

**Avaliação Ambiental Integrada para  
Licenciamento de Operação de Áreas  
de Pesquisa (Loap) com Plantas  
Geneticamente Modificadas**

**“Estudo de Caso do Mamão Geneticamente  
Modificado para Resistência ao Vírus da  
Mancha Anelar”**

**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**

*Luis Carlos Guedes Pinto*

Presidente

*Silvio Crestana*

Vice-Presidente

*Alexandre Kalil Pires*

*Hélio Tollini*

*Ernesto Paterniani*

*Marcelo Barbosa Saintive*

Membros

**Diretoria Executiva da Embrapa**

*Silvio Crestana*

Diretor-Presidente

*Kepler Euclides Filho*

*José Geraldo Eugênio de França*

*Tatiana Deane de Abreu Sá*

Diretores-Executivos

**Embrapa Meio Ambiente**

*Paulo Choji Kitamura*

Chefe Geral

*Ladislau Araújo Skorupa*

Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

*Maria Cristina Martins Cruz*

Chefe-Adjunto de Administração

*Ariovaldo Luchiari Junior*

Chefe-Adjunto de Comunicação e Negócios



ISSN 1516-4675

Julho, 2005

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

## ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 30***

### **Avaliação Ambiental Integrada para Licenciamento de Operação de Áreas de Pesquisa (Loap) com Plantas Geneticamente Modificadas**

**“Estudo de Caso do Mamão  
Geneticamente Modificado para  
Resistência ao Vírus da Mancha  
Anelar”**

**Geraldo Stachetti Rodrigues  
Kátia Regina Evaristo de Jesus  
Deise Maria Fontana Capalbo  
Paulo Ernesto Meissner Filho**

Jaguariúna, SP  
2005

**Embrapa Meio Ambiente**

Rodovia SP 340 - Km 127,5 - Tanquinho Velho  
Caixa Postal 69 - Cep.13820-000, Jaguariúna, SP  
Fone: (19) 3867-8750  
Fax: (19) 3867-8740  
www.cnpma.embrapa.br  
sac@cnpma.embrapa.br

**Comitê de Editoração da Unidade**

Presidente: Ladislau Araújo Skorupa  
Secretário-Executivo: Sandro Freitas Nunes  
Bibliotecário: Maria Amélia de Toledo Leme  
Membros: Cláudio César de Almeida Buschinelli; Heloisa Ferreira Filizola;  
Manoel Dornelas de Souza; Maria Conceição Peres Young Pessoa; Marta  
Camargo de Assis; Osvaldo Machado R. Cabral  
Normalização Bibliográfica: Maria Amélia de Toledo Leme  
Editoração eletrônica: Silvana Cristina Teixeira

1ª edição

**Todos os direitos reservados.**

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

---

Rodrigues, Geraldo Stachetti

Avaliação ambiental integrada para licenciamento de operação de  
áreas de pesquisa (Loap) com plantas geneticamente modificadas:  
estudo de caso do mamão geneticamente modificado para resistência  
ao vírus da mancha anelar / Geraldo Stachetti Rodrigues, Kátia R.  
Evaristo de Jesus, Deise Maria Fontana Capalbo e Paulo Ernesto  
Meissner Filho. -- Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005.

55 p. -- (Embrapa Meio Ambiente. Boletim de Pesquisa, 30).

1. Avaliação de impacto ambiental. 2. Organismos geneticamente  
modificados. 3. Biossegurança. 4. Biotecnologia. I. Jesus, Kátia R.R.  
de. II. Capalbo, Deise M. Fontana. III. Meissner Filho, Paulo E. IV.  
Titulo.

---

CDD 333.71

© Embrapa 2005

# Sumário

Resumo .....	6
Abstract .....	8
<b>1. Introdução</b> .....	<b>9</b>
1.1. O mercado da biotecnologia no Brasil e no mundo .....	9
1.2. Estudos sobre Impactos Ambientais de plantas geneticamente modificadas (GM) .....	10
1.2.1 Conservação da Biodiversidade e a Legislação Brasileira .....	11
1.3. Legislação Brasileira sobre Organismos Geneticamente Modificadas (GM) .....	13
1.4. Objetivo e justificativa do trabalho .....	13
<b>2. Bases Metodológicas de Estudos de Impactos Ambientais (EIA)</b> .....	<b>14</b>
2.1. Métodos de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) .....	18
2.1.1. Métodos "ad hoc" .....	18
2.1.2. Matrizes .....	19
2.1.3. Listas de verificação .....	19
2.1.4. Sobreposição de Mapas .....	20
2.1.5. Redes de Interação .....	20
2.1.6. Diagramas de Sistemas .....	20
2.1.7. Modelos de Simulação .....	20
2.2. Sistemas para Análise de Impacto Ambiental de Projetos .....	21
2.3. Sistemas para Análise de Impacto Ambiental de Tecnologias .....	22
2.4. Síntese das metodologias citadas .....	22
<b>3. Estudo de Caso do Mamão Geneticamente Modificado para Resistência ao Vírus da Mancha Anelar</b> .....	<b>23</b>
3.1. Caracterização do problema .....	23
3.2. Histórico da construção genética do mamão transgênico .....	23
3.2.1. Organismo doador .....	24
3.2.2. Organismo receptor .....	24
3.3. Procedimentos para experimentação em campo .....	25
<b>4. Estudo de Caso Empregando a Matriz de Leopold</b> .....	<b>26</b>
4.1. Descrição da Metodologia de AIA Matriz de Leopold .....	27
4.2. Premissas para avaliação da tecnologia .....	29
4.3. Resultados da Avaliação de Impactos Ambientais com a Matriz de Leopold .....	30
4.4. Discussão da Avaliação de Impactos Ambientais com a Matriz de Leopold .....	38
<b>5. Avaliação Ex Ante de Impactos Ambientais Aplicada à Formulação de Projeto de Pesquisa</b> .....	<b>38</b>
5.1. Introdução .....	38
5.2. Metodologia .....	38
5.3. Resultados da avaliação ex-ante do projeto de pesquisa .....	39
5.4. Avaliação final do projeto de pesquisa de desenvolvimento tecnológico .....	41
5.5. Discussão da avaliação de impacto ambiental do projeto de pesquisa .....	42
<b>6. Avaliação Ex Ante dos Impactos Ambientais da Inovação</b> .....	<b>42</b>
6.1. Introdução Tecnológica Empregando-se o Sistema Ambitec-Agro .....	42
6.2. Resultados da avaliação de impactos da tecnologia com o AMBITEC-AGRO .....	44
6.3. Conclusão da avaliação de impactos da tecnologia com o AMBITEC-AGRO .....	48
<b>7. Análise Comparativa Entre os Três Métodos Utilizados para Avaliação Ax Ante de Impactos Ambientais do Projeto de Pesquisa no Caso "Variedade de Mamão Geneticamente Modificado para Resistência ao Vírus da Mancha Anelar"</b> .....	<b>49</b>
<b>8. Referências Bibliográficas</b> .....	<b>50</b>

# **Avaliação Ambiental Integrada para Licenciamento de Operação de Áreas de Pesquisa (Loap) com Plantas Geneticamente Modificadas**

## **“Estudo de Caso do Mamão Geneticamente Modificado para Resistência ao Vírus da Mancha Anelar”**

---

*Geraldo Stachetti Rodrigues<sup>1</sup>  
Kátia Regina Evaristo de Jesus<sup>2</sup>  
Deise Maria Fontana Capalbo<sup>3</sup>  
Paulo Ernesto Meissner Filho<sup>4</sup>*

### **Resumo**

O Brasil possui oportunidades, competência, infra-estrutura institucional e legislação que permitem desenvolver a biotecnologia agropecuária com satisfatórias condições de biossegurança. A incorporação de construções genéticas para resistência a pragas e doenças, adaptação de variedades a condições ambientais adversas, com acréscimo de valor nutricional ou inclusão de características de valor farmacêutico, podem consolidar a posição do país na produção de grãos, fibras e oleaginosas de maior valor agregado.

Ao lado dos estudos de segurança alimentar, são necessárias respostas que garantam a segurança de produtos geneticamente modificados para o meio ambiente. Para tanto, métodos científicos devem ser utilizados na construção de cenários que possibilitem determinar o alcance dos efeitos ambientais de organismos geneticamente modificados, com potencial de causar impacto ambiental negativo, antes mesmo que sejam realizados testes de campo.

O estudo destas possíveis influências pode ser realizado empregando-se avaliações de impactos ambientais (AIAs), que definem-se como procedimentos para a previsão, a análise e a seleção de tecnologias, projetos e políticas de desenvolvimento, que minimizem alterações negativas da qualidade ambiental.

---

<sup>1</sup> Ecólogo, Ph.D. em Ecologia e Biologia Evolutiva, Embrapa Meio Ambiente, Rodovia SP 340 - Km 127,5 - Cep 13820-000, Jaguariúna, SP. stacheti@cnpma.embrapa.br

<sup>2</sup> Bióloga, Ph.D. em Biotecnologia, Embrapa Meio Ambiente, Rodovia SP 340 - Km 127,5 - Cep 13820-000, Jaguariúna, SP. katiareg@cnpma.embrapa.br

<sup>3</sup> Engenheira de Alimentos, Doutora em Bioengenharia, Embrapa Meio Ambiente, Rodovia SP 340 - Km 127,5 - Cep 13820-000, Jaguariúna, SP. deise@cnpma.embrapa.br

<sup>4</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Fitopatologia/Virologia, Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, Rua Embrapa s/nº, Cx Postal 7, Cep 44380-000, Cruz das Almas, BA. meissner@cnpmf.embrapa.br

Com a finalidade de mapear as metodologias comumente empregadas para a realização de AIAs e a sua aplicabilidade para o caso dos OGM, foi realizada uma análise comparativa de três métodos: *Matriz de Leopold*; *Avaliação ex-ante de impactos ambientais aplicada ao projeto de pesquisa*; e *Avaliação ex-ante dos impactos ambientais da inovação tecnológica empregando-se o sistema AMBITEC-AGRO*, para o caso do mamão geneticamente modificado para resistência ao vírus da mancha anelar.

Os resultados indicam a importância dos procedimentos de avaliação de tecnologias no Brasil, uma vez que algumas janelas de oportunidade de mercado em biotecnologia têm sido identificadas, mas encontram-se ainda reprimidas devido a questões de percepção pública e sua consequente influência na legislação.

De maneira geral, como a Matriz de Leopold foi originalmente formulada para a construção civil e obras de engenharia, cerca de 90% das células não se aplicam à análise de OGMs, fazendo com que a avaliação referente à tecnologia da transgenia se realize de maneira superficial, atribuindo ao avaliador toda a responsabilidade de elencar os impactos possíveis a serem analisados. Por outro lado, a análise *ex ante* do projeto de pesquisa mostra-se como uma análise inclusiva dos riscos potenciais da tecnologia. Da mesma maneira, o Sistema AMBITEC-AGRO apresenta maior versatilidade podendo ser aplicado em situação *ex ante* ou *ex post*. A integração de um conjunto de 38 componentes agrupados em oito indicadores permite uma análise abrangente do impacto da inovação tecnológica. Finalmente, por apresentar ponderações automatizadas, possibilita uma maior imparcialidade do avaliador.

# Integrated Environmental Evaluation for Licensing the Operation of Research Areas (LOAP) with Genetically Modified Plants

## Case Study of the Papaya Genetically Modified for Resistance to the Ringspot Virus

---

### Abstract

There are in Brazil timely opportunities, and adequate competence, institutional infrastructure and legislation for biotechnological developments in agriculture, under satisfactory conditions of bio-safety. The inclusion of genetic constructions for plant resistance to pests and diseases, varietal adaptations to adverse environmental conditions, with improvement in nutritional value and pharmaceutical characteristics, may contribute to the consolidation of the country's leading position in grain, fiber and oilseed production with increased value.

Beside the required food safety studies, there is a need for answers regarding the safety of genetically modified products to the environment. For such, scientific methods must be applied for the assessment of the varied scenarios of environmental effects of genetically modified organisms (GMOs) with potential to effect negative impacts, even before assays can be carried-out under field conditions.

Studies of potential impacts are well performed with Environmental Impact Assessments (EIAs), defined as procedures to foresee, evaluate and allow the selection of mitigation measures for the negative effects of technologies, projects, and policies that may affect environmental quality.

Aiming at exercising some methods usually used for the EIA at the institutional context, and their applicability to the case of GMOs, a comparative assessment of three methods (Leopold Matrix, *Ex-ante* EIA applied to research project formulations, and EIA of Agricultural Technological Innovations – AMBITEC-AGRO) was carried-out for the case of the *Papaya Genetically Modified for Resistance to the Ringspot Virus* (PRSV).

The results indicate the importance of technological impact assessments in Brazil, in a time when market opportunities for biotechnological innovations are being identified, while there are restrictions imposed by public perceptions and their influences on legislation enactment.

In general, due to its original formulation for engineering applications, some 90% of the Leopold Matrix cells remained blank, not fitting well the assessment of GMOs impacts. On the other hand, the *ex-ante* EIA applied to research project formulations allowed an inclusive assessment of potential impacts of the GMO technology. Likewise, the AMBITEC-AGRO System showed versatility, being appropriately indicated for *ex ante* and *ex post* assessments. The integration of a set of 38 components grouped in eight indicators, favor a comprehensive analysis of the technological innovation. Additionally, the automatic weighing performed in the method results in more impartial evaluations.



## 1. Introdução

### 1.1. O mercado da biotecnologia no Brasil e no mundo

A grande relevância atualmente depositada na pesquisa em biotecnologia deve-se, de um lado, ao leque de possibilidades que se abrem dadas as inovações científicas em um ramo de desenvolvimento tão recente quanto acelerado; por outro, deve-se à ampla gama de negócios que têm emergido das modernas aplicações da biotecnologia. Setores importantes da economia, como a indústria alimentícia, a veterinária e médico/farmacêutica, a agropecuária, entre outros, são já usuários de inovações biotecnológicas. Entretanto o ambiente institucional e os cenários econômicos, políticos e legais têm, por vezes, dificultado o desenvolvimento da Biotecnologia no Brasil.

A perspectiva de rápidos progressos atualmente obtidos em aplicações biotecnológicas, os quais terão impactos relevantes em setores importantes da economia nacional, determina que é necessário prover condições institucionais tanto para absorver como para gerar as inovações. Caso contrário, além da falta de base tecnológica para desenvolvimento competitivo, corre-se o risco de perder posições já alcançadas, podendo assim, levar o Brasil à posição de mero consumidor do conhecimento e da tecnologia gerados em outros países.

É geralmente aceito que a capacidade de produzir novos conhecimentos é hoje um fator crítico na distribuição do poder econômico no mundo, ou seja, países desenvolvidos científica e tecnologicamente se diferenciam cada vez mais daqueles que simplesmente consomem o conhecimento. Nesse sentido, o desenvolvimento de inovações com elevado grau de agregação tecnológica, como são os desenvolvimentos biotecnológicos, apresenta importante "efeito de transbordamento" (*spinoffs*), ou seja, contribui para a formação de capacidades intelectuais, institucionais e corporativas, que favorecem outros desenvolvimentos em setores relacionados – no caso em pauta, o setor agropecuário, cuja expansão tem sido motor da retomada do crescimento econômico nacional.

Segundo Abreu et al. (1998) e Campanhola et al. (1998), a agrobiodiversidade é um componente crítico da biodiversidade global, uma vez que mais de 75 % da produção mundial de alimentos é obtida pelo cultivo de pouco mais de 25 espécies domésticas de plantas e animais, sendo que o manejo, a conservação e a ampliação desses recursos genéticos é essencial para a segurança alimentar do mundo. Este fato vai ao encontro de outra grande necessidade, qual seja, de aumento de produtividade e sustentabilidade dos sistemas de produção. Assim, a identificação de germoplasma animal e vegetal altamente produtivo e adaptado às diversas condições ecológicas é uma prioridade mundial, reconhecida pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO).

Como exemplo pode ser utilizado o caso do mercado mundial de sementes melhoradas que movimentou em 2001 US\$ 16,7 bilhões, dos quais 18% (ou seja US\$ 3

bilhões) correspondem as transações de sementes geneticamente modificadas (GM) e deste montante 95% correspondem a apenas três cultivos: milho, soja e algodão (Dinâmica do Desenvolvimento Tecnológico, 2003). O mercado brasileiro de sementes movimenta algo em torno de US\$ 1 bilhão ao ano (Pimenta-Bueno, 2000) e embora ainda haja restrições à produção de cultivos transgênicos no país, existem em distintos órgãos de pesquisa, especialmente na Embrapa, variedades que podem rapidamente alcançar escala de produção.

A utilização de algumas biotecnologias permite à indústria de alimentos um aumento de produtividade com redução de custos, e principalmente, com a melhoria na qualidade de alguns produtos. Estima-se no caso da soja geneticamente modificada, uma redução dos custos em torno de US\$ 8 a US\$ 25/ha, o que explicaria a sua rápida propagação (Buainain & Silveira, 2003). Por isso, deve ser uma prioridade o rigor científico quanto à avaliação da segurança alimentar destes produtos para os consumidores, de forma a garantir liberação para comercialização somente daqueles comprovadamente considerados seguros.

## **1.2. Estudos sobre Impactos Ambientais de plantas geneticamente modificadas (GM)**

Um levantamento recente realizado pelo “International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications” (ISAAA, 2003) indica que a área global cultivada anualmente com plantas transgênicas supera 59 milhões de hectares: cerca de 40 plantas GM estão liberadas para plantio e comercialização, enquanto o milho GM foi o que registrou maior crescimento em 2002, cuja área plantada teve uma expansão de 27% (12 milhões de hectares) em relação a 2001. A área da soja registou um crescimento menor, de cerca de 10% em 2002, apesar de representar cerca de 50% da área total da soja no mundo, ou seja, 36 milhões de hectares em 2002.

O desenvolvimento de plantas e organismos geneticamente modificados (OGM) em laboratório tem a sua segurança garantida através de métodos e procedimentos estabelecidos, geralmente em ambientes físicos bem isolados, onde são garantidas condições de segurança. Os códigos de práticas adequadas de produção (PAP) e de boa manufatura (GMP) europeus ou dos Estados Unidos, são suficientemente explícitos e contundentes no que se refere a biossegurança pessoal e ambiental.

Entre os temas fundamentais que são objetos de regulação, destaca-se a biossegurança, que compreende normas para reduzir os riscos de emprego destas técnicas e insumos à saúde, alimentação, sistemas produtivos e meio ambiente. Estas normas buscam resguardar os interesses públicos e privados, facilitar o comércio e a transferência de tecnologia, estabelecendo para o meio, os padrões e práticas aceitas no âmbito internacional.

O fato de identificar uma característica particular de um OGM como um perigo, não significa que seja uma situação de risco. A manifestação desse perigo dependerá da situação específica da liberação, isto é, onde e como será realizada e em que escala será feita. Estes aspectos devem ser levados em conta para identificar e estimar as conseqüências dos perigos, caso estes ocorram. É conveniente levar em consideração as conseqüências que cada perigo

possa acarretar direta ou indiretamente num curto período de tempo, como descrito a seguir (Guilherme, 2004):

- Deslocar ou erradicar populações de organismos;
- Modificar o tamanho das populações das espécies ou a composição da comunidade.

De maneira geral, poderiam ser apresentadas as seguintes situações de risco para o caso de uma planta GM (Siqueira et al., 2004):

- Transferência de material genético;
- Instabilidade fenotípica e genética;
- Patogenicidade, toxicidade, alergenicidade;
- Sobrevivência, estabelecimento e disseminação além dos limites estabelecidos;
- Efeitos não intencionais da transformação genética.

A avaliação da segurança ambiental de uma variedade vegetal GM para uso agrícola deve considerar as possíveis influências da planta modificada, ou das práticas associadas ao seu cultivo, sobre os compartimentos ambientais. O estudo das possíveis influências pode ser realizado empregando-se avaliações de impactos ambientais (AIAs), que definem-se como procedimentos para a previsão, a análise dos efeitos ambientais de projetos, ações e políticas de desenvolvimento que impliquem em alteração da qualidade ambiental (Rodrigues, 1998).

Assim, dentre as possibilidades de aplicação de AIAs, pode-se realizar a avaliação de tecnologias, das suas potencialidades e possíveis implicações, positivas ou negativas, para a conservação não só da qualidade ambiental mas também dos recursos naturais, permitindo a seleção de alternativas na tomada de decisão em relação ao desenvolvimento sustentável.

A Avaliação de Impactos Ambientais é uma medida mitigatória eficaz para enfrentar os desafios cada vez maiores da degradação do meio ambiente e principalmente que possibilita uma maior atenção à conservação da biodiversidade, podendo atuar em três momentos: prevenindo, monitorando e restaurando.

Dessa maneira, é um procedimento que compreende as etapas de: avaliação, gerenciamento e a comunicação de risco (Lajolo & Nutti, 2003): i) A avaliação de risco é a caracterização da natureza qualitativa e quantitativa dos efeitos adversos em uma população ou em um ambiente; implica em reunir sistematicamente as informações disponíveis acerca dos riscos potenciais, permitindo sua identificação e avaliação dos seus efeitos; ii) O gerenciamento (ou manejo) do risco corresponde às medidas de controle ou mitigação dos efeitos, ou ainda, na busca de políticas de regulamentação; iii) A comunicação de risco é a parte relativa à informação à sociedade e aos segmentos envolvidos, como governo, institutos científicos, usuários, etc.

### **1.2.1 Conservação da Biodiversidade e a Legislação Brasileira**

Uma janela de oportunidade surge para o Brasil a partir das possibilidades que emergem da agricultura para a produção de compostos naturais de alto valor no mercado

internacional. Qualquer que seja a política do governo com relação à pesquisa em biotecnologia, esta deve levar em consideração a necessidade de se melhorar os conhecimentos sobre os valiosos princípios ativos escondidos na flora brasileira e também à necessidade de se preservar aquelas espécies que, aparentemente, não teriam valor no presente momento, mas que podem vir a ter grande importância econômica no futuro. O desenvolvimento da agricultura brasileira vem impondo importantes impactos à biodiversidade, com conseqüências tanto do ponto de vista ambiental (Rodrigues, 2001) quanto dos pontos de vista econômico e de manejo (Campanhola et al., 1998). Estes impactos devem ser levados em consideração quando da avaliação da biossegurança de OGMs.

Nesse contexto, a conservação e o uso racional da biodiversidade ou diversidade biológica, que refere-se a toda a variação biológica do planeta, deve enfatizar as áreas e ecossistemas manejados pelo homem, em especial as áreas agrícolas e florestais, uma vez que estas correspondem na atualidade a aproximadamente 95% dos ambientes terrestres. Ademais, a maioria dos esforços de conservação vêm enfatizando a preservação de um pequeno número de espécies de plantas e animais, enquanto que a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas são, na realidade, dominados por um enorme número de pequenos organismos como insetos e fungos (Pimentel et al., 1992).

Por exemplo, atualmente são atribuídas aos microrganismos funções importantes, como controle biológico de pragas e doenças, fixação biológica de nitrogênio, biodegradação de resíduos, processos associados a transformações metabólicas, além de importantes descobertas associadas a novos fármacos, enzimas e outros produtos naturais. Dessa maneira, ferramentas para a identificação e descoberta de microrganismos com funções biológicas importantes têm sido exploradas, com a finalidade de ampliar as informações sobre a megadiversidade brasileira. Estes dados, aliados aos conhecimentos mais tradicionais como manejo de risco e gerenciamento de impactos de novas tecnologias, tendem a salvaguardar este patrimônio natural. Para regulamentar a matéria do ponto de vista ambiental, foi editada a Resolução nº 305/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, além de Instruções Normativas específicas do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis – IBAMA.

De maneira geral, foram instituídos alguns órgãos federais destinados a atribuir eficácia à legislação ambiental: o Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama) compreende o Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama, órgão normativo, consultivo e deliberativo); o Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal (órgão central com atribuições de coordenação, supervisão e controle da Política Nacional do Meio Ambiente); e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, o órgão executivo).

Ainda compõem o Sisnama outros órgãos da administração federal, fundações públicas voltadas à proteção do meio ambiente, entidades de poderes executivos, estaduais e municipais (Secretarias Estaduais e Municipais do Meio Ambiente; Agências Ambientais – Cetesb/Feema/Copam/IAP/CRA e outras), nas respectivas jurisdições.

### **1.3. Legislação Brasileira sobre Organismos Geneticamente Modificadas (GM)**

A Presidência da República sancionou, em março de 2005, a Lei nº 11.105 que estabelece normas de segurança e mecanismos de fiscalização de atividades que envolvam organismos geneticamente modificados – OGM e seus derivados, e dá outras providências. Esta nova legislação, cuja discussão iniciou-se em outubro de 2003, vem substituir a Lei nº 8.974/1995 e outros dispositivos legais que atualmente regulam as atividades envolvendo organismos geneticamente modificados e seus derivados no Brasil.

A grande vitória para as pesquisas com OGM no Brasil é o fim da exigência do RET – Registro Especial Temporário, para organismos geneticamente modificados considerados afins de agrotóxicos. Isto porque o art. 39 põe fim à aplicação da Lei nº 7.802/1989 (Lei de Agrotóxicos) aos OGM e seus derivados, exceto para os casos nos quais eles sejam desenvolvidos para servir de matéria-prima para a produção de agrotóxicos. Nestes casos, continuam em vigor as exigências para obtenção de RET.

A Lei aprovada pelo Congresso Nacional cria o Sistema de Informações em Biossegurança – SIB, destinado à gestão das informações decorrentes das atividades de análise, autorização, registro, monitoramento e acompanhamento das atividades envolvendo OGM e seus derivados e que visa dar maior transparência e divulgação às atividades desempenhadas pelos órgãos envolvidos nesta questão. O SIB será alimentado pelos órgãos e entidades de registro e fiscalização.

### **1.4. Objetivo e justificativa do trabalho**

Com a finalidade de mapear as metodologias comumente empregadas para a realização de AIAs e a sua aplicabilidade para o caso dos OGM, foi realizada uma análise comparativa de três métodos: Matriz de Leopold; Avaliação ex-ante de impactos ambientais aplicada ao projeto de pesquisa; e Avaliação ex-ante dos impactos ambientais da inovação tecnológica empregando-se o sistema AMBITEC-AGRO, para o caso do mamão geneticamente modificado para resistência ao vírus da mancha anelar.

A ausência de um protocolo definido para realizar Avaliações de Impactos Ambientais de OGM resultou em uma certa defasagem na quantidade de informações sobre este tema se compararmos os dados já disponíveis sobre a avaliação da segurança alimentar de organismos geneticamente modificados. Esta escassez de dados acerca deste tema não diminui a necessidade de respostas que garantam a segurança de produtos geneticamente modificados para o meio ambiente.

Dessa maneira, com a proposta de oferecer um amplo espectro de metodologias para que o avaliador desenvolva o seu senso crítico e que futuramente possibilite a proposição de uma metodologia de consenso no tange OGM, são apresentadas aqui três diferentes metodologias envolvendo o mesmo objeto de estudo. A precisão, clareza e utilidade dos direcionamentos resultantes desta análise podem sinalizar para o pesquisador tanto correções no delineamento do experimento em campo como também qual proposta metodológica se aplica melhor a sua tecnologia.

## 2. Bases Metodológicas de Estudos de Impactos Ambientais (EIA)

**IMPACTO:** "Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas, ou biológicas do ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetem: 1. a saúde, segurança e bem estar da população; 2. as atividades sociais ou econômicas; 3. a biota; 4. as condições estéticas e sanitárias do ambiente; 5. a qualidade dos recursos naturais" (São Paulo, 1992).

O processo de avaliação dos impactos ambientais apresenta diversas etapas que geralmente consistem em:

- 1- delimitar a área a ser estudada e definir o problema;
- 2- identificar os efeitos ambientais mais prováveis;
- 3- prever a magnitude dos impactos prováveis;
- 4- avaliar a significância dos impactos ambientais prováveis para cada alternativa de desenvolvimento;
- 5- comunicar os resultados da avaliação, incluindo recomendações sobre as melhores alternativas.

O delineamento mais detalhado do processo do EIA envolve decisões e retroalimentações. As fases que compreendem de maneira detalhada o processo são as seguintes (segundo Kozlowski, 1989; Wood, 1995; Barrow, 1997, citados por Christofolletti, 2002 – Fig. 1):

- a) Etapa preliminar: consiste no planejamento e gestão para especificar os problemas e providenciar os dados para a avaliação. Nesta fase realiza-se a descrição da proposta inicial e verifica-se se há necessidade de elaborar o EIA.
- b) Avaliação preliminar da proposta: geralmente é realizada para decidir se há necessidade de elaborar a avaliação minuciosa e profunda dos impactos ambientais. Pode-se chegar à opção de prescindir dos estudos, de proceder a relatório e avaliação parciais, ou relatório completo com análises intensas.
- c) Delineamento do projeto: são definidos os parâmetros, as metas, as normas dos estudos (profundidade, temas e tempo disponível), escolha da abordagem, formação da equipe, organização do orçamento, etc. Pode ser realizada uma audiência pública para avaliação do delineamento do projeto.
- d) Descrição do meio ambiente: é realizada a coleta de dados para as variáveis estabelecidas como relevantes no projeto.
- e) Identificação dos impactos: é realizado utilizando-se as observações, previsão, modelagem e a partir daí fica determinado se os impactos ocorrerão.
- f) Avaliação: procura-se interpretar ou determinar a significância, em termos de escala espacial e de magnitude, com indicação sobre a confiabilidade e

probabilidades. Esta fase pode envolver ponderações e transformações dos dados para permitir comparações ou facilidade de comunicação. Deve-se considerar as alternativas do desenvolvimento dos impactos e, em caso afirmativo, propostas para a mitigação dos seus efeitos.

- g) Elaboração do relatório preliminar do EIA: este servirá como documento para audiência pública, prevendo-se modificações como processo de retroalimentação para a elaboração do relatório final.
- h) Tomada-de-decisão sobre o relatório: aprovando ou rejeitando a implantação do projeto em face das considerações e análises apresentadas sobre as alternativas propostas.
- i) Acompanhamento do processo em função das previsões realizadas: esta fase serve também para detectar desvios ou surgimento de impactos imprevistos.

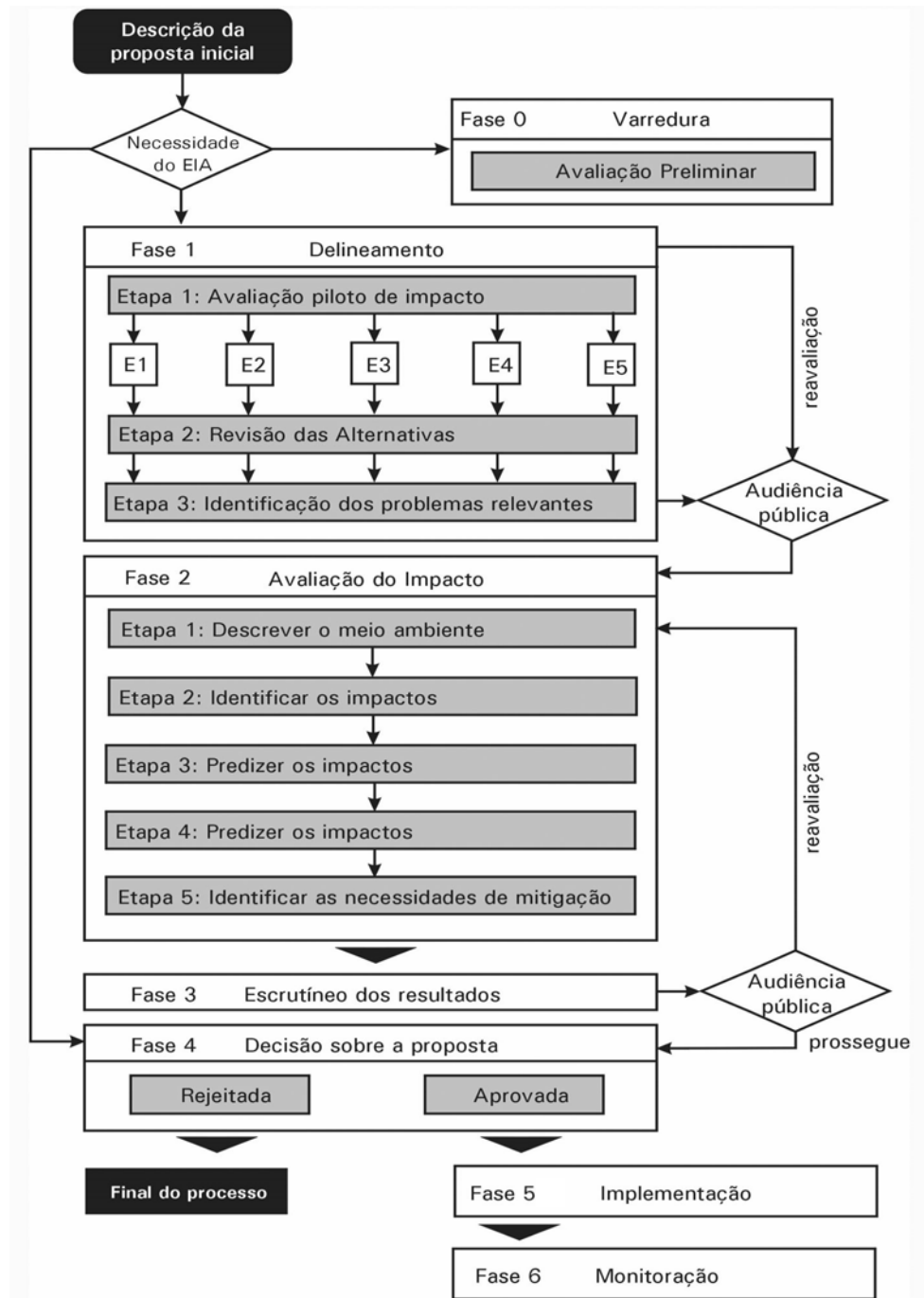
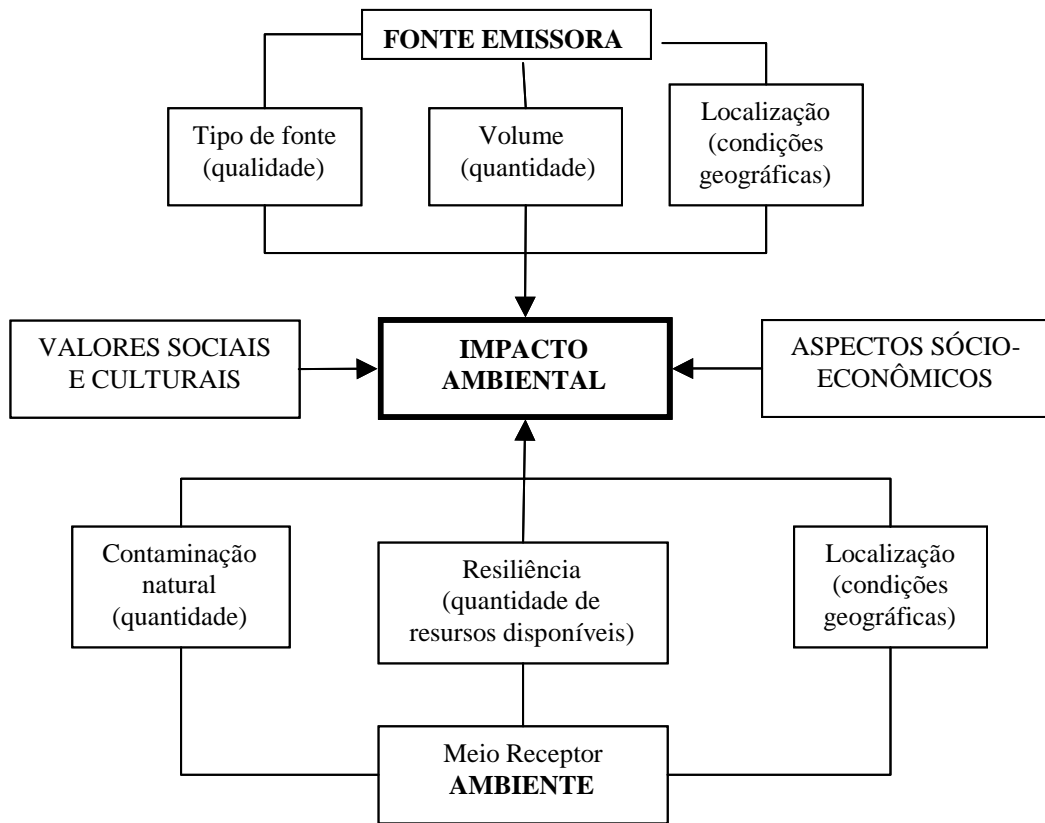


Fig.1: Modelo descritivo das etapas no desenvolvimento dos estudos de impactos ambientais (conforme Kozlowski, 1989; Barrow, 1997, citados por Christofolletti, 2002).



Operacionalmente, uma avaliação de impacto ambiental deve considerar a interação entre a fonte de impacto e o meio receptor dos efeitos, incluindo os atores sociais intervenientes, conforme proposta de abordagem constante da Fig. 2.



**Fig. 2.** Modelo analítico simplificado de uma avaliação de impacto ambiental (AIA), segundo Bolea (1980).

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 (SURHEMA-GTZ, 1992; Biswas & Geping, 1987), inclusive para projetos de iminente inserção agrícola (Canter, 1986). No Brasil, o IBAMA (1995 - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, órgão executivo) e a Resolução do CONAMA (Nº 01/86 - Conselho Nacional do Meio Ambiente, órgão normativo, consultivo e deliberativo) definiram 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. Cada método de Avaliação de Impactos apresenta vantagens e desvantagens, podendo-se assumir que a sua escolha depende dos objetivos da avaliação.

Independentemente da linha metodológica a ser adotada, o primeiro passo de uma Avaliação de Impacto envolve a definição do objetivo da análise, em acordo com a aplicação do projeto de desenvolvimento, tecnologia, ou atividade sob avaliação. Esta definição de

objetivo permite estabelecer a norma para a análise dos efeitos do projeto, tecnologia ou atividade sobre os indicadores incluídos no método, ou seja, para cada indicador, identifica-se a direção (se positivo ou negativo), e o alcance do impacto (se grande/forte, ou pequeno/fraco). O segundo passo envolve necessariamente um levantamento geral das informações documentais sobre as características dos ecossistemas e populações da área de estudo e de seu entorno. Uma vez inventariadas as informações sobre as características do ambiente, procede-se à integração dessas informações, interpretando-se os efeitos dos projetos de desenvolvimento segundo os objetivos e normas da avaliação, previamente definidos.

## **2.1. Métodos de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA)**

Em termos gerais, os métodos utilizados para a avaliação de impacto ambiental de projetos, programas, planos e atividades econômicas, podem ser classificados em sete grandes tipos (e suas integrações), a saber: métodos "ad hoc", listas de verificação, matrizes, sobreposição de mapas, redes de interação, diagramas de sistemas, e modelos de simulação (Rodrigues, 1998). Segundo o IBAMA (1995), as listas de verificação servem para ordenar, as matrizes e os diagramas servem para agregar, os modelos de simulação e a análise multicritérios visam quantificar e a sobreposição de mapas, matrizes e diagramas servem para representar graficamente as informações geradas nos estudos. A seguir, apresenta-se uma breve descrição dessas linhas metodológicas, como um preâmbulo para a aplicação dos métodos selecionados para o presente estudo.

### **2.1.1. Métodos “ad hoc”**

Essencialmente, os métodos “ad hoc” consistem na formação de grupos de trabalho multidisciplinares com especialistas de notório saber que fornecem suas impressões e experiências para a formulação de um relatório ou inventário de impactos potenciais do projeto em avaliação. Normalmente, empregam-se em situações nas quais as informações preliminares são parcas e quando a experiência passada é insuficiente para uma sistemática organização das informações com métodos mais objetivos. Um exemplo comum é o método Delphi, que utiliza rodadas subseqüentes de questionários nos quais os especialistas expressam suas impressões sobre pontos levantados *a priori*, a partir das quais se desenha um cenário que é então compartilhado com todos os especialistas em sucessivas rodadas, até que se obtenha consenso em pontos específicos e um quadro de opções possíveis em pontos de dissenso (Quirino et al., 1999). Em verdade, consultas *ad hoc* compõem a maioria dos métodos de AIA, em ao menos uma de suas fases, como poderá ser verificado a seguir na apresentação dos vários métodos.

### **2.1.2. Matrizes**

As matrizes e as listas de verificação simples são os métodos de AIA mais utilizados (Bisset, 1983). As matrizes são essencialmente modificações de listas de verificação, ou seja, em adição à listagem vertical das tipologias de impacto - aumento do escoamento superficial, modificação do regime de nutrientes, etc. - organizadas sob os principais componentes (água, ar, etc.), as matrizes contêm uma lista horizontal das ações do empreendimento, que vão desde o planejamento até as fases operacionais do projeto. Este esquema facilita a observação da relação entre as ações específicas do empreendimento e os tipos específicos de impacto (Erickson, 1994).

As matrizes permitem incorporar a quantificação dos impactos, com a entrada de números que representam a sua intensidade, sendo então denominadas matrizes escalares. Quando essas estimativas são realizadas anteriormente à implantação do empreendimento, elas têm caráter preventivo e são fundamentadas na percepção do avaliador, passível de certo nível de subjetividade. Quando são realizadas com o empreendimento já em funcionamento, pode-se mensurar e caracterizar melhor a intensidade do impacto ambiental causado pelas diferentes ações e atividades do projeto avaliado (Erickson, 1994).

### **2.1.3. Listas de verificação**

Há também as listas de verificação escalares que contêm o peso (ponderação) dos diferentes impactos que, por serem mais complexas, são usadas com menor frequência. Um exemplo típico desse método é aquele desenvolvido por Dee et al. (1973), chamado de Sistema de Avaliação Ambiental (SAA), que consiste de uma estrutura hierárquica que classifica os efeitos ambientais em quatro categorias principais - ecológicas, poluição ambiental, estéticas e interesse humano. Essas categorias são subdivididas em componentes - por exemplo, a categoria "poluição ambiental" é subdividida em poluição da água, poluição do ar, poluição do solo e poluição por ruídos. Estes, por sua vez, são subdivididos em parâmetros indicadores - no caso da poluição da água, tem-se: perda hidrológica da bacia, demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido, coliformes fecais, carbono inorgânico, pH, pesticidas, temperatura, turbidez, total de sólidos dissolvidos, etc. A cada parâmetro é alocado um peso numérico que reflete a sua importância relativa.

Para cada um dos 78 parâmetros considerados é construída uma "função de valor" que relaciona a estimativa do parâmetro com a qualidade ambiental. Assim, assume-se que o estado de qualidade de cada parâmetro pode ser expresso em uma escala arbitrária de 0-1, onde 1 representa "alta qualidade" e 0 representa "baixa qualidade". A avaliação final é obtida pelo somatório dos valores individuais da qualidade ambiental de cada parâmetro multiplicado por seu respectivo peso, obtendo-se um índice geral de qualidade ambiental. Com isso, pode-se optar entre diferentes projetos, ou programas, ou tecnologias, e mesmo identificar medidas corretivas que devem ser incorporadas quando da implantação de um determinado projeto, programa ou tecnologia.

#### **2.1.4. Sobreposição de Mapas**

A sobreposição de mapas é uma forma de relacionar informações sobre características ou processos ambientais georreferenciados. Inicialmente o método consistia em simplesmente sobrepor imagens impressas em transparências, tomando o grau de recobrimento ou a intensificação de cor como demonstrativo do grau de impacto, de vulnerabilidade ou risco. Com a atual facilidade de se utilizar computação gráfica em operações complexas, e empregando informações digitais obtidas por satélites, radares, ou mesmo fotografias aéreas digitalizadas em sistemas de informações geográficas (SIG), os procedimentos se tornaram mais simples, rápidos, e capazes de manipular grande quantidade de informações e em escalas as mais variadas. As sobreposições de mapas podem contribuir para definir a área de abrangência nos estudos de impactos ambientais de OGM.

#### **2.1.5. Redes de Interação**

Redes de interação são fluxogramas que representam uma seqüência de operações ou de interações entre componentes de um sistema. Assim sendo, compõem a primeira metodologia geral essencialmente sistêmica para AIAs. Embora os métodos anteriormente relacionados careçam de, e auferam vantagens com, um enfoque sistêmico, eles tendem a induzir a análise de parâmetros e a avaliação de ações de forma isolada e consecutiva. Já as redes de interação partem da concepção de sistemas a priori, tendendo a favorecer a apreciação dos parâmetros e ações de forma conjunta e simultânea.

Redes de interação são instrumentos valiosos para que a equipe interdisciplinar de AIA planeje as etapas do processo de avaliação, identifique as ações necessárias, os parâmetros e compartimentos ambientais suscetíveis e especialmente as interações entre esses compartimentos. Muitas vezes as redes de interação constituem etapa de organização das listas de controle ou matrizes para avaliação de impactos.

#### **2.1.6. Diagramas de Sistemas**

As redes de interação, embora permitam a identificação de impactos de vários níveis e de compartimentos ambientais suscetíveis, normalmente não oferecem nenhuma indicação de intensidade do impacto ambiental. A evolução dessa metodologia para uma aproximação mais quantitativa resultou no desenvolvimento dos diagramas de sistemas. A principal característica dos diagramas de sistemas aplicados a estudos ambientais é a consideração do fluxo de energia como fator unificador do sistema. Todos os processos operantes nos ecossistemas são resultado desse fluxo de energia, que é incorporada e transformada ao operar os processos ecológicos.

#### **2.1.7. Modelos de Simulação**

Modelos de simulação geralmente são derivados diretamente de diagramas de sistemas. Um aspecto importante para o emprego de modelos de simulação é a concentração da informação tão somente naquilo que é essencial para a definição do comportamento do

sistema, a fim de evitar excesso de complexidade na elaboração dos modelos. Há hoje disponível na literatura uma grande variedade de sistemas ou pacotes informatizados contendo modelos agregados para o estudo do ambiente, e da agricultura e manejo agrícola em geral. Em especial, há modelos para avaliação de aspectos importantes das AIAs, como simulação da dinâmica de solutos em solos e águas, efeitos de práticas agrícolas e medidas de conservação do solo sobre a erosão, simulação climática e hidrológica, entre muitos outros.

Essa breve fundamentação metodológica tem o objetivo de familiarizar o leitor com os procedimentos gerais adotados em AIA. Se por um lado nota-se a amplitude de enfoques passíveis de aplicação para o desenvolvimento de avaliações, por outro percebe-se adequação especial de certas linhas metodológicas para casos específicos. Para o presente caso, de avaliação *ex-ante* de um objeto de característica inovadora e marcado pela incerteza, como são hoje caracterizados os OGM, recomenda-se o emprego de métodos de caráter mais exploratório, caracterizados pela listagem de processos e indicadores de comportamento bem conhecido. Estes métodos são as listas de controle e as matrizes, conforme incluídos nas sessões que seguem.

## 2.2. Sistemas para Análise de Impacto Ambiental de Projetos

Exercitando uma construção que também faz uso de escalas de ponderação para indicadores pré-definidos, Rodrigues et al. (2000) desenvolveram um sistema de AIA de projetos de desenvolvimento tecnológico agropecuário que permite ao pesquisador realizar uma avaliação prospectiva (*ex-ante*) de impactos ambientais de sua proposição de pesquisa. Por sua vez, essa avaliação poderá ser empregada pelo gestor de pesquisas para a comparação qualitativa de projetos. O procedimento de avaliação envolveu o preenchimento, pelos pesquisadores responsáveis pelos projetos de pesquisa, de questionários especificamente elaborados para a avaliação de indicadores de qualidade ambiental de cada tecnologia em desenvolvimento nos projetos. Esses mesmos questionários foram então preenchidos por um painel de cinco especialistas (*ad hoc*), com base em leitura dos relatórios técnicos dos projetos. Posteriormente, foi realizado um *workshop* onde se estabeleceu um consenso entre os participantes sobre as respostas dadas em cada questionário. Da análise desses questionários foi possível estabelecer os limites de ocorrência de valores de cada parâmetro ambiental ou indicador, para o conjunto de projetos avaliados. Esses valores foram então integrados em matrizes escalares, servindo como linha de base comparativa utilizada para balizar a avaliação de novos projetos. As matrizes escalares foram então integradas na forma de planilhas eletrônicas nas quais procedeu-se à entrada de dados dos novos projetos avaliados, e obteve-se o resultado com expressão gráfica da avaliação de impactos, compondo-se o "Sistema de AIA em Projetos de Desenvolvimento Tecnológico Agropecuário"<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> O arquivo contendo as planilhas do "Sistema de AIA em Projetos de Desenvolvimento Tecnológico Agropecuário" pode ser obtido na "homepage" da Embrapa Meio Ambiente em "<http://www.cnpma.embrapa.br/forms/aia.html>".

### **2.3. Sistemas para Análise de Impacto Ambiental de Tecnologias**

Avançando sobre essa experiência de construção de um sistema de AIA para projetos de pesquisa, Rodrigues et. al. (2002; 2003a; 2003b) desenvolveram o Sistema de Avaliação de Impacto Ambiental de Inovações Tecnológicas Agropecuárias (AMBITEC-AGRO<sup>2</sup>). O Sistema 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 método direciona-se especificamente à consideração de aspectos de interesse ecológico, permanecendo a deficiência comum aos métodos anteriormente descritos, de não endereçar adequadamente os aspectos relativos a interesses sociais e econômicos das comunidades envolvidas com o projeto de desenvolvimento.

### **2.4. Síntese das metodologias citadas**

Essa deficiência dos trabalhos discutidos acima é comum à maioria dos métodos formais de AIA, que não apresentam proposta prática de avaliação do impacto nas dimensões sociais e econômicas, seja quanto a métodos do tipo “lista de verificação” (Stockle et al., 1994; Rossi & Nota, 2000; Bosshard, 2000; McDonald & Smith, 1998; Neher, 1992; Bertollo, 1998; Cornforth, 1999; Maxwell et al., 1999; Lewandowski et al., 1999; Herzog & Gotsch, 1998) ou do tipo “listas de verificação escalares” (Dee et al., 1973; Bockstaller et al., 1997; Taylor et al., 1993).

Contudo, ocorre que na maioria das vezes o alívio da pressão de degradação ambiental definida como objetivo de uma avaliação de impactos 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. 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 preciso manter-se 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

---

<sup>2</sup> Os arquivos do Sistema Ambitec estão disponíveis na “homepage” da Embrapa Meio Ambiente em <http://www.cnpma.embrapa.br/forms/ambitec.html>.

a abordagem empregada nos métodos de avaliação de impactos de inovações tecnológicas apresentados e aplicados no presente estudo, que preconizam o *juízo* 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 homogeneamente 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).

### **3. Estudo de Caso do Mamão Geneticamente Modificado para Resistência ao Vírus da Mancha Anelar**

#### **3.1. Caracterização do problema**

A presente seção deste estudo trata da integração das informações sobre as características e condições ambientais, concernentes aos impactos potenciais do cultivo em campo da variedade de mamão geneticamente modificado para resistência ao vírus da mancha anelar (mamão GM), considerando especificamente a área de influência de campo experimental instalado no Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura em Cruz das Almas (BA). Entretanto, é importante considerar que, em sendo a variedade de mamão GM uma tecnologia que busca atender à demanda de solucionar o problema imposto à cultura pela grave doença representada pela mancha anelar, e sendo os métodos utilizados na presente análise adequados para avaliação *ex-ante* de inovações tecnológicas agropecuárias, nos momentos em que isto se faz pertinente no texto, considerações quanto à escala de possível adoção comercial da cultura são incluídas.

Por exemplo, quando se tecem considerações quanto ao alcance e a influência da tecnologia, é pertinente e justificável informar a área ocupada com a cultura no país, assim como as expectativas de adoção da tecnologia. No mais das vezes, contudo, essas considerações de escala que extrapolam o campo experimental vêm acompanhadas de observações quanto a sua condicionalidade.

#### **3.2. Histórico da construção genética do mamão transgênico**

Os mamoeiros GMs objeto do presente estudo contêm o gene da capa protéica de um isolado do vírus da mancha anelar do mamoeiro (*Papaya ringspot virus*, PRSV)

proveniente do Estado da Bahia, o promotor 35 S, o terminador 35 S, o promotor NOS, o gene Npt II, o gene Gent e o gene Tet, conforme listado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Elementos do plasmídeo utilizado no desenvolvimento das linhas de mamoeiros transgênicos.

Item	Descrição breve (referência bibliográfica)
PRSV cp gene	Gene da capa protéica do isolado Brasil.Bahia do vírus da mancha anelar do mamoeiro (Papaya ringspot virus, PRSV) (Souza Jr., 1999).
Promotor 35S	Promotor originado do vírus do mosaico da couve-flor (Caulimovirus mosaic virus, CaMV) (Odell et al., 1985; Pietrzak et al., 1986).
Terminador 35S	Terminador originado do vírus do mosaico da couve-flor (Caulimovirus mosaic virus, CaMV) (Odell et al., 1985; Pietrzak et al., 1986).
Promotor nos	Promotor do gene nopaline synthase (An, 1986; Bevan et al., 1983) originado de <i>Agrobacterium tumefaciens</i> .
Npt II gene	Gene neomycin phosphotransferase (Topfer et al., 1980) originado de <i>Escherichia coli</i> .
Gent gene	Gene de resistência ao antibiótico Gentamicina (Allmansberger et al., 1985), originado de <i>E. coli</i> .
Tet gene	Gene de resistência ao antibiótico Tetraciclina (An, 1986), originado de <i>E. coli</i> .

### 3.2.1. Organismo doador

O gene da capa protéica utilizado como gene de interesse no estudo que originou as plantas GM é oriundo do genoma do vírus da mancha anelar do mamoeiro. O PRSV é um vírus que pertence ao gênero *Potyvirus*. Este vírus é transmitido por diversas espécies de afídeos de uma maneira não circulativa, apresentando distribuição mundial (Purcifull et al., 1984 e 1996). A maioria dos isolados de PRSV pertence a um de dois biótipos existentes: o tipo P, que infecta *Carica sp.* e Curcubitáceas, e o tipo W (previamente conhecido como vírus do mosaico da melancia I (*Watermelon mosaic virus I*, WMV-1), o qual infecta Cucurbitáceas, mas não o mamoeiro. Ambos causam lesões localizadas em *Chenopodium quinoa*.

Não se conhece literatura ou qualquer outro registro que mostre que o PRSV causa doenças ou enfermidades em humanos ou animais. Frutos altamente infectados pelo vírus (sintoma visível na casca do fruto pela mancha na forma de anel) são consumidos rotineiramente pela população brasileira.

### 3.2.2. Organismo receptor

O mamoeiro (*Carica papaya L.*) é o membro mais conhecido da família Caricaceae. Esta família é composta por quatro gêneros, sendo eles: *Carica*, *Cylicomorpha*, *Jarilla* e *Jacaratia* (Badillo, 1971). O gênero *Cylicomorpha*, que ocorre no Oeste do Continente Africano, é o único dos quatro que ocorre fora da região neotropical.



O gênero *Carica* é o maior dos quatro, com 23 espécies já descritas. A costa do Caribe na América Central é o provável centro de origem do mamoeiro (*C. papaya*). A maioria das espécies do gênero *Carica* apresenta distribuição na base da Cordilheira dos Andes, no noroeste da América do Sul. Porém, membros deste gênero podem ser encontrados do sul do Chile ao sul do México. Figueiras & Pereira (1994) citam a presença de *Jacaratia sp.* (planta de Mata de Galeria) no Distrito Federal. No bioma Cerrado, segundo Mendonça et al. (1998), encontram-se três espécies da família *Caricaceae*, são elas: *C. glandulosa* Pav. ex DC., *C. quercifolia* Benth. & Hook f. ex Hieron e *Jacaratia dodecaphylla* (Vell.) A. DC., todas de ambientes florestais. Badillo (1971) indica que a espécie *Jacaratia heptaphylla* só se encontra no Brasil meridional, sendo detectada na mata Atlântica. Não existe centro de diversificação de *C. papaya* no Brasil.

O organismo parental do presente estudo ('Sunrise' e 'Sunset' Solo) foi originado através do programa de melhoramento genético desenvolvido na Universidade do Hawaii (Manoa, Oahu, Hawaii). Os frutos imaturos, utilizados para excisão dos embriões zigóticos imaturos, os quais geraram os embriões somáticos que foram submetidos a transformação e originaram as plantas (Ro) transgênicas, foram fornecidos pelos Drs. Francis Zee (ARS-USDA) e Richard Manshardt (University of Hawaii at Manoa). As sementes R1 de mamoeiros GM, utilizadas nos testes de campo, foram fornecidas pelo Dr. Manoel Teixeira Souza Júnior, da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia.

### 3.3. Procedimentos para experimentação em campo

O mamoeiro é uma espécie polígama, com indivíduos (plantas) femininos, masculinos e hermafroditas (Trindade, 2000). O campo de plantio experimental na Embrapa Mandioca e Fruticultura (localizada em Cruz das Almas) terá somente plantas hermafroditas e, talvez, as femininas. Isto porque as plantas femininas só serão mantidas caso a população que se mostrar resistente ao vírus não apresentar plantas hermafroditas. As plantas masculinas serão eliminadas.

A polinização de flores de mamoeiro é feita pela dispersão do pólen por meio de insetos e pelo vento, a distâncias inferiores a 2 km. Plantas hermafroditas do grupo Solo, ao qual as cultivares Sunrise e Sunset pertencem, são autógamas. Polinização cruzada natural pode ocorrer em plantas hermafroditas, porém em pequena escala (Trindade, 2000). A quantidade de pólen produzida por plantas hermafroditas é bem menor que a produzida e dispersada por plantas masculinas, o que ajudará no controle da dispersão das características GM por fluxo gênico. Segundo Kee (1970) a taxa de autopolinização em plantas hermafroditas de mamoeiro é de 99%.

As plantações comerciais de mamoeiro apresentam somente plantas femininas e hermafroditas. Nestas plantações é comum encontrar frutos em plantas femininas, os quais têm tamanho inferior aos demais e com pequeno número de sementes, devido a uma polinização natural ineficiente. Esta polinização natural ineficiente (de frutos de plantas

femininas por pólen de plantas hermafroditas) é decorrente da alta taxa de autogamia observada no grupo Solo.

As sementes de mamoeiro geralmente não sobrevivem por longos períodos de tempo na natureza, perdendo rapidamente seu poder germinativo. Em condições ideais de conservação, não sobrevivem por mais de 24 meses. A planta de mamoeiro (GM ou não) inicia o seu florescimento de três a quatro meses após o plantio e continua produzindo flores durante todo o seu ciclo de vida. Os primeiros frutos são formados de 140 a 210 dias após o florescimento e sua produção continua durante todo o ciclo da planta (Trindade, 2000).

O mamão GM será avaliado em uma área experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, com dimensões de 43 x 46 m, situada próxima à Área de Produção de Mudas (APMB) de citrus, manga e acerola. A área experimental está sob vigilância 24 hs, está cercada com 19 fios de arame farpado com 1,87m de altura e portão de acesso fechado com cadeado, cuja chave permanece sob responsabilidade de pessoas designadas, diretamente envolvidas com os trabalhos na área. Todos os envolvidos nos trabalhos de campo utilizam EPI.

As avaliações de campo preliminares foram realizadas entre dezembro de 2004 e março de 2005, e os experimentos de campo previstos no projeto serão iniciados em maio de 2005. Na área são mantidas somente plantas femininas ou hermafroditas. Todas as flores hermafroditas das plantas transgênicas são cobertas com dois sacos de papel, ou descartadas, antes de sua abertura. Todos os frutos produzidos são etiquetados e coletados em estágio inicial de amadurecimento (uma faixa) para evitar o consumo por pássaros, morcegos, etc. Todos os restos do experimento são descartados em vala cercada, que é adjacente à área experimental, por exigências do IBAMA.

No campo experimental (Campo 1), as 10 populações de plantas transgênicas são plantadas em covas com espaçamento de 3 metros entre as linhas e de 2 metros entre as covas. Em cada cova são plantadas 03 mudas espaçadas em 20 cm (em formato de triângulo). Por ocasião do florescimento, fica mantida em cada cova uma planta hermafrodita ou então uma planta feminina, caso não seja obtida nenhuma planta hermafrodita. Também são plantadas mudas de Sunrise Solo convencional, para fins de comparação. O experimento apresenta uma fila de bordadura com mamão convencional. Pelo lado de fora da cerca é plantada uma barreira verde com ficus, manga e bananeiras, outra exigência do IBAMA. Outra exigência que tem sido cumprida é o descarte de todos os frutos de mamoeiro produzidos nos experimentos da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, durante o período experimental.

## **4. Estudo de Caso Empregando a Matriz de Leopold**

A "matriz de Leopold" (Leopold et al., 1971) tem sido uma das mais utilizadas nos Estudos de Impacto Ambiental – Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) realizados no Brasil, sendo freqüentemente tomada como o método padrão para a elaboração desses

estudos (IBAMA, 1995). A “matriz de Leopold” consiste da união de duas listas de verificação. Uma lista de ações ou atividades é mostrada horizontalmente, enquanto uma lista de componentes ambientais é mostrada verticalmente. A inclusão dessas duas listas de verificação em uma matriz ajuda a identificar os impactos, uma vez que os itens de uma lista podem ser sistematicamente relacionados a todos os outros itens da outra lista, com o objetivo de identificar os possíveis impactos. Isto é feito por meio da incorporação de roteiros para caracterizar os impactos em termos de magnitude e importância em uma escala de 1-10, onde 1 representa a menor magnitude ou importância e 10, a maior. A magnitude de um impacto é tomada como sua significância, por exemplo, se um impacto visual ocorre em uma área com baixa qualidade de paisagem, então um valor de 2 ou 3 pode ser dado ao invés de 8 ou 9, que corresponderia a uma área com alta qualidade de paisagem. A importância refere-se à escala geográfica do impacto, por exemplo, local, regional ou nacional. Embora a “matriz de Leopold” contenha 8.800 células, Leopold et al. (1971) estimam que, para a maior parte dos projetos, o preenchimento de 25-50 células já representa significativamente os impactos causados por um empreendimento. Entretanto, deve-se considerar a natureza subjetiva da informação que subsidia a avaliação.

#### **4.1. Descrição da Metodologia de AIA Matriz de Leopold**

A avaliação integrada dos impactos ambientais potenciais da pesquisa de campo em escala de estação experimental, do cultivo do mamão GM, foi realizada empregando-se a Matriz de Leopold (Leopold et al. 1971). Por ser um método historicamente de ampla utilização, é adequado para orientar desenvolvimentos metodológicos ulteriores, baseado no seu exercício em campo. Finalmente, o método traz a vantagem de prescindir de dados precisos sobre as interações e impactos previstos, prestando-se para avaliações prospectivas, com base em dados técnicos do projeto de pesquisa. A Avaliação de Impacto realiza-se pelo preenchimento das células formadas pela interseção das linhas e colunas da matriz (Fig. 3)<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> O arquivo contendo a Matriz de Leopold pode ser obtido via contato com os autores no endereço eletrônico [sac@cnpmembrapa.br](mailto:sac@cnpmembrapa.br).

A				B				C				D				E																F																G																H																I																J																K																L																M																N																O																P																Q																R																S																T																U																V																W																X																Y																Z																AA															
1																																																																																MATRIZ DE LEOPOLD: formatada para avaliação integrada de impacto da tecnologia																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
2																																																																																"MAMÃO GENETICAMENTE MODIFICADO PARA RESISTÊNCIA AO VÍRUS DA MANCHA ANELAR"																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
3																																								PARTE 1: Ações do Projeto																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
4																																								A. MODIFICAÇÃO DE REGIME																																								B. CONSTRUÇÃO E MODIFICAÇÃO																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
5																																								a) Introdução de fauna ou flora exótica																																								a) Recursos minerais																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
6																																								b) Controles biológicos																																								b) Materiais de construção																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
7																																								c) Modificação do habitat																																								c) Solos																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
8																																								d) Alteração da cobertura do solo																																								d) Geomorfologia																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
9																																								e) Alteração da hidrologia subterrânea																																								e) Radiações e campos de força																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
10																																								f) Alteração da drenagem																																								f) Aspectos físicos singulares																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
11																																								g) Controle e modificação do fluxo de rios																																								a) Superficial																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
12																																								h) Canalização																																								b) Oceânica																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
13																																								i) Irrigação																																								c) Subterrânea																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
14																																								j) Modificação do tempo (climático)																																								d) Qualidade																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
15																																								k) Queimadas																																								e) Temperatura																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
16																																								l) Pavimentação																																								g) Neve, gelo, "permafrost"																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
17																																								m) Vibração e ruídos																																								a) Qualidade (gases, particulados)																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
18																																								a) Urbanização																																								b) Clima (micro, macro)																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
19																																								b) Distrito e construções industriais																																								c) Temperatura																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
20																																								c) Aeroportos																																								a) Encherentes																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
21																																								d) Pontes e rodovias																																								b) Erosão																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
22																																								e) Estradas e trilhas																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
23																																								f) Linhas férreas																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
24																																								g) Teleféricos e cabos																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
25																																								h) Linhas de transmissão, dutos, condutores																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
26																																								i) Barreiras, incluindo cercas																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
27																																								j) Dragagem e linearização de canais																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							

Fig. 3: Parcela da matriz para análise de impactos ambientais, nos quais são quantificados os prováveis efeitos das atividades humanas sobre diversos aspectos do ambiente (conforme Leopold et al., 1971).

O primeiro passo da avaliação consiste em determinar se ocorre algum tipo de interação entre uma dada ação do projeto e cada uma das características ambientais, que possa ser caracterizada como impacto. Uma vez determinada a interação de causa de um impacto na interseção entre a ação do projeto e as condições/características do ambiente, a célula da interseção recebe uma linha diagonal, que demarca os espaços para avaliação da *Magnitude* e da *Importância* do impacto potencial diagnosticado.

No segundo passo da avaliação, após todas as possíveis interações terem sido identificadas, a equipe de avaliação retorna a cada célula demarcada e estabelece (no espaço superior esquerdo da célula), segundo dados técnicos do projeto, a *Magnitude* do impacto previsto. A *Magnitude* do impacto deve representar, em uma escala de 1 (menor impacto) a 10 (maior impacto – não se deve atribuir valor igual a zero), o efeito previsto da ação do projeto sobre a condição/característica do ambiente, ou seja, se o efeito é grande ou pequeno. Associada à *Magnitude* deve-se definir a direção do impacto, ou seja, se positivo (benéfico) ou negativo (deletério), incluindo sinais (+/-) para representar estas direções.

O terceiro passo do processo de avaliação busca determinar a *Importância* do impacto em termos de alcance espacial (por exemplo, local vs. regional), definido em uma escala de 1 a 10 (não se deve atribuir valor igual a zero) no espaço inferior direito da célula de avaliação. Esta escala de *Magnitude* e *Importância* tem um forte componente subjetivo, sendo portanto essencial que a equipe de avaliação procure balizar previamente o significado ou a premissa de

definição desses valores. No presente caso, a atribuição dos valores de Magnitude e de Importância seguiu a base escalar apresentada na Fig. 4.



**Fig. 4.** Escala para balizamento dos valores de Magnitude e Importância atribuídos na matriz de Leopold para avaliação de impacto ambiental do cultivo em campo experimental, da variedade de mamão GM.

O quarto passo da avaliação de impacto ambiental, empregando a matriz de Leopold, consiste em tecer comentários, instruídos a partir dos resultados das avaliações escalares incluídas na matriz, sobre os impactos mais significativos, seja devido à ocorrência de muitas interações entre conjuntos ou para aquelas interações com valores particularmente altos.

## 4.2. Premissas para avaliação da tecnologia

Os principais efeitos ambientais potenciais considerados para esta tecnologia no âmbito da avaliação com a Matriz de Leopold são: a) a possibilidade de efeitos negativos derivados de comportamento não previsto, para as características genéticas introduzidas, seja em termos de efeitos pleiotrópicos (p.ex., alergenicidade) ou transferência para organismos não alvo e possíveis implicações nestes organismos; e b) a possibilidade de efeitos positivos, derivados da eliminação dos danos causados pelo agente fitopatogênico representado pelo vírus da mancha anelar. Este efeito positivo permite reduzir as necessidades de destruição de plantas infectadas e ampliar o tempo de vida útil da cultura, que no presente é abandonada quando o nível de infestação do vírus compromete a produção.

Foi segundo essas considerações de efeitos e impactos possíveis, que a avaliação da tecnologia foi realizada, empregando-se as interações entre ações do projeto e condições/características do ambiente, conforme apresentados na Matriz de Leopold, cujos itens de consideração são apresentados a seguir. Deve-se ter em mente que estas considerações referem-se à escala de estudo em campo experimental, e que medidas de contenção estarão em efeito para prevenir disseminação de fragmentos de seqüências de

DNA, que possam estar sujeitas ao fluxo gênico. Com base nestas avaliações em campo, deverá ser possível melhor qualificar este impacto, então permitindo estimar o efeito potencial para escalas maiores de cultivo. Estas mesmas considerações serão válidas para todas as interações analisadas adiante neste documento, em especial aquelas de cunho biótico.

### **4.3. Resultados da Avaliação de Impactos Ambientais com a Matriz de Leopold**

Para facilitar a interpretação dos resultados da avaliação e a correspondência entre o texto analítico e a matriz de resultados, a apresentação que segue emprega a estrutura de itens, a nomenclatura e as subdivisões da própria Matriz de Leopold.

#### **A) Modificação do regime:**

A primeira interação diagnosticada em relação à modificação do regime pelo projeto foi relativa à introdução de flora, representada pela variedade modificada de mamão, como segue:

##### **A.a) Introdução de flora ou fauna exótica:**

A natureza do projeto relativo à tecnologia analisado neste estudo consiste na introdução de uma variedade que não se qualifica exatamente como exótica, conforme previsto na matriz de Leopold, mas sim como geneticamente modificada.

Um impacto possível da introdução da variedade GM seria a detecção, no ambiente, de fragmentos das seqüências genéticas que foram introduzidas, ocasionando o fluxo gênico para espécies convencionais (sem a modificação genética), potencialmente comprometedoras das características físico-químicas do ambiente.

##### **A.a/A) Características físico-químicas:**

A primeira interação possível entre a ação representada pela introdução do mamão GM com as condições do ambiente refere-se à qualidade do solo e da água, e sua interferência com os organismos. Uma consideração importante para avaliação dessas interações diz respeito à efemeridade das moléculas de DNA no ambiente (Luby & McNichol, 2003), o que diminui as possibilidades de incorporação de seqüências gênicas em outros organismos, pela via do transporte no ambiente.

##### **A.a/A.1.c) Solos:**

Considerou-se que, na eventualidade de detectar-se no solo fragmentos das seqüências genéticas introduzidas nas plantas de mamão, e de estas seqüências serem consideradas contaminantes do ambiente, este efeito corresponderia a um pequeno impacto

negativo, uma vez que componentes do DNA não apresentam efeito tóxico e não persistem no ambiente, assim representando uma magnitude de -2. Considerou-se ainda que, por restringir-se ao solo no qual a cultura teria sido efetivamente implantada, a importância deste impacto seria pontual (1).

#### **A.a/A.2.d) Água:**

Considerou-se que, na eventualidade de detectar-se na água, fragmentos das seqüências genéticas presentes no mamão, e de estas seqüências serem consideradas contaminantes, este efeito corresponderia a um pequeno impacto negativo, representando uma magnitude de impacto igual a -2. Considerou-se ainda que, por potencialmente alcançar o ambiente para além do campo agrícola propriamente dito, mas restringindo-se aos limites da propriedade devido a rápida degradação do DNA no ambiente, a importância deste impacto seria também pequena (2).

#### **A.a/B) Condições biológicas:**

A segunda interação possível referente à introdução do mamão GM concerne às condições biológicas do ambiente, como segue.

##### **A.a/B.1) Flora**

##### **A.a/B.1.d) Culturas:**

Pode-se considerar que a principal interação entre o mamão GM e as condições biológicas da cultura seria a introdução das seqüências gênicas contaminando as culturas próximas por fluxo gênico (efeito negativo). Neste caso, implica-se uma magnitude moderada (-3), pois a perda referir-se-ia ao prejuízo na comercialização, não se prevendo outros efeitos deletérios. Como tal efeito poderia influenciar a safra de mamão produzido até o entorno da estação experimental, a importância indicada seria referente a este alcance (3).

##### **A.a/B.1.e) Microflora:**

Os possíveis efeitos considerados nesta interação referem-se ao fluxo gênico, que poderia impor presença de fragmentos gênicos considerados deletérios, na biota do solo. Por não haver indicação de potencial de grandes impactos para este efeito, inclui-se uma magnitude pequena (-2), com uma importância referente ao campo experimental de implantação da cultura e ambiente imediatamente adjacente, na área da estação experimental (2).

##### **A.a/B.2.a) Pássaros:**

Considerou-se a possibilidade de fluxo gênico via consumo alimentar de insetos fitófagos do mamão, por pássaros. Pelos mesmos argumentos apresentados anteriormente, a

magnitude do efeito foi considerada pequena (-2), com importância relativa ao alcance do entorno da estação experimental (3), dada a mobilidade natural dos pássaros.

### **A.a/B.2.b) Animais terrestres, incluindo répteis:**

A mesma consideração dada para pássaros instruiu esta interação, porém com uma importância relativa ao ambiente imediatamente adjacente ao campo experimental, dada a diminuída mobilidade dos animais terrestres (2).

### **A.a/B.2.e) Insetos:**

Mesmas considerações indicadas para pássaros.

### **A.a/B.2.f) Microfauna:**

Consideram-se os mesmos efeitos potenciais descritos para microflora, porém restringindo a importância para o campo experimental apenas (1), dada a relativa pequena mobilidade deste grupo.

### **A.a/C) Fatores culturais:**

Em relação às interações entre a introdução da variedade de mamão GM e os fatores culturais, a dualidade entre os efeitos potencialmente deletérios (efeitos imprevistos em organismos não alvo, inclusive culturas de mamão convencional adjacentes) e benéficos (resistência a doença e redução das necessidades de abandono das áreas cultivadas) faz-se evidente. Os efeitos potenciais negativos da tecnologia, estes tendem a ter magnitude e importância reduzidas, pois caso seja diagnosticado efeito deletério durante esta fase de teste em campo, a tecnologia seria eliminada, não alcançando os estágios de desenvolvimento para transferência. Já a possibilidade da cultura permanecer por maiores períodos no mesmo local pode justificar o interesse do produtor pelo manejo integrado, promovendo os investimentos em programas de controle biológico de pragas e plantas invasoras.

### **A.a/C.1.e) Agricultura:**

Caso confirme-se a eficiência tecnológica da variedade de mamão GM, a magnitude do impacto sobre a agricultura poderá ser significativa para a cultura do mamão, por permitir a recuperação desta atividade produtiva. Devido à modesta projeção da cultura do mamão em termos de área cultivada no contexto nacional (Aprox. 35.250 ha), contudo, a magnitude deve ser considerada pequena (2). A importância deste impacto alcança a possibilidade de transferência e aplicação em âmbito regional nos Estados onde é praticada, como Bahia, Ceará e Espírito Santo (8).



### **A.a/C.3.b,f) Qualidade de áreas silvestres/parques e reservas:**

Quaisquer efeitos potenciais que possam ser considerados para estas interações, que se referem a um possível fluxo gênico para populações silvestres, devem ser considerados mínimos, tanto em termos de magnitude, dado que não há indicações de efeitos deletérios previsíveis, quanto em termos de importância, dada a distância e isolamento das áreas potencialmente suscetíveis. A Reserva Ecológica Geraldo Pinto, unidade de proteção de mananciais localizada dentro dos limites da estação experimental, é a principal área silvestre sob influência da área experimental.

### **A.a/C.3.j) Presença de insatisfeitos:**

A possibilidade de grupos de interesses contrários ao desenvolvimento da biotecnologia em geral, e deste estudo em particular, gerarem conflitos e violência pela implantação da pesquisa na estação experimental, pode resultar em uma significativa magnitude negativa (-6), envolvendo grupos do entorno da área, portanto com uma importância igual a 3. Extrema cautela deve ser exercitada, portanto, no trato dessas informações, considerando-se a acessibilidade a informações ambientais a todo requerente garantida na legislação do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), porém no sentido de não estimular este impacto. O programa de educação ambiental a ser realizado durante o desenvolvimento dos trabalhos, a vigilância e sinalização da área são aspectos importantes para minimização deste impacto.

### **A.a/C.4) Status cultural**

#### **A.a/C.4.b) Saúde e segurança:**

Impactos de pequena magnitude (-1) e importância (1) seriam previsíveis para o caso de haver consideração de efeito deletério do fluxo de fragmentos de seqüências gênicas, já que o acesso à área experimental será restrito e a área isolada.

#### **A.a/C.4.c) Emprego:**

Um mínimo impacto positivo pode ser aventado, relativo à dedicação de pessoal de serviços em campo no desenvolvimento da pesquisa. Considerações relativas ao possível êxito e transferência da tecnologia, que poderiam ser de grande magnitude e importância, não se incluem neste estudo, que se restringe à consideração da área experimental e do teste em campo, e não da próxima etapa de desenvolvimento tecnológico, que envolveria a comercialização da variedade de mamão GM.

## **A.a/C.5) Atividades humanas e infra-estrutura**

### **A.a/C.5.d) Disposição de resíduos:**

Devido às exigências de manejo de resíduos em situação experimental com OGM, impactos mínimos (porém não inexistentes) estão previstos para este item, devido à necessidade de queima em vala do material (magnitude=-1) na área experimental (importância = 1). Por ocasião da disposição dos resíduos deverão ser seguidas as legislações ambientais federais, estaduais e municipais, seguindo recomendações das Normas da CTNBio, Normas internas referentes ao tema e Normas da série ISO 14.000.

## **A.a/D) Relações ecológicas**

### **A.a/outros)**

Duas importantes interações entre as ações do projeto e condições/características do ambiente foram incluídas na Matriz de Leopold no espaço referente a outros impactos, quais sejam, o Desenvolvimento Científico e Tecnológico, e a Sustentabilidade da Atividade Produtiva Rural.

### **A.a/outros.a) Desenvolvimento científico e tecnológico:**

Possíveis impactos de grande magnitude (+7) podem resultar do presente estudo, tanto no sentido de propiciar a avaliação da segurança ambiental do mamão GM, quanto para a definição de metodologia para avaliação de OGM como um todo, com possível efeito de influenciar secundariamente devido ao transbordamento para outras biotecnologias e culturas (“spill-over effect”). Esta possibilidade resulta em uma importância que extrapola os limites regionais, podendo atingir o país como um todo, porém, restringindo o âmbito da análise para a área experimental tão somente, a importância foi definida com alcance regional (8).

### **A.a/outros.b) Sustentabilidade da Atividade Produtiva:**

As melhorias técnicas esperadas com o avanço biotecnológico obtido nos experimentos de laboratório indicam que um ganho no mínimo moderado (+3) seria obtido para o manejo sustentável da cultura do mamão, caso a resistência a vírus confirme-se em campo. Este resultado implicaria vantagens para os produtores de mamão, em um primeiro momento, pelo menos nos municípios das regiões produtoras (6), podendo expandir-se para todo o Brasil em um segundo momento.

A introdução de flora modificada é a principal ação geradora de impactos identificados para a operação da área de pesquisa com o mamão GM. Por não haver evidências de potenciais efeitos deletérios definidos, resultantes da presença de fragmentos de seqüências gênicas do mamão no ambiente ou em componentes da biota, via fluxo gênico, os impactos

potenciais são qualificados como pequenos. O principal impacto negativo identificado estaria relacionado a representações de grupos de interesse contrários ao projeto e à biotecnologia, podendo impor dificuldades à condução dos estudos. Estes impactos estariam sendo mitigados via educação da população do entorno e dos empregados envolvidos, e vigilância constante da área. Em contrapartida, impactos positivos significativos foram identificados com o potencial de geração de tecnologia para agricultura, desenvolvimento científico e sustentabilidade da atividade produtiva.

### **A.b) Controle biológico:**

Uma implicação tecnológica secundária da introdução do mamão GM é o favorecimento do controle biológico/varietal de doenças. Este é um efeito secundário e positivo, porém neste caso tem repercussões modestas, pois, não aplicam-se rotineiramente medidas de controle químico contra o vírus ou seus vetores. Assim, quaisquer impactos relativos ao controle biológico de pragas serão mínimos.

### **A.b/C) Fatores culturais:**

A interação entre o controle biológico propiciado pelo projeto e os fatores culturais dá-se no âmbito do uso da terra (agricultura) e do “Status” cultural (saúde, segurança e emprego).

### **A.b/C.1.e) Agricultura:**

Por ser um efeito secundário da tecnologia representada pelo mamão GM, e endereçando a área de pesquisa tão somente, considerou-se que o controle biológico representa um impacto de pequena magnitude (+2) no âmbito da estação experimental. É óbvio que este impacto pode ser importante em se considerando a tecnologia e seu alcance para a cultura, mas esta característica ultrapassa o escopo desta avaliação.

### **A.b/outros)**

Considerou-se que o controle biológico trará contribuições para a sustentabilidade da atividade produtiva no âmbito da estação experimental. Este resultado foi considerado pequeno por circunscrever-se à área experimental e somente na relação comparativa com a cultura de mamão convencional. Resultados de grande magnitude positiva e importância podem ser previstos, contudo, caso a tecnologia demonstre-se passível de aplicação no agronegócio brasileiro.

## **B) Construções e modificações do terreno**

O segundo conjunto de ações do projeto definido para avaliação de impacto na matriz de Leopold refere-se a construções e modificações do terreno. As interações entre estas modificações e as condições/características do ambiente devido à introdução da tecnologia

representada pelo mamão GM para a resistência ao vírus da mancha anelar referem-se à necessidade de extensão de cercas e sinalização de alerta na área experimental.

### **B.i/B.2.h) Condições biológicas/fauna:**

O impacto da extensão de cercas, passível de consideração no presente estudo, refere-se primeiramente às barreiras para a fauna, que devido à modesta área destinada ao experimento, têm tanto magnitude quanto importância bastante reduzidas.

### **B.i/C.3) Fatores culturais/Interesses humanos e estéticos:**

A extensão de cercas e a sinalização de alerta podem trazer impactos negativos de pequena magnitude e importância em termos estéticos e de desenho da paisagem.

### **B.i/C.4.c) Status cultural/emprego:**

Considerou-se que a extensão de cercas e a sinalização da área experimental trazem um mínimo impacto na geração de empregos para construção e manutenção na área experimental.

## **J) Acidentes**

Problemas com acidentes no desenvolvimento do projeto podem relacionar-se com invasão/roubo de frutos, ou eventos climáticos extremos, que são considerados, na matriz de Leopold, sob ações acidentais descritas como vazamentos ou falhas de contenção. Um segundo problema poderia relacionar-se às falhas operacionais, como manutenção de cercas e da vigilância, ou com os procedimentos de manejo e tratos culturais, tratamento dos resíduos da cultura e colheita.

### **J.b) Vazamento/falha de contenção:**

Problemas de falha de contenção da variedade de mamão GM para resistência ao vírus da mancha anelar poderiam derivar da ocorrência de eventos climáticos extremos, como cheias ou vendavais. Estes eventos, muito raros na região do estudo, poderiam causar distribuição de partes das plantas no entorno ou na microbacia (importância entre 2 e 4), porém a magnitude deste impacto deve ser considerada mínima, já que os resíduos não são tóxicos ou perigosos. Outro problema passível de consideração, relativo à falha de contenção, seria o roubo de frutos, seja para fins alimentares ou para multiplicação vegetal. Além de sujeito a todo cuidado de vigilância, o uso para multiplicação e plantio pode alcançar nível de magnitude grande (-7), pois a disseminação indevida da variedade implicaria grande prejuízo da pesquisa. Pelo mesmo motivo, problemas com grupos de interesse contrários ao desenvolvimento biotecnológico que viessem a causar problema de contenção, trariam grande

prejuízo. Em ambos os casos, a importância alcançaria o entorno da área experimental, dada a pequena escala do estudo.

### **J.c) Falhas operacionais:**

Os riscos de ocorrência de falhas operacionais no projeto de pesquisa devem ser considerados mínimos, pois a vigilância e a manutenção do experimento classifica-se como entre os serviços essenciais da Unidade de pesquisa. Os problemas, neste item, estariam relacionados às falhas na manutenção das cercas/vigilância ou na colheita dos frutos, que será realizada antes do amadurecimento, evitando sua procura por pássaros e outros animais silvestres, bem como a germinação de sementes em campo.

As operações de disposição dos resíduos compõem outro item que merece atenção para evitar falhas de operação, especialmente no tocante à dessecação, queima e enterro do material vegetal em vala próxima à área experimental. A importância de problemas relacionados a falhas operacionais estaria restrita ao entorno da estação experimental, dada a escala do estudo e as medidas de contenção definidas.

### **Outros indicadores inseridos na Matriz de Leopold**

Duas outras ações resultantes do projeto de avaliação da tecnologia representada pela variedade de mamão GM para resistência ao vírus da mancha anelar foram incluídas na Matriz de Leopold, o Monitoramento Ambiental e a Vigilância.

Quanto ao Monitoramento ambiental, um pequeno impacto positivo foi considerado em relação às várias condições/características ambientais, devido à melhoria nos conhecimentos técnico-científicos relativos a estas características. Para o caso dos insetos, considerou-se que um pequeno impacto negativo pode ocorrer devido às coletas previstas para o monitoramento, que podem impor certa pressão sobre as populações presentes na área experimental. Todos os outros impactos, desde aqueles relativos à qualidade da água, condições biológicas de elementos da fauna e flora, até aqueles relativos aos estudos socioeconômicos, representam impacto positivo pequeno, sempre no âmbito da estação experimental e seu entorno.

A interação entre o Monitoramento Ambiental e as condições/características do desenvolvimento científico e tecnológico, ambos aspectos incluídos na matriz de Leopold para os fins específicos da presente análise e para o presente projeto, por outro lado, deve ser considerada de impacto potencial elevado (+ 7/8). Estes elevados impactos devem-se ao fato da tecnologia representada pela variedade de mamão GM ter potencial para permitir a recuperação da atividade produtiva de mamão no Brasil, além de um importante efeito de influência secundária ou transbordamento (“spill-over”) para outros programas de desenvolvimento de biotecnologias agropecuárias.

Embora a interação entre o Monitoramento ambiental e a Sustentabilidade da atividade produtiva seja muito pequena, efeitos positivos podem ser antevistos, pela obtenção de informações que favoreçam o manejo da cultura, seja em termos de melhor conhecimento da fauna e flora associadas, ou quanto às características do ambiente produtivo.

#### 4.4. Discussão da Avaliação de Impactos Ambientais com a Matriz de Leopold

Os principais impactos potenciais diagnosticados/identificados neste estudo, segundo o método e escala empregados, para a tecnologia variedade de mamão GM, não apresentam magnitude ou importância especialmente elevadas. No tocante aos impactos negativos, o potencial de atuação de grupos de interesse contrários à biotecnologia em geral foram apontados como de magnitude relativa maior. Quanto à importância, dado que a escala do experimento e a área de abrangência devem ser consideradas restritas ao entorno da estação experimental, os valores não são altos.

Já no tocante aos impactos positivos, tanto a magnitude quanto a importância relacionam-se ao desenvolvimento científico e tecnológico passível de obtenção com o projeto. A avaliação integrada das informações sobre a área de abrangência e os impactos potenciais da área de pesquisa com mamão GM, na estação experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura, indica que, efetuadas as contenções e medidas de segurança, é possível desenvolver o projeto e alcançar resultados relevantes para melhoria do conhecimento técnico-científico sobre o comportamento de OGM, em situação de área experimental.

### 5. Avaliação *Ex Ante* de Impactos Ambientais Aplicada à Formulação de Projeto de Pesquisa

#### 5.1. Introdução

A integração das informações referentes aos impactos ambientais esperados com o desenvolvimento do projeto de pesquisa sobre o mamão geneticamente modificado para resistência ao vírus da mancha anelar (mamão GM), considerando a escala da área de pesquisa a campo no Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura foi realizada empregando-se o sistema de Avaliação de Impactos Ambientais em Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico Agropecuário (Rodrigues et al., 2000).

#### 5.2. Metodologia

O sistema compõe-se de um conjunto de planilhas eletrônicas (plataforma MS-Excel®) construídas para permitir a consideração de quatro aspectos de contribuição que uma dada inovação tecnológica, a ser obtida em um projeto de pesquisa, possa trazer para a performance ambiental da produção agropecuária, quais sejam, Alcance, Eficiência, Conservação e Recuperação ambiental. O sistema aplica-se à avaliação *ex ante* de projetos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico agropecuário, com base em um conjunto de indicadores e segundo os dados técnicos do projeto. A inserção dos dados técnicos seqüencialmente nas planilhas de **alcance**, **eficiência tecnológica**, **conservação ambiental**, e

**recuperação ambiental** resulta na expressão do impacto previsto para inovação tecnológica graficamente na planilha **AIA da Tecnologia**.

Os resultados da avaliação *ex-ante* de impactos da tecnologia, no âmbito do projeto de pesquisa e desenvolvimento, são apresentados graficamente comparando o desempenho ambiental previsto para a tecnologia estudada, com o conjunto de resultados de 164 tecnologias anteriormente avaliadas, em um amplo programa de pesquisa no âmbito institucional da Embrapa (O Programa de Cooperação BID, PROCENSUL II). Estas comparações fazem-se via estatísticas descritivas do conjunto de tecnologias, de forma a espelhar a magnitude dos impactos esperados pela transferência ao setor produtivo, dos resultados do projeto de pesquisa e desenvolvimento tecnológico em avaliação (Rodrigues et al., 2000).

### **5.3. Resultados da avaliação *ex-ante* do projeto de pesquisa**

#### **Alcance da tecnologia**

O **alcance da tecnologia** expressa a escala geográfica na qual esta influencia a atividade ou produto ao qual se aplica, 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). No presente caso, a Abrangência considera a área total cultivada com mamão no Brasil, de aproximadamente 35.250 ha. Em termos de influência, tem-se a expectativa que, obtendo-se êxito no desenvolvimento da tecnologia, 100% da área cultivada com mamão no Brasil esteja passível de adotar a variedade resistente, uma vez que as variedades suscetíveis, presentemente empregadas, não oferecem viabilidade econômica a longo termo. Em termos de média de alcance, a tecnologia representada pelo mamão GM para resistência ao vírus da mancha anelar é modesta, comparativamente àquelas resultantes dos projetos componentes do sistema de avaliação, que apresentam média acima de 8.000.000 ha, ainda que a moda seja de 10.000 ha.

O principal resultado deste aspecto da avaliação diz respeito à relevância do projeto, que alcança mais de 250% de ganho potencial, uma vez que espera-se manutenção da produtividade anual da cultura de 40 t/ha, enquanto que a incidência da doença da mancha anelar causa até 72% de perda de produtividade nas variedades suscetíveis atacadas. Este valor é muito superior à média de 51% de relevância para o conjunto dos projetos analisados na base do sistema de avaliação.

#### **Eficiência ambiental da tecnologia**

Em termos de eficiência ambiental da tecnologia, o resultado mais importante é relativo à diminuição nas necessidades de renovação da cultura em curtos períodos de tempo, uma vez que as plantas resistentes a vírus devem permanecer produtivas por períodos mais longos. Esta redução na necessidade de renovação da cultura implica em pequena diminuição no consumo de energia, especificamente o uso de óleo diesel (-10%) para preparo do solo na

renovação dos cultivos. Em relação ao uso de recursos naturais, espera-se uma recuperação total das perdas em produtividade, que por alcançar até 72%, podem implicar neste mesmo nível de redução nas áreas necessárias para cultivo e ocupação do solo, para um volume de produção semelhante ao atual. Isto significaria que os produtores não mais necessitariam migrar para áreas alternativas, muitas vezes marginais ou mesmo áreas antes ocupadas por reservas naturais, livres da presença do vírus.

Estes resultados são bastante favoráveis para a tecnologia representada pelo mamão GM, muito próximo à média de redução no consumo de energia das tecnologias anteriormente avaliadas com o método (-10%), e próximo à moda de redução nas necessidades de uso de recursos naturais (também igual a -10%), especialmente pela melhoria da produtividade e liberação de solos, ainda que não se traduzam em ganhos relativos ao uso de fertilizantes.

### **Resiliência**

Em relação ao aspecto resiliência não se esperam contribuições específicas da tecnologia representada pela variedade de mamão GM. Não há qualquer implicação da tecnologia que possa ser considerada aplicável diretamente à recuperação ambiental, embora a diminuição das necessidades de migração da cultura pudesse ser considerada como fator para não interferência em áreas anteriormente não ocupadas, livres da presença do vírus.

### **Conservação ambiental**

No aspecto conservação ambiental, a tecnologia estudada apresenta interação com quatro indicadores de desempenho, constando da obtenção de (i) dados para estudos de desenvolvimento tecnológico; (ii) qualidade do solo, dada a redução na necessidade de abandono das áreas tornadas improdutivas pela ação do vírus; (iii) contribuição para melhoria da qualidade de vida do produtor rural e (iv) capitalização do produtor, ambas pelo mesmo motivo, de melhoria na perenidade da cultura.

Este resultado (índice de 4 indicadores de desempenho para conservação ambiental) supera a média das tecnologias componentes do sistema de avaliação de impactos de projetos de pesquisa (igual a 3,25 indicadores) e aproxima o desempenho da tecnologia representada pela variedade de mamão GM ao máximo obtido para o conjunto de tecnologias, situado em seis (6) indicadores.

O segundo conjunto de parâmetros para avaliação do impacto ambiental da tecnologia, no que concerne a conservação ambiental, refere-se ao seu efeito na qualidade dos compartimentos ambientais. A tecnologia estudada apresenta um balanço final igual a dois, resultante de seu efeito positivo na (i) redução da emissão de gases e (ii) de particulados, devido à diminuição no consumo de óleo diesel para as operações com máquinas para renovação da cultura; e (iii) pelas vantagens ao produtor, pelo melhor índice técnico da cultura.

Por outro lado, devido a um possível impacto negativo, aventado pela possibilidade de perda de algumas variedades de mamoeiros, eventualmente substituídas pela nova variedade GM, indicou-se impacto negativo para a flora. Este resultado traz a tecnologia da variedade de



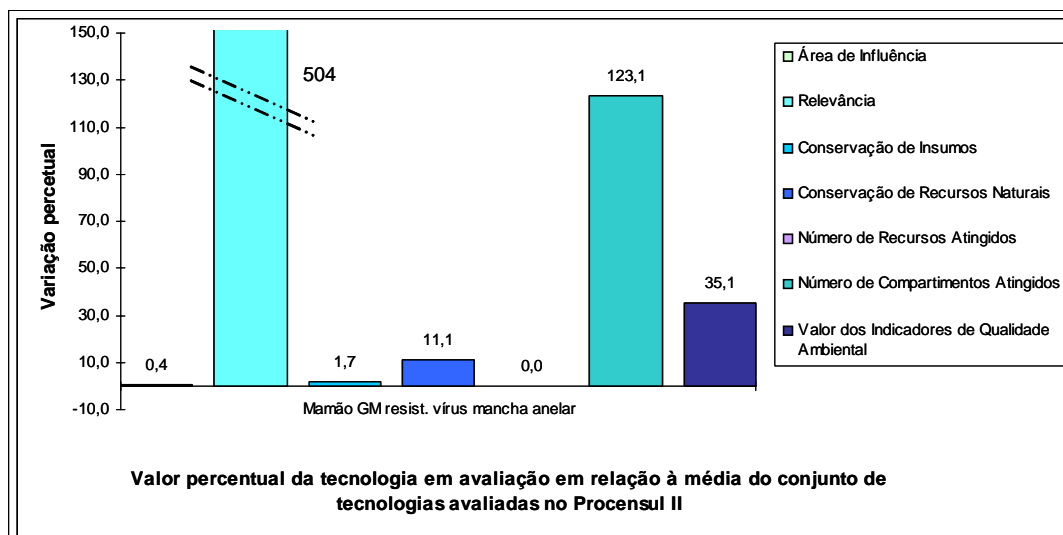
mamão GM a um desempenho, em termos de modificação nos indicadores de qualidade ambiental, inferior à média das tecnologias.

#### 5.4. Avaliação final do projeto de pesquisa de desenvolvimento tecnológico

A tecnologia representada pela variedade de mamão GM tem grande potencial, contribuindo positivamente para a melhoria da sustentabilidade da atividade produtiva, reduzindo impactos causados pelo abandono precoce de áreas tornadas improdutivas pela infestação com o vírus, com isto reduzindo as demandas de insumos e de recursos naturais. Um importante resultado potencial é a possibilidade de permitir ao produtor manter-se por períodos longos de cultivo em uma mesma área, diminuindo a pressão sobre os habitats naturais.

A tecnologia tem potencial de desempenho superior à média das tecnologias consideradas na composição do sistema de avaliação de impactos ambientais empregado nesta análise, tanto em termos de sua relevância, quanto em termos do número de recursos naturais e de compartimentos ambientais aos quais se aplica. Mesmo superior à média do conjunto das tecnologias consideradas, os impactos negativos potenciais aventados referem-se principalmente à possibilidade de perda de variedades amplamente cultivadas de mamoeiro, substituída pela variedade geneticamente modificada, eventualmente considerada mais adequada e adotada maciçamente pelos produtores.

Os resultados da avaliação do projeto de pesquisa, considerando-se todos os aspectos incluídos no Sistema de Avaliação de Impactos Ambientais em Projetos de Desenvolvimento Tecnológico Agropecuário podem ser observados na Fig. 5.



**Fig. 5.** Resultado final da avaliação do projeto de desenvolvimento tecnológico “Variedade de mamão geneticamente modificado para resistência ao vírus da mancha anelar”, comparando-se com os projetos anteriormente avaliados com o “Sistema de avaliação de impactos em projetos de desenvolvimento tecnológico agropecuário”.

## 5.5. Discussão da avaliação de impacto ambiental do projeto de pesquisa

O balanço final da avaliação *ex-ante* de impacto do projeto de pesquisa sobre a variedade de mamão geneticamente modificada para resistência ao vírus da mancha anelar é positivo, indicando que o projeto tem potencial para desenvolvimento e obtenção de resultados favoráveis para a tecnologia em termos de desempenho ambiental e contribuição para a sustentabilidade da atividade produtiva.

## 6. Avaliação *Ex Ante* dos Impactos Ambientais da Inovação Tecnológica Empregando-se o Sistema Ambitec-Agro

### 6.1. Introdução

O AMBITEC-AGRO compõe-se de um conjunto de planilhas eletrônicas (plataforma MS-Excel<sup>®</sup>) construídas para permitir a consideração de quatro aspectos de contribuição de uma dada inovação tecnológica para melhoria ambiental na produção agropecuária: **Alcance, Eficiência, Conservação e Recuperação ambiental**. 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 informações técnicas sobre a inovação tecnológica em avaliação (Rodrigues et al., 2002; 2003a; 2003b). O conjunto dos aspectos, indicadores e componentes incluídos no sistema AMBITEC-AGRO são apresentados na Fig. 5.

O método aplica-se à avaliação *ex ante* de tecnologias agropecuárias, com base em dados técnicos do projeto de pesquisa e desenvolvimento; bem como a avaliação *ex post*, subsidiada por levantamento/vistoria em campo, junto ao produtor adotante da inovação tecnológica. Os dados sempre se referem ao *coeficiente de alteração do componente* para cada indicador, em razão específica da aplicação da inovação tecnológica (no presente caso, a variedade de mamão GM) à atividade e nas condições de manejo específicas do caso sob avaliação.

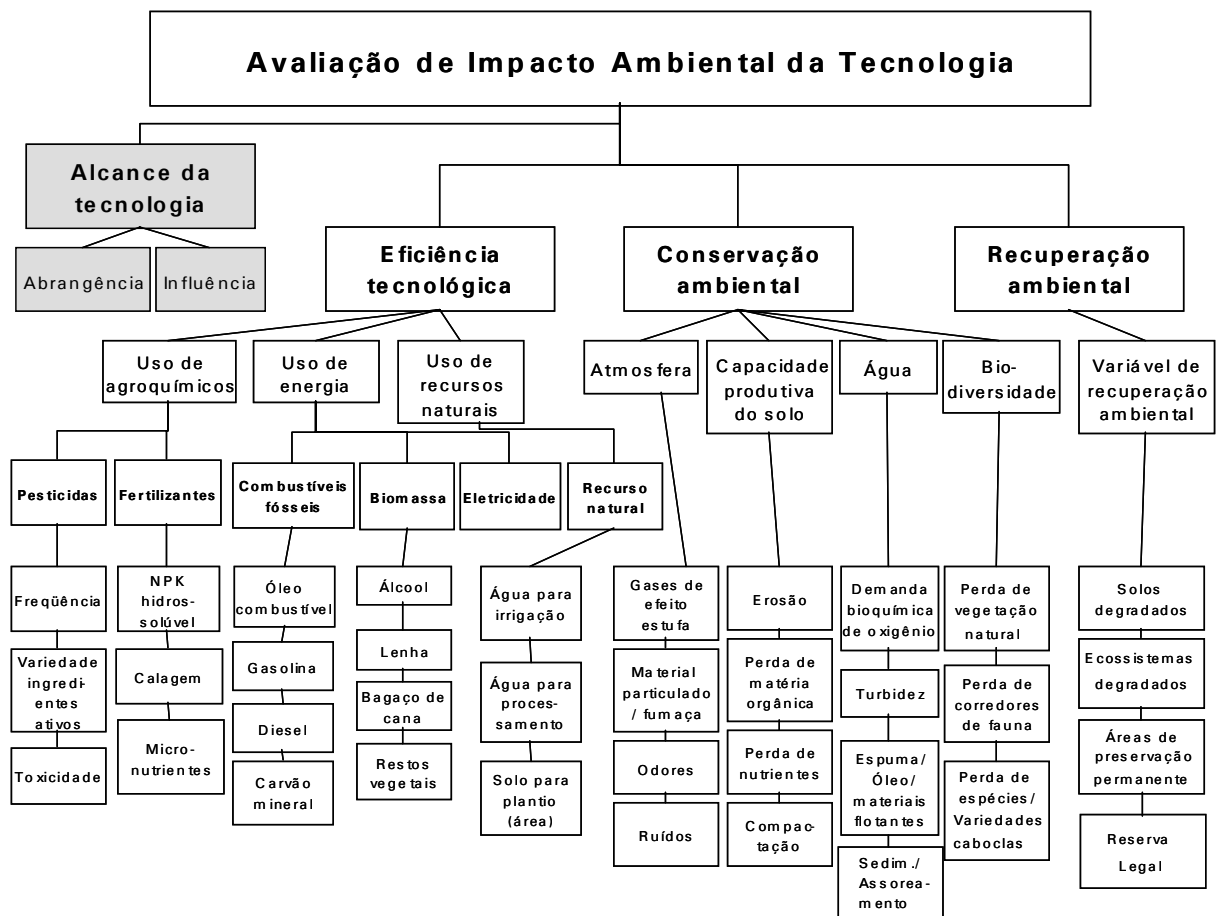


Fig. 5. AMBITEC-AGRO: Estrutura de impactos para avaliação de inovações tecnológicas agropecuárias - aspectos, indicadores e componentes.

Os *coeficientes de alteração do componente* representam a variável explicativa do efeito da tecnologia, e são ponderados nas matrizes automáticas do sistema AMBITEC segundo dois *fatores de ponderação* que se referem à **escala da ocorrência**, e ao **peso do componente** para a formação do indicador.

A **escala da ocorrência** explicita o espaço no qual ocorre o efeito, 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 no componente;
- ii. *local* quando o efeito ocorre externamente a essa unidade produtiva, porém confinado aos limites da propriedade;
- iii. no *entorno* quando o efeito abrange além dos limites da propriedade.

O segundo *fator de ponderação* incluído nas matrizes de avaliação do efeito da tecnologia é o **peso do componente** para a formação do indicador de impacto ambiental. Os valores dos pesos dos componentes expressos nas matrizes podem ser alterados pelo usuário do sistema, para melhor refletir situações específicas de avaliação, nas quais pretende-se

ênfatisar alguns dos componentes, desde que o peso total dos componentes para um dado indicador seja igual à unidade (1).

A inserção dos *coeficientes de alteração do componente* diretamente nas matrizes e seqüencialmente nas planilhas de **eficiência tecnológica**, **conservação ambiental**, e **recuperação ambiental** resultam na expressão do efeito da inovação tecnológica, ponderada pelos *fatores de ponderação* devido à *escala da ocorrência* e ao *peso do componente*, e os resultados finais da avaliação de impacto são expressos graficamente na planilha **AIA da Tecnologia**. 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).

## 6.2. Resultados da avaliação de impactos da tecnologia com o AMBITEC-AGRO

### Alcance da tecnologia

Em termos de influência, tem-se a expectativa que, obtendo-se êxito no desenvolvimento da tecnologia, 100% da área cultivada com mamão no Brasil seja passível de adotar a variedade resistente, uma vez que as variedades suscetíveis presentemente empregadas não oferecem viabilidade econômica a longo termo.

### Eficiência tecnológica

A **eficiência tecnológica** refere-se à contribuição da tecnologia para a redução da dependência do uso de insumos, sejam estes insumos tecnológicos ou naturais. Os indicadores de eficiência tecnológica são: uso de agroquímicos, uso de energia, e uso de recursos naturais.

O **(I) uso de agroquímicos** é composto pelo a) uso de pesticidas, avaliado conforme a alteração (devido à aplicação da tecnologia) na: 1) frequência, 2) variedade de ingredientes ativos, e 3) toxicidade dos produtos; e pelo b) uso de fertilizantes, avaliado conforme alteração na: 4) quantidade de adubos hidrossolúveis, 5) calagem, e 6) micronutrientes aplicados em consequência da tecnologia em avaliação.

No caso do presente estudo, considerou-se que a tecnologia do mamão GM não causará qualquer efeito em qualquer dos componentes do uso de pesticidas, resultando em um impacto igual a zero.

Quanto ao uso de fertilizantes, tampouco se espera qualquer modificação devido à adoção tecnológica, permanecendo os componentes inalterados.

O **(II) uso de energia** compõe-se de alteração no consumo de a) combustíveis fósseis [expressos como: 7) óleo combustível, 8) gasolina, 9) diesel e 10) carvão mineral], b) biomassa [expressa como: 11) álcool, 12) lenha, 13) bagaço-de-cana e 14) restos vegetais] e 15) eletricidade; e do **(III) o uso de recursos naturais**, que é avaliada em termos da

necessidade, imposta pela tecnologia, de: 16) água para irrigação, 17) água para processamento, e 18) solo para plantio.

No caso da presente avaliação, para uso de energia considerou-se que a única implicação da tecnologia seria uma moderada economia de óleo diesel, devido à redução nas operações de renovação da cultura, que em sendo resistente ao vírus, poderá permanecer na mesma área por períodos estendidos de tempo. Os outros componentes do uso de energia permanecem inalterados ou sem efeito.

Para uso de recursos naturais considerou-se que permaneceriam inalterados os componentes de uso de água, seja para irrigação ou processamento, enquanto o incremento na eficiência produtiva, devido ao controle de uma importante doença da cultura, permitiria a moderada redução da necessidade de área para cultivo, para obtenção do mesmo volume de produção do presente.

### **Conservação ambiental**

A contribuição da tecnologia para a **conservação ambiental** é avaliada segundo seu efeito na qualidade dos compartimentos do ambiente, ou seja, **atmosfera, capacidade produtiva do solo, água e biodiversidade**. O efeito da tecnologia na **(IV) qualidade da atmosfera** é avaliado segundo alteração na: 19) emissão de gases de efeito estufa, 20) material particulado e fumaça, 21) odores e 22) ruídos. Os efeitos da tecnologia sobre a **(V) capacidade produtiva do solo** são medidos pela alteração na: 23) erosão, 24) perda de matéria orgânica, 25) perda de nutrientes e 26) compactação. Os componentes de efeito na **(VI) água** são: 27) alteração na demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>, que se refere ao conteúdo orgânico das águas), 28) turbidez, 29) espuma/óleo/materiais flotantes, e 30) sedimentos/assoreamento de corpos d'água. Em relação ao compartimento **(VII) biodiversidade**, considera-se o efeito resultante da aplicação da tecnologia para: 31) perda de vegetação nativa, 32) perda de corredores de fauna, e 33) extinção de espécies ou de variedades já cultivadas.

Para o caso dos impactos sobre a qualidade da atmosfera, considera-se que a redução prevista no uso de óleo diesel (devido à diminuição das operações de renovação da cultura) resultaria em pequena diminuição nas emissões de gases de efeito estufa, material particulado e fumaça, além de diminuição de ruídos, permanecendo inalterada a produção de odores (Fig. 6). Todos esses componentes estariam sendo reduzidos somente na escala pontual, do campo de cultivo, pois somente as operações de preparo do solo seriam afetadas.

Tabela de coeficientes de alteração da emissão de poluentes						
Atmosfera		Tipo do poluente				Averiguação fatores de ponderação
		Gases de efeito estufa	Material particulado / fumaça	Odores	Ruídos	
Fatores de ponderação k Sem efeito Puntual Local Entorno	Marcar com X	-0,4	-0,4	-0,1	-0,1	-1
	1	-1	-1	0	-1	
	2					
	5					
Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)		<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0</b>	<b>0,1</b>	<b>0,9</b>

**Fig. 6.** Avaliação dos impactos potenciais da variedade de mamão geneticamente modificada para resistência ao vírus da mancha anelar sobre a qualidade da atmosfera, segundo o sistema AMBITEC-AGRO.

Em relação à capacidade produtiva do solo, prevê-se que não deverá ocorrer alteração nos componentes de erosão, matéria orgânica ou nutrientes, enquanto a diminuição no trânsito de máquinas, pela redução das operações de renovação da cultura, resultará em diminuição da compactação.

Enquanto não é prevista qualquer alteração relativa aos componentes de qualidade da água, em relação aos impactos sobre a biodiversidade, admite-se que a tecnologia representada pela variedade de mamão GM terá moderada influência positiva sobre a vegetação nativa e trará melhoria na conservação de corredores de fauna. Esses efeitos são esperados devido à diminuição do abandono das áreas infestadas com a doença, e em consequência da necessidade de novas áreas livres da presença do vírus para renovação da cultura, muitas vezes áreas marginais e ocupadas por vegetação nativa e corredores de fauna. Esse efeito foi considerado passível de ocorrer no âmbito local, da propriedade rural, onde essas novas áreas seriam prioritariamente procuradas.

Ainda em relação a impactos sobre a biodiversidade, admite-se que a inovação tecnológica poderá resultar em perda de variedades tradicionalmente cultivadas, que por serem também suscetíveis ao vírus, poderão ser substituídas pela nova variedade (Fig. 7). Esse possível efeito negativo foi inserido como passível de ocorrer na escala geográfica maior indicada pelo sistema, no entorno da propriedade rural propriamente dita.

Tabela de coeficientes de alteração da variável								
Biodiversidade		Variável de biodiversidade			Averiguação fatores de ponderação			
		Perda de vegetação nativa	Perda de corredores de fauna	Perda de espécies / variedades caboclas				
Escala da ocorrência = Fatores de ponderação k Sem efeito      Marcar com X	Pontual	1			-1			
	Local	2	-1	-1				
	Entorno	5		1				
	Coeficiente de impacto = (coeficientes de alteração * fatores de ponderação)			0,8		0,6	-1,5	-0,1

Fig. 7. Avaliação dos impactos potenciais da variedade de mamão geneticamente modificada para resistência ao vírus da mancha anelar sobre a biodiversidade, segundo o sistema AMBITEC-AGRO.

### Recuperação ambiental

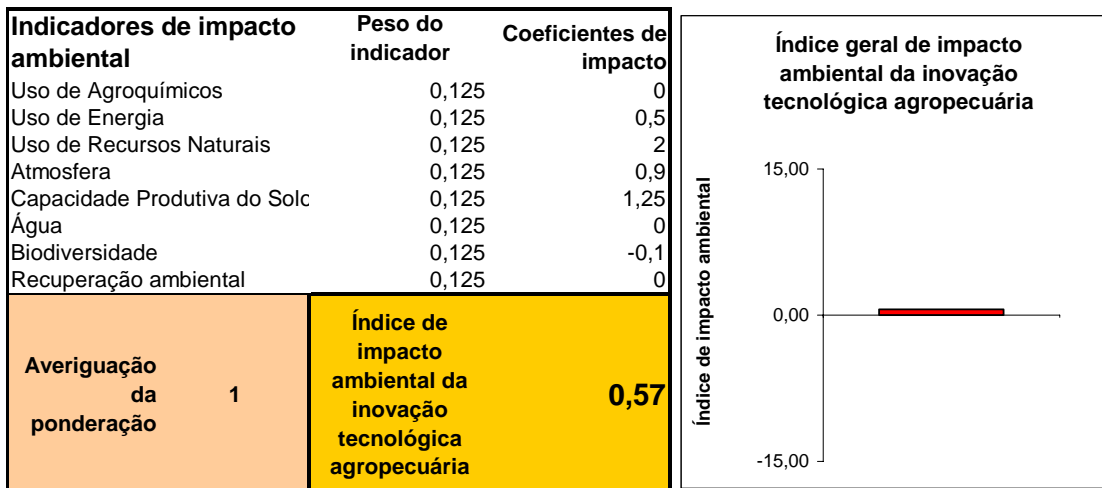
A **recuperação ambiental** inclui-se no sistema AMBITEC devido ao estado de degradação observado praticamente na totalidade das regiões agrícolas do país, impondo que o resgate desse passivo ambiental deva ser incorporado em todos os processos de inovação tecnológica agropecuária. Este aspecto da avaliação refere-se à efetiva contribuição da inovação tecnológica para a recuperação de: 34) solos degradados, 35) ecossistemas degradados, 36) áreas de preservação permanente (incluindo áreas de mananciais e de vegetação ciliar), e 37) Reserva Legal. Considerou-se que a tecnologia representada pela variedade de mamão GM, enquanto avaliada no âmbito da estação experimental, não traria qualquer influência no indicador de recuperação ambiental

### Avaliação de impacto ambiental

Uma vez inseridos os *coeficientes de alteração* dos componentes dos indicadores de impacto ambiental do Sistema AMBITEC, apresentam-se na planilha **AIA da tecnologia** os resultados gráficos da avaliação para cada um dos aspectos e indicadores. Uma última etapa de ponderação é realizada pela definição da importância de cada indicador na composição do Índice Geral de Impacto da Inovação Tecnológica Agropecuária. Para o presente caso, conforme preconizado pela metodologia para quando não existam situações especiais que assim indiquem, os indicadores receberam pesos semelhantes (0,125).

Com base na avaliação *ex ante* do impacto ambiental da tecnologia representada pela variedade de mamão GM aplicando-se o sistema AMBITEC-AGRO, obteve-se um Índice Geral de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária igual a 0,57 de um total possível de 15,00 (Fig. 8). Conforme preconizado pela metodologia, a norma de avaliação é que este

índice seja positivo, para que a tecnologia seja considerada vantajosa para adoção. Com este resultado, a tecnologia apresenta-se como promissora para desenvolvimento e adoção.



**Fig. 8.** Coeficientes de impacto para os indicadores de impacto ambiental e Índice geral de impacto da inovação tecnológica agropecuária representada pela variedade de mamão geneticamente modificada para resistência ao vírus da mancha anelar, segundo método AMBITEC-AGRO.

### 6.3. Conclusão da avaliação de impactos da tecnologia com o AMBITEC-AGRO

O único componente analisado que potencialmente traria prejuízo estaria relacionado à possibilidade de ocorrência de fluxo gênico, caso este fosse considerado deletério, ou a substituição de variedades caboclas/tradicionais pela variedade desenvolvida, já que as primeiras são susceptíveis ao vírus da mancha anelar.

Conclui-se que a avaliação integrada dos impactos potenciais da variedade de mamão GM para resistência ao vírus da mancha anelar, segundo os dados técnicos disponíveis, aponta para a obtenção de benefícios nos âmbitos da eficiência tecnológica, pequeno benefício quanto à conservação ambiental, ainda que com um potencial impacto negativo sobre a biodiversidade, no âmbito da área experimental a ser estabelecida na Embrapa Mandioca e Fruticultura.



## **7. Análise Comparativa Entre os Três Métodos Utilizados para Avaliação Ax Ante de Impactos Ambientais do Projeto de Pesquisa no Caso "Variedade de Mamão Geneticamente Modificado para Resistência ao Vírus da Mancha Anelar"**

### **Matriz de Leopold Avaliação de impactos ambientais de projeto de pesquisa e Sistema AMBITEC-AGRO**

Os métodos empregados no presente estudo para a realização da avaliação de impacto ambiental da implantação de área de pesquisa em campo, da variedade de mamão GM, incluindo-se a Matriz de Leopold, a análise *ex-ante* de projeto de pesquisa e o AMBITEC-AGRO, podem ser colocados todos em um mesmo nível de eficácia, cada qual com suas vantagens e desvantagens.

A matriz de Leopold, tendo sido formulada primeiramente para a avaliação de impactos ambientais de projetos de obras de engenharia, prestou-se satisfatoriamente para a avaliação de impactos ambientais de uma tecnologia agropecuária, a exemplo da variedade de mamão GM. A principal vantagem deste método é a natureza inclusiva da matriz, que contempla uma ampla lista de controle de ações e interação com uma completa lista de características/condições do ambiente da área de influência. Uma vantagem adicional importante é que a matriz, enquanto sujeita à crítica de compor-se com índices subjetivos de impacto, permite uma avaliação instruída e organizada com base em dados técnicos do projeto. A definição da escala para balizamento dos valores de magnitude e importância, conforme incluído neste estudo, empresta uma qualidade considerável às ponderações e transparência à avaliação. Mas é preciso ressaltar a impossibilidade de incluir dados muito relevantes na análise de impacto, como é o caso da probabilidade do impacto ocorrer, o que tende a limitar um pouco a confiabilidade dos resultados obtidos com esta metodologia. Dessa maneira, a metodologia da matriz de Leopold em muito vem contribuir para o desenho de metodologias mais consistentes e integradas de avaliação de impactos ambientais aplicados à pesquisa com OGM.

A avaliação empregando-se o Sistema de Avaliação de Impactos em Projetos de Desenvolvimento Tecnológico Agropecuário trouxe a vantagem de permitir uma melhor consideração da escala na qual a tecnologia representada pela variedade de mamão GM alcançará o ambiente produtivo desta cultura no Brasil. Ademais, permitiu verificar, comparativamente a uma extensa coleção de estudos já realizados com o método, as perspectivas de aplicabilidade da tecnologia. Ainda que essas perspectivas de aplicabilidade sejam modestas em termos dos ganhos ambientais passíveis de obtenção com a tecnologia, justifica-se o esforço de pesquisa dedicado ao estudo.

Já a avaliação com o AMBITEC-AGRO favoreceu uma certa quantificação, mesmo que em escala artificial, do nível e direção dos impactos esperados para a tecnologia. Atendendo à norma estabelecida pelo método, de buscar desenvolvimento tecnológico evitando-se impactos ambientais negativos, a tecnologia representada pela variedade de mamão GM apresentou Índice geral de impacto positivo. A circunstância de gerar impacto negativo sobre a biodiversidade estaria condicionada pelo possível efeito de perda de variedades caboclas atingindo todo o entorno das áreas de cultivo, enquanto as possíveis vantagens previstas quanto à perda de vegetação nativa e de corredores de fauna alcançariam somente as áreas de cultivo. Assim, mesmo para o único indicador de impacto com direção negativa, há componentes positivos ou favoráveis.

Ainda que a avaliação com o sistema AMBITEC-AGRO envolva subjetividade na designação de coeficientes de alteração, há uma organização objetiva das ponderações e uma hierarquização clara na estrutura de impactos, resultando em uma avaliação melhor instruída, quantitativamente mais robusta, de execução mais prática e com um mecanismo de expressão de resultados em forma de relatório que melhora a decisão quanto às medidas corretivas ou preventivas que contribuam para a adequação da tecnologia.

O exercício de avaliação de impactos ambientais potenciais da implantação de áreas de pesquisa com a variedade de mamão GM, que neste presente trabalho exemplifica os procedimentos relativos a três métodos selecionados, permitiu verificar vantagens e desvantagens comparativas desses métodos. Contudo, devido às incertezas associadas a avaliações *ex-ante* em geral, e especificamente aquelas relativas a tecnologias que envolvam OGM em especial, deve-se concluir que seria recomendável a construção de um método dedicado, que promova a interação de atores representantes dos vários grupos de interesse envolvidos no debate dos possíveis impactos e da segurança ambiental desses organismos.

É recomendação deste trabalho que esforço seja dedicado à construção de um método, que favoreça de um lado a consideração dos mais variados aspectos e indicadores dos impactos ambientais de OGMs, e de outro permita a simultânea participação de um amplo painel de avaliadores, de forma a aumentar a representatividade e a legitimidade do processo de avaliação de impactos ambientais de OGM. Somente com o atendimento desses requisitos estarão sendo preparadas as bases metodológicas para os próximos passos do desenvolvimento tecnológico nessa área, quais sejam, aqueles referentes a biossegurança para o plantio comercial dessas variedades vegetais.

## 8. Referências Bibliográficas

ABREU, U.G.P.; MARIANTE, A.S.; SANTOS, A.S. Conservação genética de raças naturalizadas do Pantanal. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, v.1, n.5, p.18-21, 1998.

ALLMANSBERGER, R.; BRAU, B.; PIEPERSBERG, W. Genes for gentamycin-(3)-N-acetyltransferases III and IV. II. Nucleotide sequences of three AAC(3)-III genes and evolutionary aspects. **Molecular and General Genetics**, v.198, p.514-520, 1985.

AN, G. Development of plant promoter expression vectors and their use for analysis of differential activity of nopaline synthase promoter in transformed tobacco cells. **Plant Physiology**, v.81, p.86-91, 1986.

BADILLO, V. **Monografia de la familia Caricaceae**. Maracay, Venezuela, 1971.

BAKER, H.G. The evolution of weeds. In: PIRES, C.S.S.; FONTES, E.M.G.; SUJII, E. R. **Impacto ecológico de plantas geneticamente modificadas: o algodão resistente a insetos como estudo de caso**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2003. 237p.

BERTOLLO, P. Assessing ecosystem health in governed landscapes: a framework for developing core indicators. **Ecosystem Health**, v.4, p.33-51, 1998.

BEVAN, M.; BARNES, W.M.; CHILTON, M.D. Structure and transcription of the nopaline synthase gene region of T-DNA. **Nucleic Acid Research**, v.11, p.369-385, 1983.

BISSET, R. **Methods for assessing direct impacts**. Dordrecht: D. Reidel, 1983. p.195-212.

BISWAS, A.K.; GEPING, Q. **Environmental impact assessment for developing countries**. London: Tycooly International, 1987.

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. **Las evaluaciones de impacto ambiental**. Madrid: Centro Internacional de Formación de Ciencias Ambientales, 1980. 100p.

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

BUAINAIN, A.M.; SILVEIRA, J.M. Porque precisamos dos transgênicos? **Revista de Agronegócios da FGV**, p. 42-44, 2003.

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: Lewis Publishers, 1986. 382p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2002. 256p.

CORNFORTH, I.S. Selecting indicators for assessing sustainable land management. **Journal of Environmental Management**, v.56, p.173-179, 1999.

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.

DINÂMICA DO DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO. **Evolução da biotecnologia agrícola pelo número de experimentos a campo nos EUA**. Disponível em: <<http://www.bio-era.net/modules/wfsection/article.php>>. Acesso em: 13 fev. 2003.

ERICKSON, P.A. **A practical guide to environmental impact assessment**. San Diego: Academic Press, 1994. 266p.

FIGUEIRAS, T. S.; PEREIRA, B.A.S. Flora do Distrito Federal. In: PINTO, M. N. (Org.). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. 2. ed. Brasília: Ed. UnB/SEMATEC, 1994. p.345-404.

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.

GUILHERME, L.R.G. Fundamentos da análise de risco. In: BORÉM, A. **Biotecnologia e meio ambiente**. Viçosa: Editora da Universidade de Viçosa, 2004. p.119-146.

HERZOG, F.; GOTSCH, N. Assessing the sustainability of smallholder tree crop production in the tropics: a methodological outline. **Journal of Sustainable Agriculture**, v.11, n.4, p.13-37, 1998.

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

INTERNATIONAL SERVICE FOR THE ACQUISITION OF AGRI-BIOTECH APLICATIONS (ISAAA). **Situação global do cultivo de transgênicos comercializados em 2003**. [S.l.]: ISAAA, 2003.

KEE, W. **Papaya in Hawaii**. Honolulu: Cooperative Extension Service. University of Hawaii, 1970. 57p. (Circular 436).

LAJOLO, F.M.; NUTTI, M.R. **Transgênicos: bases científicas da sua segurança**. São Paulo: SBAN, 2003. 112p.

LEOPOLD, L.B.; CLARKE, F.E.; HANSHAW, B.B.; BALSLEY, J. R. **A procedure for evaluating environmental impact**. Washington, D. C.: US Geological Survey, 1971. (Circular 645).

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

LUBY, J.J.; MCNICHOL, R.F. Gene flow from cultivated to wild raspberries in Scotland; developing a basis for risk assessment for testing and deployment of transgenic cultivars. In: PIRES, C.S.S.; FONTES, E.M.G.; SUJII, E.R. **Impacto ecológico de plantas geneticamente modificadas: o algodão resistente a insetos como estudo de caso**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2003. 237p.

MAXWELL, T.J.; HILL, G.W.; MATTHEWS, K.B. Sustainable rural land use. **Journal of the Royal Agricultural Society of England**, v.160, p.28-41, 1999.

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

MENDONÇA, R.C.; FELFILI, J.M.; WALTER, B.M.T.; SILVA JR., M.C.; REZENDE, A.V.; FILGUEIRAS, T. S.; NOGUEIRA, P E. Flora vascular do Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1998. p. 289-556.

MORVARIDI, B.; WEISS, J.; WEISS, J. **Sustainable development and project appraisal**. The economics of project appraisal and the environment. Aldershot, UK: Edward Elgar, 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.

ODELL, J. T.; NAGY, C.; CHUA, N. H. Identification of DNA sequences required for activity of the cauliflower mosaic virus 35S promoter. **Nature**, v. 313, p.810-812, 1985.

PIETRZAK, M.; SHILITO, R. D.; HOHN, T.; POTRYKUS, I. Expression in plants of two bacterial antibiotic resistance genes after protoplast transformation with a new plant expression vector. **Nucleic Acids Research**, v.14, p.5857-5868, 1986.

PIMENTA-BUENO, J. A. **Brasil profile of vc: new venture capital research-action and demonstration project-mid term report**. Rio de Janeiro: PUC, 2000.

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

PIRES, C. S. S.; FONTES, E. M. G.; SUJII, E. R. **Impacto ecológico de plantas geneticamente modificadas: o algodão resistente a insetos como estudo de caso**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2003. 237p.

PURCIFULL, D. E.; EDWARDSON, J. R.; HIEBERT, E.; GONSALVES, D. **Papaya ringspot virus**. CMI/AAB Descriptions of Plant Viruses, n. 84, revised, 1984.

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**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999. 184p.

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

RODRIGUES, G. S. Impacto das atividades agrícolas sobre a biodiversidade: causas e conseqüências. In: GARAY, I.; DIAS, B. (Org.). **Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais: avanços conceituais e revisão de novas metodologias de avaliação e monitoramento**. Petrópolis: Vozes, 2001. p.128-139.

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

RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C.; KITAMURA, P. C. Avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária: um sistema de avaliação para o contexto institucional de P&D. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v.19, n.3, p.349-375, 2002.

RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C.; KITAMURA, P. C. An environmental impact assessment system for agricultural R&D. **Environmental Impact Assessment Review**, v.23, p.219-244, 2003a.

RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C.; KITAMURA, P. C. **Avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária**: Ambitec-Agro. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003b. 93p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 34).

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.

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo. **Estudo de impacto ambiental – EIA e relatório de impacto ambiental – RIMA: Manual de Orientação**. São Paulo: SEMA – Coordenadoria de Planejamento Ambiental, 1992. 39p.

SIQUEIRA, J. O.; TRANNIN, I. C. B. de; RAMALHO, M. A. P.; FONTES, E. M. G. Interferências no agrossistema e riscos ambientais de culturas transgênicas tolerantes a herbicidas e protegidas contra insetos. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, v.21, n.1, p. 11-81, 2004.

SOUZA JR., M. T. **Analysis of the resistance in genetically engineered papaya against papaya ringspot potyvirus, partial characterization of the PRSV.Brazil.Bahia isolate, and development of transgenic papaya for Brazil.** 1999. Ph.D. Dissertation - Cornell University.

STOCKLE, C.O.; PAPENDICK, R.I.; SAXTON, K.E.; CAMPBELL, G.S.; VAN EVERT, F.K. A framework for evaluating the sustainability of agricultural production systems. **American Journal of Alternative Agriculture**, v.9, n.1-2, p.45-51, 1994.

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

TAYLOR, D.C.; MOHAMED, Z.A.; SHAMSUDIN, M.N.; MOHAYIDIN, M.G.; CHIEW, E.F.C. Creating a farmer sustainability index: a Malaysian case study. **American Journal of Alternative Agriculture**, v.8, n.4, p.175-184, 1993.

TOPFER, R.; GRONENEBORN, B.; SCHELL, J.; STEINBISS, H. H. Uptake and transient expression of chimeric genes in seed-derived embryos. **Plant and Cell**, v.1, p.133-139, 1980.

TRINDADE, A. V. (Org.). **Mamão: produção e aspectos técnicos.** Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura; Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. 77p.

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

