e cultural comunitário local. Com tal alcance, recomenda-se que a avaliação operacional desse componente seja o mais subjetiva possível, oferecendo ao produtor/responsável a oportunidade de expressar seu sentimento sobre as perdas percebidas em consequência da modernização, permitindo assim a documentação dessas possíveis perdas.

A matriz de ponderação do indicador de Conservação da Biodiversidade permite que a escala de ocorrência na qual a inovação tecnológica possa alterar os componentes atinja tanto os limites da área modificada pela atividade à qual aplica-se a tecnologia, modificando o habitat, bem como a propriedade, quando ocorrerem perdas locais, e até além dos limites da propriedade, quando considerar-se que possa ter ocorrido uma alteração no entorno, seja por modificação de ecossistemas naturais limítrofes, ou por influência sobre propriedades e áreas vizinhas. Devido ao seu caráter de obrigatoriedade frente à legislação nacional, o componente de perda da vegetação nativa é considerado como ligeiramente mais importante para composição do indicador, correspondendo a 40% do peso total. Os componentes de perda de corredores de fauna e de espécies/variedades caboclas recebem respectivamente 30% do peso do indicador (Fig.8).

		Tabela de coeficientes de alteração da variável			Averiguação fatores de ponderação
		Variável de biodiversidade			
Biodiversidade		Perda de vegetação nativa	Perda de corredores de fauna	Perda de espécies / variedades caboclas	
Fatores de ponderação k Sem efeito Pontual Local Entorno	Marcar com X	0,4	0,3	0,3	1
	1	-3	-3	-3	
	2				
	5				
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)		1,2	0,9	0,9	3

**Fig.8.** Matriz de ponderação dos componentes do indicador Biodiversidade, do aspecto Conservação Ambiental, do sistema de Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária, AMBITEC-AGRO.

No exemplo da tecnologia “Viabilidade de recuperação de áreas degradadas utilizando plantas associadas a microrganismos e uso de adubos mais baratos no mercado”, a sua adoção contribuiu para grande diminuição das perdas nos três componentes desse indicador, todos em escala pontual, resultando em um coeficiente de impacto sobre a biodiversidade igual a +3 para um máximo possível de 15 (Figura 8), sugerindo que esta tecnologia pode contribuir positivamente para a conservação dos habitats e da biodiversidade.

### **Recuperação Ambiental**

A recuperação ambiental inclui-se no sistema de avaliação de impacto ambiental devido ao estado de degradação presentemente observado praticamente na totalidade das regiões agrícolas do país, impondo que o resgate desse passivo ambiental deva ser uma prioridade de todos os processos de inovação tecnológica agropecuária. Este aspecto dedica-se à consideração da resiliência, definida como a capacidade de um material ou sistema em recuperar-se de uma alteração imposta, ou a habilidade de recobrar a forma original após cessada uma pressão deformadora. Em ecologia, define-se como resiliência de um ecossistema a sua capacidade de recuperar um estado de equilíbrio dinâmico similar ao original, após cessado um estresse. O aspecto de Recuperação Ambiental refere-se à efetiva contribuição da inovação tecnológica para promover a recuperação da qualidade ambiental e dos ecossistemas, por melhoria das condições ou propriedades de compartimentos ambientais ou estoque de recursos. Assim, avalia-se a contribuição da inovação tecnológica para a efetiva recuperação de solos degradados (física, química e biologicamente), ecossistemas degradados, áreas de preservação permanente e da Reserva Legal.

### **VIII. Variáveis de Recuperação Ambiental**

i) **Solos degradados:** o padrão de exploração agropecuária das últimas décadas no Brasil tem sido caracterizado por um modelo extremamente predatório. Este modelo envolve uma série de fatores de depauperação dos solos, dentre eles o expansionismo da fronteira, o emprego de tecnologias de manejo primariamente desenvolvidas para condições extra-tropicais, o uso muitas vezes pouco instruído de agroquímicos, o emprego freqüente do

fogo, uma mecanização muitas vezes não apropriada devido à coincidência temporal da necessidade de manejo com períodos chuvosos, sujeitando os solos à compactação, uma desconsideração generalizada (salvo avanços recentes em certas culturas) da biologia do solo, e muitos outros. A consequência desse modelo é a presente existência e a continuada expansão de áreas ocupadas por solos quimicamente empobrecidos, fisicamente degradados e biologicamente mortos. Um importante esforço de pesquisa tem sido dirigido nos últimos anos, felizmente, para o desenvolvimento de técnicas que melhorem o manejo e propiciem a recuperação das características físico-químicas-biológicas dos solos. Com efeito, grandes extensões de terras agrícolas vêm sendo cultivadas com técnicas de cultivo mínimo e plantio direto na palha, e a rotação e integração agricultura-pecuária vem também alcançando crescente expressão no cenário produtivo nacional. Todas estas iniciativas de manejo que propiciem a recuperação dos solos são consideradas nesse componente. Recomenda-se que a contribuição da inovação tecnológica em avaliação para a recuperação de solos degradados seja considerada grande ( $\pm 3$ ) quando a alteração efetivamente observada pelo uso da tecnologia traduza-se em importante melhoria (ou prejuízo, para o caso de impactos negativos) em dois aspectos simultâneos das características físico-químicas-biológicas dos solos. A alteração será considerada moderada ( $\pm 1$ ) quando a inovação tecnológica contribuir efetivamente para importante melhoria (ou prejuízo, para o caso de impactos negativos) do solo, porém em somente uma dessas características.

**ii) Ecossistemas degradados:** com certo grau de sobreposição com o componente anterior, este componente refere-se a áreas marginais, porém inseridas no contexto produtivo das propriedades rurais, freqüentemente expostas a queimadas, ao sobrepastoreio e a outras formas de agressão ecológica. A avaliação do coeficiente de alteração desse componente deve levar em consideração a recuperação e melhoria da inserção produtiva desses ecossistemas na propriedade, uma vez que a recuperação de áreas de preservação e de Reserva Legal faz-se adiante em componentes específicos. Recomenda-se considerar a alteração na recuperação de ecossistemas com base em sua produtividade relativa, sendo esta grande ( $\pm 3$ ) quando a produtividade altera-se acima (ou abaixo) de 25% em relação à situação anterior ou na ausência da inovação tecnológica.

**iii) Áreas de preservação permanente:** definidas em legislação pertinente (MP 1.956-50 de 28/05/2000 reeditada até a MP 2.166-67 de 24/08/2001) estas áreas envolvem as florestas e demais formas de vegetação natural de preservação permanente, incluindo topos de morros, terrenos com declividade superior a 45°, vegetação ciliar, etc. Na grande maioria dos casos as áreas de preservação permanente são ocupadas e alteradas por atividades agropecuárias, mas devido a restrições agrônômicas tendem a contribuir relativamente pouco em termos de produção, porém muito em termos de degradação ambiental. Recomenda-se considerar a alteração neste componente como grande ( $\pm 3$ ) quando ela resultar em mudança do "status" de atendimento à legislação pertinente, ou seja, quando a alteração efetivamente observada em razão da adoção da tecnologia em avaliação fizer com que a propriedade passe de infratora a cumpridora (ou vice-versa em casos de impacto negativo) dos requisitos de preservação dessas áreas.

**iv) Reserva Legal:** a distinção que se aplica entre este componente e o anterior é de ordem inclusiva, ou seja, se as áreas de preservação permanente presentes na propriedade forem suficientes para satisfazer as exigências relativas à Reserva Legal deve-se considerar que este componente não se aplica. Contudo, se não houver interação entre estes componentes, recomenda-se considerar a alteração neste componente como grande ( $\pm 3$ ) quando ela resultar em mudança do "status" de atendimento à legislação pertinente, ou seja, quando a alteração efetivamente observada em razão da adoção da tecnologia em avaliação fizer com que a propriedade passe de infratora a cumpridora (ou vice-versa para casos de impacto negativo) dos limites de preservação da Reserva Legal.

A matriz de ponderação do indicador de Recuperação Ambiental enfatiza o cumprimento da exigência de Reserva Legal como mais importante, atribuindo a este componente 40% do peso do indicador, como forma de valorizar esta meta mínima de atendimento da legislação ambiental. Cada um dos outros componentes responde por 20% do indicador (Fig.9).

		Tabela de coeficientes de alteração da variável				Averiguação fatores de ponderação
		Variável de recuperação ambiental				
Recuperação ambiental		Solos degradados	Ecosistemas degradados	Áreas de preservação permanente	Reserva Legal	
Fatores de ponderação k		0,2	0,2	0,2	0,4	1
Escala da ocorrência =	Sem efeito					
	Marcar com X					
	Pontual	1	3	3		
	Local	2			3	
Entorno	5				3	
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)		0,6	0,6	1,2	2,4	4,8

**Fig.9.** Matriz de ponderação dos componentes do indicador de Recuperação Ambiental do sistema de Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária, AMBITEC-AGRO

A tecnologia apresentada como exemplo, voltada para a recuperação de áreas degradadas utilizando plantas associadas a microrganismos e uso de adubos mais baratos no mercado, contribuiu para uma grande alteração em todos os componentes desse indicador, recuperando solos e ecossistemas dentro dos limites de sua aplicação a campo (escala pontual) e promovendo a propriedade (escala local) ao “status” de cumpridora da legislação de proteção de áreas de preservação permanente e de Reserva Legal (Fig.9). Com estes resultados, a tecnologia alcançou um coeficiente de impacto para as variáveis de recuperação ambiental igual a 4,8 de um máximo de 15, indicando ser uma tecnologia altamente recomendável para este aspecto de avaliação de impacto ambiental.

### AIA da Tecnologia

Completada a avaliação dos componentes e inseridos os respectivos coeficientes de alteração nas matrizes de ponderação correspondentes, para todos os indicadores, os resultados dos coeficientes de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária são automaticamente expressos graficamente na planilha AIA da Tecnologia. Estes gráficos são compostos para cada aspecto de consideração, primeiramente apresentando uma tabela para averiguação de componentes que eventualmente não se aplicam à situação em estudo, seguida do gráfico conjunto dos

componentes do respectivo aspecto, e finalmente um gráfico síntese dos coeficientes de impacto para este aspecto considerado. Após esta apresentação gráfica dos três aspectos componentes do sistema de avaliação, uma tabela síntese apresenta o conjunto dos oito indicadores de impacto, normalizados para comparação no gráfico síntese dos coeficientes de impacto. Finalmente, um Índice de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária é calculado e expresso graficamente.

O cálculo do coeficiente de impacto ambiental para cada indicador é obtido pela expressão:

$$\mathbf{Cia}_i = \prod_{j=1}^m \mathbf{A}_{ji} * \mathbf{E}_{ji} * \mathbf{P}_{ji}$$

onde:

$\mathbf{Cia}_i$  = coeficiente de impacto ambiental do indicador i;

$\mathbf{A}_{ji}$  = coeficiente de alteração do componente j do indicador i;

$\mathbf{E}_{ji}$  = fator de ponderação para escala de ocorrência espacial do componente j do indicador i;

$\mathbf{P}_{ji}$  = fator de ponderação para importância do componente j na composição do indicador i.

m = número de componentes do indicador i.

O Índice de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária é obtido pela expressão:

$$\mathbf{Iia}_t = \prod_{i=1}^m \mathbf{Cia}_i * \mathbf{P}_i$$

onde:

$\mathbf{Iia}_t$  = índice de impacto ambiental da tecnologia t;

$\mathbf{Cia}_i$  = coeficiente de impacto ambiental do indicador i;

$\mathbf{P}_i$  = fator de ponderação para importância do indicador i para composição do índice de impacto ambiental da tecnologia t.

m = número de indicadores.

Com base nesses gráficos o avaliador procede à avaliação contextual da inovação tecnológica, segundo o desempenho ambiental observado na situação específica de adoção considerada. Recomenda-se que o avaliador procure o produtor/responsável provedor das informações básicas sobre as quais baseia-se a avaliação, primeiramente para discutir os resultados e proceder a correções que possam ser julgadas necessárias, e finalmente para oferecer-lhe um retorno sobre possíveis problemas e alternativas que possam contribuir para um melhor desempenho ambiental da tecnologia no contexto da propriedade e do sistema produtivo agropecuário.

Conforme avaliação dos componentes apresentados anteriormente, os resultados relativos ao aspecto de Eficiência Tecnológica da tecnologia de recuperação de áreas degradadas utilizando plantas associadas a microrganismos e uso de adubos mais baratos no mercado, apresentada como exemplo, podem ser observados na Figura 10. Nota-se primeiramente, ao alto da Figura, que vários componentes desse aspecto não se aplicam para esta tecnologia no contexto estudado, como é o caso de calagem no indicador Uso de Agroquímicos, de todos os tipos de biomassa e eletricidade no indicador Uso de Energia, e de água para processamento no indicador Uso de Recursos Naturais.

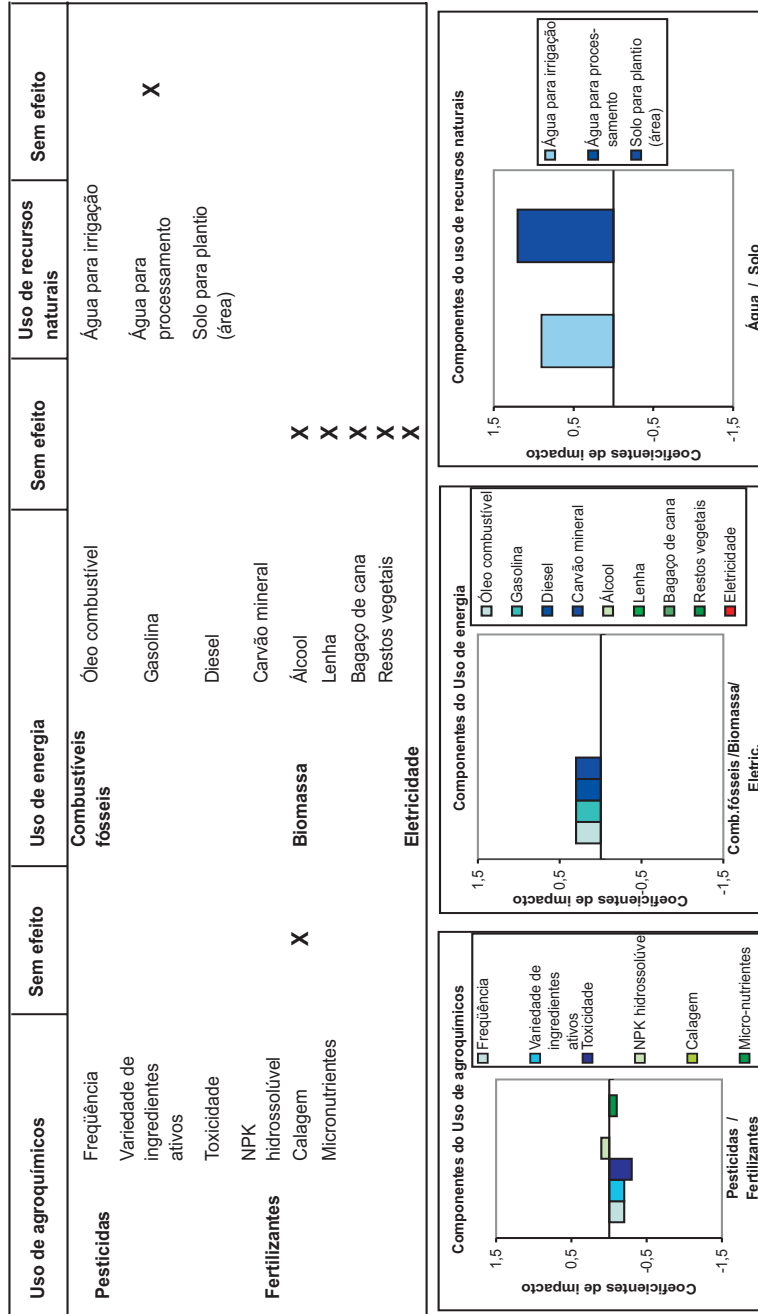
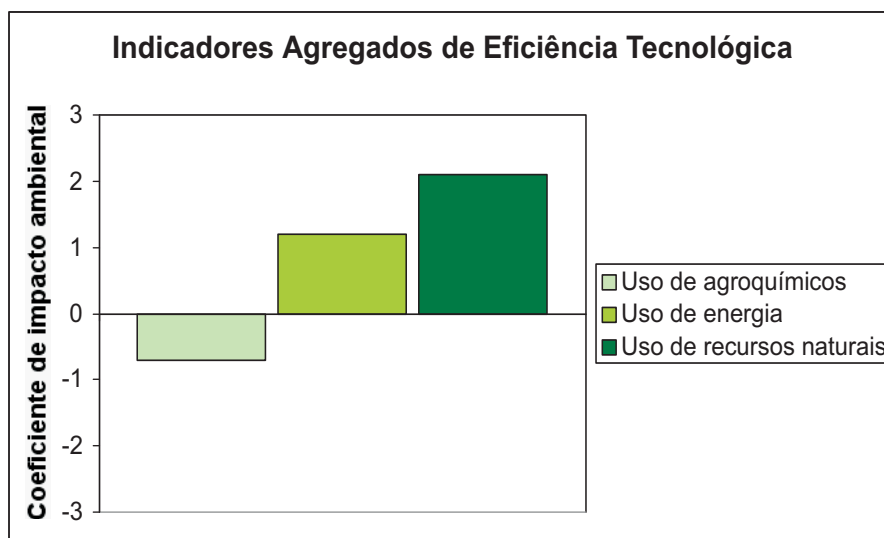


Fig. 10. Expressão dos resultados dos indicadores de Uso de Agroquímicos, uso de Energia e Uso de Recursos Naturais, do aspecto Eficiência Tecnológica, do sistema de Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária, AMBITEC-AGRO.



Os gráficos que seguem apresentam os coeficientes de variação de cada um dos componentes, sendo aqueles que não se aplicam expressos como inalterados (zero). Os gráficos referentes à avaliação dos componentes apresentam escala correspondente à sensibilidade do componente, determinada pela composição dos coeficientes de escala de ocorrência e de importância na composição do indicador. Para o caso dos componentes dos indicadores de uso de agroquímicos, uso de energia e uso de recursos naturais apresentados na Fig. 10, esta escala varia de  $-1,5$  a  $1,5$ .

Em seguida aos resultados correspondentes aos componentes, apresenta-se o gráfico síntese, que expressa os coeficientes de impacto ambiental dos indicadores do aspecto de Eficiência Tecnológica (Fig. 11). A escala deste gráfico é igualmente condicionada pela sensibilidade dos componentes, uma vez que não há ponderação de importância de indicadores para composição dos aspectos de avaliação de impacto ambiental, operação que é realizada somente na composição final do índice de impacto ambiental da tecnologia, adiante. Para o caso dos componentes dos indicadores de uso de agroquímicos, uso de energia e uso de recursos naturais apresentados na Fig. 11 (escala de  $\pm 3,0$ ), a adoção da tecnologia "Viabilidade de recuperação de áreas degradadas utilizando plantas associadas a microrganismos e uso de adubos mais baratos no mercado", utilizada como exemplo, trouxe como resultado coeficientes de impacto ambiental variando de  $-0,7$  até  $+2,1$ .



**Fig. 11.** Expressão gráfica agregada do aspecto Eficiência Tecnológica, do sistema de Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária, AMBITEC-AGRO.

De forma semelhante, a Fig. 12 apresenta os resultados dos componentes dos indicadores de conservação ambiental, com suas respectivas escalas de variação, de acordo com os testes de sensibilidade apropriados. Vale notar que estas escalas são diferentes para os gráficos destes indicadores, já que a escala de ocorrência não é a mesma para todos, resultando em ponderação e sensibilidade variável. O gráfico síntese do aspecto de Conservação Ambiental (Fig. 13), por sua vez, apresenta os coeficientes de impacto ambiental dos respectivos indicadores já normalizados, de forma que todos os coeficientes sejam comparáveis entre si.

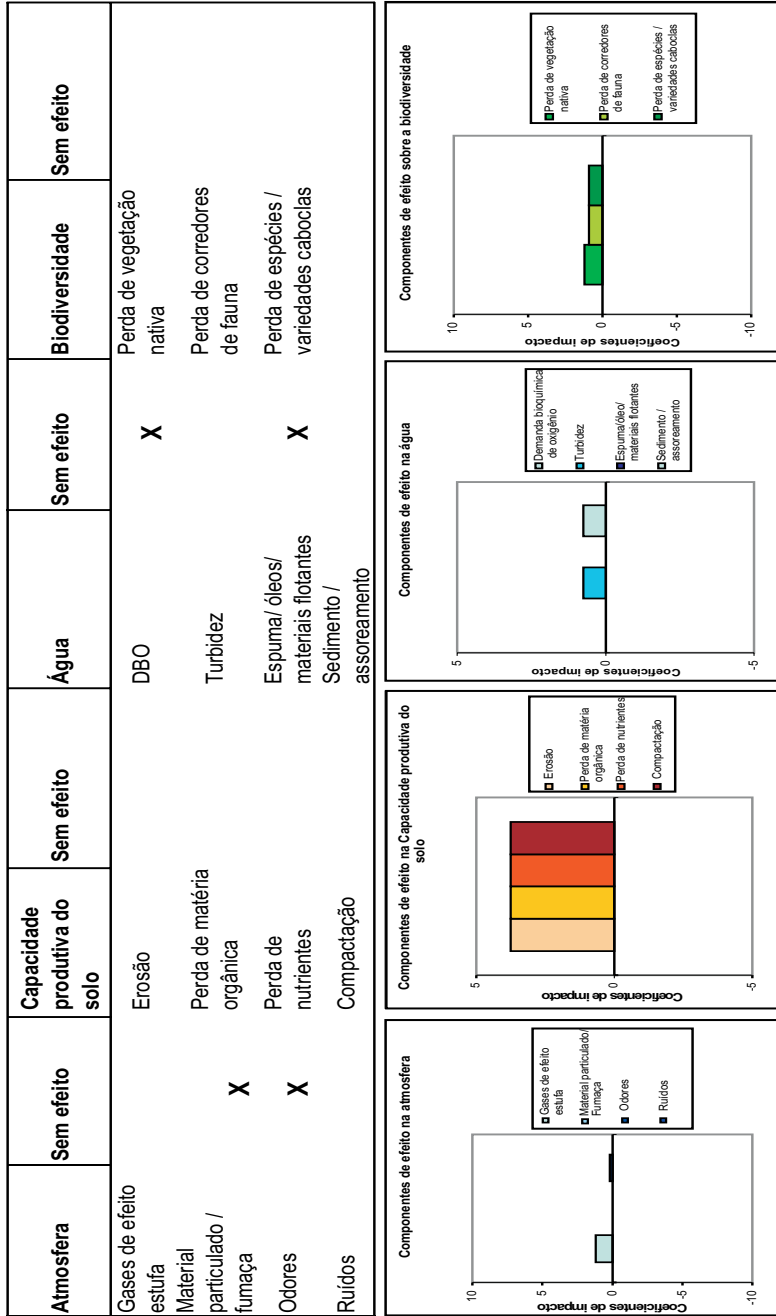
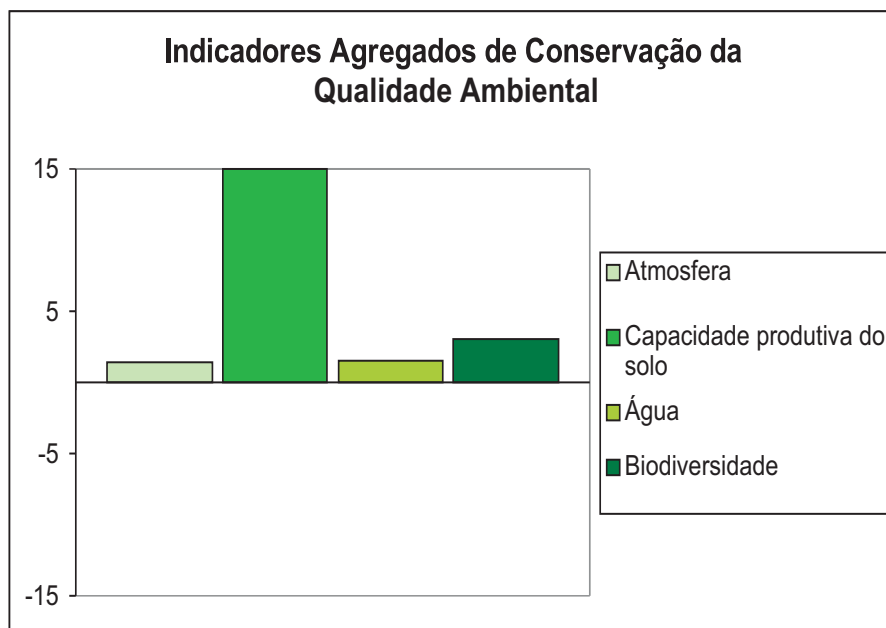


Fig. 12. Expressão dos resultados dos indicadores de Qualidade da Atmosfera e da Água, de Capacidade Produtiva do Solo, e de Biodiversidade, do aspecto Conservação Ambiental, do sistema de Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária, AMBITEC-AGRO.

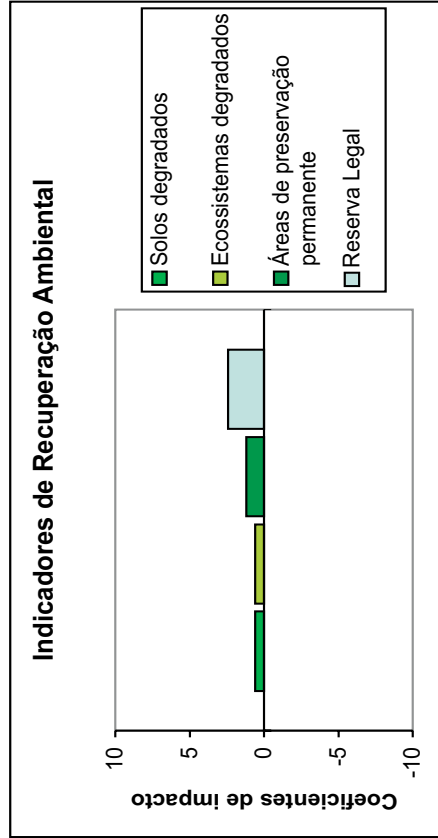
No exemplo considerado, os resultados da tecnologia de recuperação de áreas degradadas com plantas associadas a microrganismos alcançou valor máximo de coeficiente de impacto para o indicador de capacidade produtiva do solo (15), justamente aquele cuja consideração de escala de ocorrência se faz somente no nível pontual (Fig. 13). Os outros coeficientes foram intermediários.



**Fig. 13.** Expressão gráfica agregada do aspecto Conservação Ambiental, do sistema de Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária, AMBITEC-AGRO.

Os resultados da avaliação do impacto da tecnologia para Recuperação Ambiental, expressos pelos coeficientes de impacto dos respectivos componentes, são apresentados na Fig. 14, que mostra que a tecnologia de recuperação de áreas degradadas exemplificada tem bom desempenho nesse aspecto.

Recuperação ambiental	Sem efeito
Solos degradados	
Eossistemas degradados	
Áreas de preservação permanente	
Reserva Legal	

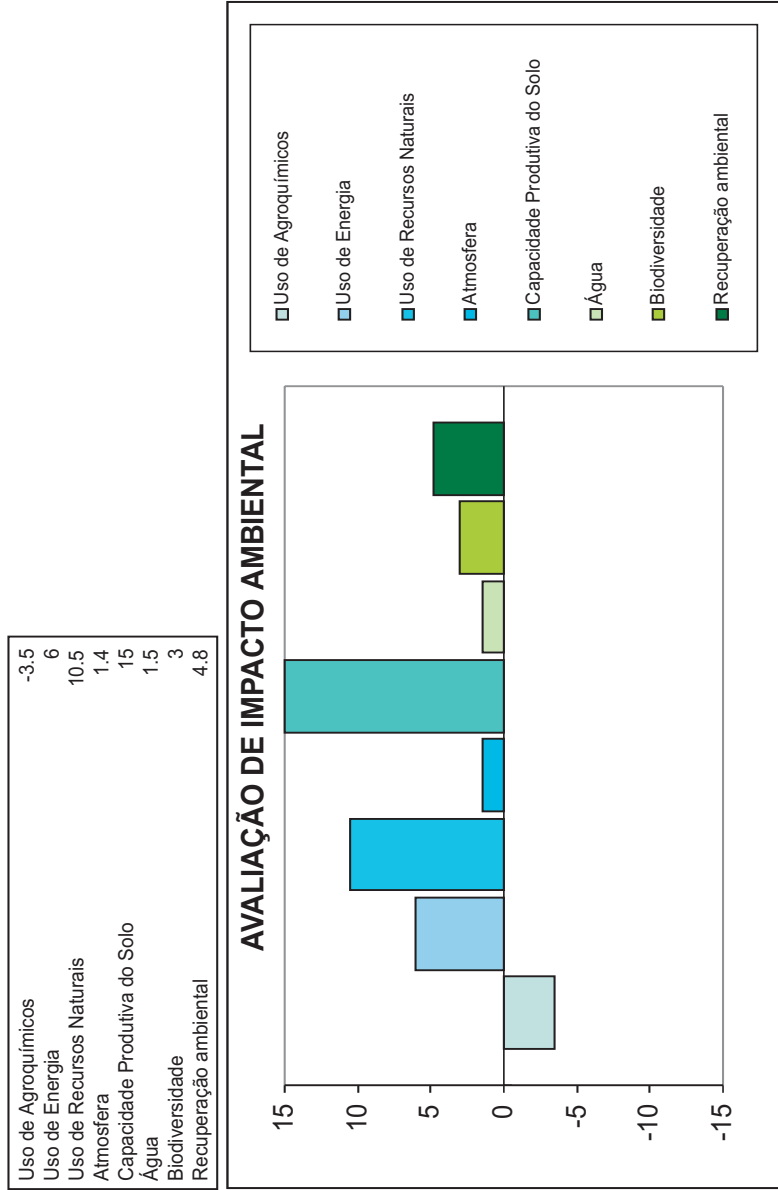


**Fig. 14.** Expressão dos resultados dos indicadores de Recuperação Ambiental, do sistema de Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária, AMBITEC-AGRO.

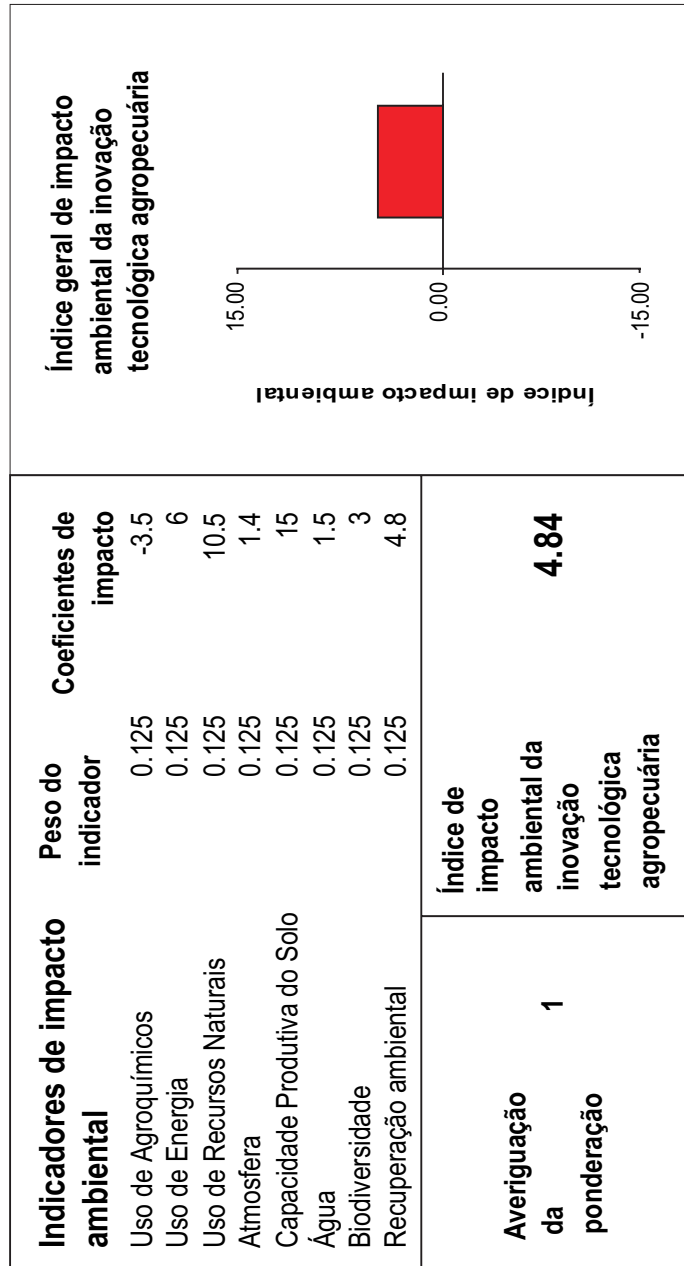
Uma síntese geral dos coeficientes de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária é apresentada na Fig. 15. Todos os coeficientes aparecem já normalizados de forma a serem expressos na mesma escala, permitindo comparação direta do desempenho ambiental da tecnologia em cada indicador. Para o exemplo da tecnologia “Viabilidade de recuperação de áreas degradadas utilizando plantas associadas a microrganismos e uso de adubos mais baratos no mercado”, nota-se que o desempenho relativo ao uso de agroquímicos não atende à norma ideal de obtenção de coeficientes positivos de impacto ambiental. Já para todos os outros indicadores a tecnologia tem desempenho positivo, com destaque para o coeficiente relativo à capacidade produtiva do solo, que alcança o valor máximo (Fig. 15).

Finalmente, a inovação tecnológica agropecuária é avaliada em seu conjunto pela composição do Índice I. A., que inclui uma nova etapa de ponderação para consideração da importância relativa de cada indicador na composição do impacto final da tecnologia (peso total igual à unidade). Conforme ponderação apresentada no exemplo da tecnologia de recuperação de áreas degradadas com plantas associadas a microrganismos (Fig. 16), recomenda-se que os pesos atribuídos para cada indicador sejam iguais. Esta padronização facilita a comparação entre situações e tecnologias, e evita tendenciosidade por parte dos avaliadores. Entretanto, caso condicionantes especiais da tecnologia em seu uso particular a ser avaliado determinem a validade de alterar estes pesos, as justificativas devem ser muito bem fundamentadas.

A tecnologia de recuperação de áreas degradadas apresentada no exemplo obteve um Índice I. A. igual a 4,84, de um máximo possível de quinze (15). Com este resultado, para o caso estudado, a tecnologia é considerada recomendável para aplicação a campo, uma vez que atendeu à norma definida de minimizar os impactos ambientais negativos. Com a avaliação de uma série de situações de adoção, a depender da consistência desse resultado, a inovação tecnológica poderá ser recomendada para uso em larga escala, devido à sua contribuição positiva em relação ao impacto ambiental.



**Fig. 15.** Resultados agregados da Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária, AMBITEC-AGRO.



**Fig. 16.** Avaliação final, ponderação dos indicadores e expressão do Índice de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária, do sistema AMBITEC-AGRO.



## Discussão

O sistema de avaliação do impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária (AMBITEC-AGRO) consiste de um método prático e integrado, suficiente para aplicação a campo na avaliação de situações particulares de uso de tecnologias. Estas avaliações são passíveis de posterior integração em análise estatística para composição de avaliações gerais e comparações do desempenho ambiental de tecnologias em várias situações de uso, podendo servir como um instrumento de tomada de decisão sobre a viabilidade de recomendação de inovações tecnológicas agropecuárias. O método é de aplicação relativamente simples, por avaliadores devidamente treinados, permite ativa participação dos produtores adotantes da tecnologia, e serve para a comunicação e armazenamento das informações sobre impactos ambientais. A plataforma computacional é amplamente disponível, passível de distribuição e uso a baixo custo e permite a emissão direta de relatórios em forma impressa de fácil manuseio.

A notação e apresentação dos componentes que não têm efeito em relação a determinada tecnologia ou situação ambiental é importante para o usuário do sistema averiguar a adequabilidade do sistema proposto, já que a presença desses componentes reduz a potência do coeficiente de impacto daquele indicador. Estudos preliminares com o sistema indicaram que tecnologias que não envolvem extensa ocupação de área, como confinamentos animais e projetos agroindustriais, em sua dimensão pós-colheita, não são adequadamente avaliados pelo sistema proposto.

Um último comentário sobre esse ponto, é que deve-se levar em conta que a ocorrência de componentes de indicadores que não têm efeito em uma dada avaliação é conseqüência da formulação do método ter que ser suficientemente ampla para permitir aplicação a inovações tecnológicas em geral, e objetivar seu estudo sistêmico e sua comparação em qualquer situação de uso e ambiente de aplicação. Ainda assim, a avaliação final é expressa em um único índice de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária, de forma que todos os componentes, indicadores e aspectos devem ser integrados na avaliação. Obviamente, portanto, o mencionado índice de impacto deverá sempre ser explicitamente referido como tendo sido obtido pela aplicação do sistema aqui proposto.

Outra consideração importante sobre as limitações do sistema proposto resulta de seu direcionamento exclusivo a questões relativas à dimensão ecológica. É argumento corrente que as dimensões sociais e econômicas, igualmente fundamentais para a avaliação dos impactos de inovações tecnológicas no âmbito do desenvolvimento sustentável, devem ser integradas, compondo um único sistema (Barbier, 1988; Corkindale, 1993; Pinho & Pires, 1991). Por outro lado, reconhece-se que uma importante “brecha teórica” existe entre essas dimensões (Azqueta, 1992), fazendo do desenvolvimento de um sistema integrado um desafio metodológico. O AMBITEC-AGRO tem por base a consideração exclusiva de indicadores relativos a impactos ecológicos devido a uma escolha metodológica definida no contexto institucional. Outros sistemas dedicados à consideração das outras dimensões, cada qual envolvendo atores e unidades de medida específicas, estão sendo desenvolvidos para atender a esta demanda por um método compreensivo, que integre todas as dimensões.

A oportunidade de desenvolver um sistema dedicado à avaliação da dimensão ecológica, contudo, expande a experiência metodológica e a inserção da prática de AIA no contexto institucional, tanto em âmbito interno, permitindo a conscientização dos pesquisadores e administradores da pesquisa e da transferência de tecnologia, quanto no âmbito externo, trazendo à ordem do dia para produtores e administradores envolvidos com o agronegócio, o tema do impacto ambiental das atividades agropecuárias. Com esta base, sistemas teórica e metodologicamente mais complexos, que envolvam uma base analítica experimental mais sólida, podem ser desenvolvidos e propostos, com maior possibilidade de aceitação.

Com efeito, um sistema de AIA de atividades agropecuárias, baseado em análise multiatributo de indicadores nas dimensões de Ecologia da Paisagem, Qualidade Ambiental, Valores Socioculturais, Valores Econômicos e Gestão e Administração encontra-se presentemente em fase de validação (Campanhola & Rodrigues, 2001; Rodrigues & Campanhola, 2002). Dessa forma, o sistema AMBITEC-AGRO insere-se como uma etapa no paulatino processo educativo e evolutivo de melhoria da pesquisa e do desenvolvimento tecnológico agropecuário.

## Agradecimentos

O desenvolvimento do AMBITEC-AGRO é um resultado da oportunidade de contribuir em duas iniciativas institucionais cooperativas de busca de excelência na condução da pesquisa pública no Brasil. Primeiramente, o projeto estratégico da Secretaria de Administração Estratégica (SEA) da Embrapa Sede, que motivou e possibilitou aos autores engajarem-se no estudo. Do grupo de colegas que contribuíram no âmbito deste projeto devemos nossos agradecimentos especiais a Mariza M. T. L. Barbosa, ao amigo Antônio F. D. Ávila e a Morsyleide de F. Rosa pelas sugestões e incentivo. Igualmente agradecemos as sugestões oferecidas pelos colegas Odo Primavesi e Sérgio Ahrens. Junto ao “projeto políticas públicas” do GEOPI, na Unicamp, agradecemos aos amigos André T. Furtado, Claudenício Ferreira, Débora Mello, José Maria da Silveira, Marcelo Valle, Marco Polli, Maria Beatriz Bonacelli, Maria Ester dal Poz, Mauro Zackiewicz, Mirian Hasegawa, Rosana Corazza, Sérgio Salles, Solange Corder e Sônia Paulino.

O desafio de buscar respostas para a priorização de projetos de pesquisa e para a avaliação da contribuição de tecnologias agropecuárias para a sustentabilidade, que foi depositado ao primeiro autor no âmbito do PROCISUR, serviu de base para todo o esforço de pesquisa que culmina com este trabalho. Muitos amigos participaram desse desafio, e agradecimentos especiais são devidos a Roberto Bochetto (PROCISUR, Uruguai), Ernesto Viglizzo (INTA, Argentina), Emílio Ruz (INIA, Chile), Roberto Díaz (INIA, Uruguai), Celso Giraudo (INTA, Argentina), Guillermo Huerta (INTA, Argentina), Silvia Gálvez Anastassiou (INIA, Chile), Ana Berretta (INIA, Uruguai) e Renato F. de A. Veiga (IAC, Brasil).

A oportunidade de dedicar o tempo necessário ao estudo e à reflexão sobre avaliação de impactos ambientais de tecnologias agropecuárias, e de aprender sobre novas maneiras de enxergar a natureza, que nos ajudaram a moldar este trabalho e aparecerão em todas as nossas contribuições futuras, foi propiciada por uma bolsa de pesquisa da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP – processo nº 01/04496-3). Aos professores Mark T. Brown e H. T. Odum, do “Center for Environmental Policy” da “University of Florida” em Gainesville, agradecemos pela predisposição em oferecer esses ensinamentos.

## Referências

ANDREOLI, M.; TELLARINI, V. Farm sustainability evaluation: methodology and practice. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 77, p. 43-52, 2000.

AZQUETA, D. Social project appraisal and environmental impact assessment: a necessary but complicated theoretical bridge. **Development Policy Review**, v. 10, n. 3, p. 255-270, 1992.

BARBIER, E. B. Economic valuation of environmental impacts. **Project Appraisal**, v. 3, n. 3, p. 143-150, 1988.

BARBIER, E. B.; MARKANDYA, A.; PEARCE, D. W.; JOHANSSON, P. O. Sustainable agricultural development and project appraisal. **European Review of Agricultural Economics**, v. 17, n. 2, p. 181-196, 1990.

BARNTHOUSE, L.; BIDDINGER, G.; COOPER, W.; FAVA, J.; GILLETT, J.; HOLLAND, M.; YOSIE, T. (Ed.). **Sustainable environmental management**. Pellston: Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 1998. 102 p. (Pellston Series Workshops)

BISSET, R. Introduction to methods for environmental impact assessment. In: UNIT, P.E.I.A.a.P., Ed. **Environmental impact assessment**. The Hague: Martinus Nijhoff, 1983. p. 131-147. (Behavioural and Social Sciences, 14).

BISSET, R. Methods for environmental impact assessment: a selective survey with case studies. In: BISWAS, A. K.; GEPING, Q. (Ed.). **Environmental impact assessment for developing countries**. London: Tycoly International, 1987. p. 3-64.

BOCKSTALLER, C.; GIRARDIN, P.; van der WERF, H. M. G. Use of agro-ecological indicators for the evaluation of farming systems. **European Journal of Agronomy**, v. 7, p. 261-270, 1997.

BOLEA, M. T. E. **Las evaluaciones de impacto ambiental**. Madrid: Centro Internacional de Formación de Ciencias Ambientales. (Cuadernos del CIFCA, n.2). 1980. 100 p.

BORLAUG, N. E. "Factual errors and misinformation..." Norman Borlaug defends the Green Revolution. **Ecologist**, v. 27, n. 5, p. 211, 1997.

BOSSHARD, A. A methodology and terminology of sustainability assessment and its perspectives for rural planning. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 77, p. 29-41, 2000.

BOWERS, J.; HOPKINSON, P. The treatment of landscape in project appraisal: consumption and sustainability approaches. **Project Appraisal**, v. 9, n. 2, p. 110-118, 1994.

BROOKS, H. The concept of sustainable development and environmentally sound technology. In: United Nations. (Ed.). **Environmentally sound technology for sustainable development: advanced technology assessment system**. New York: United Nations, 1992. v.7, p. 19-25.

CAMPANHOLA, C.; SILVA, J. G. da. Desenvolvimento local e democratização dos espaços rurais. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, v. 17, n. 1, p. 11-40, 2000.

CAMPANHOLA, C.; RODRIGUES, G.S. Avaliação da sustentabilidade de atividades do turismo no meio rural. In: OLIVEIRA, C. G. S.; MOURA, J. C. D.; SGAI, M. (Ed.). **Turismo no espaço rural brasileiro: Anais do Congresso Brasileiro de Turismo Rural**. Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 269-275.

CAMPANHOLA, C.; RODRIGUES, G. S.; DIAS, B. F. Agricultural biological diversity. **Ciência e Cultura**, v. 50, n. 1, p. 10-13, 1998.

CANTER, L. W. **Environmental impacts of agricultural production activities**. Chelsea, MI: Lewis Publishers, 1986. 382 p.

CANTER, L. W. **Environmental Impact Assessment**. New York: McGraw-Hill, 1996. 660 p.

CASTRO, A. G. de; RODRIGUES, G. S.; FERREIRA, M. C. Proposta para a abordagem do dilema agricultura x meio ambiente. **Ciência e Cultura**, v. 40, n. 7, p. 646-651, 1988.

CORKINDALE, J. Recent developments in environmental appraisal. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 36, n. 1, p. 15-22, 1993.

COX, G. W.; ATKINS, M. D. **Agricultural ecology: an analysis of world food production systems**. San Francisco: W. H. Freeman and Co., 1979. 721 p.

DEE, N.; BAKER, J.; DROBNY, N.; DUKE, K.; WHITMAN, I.; FAHRINGER, D. An environmental evaluation system for water resource planning. **Water Resources Research**, v. 9, n. 3, p. 523-535, 1973.

DULLEY, R. D.; MIYASAKA, S. Agricultura sustentável e prioridade aos insumos agrícolas internos. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 24, n. 11, p. 29-33, 1994.

DUMANSKI, J.; BENTLEY, C. F.; BRKLACICH, M. Guidelines for evaluating sustainability of land development projects. **Entwicklung + Landlicher Raum**, v. 24, n. 3, p. 3-6, 1990.

EMBRAPA. Secretaria de Administração Estratégica. **III Plano Diretor da Embrapa**: realinhamento estratégico. Brasília: Embrapa - SPI, 1998. 36 p.

EMBRAPA MEIO AMBIENTE. **II Plano Diretor**: Embrapa Meio Ambiente - 2000 - 2003. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 33 p.

FERRARI, A. **Agrotóxicos, a praga da dominação**. Porto Alegre: Mercado Aberto, 1985. 87 p.

FERREIRA, C. T.; CARVALHO, F. C. de; CARMO, A. J. B. Evolução do setor de defensivos agrícolas no Brasil, 1964-83. **Agricultura em São Paulo**, v. 33, n. I-II, p. 1-53, 1986.

FLORES, M. X.; QUIRINO, T. R.; NASCIMENTO, J. C.; RODRIGUES, G. S.; BUSCHINELLI, C. Pesquisa para agricultura auto-sustentável. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 29, n. 1, p. 1-21, 1991a.

FLORES, M. X.; QUIRINO, T. R.; NASCIMENTO, J. C.; RODRIGUES, G. S.; BUSCHINELLI, C. **Pesquisa para agricultura auto-sustentável: perspectivas de política e organização na Embrapa.** Brasília: Embrapa-SEA, 1991b. 28p. (Embrapa-SEA. Documentos, 5).

GARDNER, J.; ROSELAND, M. Thinking globally: the role of social equity in sustainable development. **Alternatives**, v. 16, n. 3, p. 26-49, 1989.

GIRARDIN, P.; BOCKSTALLER, C.; van der WERF, H. Indicators, tools to evaluate the environmental impacts of farming systems. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 13, n. 4, p. 5-21, 1999.

GIRARDIN, P.; BOCKSTALLER, C.; van der WERF, H. Assessment of potential impacts of agricultural practices on the environment: the AGRO\*ECO method. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 20, p. 227-239, 2000.

GREEN, C. H.; TUNSTALL, S. M.; N'JAI, A.; ROGERS, A. Economic evaluation of environmental goods. **Project Appraisal**, v. 5, n. 2, p. 70-82, 1990.

HAQUE, M. M. Sustainable development and environment: a challenge to technology choice decision-making. **Project Appraisal**, v. 6, n. 3, p. 149-157, 1991.

IBAMA. **Avaliação de impacto ambiental: agentes sociais, procedimentos e ferramentas.** Brasília: IBAMA/DIRPED/DEDIC/DITEC, 1995. 134 p.

JOHANSEN, G. The Danish experience - the perspective of the ministry of environment. In: BOER, J.J. de; SADLER, B. (Ed.). **Environmental assessment of policies: briefing papers on experience in selected countries.** Zoetermeer, The Netherlands: Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, 1996. p. 47-50. (Strategic Environmental Assessment, 54).

LEE, N.; WALSH, F. Strategic environmental assessment: an overview. **Project Appraisal**, v. 7, n. 3, p. 126-136, 1992.

LEWANDOWSKI, I.; HARDTLEIN, M.; KALTSCHMITT, M. Sustainable crop production: definition and methodological approach for assessing and implementing sustainability. **Crop Sciences**, v. 39, p. 184-193, 1999.

LIMA, M. A. de. Emissão de gases do efeito estufa provenientes de sistemas agrícolas no Brasil. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, n. 17, p. 38-43, 2000.

LOWRANCE, R.; HENDRIX, P. F.; ODUM, E. P. A hierarchical approach to sustainable agriculture. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 1, n. 4, p. 169-173, 1986.

LUBCHENCO, J.; OLSON, A. M.; BRUBAKER, L. B.; CARPENTER, S. R.; HOLLAND, M. M.; HUBBELL, S. P.; LEVIN, S. A.; MacMAHON, J. A.; MATSON, P. A.; MELILLO, J. M.; MOONEY, H. A.; PETERSON, C. H.; PULLIAM, H. R.; A., REAL. L.; REGAL, P. J.; RISSER, P. G. The sustainable biosphere initiative: an ecological research agenda. **Ecology**, v. 72, n. 2, p. 371-412, 1991.

LUTZ, E.; MUNASINGHE, M. Integration of environmental concerns into economic analysis of projects and policies in an operational context. **Ecological Economics**, v. 10, n. 1, p. 37-46, 1994.

MARSDEN, T. Rural futures: the consumption countryside and its regulation. **Sociologia Ruralis**, v. 39, n. 4, p. 501-520, 1999.

MARTINS, R. A.; RODRIGUES, G. S. Efeitos potenciais do ozônio troposférico sobre as plantas cultivadas e o biomonitoramento ambiental. In: LIMA, M. A. de; CABRAL, O. M.; MIGUEZ, J. D. G. (Ed.). **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. cap. 6, p. 143-165.

MILARE, E. Estudo prévio de impacto ambiental no Brasil. In: MULLER-PLANTENBERG, C.; AB'SABER, A. N. (Ed.). **Previsão de impactos: o estudo de impacto ambiental no Leste, Oeste e Sul: experiências no Brasil, na Rússia e na Alemanha**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1994. p. 51-83.

MITCHELL, G.; MAY, A.; McDONALD, A. PICABUE: a methodological framework for the development of indicators of sustainable development. **International Journal of Sustainable Development and World Ecology**, v. 2, p. 104-123, 1995.

MORVARIDI, B.; WEISS, J. **Sustainable development and project appraisal: the economics of project appraisal and the environment**. Aldershot, UK: Edward Elgar Publishing, 1994. p. 184-196.



NEHER, D. Ecological sustainability in agricultural systems: definition and measurement. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 2, n. 3, p. 51-61, 1992.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. **OECD core set of indicators for environmental performance reviews**. Paris, 1993. (OECD. Environmental Monographs, 83).

OREA, D. G. **Evaluación de impacto ambiental**. Madrid: Editorial Agricola Española, 1998. 260 p.

PASCHOAL, A. D. O ônus do modelo da agricultura industrial. **Revista Brasileira de Tecnologia**, v. 14, n. 1, p. 17-27, 1983.

PESSOA, M. C. P. Y.; LUCHIARI Jr., A.; FERNANDES, E. N.; LIMA, M. A. de. **Principais modelos matemáticos e simuladores utilizados para análise de impactos ambientais das atividades agrícolas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1997. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 8).

PEZZEY, J. Sustainable development concepts: an economic analysis. **World Bank Environment Paper**, v. xiv, n. 2, p. 71, 1992.

PIMENTEL, D. Judicious use of pesticides - economic and environmental benefits. In: RODRIGUES, G.S. (Ed.). **Racionalização do uso de pesticidas no Cone Sul**. Montevideo: IICA/PROCISUR, 1998. p. 81-84. (IICA/PROCISUR. Dialogo, 50).

PIMENTEL, D.; STACHOW, U.; TAKACS, D. A.; BRUBAKER, H. W.; DUMAS, A. R.; MEANEY, J. J.; O'NEIL, J. A. S.; ONSI, D. E.; CORZILIUS, D. B. Conserving biological diversity in agricultural/forestry systems. **BioScience**, v. 42, p. 354-362, 1992.

PINFIELD, G. Strategic environmental assessment and land-use planning. **Project Appraisal**, v. 7, n. 3, p. 157-163, 1992.

PINHEIRO, S. L. G. Alternativas para avaliação de impactos ambientais, sociais e regionais na análise de projetos de desenvolvimento. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 28, n. 1, p. 47-70, 1990.

PINHO, P.; PIRES, A. R. Social impact analysis in environmental impact assessment: a portuguese agricultural case study. **Project Appraisal**, v. 6, n. 1, p. 2-6, 1991.

POORE, D.; SAYER, J. **The management of tropical moist forest lands: ecological guidelines**. Cambridge, UK: IUCN, 1991. 78 p.

PORTER, A. L. Technology assessment. **Impact assessment**. v. 13, p. 135-151, 1995.

PUIGNAU, J.P. (Ed.). **Valoración económica en el uso de los recursos naturales y el medio ambiente**. Montevideo: IICA/PROCISUR, 1998. 118 p. (IICA/PROCISUR. Dialogo, 51).

QUIRINO, T. R.; IRIAS, L. J. M.; WRIGHT, J. T. C.; RODRIGUES, G. S.; RODRIGUES, I.; CORRALES, F. M.; DIAS, E. C.; LUIZ, A. J. B.; CAVALCANTI, I. P. **Impacto agroambiental: perspectivas, problemas e prioridades**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1999. 184 p.

RODRIGUES, G. S. **Avaliação de impactos ambientais em projetos de pesquisas: fundamentos, princípios e introdução à metodologia**. Jaguariúna (SP): Embrapa Meio Ambiente, 1998a. 66 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 14).

RODRIGUES, G. S. Pesticide contamination in the South Cone: a review. **Ciência e Cultura**, v. 50, n. 5, p. 342-354, 1998b.

RODRIGUES, G. S. (Ed.). **Racionalización del uso de pesticidas en el cono sur**. Montevideo: IICA/PROCISUR, 1998c. 89 p. (IICA/PROCISUR. Dialogo, 50).

RODRIGUES, G. S. Conceitos ecológicos aplicados à agricultura. **Revista Científica Rural**, v. 4, n. 2, p. 155-166, 1999.

RODRIGUES, G. S. **Impacto das atividades agrícolas sobre a biodiversidade: causas e conseqüências**. In: GARAY, I.; DIAS, B. (Ed.). **Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais**. Petrópolis: Vozes, 2001. p. 128-139.

RODRIGUES, G. S.; BROWN, M. T.; MILLER, W.; RUZ, E.; RIQUELME, H. Natural resource valuation, environmental impact assessment, and sustainability: the role of the NIARs in the Southern Cone. In: PUIGNAU, J.P. (Ed.). **Valoración económica en el uso de los recursos naturales y el medio ambiente**. Montevideo: IICA/PROCISUR, 1998. p. 113-116. (IICA/PROCISUR. Dialogo, 51).

RODRIGUES, G. S.; BUSCHINELLI, C. C. de A.; IRIAS, L. J. M.; LIGO, M. A. V. **Avaliação de impactos ambientais em projetos de pesquisa II: avaliação da formulação de projetos - Versão I**. Jaguariúna (SP): Embrapa Meio Ambiente, 2000. 28 p. (Embrapa Meio Ambiente. Boletim de Pesquisa. 10).

RODRIGUES, G.S.; CAMPANHOLA, C. Indicadores para avaliação de impactos ambientais de atividades do Novo Rural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 15., 2002, Passo Fundo. **Equidade e eficiência na agricultura brasileira**. Passo Fundo: UFP/SOBER, 2002. 1 CD ROM

RODRIGUES, G. S.; RODRIGUES, I. A. A imagem do Brasil na mídia. In: QUIRINO, T. R.; IRIAS, L. J. M.; WRIGHT, J. T. C., (Ed.). **Impacto agroambiental: perspectivas, problemas e prioridades**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1999. p. 85-94.

ROSSI, R.; NOTA, D. Nature and landscape production potentials of organic types of agriculture: a check of evaluation criteria and parameters in two Tuscan farm-landscapes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 77, p. 53-64, 2000.

RUEGG, E. F.; PUGA, F. R.; SOUZA, M. C. M. de; UNGARO, M. T. S.; FERREIRA, M. da S.; YOKOMIZO, Y.; ALMEIDA, W. F. Impactos dos agrotóxicos sobre o ambiente e a saúde. In: MARTINE, G.; GARCIA, R. C. (Ed.). **Os Impactos sociais da modernização agrícola**. São Paulo, Brazil: Caetés, 1987. p. 171-207.

SADLER, B. (Ed.). **Environmental assessment in a changing world: evaluating practice to improve performance**. Canadian Environmental Assessment Agency and International Association for Impact Assessment, 1996. 248 p.

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente. Coordenadoria de Planejamento Ambiental. **Estudo de Impacto Ambiental - EIA**, Relatório de Impacto Ambiental - RIMA: Manual de Orientação. ISSN 0101-2623. São Paulo, 1992. 39 p.

SHIVA, V. Dr. Vandana Shiva responds. **Ecologist**, v. 27, n. 5, p. 211-212, 1997.

SILVEIRA, J. M. F. J. da; FUTINO, A. M. O Plano nacional de defensivos agrícolas e a criação da indústria brasileira de defensivos. **Agricultura em São Paulo**, v. 37, n. 3, p. 129-146, 1990.

SIPPE, R. A. D. The Australian state experience - Western Australia. In: BOER, J.J. de; SADLER, B. (Ed.). **Environmental assessment of policies: briefing papers on experience in selected countries**. Zoetermeer, The Netherlands: Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, 1996. p. 5-26. (Strategic Environmental Assessment, 54).

SMITH, C. S.; McDONALD, G. T. Assessing the sustainability of agriculture at the planning stage. **Journal of Environmental Management**, v. 52, p. 15-37, 1998.

SURHEMA-GTZ. **Manual de avaliação de impactos ambientais**. Curitiba, PR: Secretaria Especial do Meio Ambiente, 1992.

TACCONI, L.; TISDELL, C. Holistic sustainable development: implications for planning processes, foreign aid and support for research. **Third World Planning Review**, v. 15, n. 4, p. 411-428, 1993.

TITI, A. el; BOLLER, E. F; GENDRIER, J. P. (Ed.). **Producción integrada: principios y directrices técnicas**. [S.l.]: IOBC, 1995. 22p. (IOBC/WPRS/Bulletin, v. 18, n. 1.1).

van PELT, M. J. F. Ecologically sustainable development and project appraisal in developing countries. **Ecological Economics**, v. 7, n. 1, p. 19-42, 1993.

van PELT, M. J. F. Sustainability-oriented appraisal of agricultural projects. **Journal of International Development**, v. 6, n. 1, p. 57-78, 1994.

VITOUSEK, P. M.; EHRLICH, P. R.; EHRLICH, A. H.; MATSON, P. A. Human appropriation of the products of photosynthesis. **BioScience**, v. 36, n. 6, p. 368-373, 1986.

WARFORD, J. Environment, growth and development. **Project Appraisal**, v. 2, n. 2, p. 75-87, 1987.

**Embrapa**

---

*Meio Ambiente*

Ministério da Agricultura,  
Pecuária e Abastecimento

