



**ALGORÍTMO COMO FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO PARA  
AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE NA INTRODUÇÃO DE NOVAS  
TECNOLOGIAS AGRÍCOLAS.**

MARCOS VALOIS<sup>1</sup>; KATIA R. E. DE JESUS-HITZSCHKY<sup>2</sup>

Nº 11417

**RESUMO**

A avaliação dos impactos das tecnologias agrícolas pode ser uma aliada do processo de decisão. Este trabalho apresenta uma metodologia para a avaliação dos impactos de inovações tecnológicas com adequações para a avaliação integrada das tecnologias agrícolas e suas aplicações, fornecendo informações organizadas de acordo com critérios e indicadores nas diversas dimensões onde os impactos da liberação ou utilização da tecnologia agrícola podem ser percebidos. O método consiste de um sistema que permite a análise do cenário no qual a tecnologia será introduzida, a partir da geração do índice de significância e a avaliação do desempenho da inovação, pela análise dos indicadores de impactos que irão compor o índice de magnitude. Este sistema conta com uma ferramenta de apoio, o software “Inovatec-AGRO”, com informações apresentadas como um norteador para permitir uma avaliação instruída e embasada.

---

<sup>1</sup> Estagiário da Embrapa Meio Ambiente, Rodovia SP 340, Km 127,5 CP. 69, CEP: 13820-000 – Jaguariúna – SP – Brasil Telefone: (19) 33112641 Fax: (19) 33112640; Graduação em Engenharia de Controle e Automação, FAJ ✉valois.marcos@gmail.com

<sup>2</sup> Orientadora: Pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP; katiareg@cnpma.embrapa.br.



## ABSTRACT

Agricultural technology impact assessment may be a helpful tool in the decision-making process. The present work suggests a method to evaluate the impact of technological innovation, with adequacy to assess agricultural technology providing information organized according to criteria and indicators in several areas where the innovation can be perceived, focusing the complexity of the innovation under investigation. The method consists of a system that allows the analysis of the innovation range starting from the generation of the significance index, and the assessment of the innovation performance through the analysis of the performance indicators which will compose the magnitude index. This system has a support tool, the software “*Inovatec-Agro*”, with information shown as a guide to allow a well-informed and a well-based evaluation.

## INTRODUÇÃO

A avaliação de impactos consiste na análise sistemática dos efeitos causados pela implantação de determinado projeto ou programa, avaliando as diversas etapas e aspectos dessa implantação.

A avaliação de impactos de tecnologias, de maneira geral, pode ser uma aliada do processo de decisão. Mecanismos de busca de informações, ferramentas de compilação de dados de maneira sistematizada e que permitam a geração de conclusões rastreáveis compõem os elementos-chave para garantir que os processos decisórios culminem na gestão adequada da inovação, com a otimização de recursos e resultados.

A avaliação de impactos quando da implantação de tecnologias agrícolas é um importante instrumento para garantir a adoção de medidas de proteção ambiental, podendo resultar em uma excelente política quando analisada em conjunto com os fatores sociais e econômicos.

Avaliar esses impactos é um passo importante para a introdução de novas tecnologias agrícolas. Esse procedimento avalia todas as possíveis influências da tecnologia na sua relação com o ambiente, saúde humana e nas relações econômicas e sociais. Essa avaliação de impactos, realizada por intermédio de análise caso a caso através da utilização de indicadores, pode ser uma ferramenta útil para o processo de tomada de decisão para essas tecnologias agrícolas.

Sistemas de Apoio a Decisão é todo o sistema que forneça informações para a tomada de decisão e que também contribua para esse processo decisório (SPRAGUE,

WATSON, 1991). É um processo que envolve não somente a obtenção de informações, armazenamento, comparações, análises caso a caso fornecendo cenários prospectivos para possibilitar a tomada de decisão, mas também possibilitando a retroalimentação do processo para obter novas possibilidades de resultados mediante alterações, caracterizando um sistema de avaliação ex-ante.

Um sistema de apoio a decisão deve possibilitar a interação direta com o usuário durante o processo, de maneira flexível na busca e obtenção de informações, além de possibilitar a integração de novas ferramentas, fornecendo respostas rápidas, condizentes, entretanto, com a realidade, de maneira confiável e usual. Esses sistemas são implantados geralmente pelo uso de softwares criados exclusivamente para cada área, devido à necessidade de rapidez e a quantidade de interações que seriam pouco práticas se aplicadas por outros métodos.

A metodologia proposta fornece um sistema de apoio à decisão (SAD) mediante avaliação caso a caso dos componentes envolvidos na implantação, mediante utilização de indicadores.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este novo formato metodológico 'Inovatec-AGRO' foi adaptado a partir da metodologia de avaliação de impactos da implantação de inovações tecnológicas, publicado em 2007, Inovatec-System (JESUS-HITZSCHKY, 2007). Essa metodologia permite a avaliação da inovação por meio de 3 ferramentas:

**Planilha de análise do cenário da inovação (índice de significância):** obtido pela interação de 3 fatores:

- a) Alcance (meio ambiente, saúde humana, qualidade de produto ou processo, social, econômico, político e legal);
- b) Influência (direta ou indireta) do alcance; e
- c) Extensão da utilização da tecnologia (pontual, local, regional, nacional e internacional).

A Equação 1 apresenta a interação desses 3 fatores para gerar o índice de Significância.

Equação 1: Índice de Significância

$$\text{Índice de SIGNIFICÂNCIA} = \left( \sum_{n=a}^{\infty} (\text{Peso}_n \times \text{Influência}_n) \right) \times \text{Extensão}$$

**Planilhas de avaliação dos indicadores para geração do Índice de Magnitude**, obtido pela interação entre o peso definido para cada indicador e o valor atribuído pelo usuário para cada indicador, por dimensão. A média dos valores obtidos em todas as dimensões fornece o Índice de Magnitude e essa interação é apresentada na equação 2.

Equação 2: Índice de Magnitude

$$\text{Índice de MAGNITUDE} = \frac{\{\sum_{n=A}^H [\sum (\text{Peso do Indicador} \times \text{Valor do Indicador})]_n\}}{n^{\circ} \text{ de Dimensões analisadas}}$$

Finalmente, a combinação destes dois índices (Significância X Magnitude) possibilitam a apresentação dos resultados na

**Matriz de Impacto, com Sistema de Apoio à Decisão**, apresentadas nas figuras 2 e 3.

O Índice de Magnitude organiza os parâmetros ou indicadores de acordo com o foco da dimensão, permite ao usuário inserir os valores do nível de importância ou magnitude dos parâmetros. Os indicadores estão agrupados nas dimensões: A: Ambiental, B: Desenvolvimento Institucional, C: Capacitação, D: Econômica, E: Social, F: Introdução da Inovação, G: Ocorrências Inesperadas e H: Indicadores Específicos, estes últimos devem ser inseridos pelo usuário, com vistas a permitir a avaliação caso a caso da tecnologia.

A metodologia 'Inovatec-Agro', apresentada nesse trabalho, acrescenta a esse Sistema a Dimensão Agrícola, que propõe indicadores específicos para implantação de tecnologias agrícolas. A tabela 1 apresenta os novos indicadores da Dimensão Agrícola. A integração dessa dimensão a um sistema de avaliação eficiente já existente proporciona uma metodologia de avaliação mais completa, fornecendo ao usuário, tomadores de decisão e avaliadores que atuem nesta área, um orientador para uma avaliação mais embasada.

**TABELA 1:** Indicadores da Dimensão Agrícola

Item	Indicador	Justificativa do indicador
1	Complexidade do Manejo para o cultivo em questão	Em alguns casos de introdução de inovações disruptivas à campo, a viabilidade e produtividade da cultura pode depender de manejos complexos e as vezes dispendiosos.
2	Localização geográfica do cultivo	Este indicador deve ser considerado no caso de culturas que requeiram segregação ou certo grau de contenção, em função, por exemplo da necessidade de cuidados para evitar o fluxo gênico - como os OGMs - os componentes: a localização em relação às espécies sexualmente compatíveis, ou de áreas de proteção ambiental e / ou outras tecnologias compatíveis. Se o plantio é próximo ao rio; regiões com muito vento; próximo a mata nativa.

3	Potencial de Fluxo gênico devido à mobilidade e distância do pólen	Especialmente no caso da introdução de espécies exóticas ou OGM.
4	Alteração dos resíduos gerados que possam alterar a composição/ qualidade da água, solo e ar	Este indicador deve ser considerado para novas culturas agrícolas ou novas tecnológicas agrícolas que introduzam no campo substratos cujo processamento pode gerar um resíduo diferente do usual e que requeira um manejo específico.
5	Alteração do nível de poluentes sólidos, químicos, biológicos.	Do mesmo modo que a justificativa anterior, este indicador deve ser considerado para novas culturas agrícolas ou novas tecnológicas agrícolas que introduzam no campo substratos cujo processamento pode gerar um poluente diferente do usual e que requeira um manejo específico.
6	Aumento da demanda por recursos naturais	A implementação de novas tecnologias agrícolas deve considerar a sua sustentabilidade a campo.
7	Alteração do equilíbrio do ecossistema	A implementação de novas tecnologias agrícolas deve considerar a sua sustentabilidade a campo.
8	Proporciona estabilidade de um ecossistema ameaçado	Em alguns casos a tecnologia agrícola pode ter sido desenvolvida para remediar uma situação na qual ocorreu um dano ambiental.
9	Susceptibilidade a pragas, doenças ou agentes patogênicos	A alteração de características das plantas, por exemplo, pode disparar mecanismos de defesa genômica (denominados epigenéticos), dentre os efeitos adversos gerados podemos citar o aumento da susceptibilidade a pragas, doenças ou agentes patogênicos.
10	Centro de origem/dispersão da espécie coincidente com a área do cultivo	A segurança da manutenção de variedades caboclas, no caso de algumas tecnologias, por exemplo da introdução de espécies exóticas ou OGM, pode estar diretamente relacionada com o fato do Centro de origem/dispersão da espécie receptora ser coincidente com a área de plantio do transgênico.
11	Compatibilidade sexual com outros cultivares	Indicador deve ser analisado para avaliar a segurança da manutenção de variedades caboclas,
12	Susceptibilidade a vetorizar pragas e doenças	Culturas vegetais de interesse comercial podem vetorizar doenças indiretamente, como no caso da doença de chagas vetorizada via açaí em função das fezes da triatimina na fruta ou insetos inadvertidamente esmagados com a fruta durante o processamento da mesma (Nóbrega et al., 2009). Assim, deve-se considerar as condições agrícolas (tecnologia e instalações) bem como acondicionamento e transporte.
13	Adoção de Policultivos anuais	A importância de evitar os monocultivos para garantir a qualidade do solo deve ser considerada.
14	Utilização de metodologias sustentáveis no campo	Existem várias tecnologias sustentáveis que podem ser conciliadas com a tecnologia em questão, como Manejo Integrado de Pragas (MIP), Controle Biológico, Produção Integrada, etc.
15	Necessidades específicas no acondicionamento, transporte e/ou processamento	É importante que não ocorra a mistura entre produtos orgânicos com os transgênicos / convencionais e nem sua contaminação por produtos químicos. Para isso, durante o transporte / processamento / armazenamento até o consumidor devem ser tomadas as medidas para que não ocorra essa contaminação e descaracterize o produto como orgânico. Para isso a sistema de transporte / processamento / armazenamento deve garantir essa segurança. Por tanto antes de decidir por qual produção, é importante saber se a infraestrutura de transporte / processamento / armazenamento comporta o tipo de produto (no caso o orgânico principalmente).
16	Necessidade de monitoramento ambiental	A introdução de tecnologias que requerem monitoramento ambiental constante, além de encarecer a produção, requer também maturidade do arranjo político-institucional para

		permitir uma fiscalização da sua execução durante o cultivo ou implementação da tecnologia agrícola.
17	Mudanças nos métodos de cultivos devido à alteração da tecnologia	A alteração do método de cultivo pode ter várias implicações na sustentabilidade, por exemplo, o Milho Safrinha atualmente não emprega o plantio direto – diminuindo a sustentabilidade por aumentar o potencial de erosão do solo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o emprego da metodologia e do software Inovatec-AGRO é possível atribuir os pesos aos fatores de moderação para cada um dos indicadores dentro das planilhas e os resultados (os Índices de Significância e Magnitude) são calculados e apresentados, automaticamente, na Matriz de Avaliação. Com o emprego do Software, estes resultados são também apresentados no formato de tabelas, matrizes, gráficos e do relatório conclusivo.

Algumas interfaces do software são apresentadas a seguir.

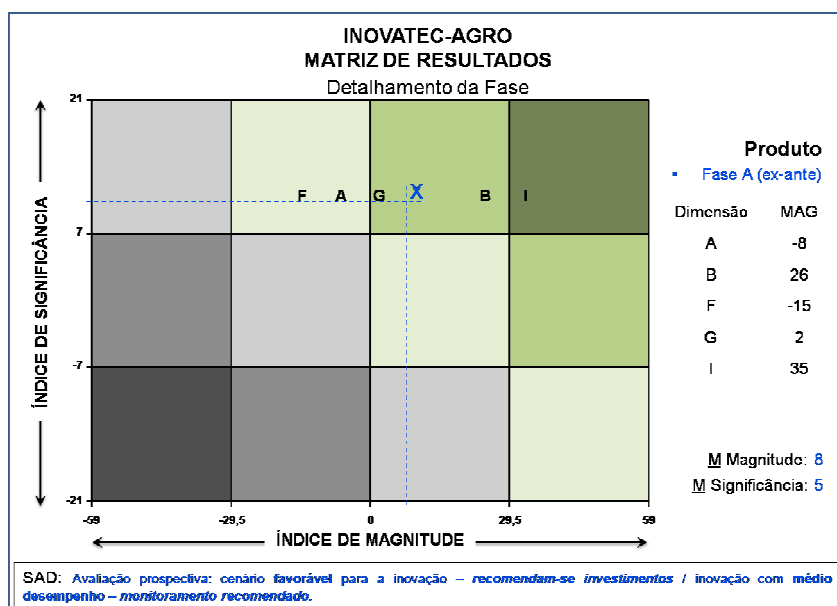


FIGURA 1. Matriz de avaliação, exibindo o Índice de Magnitude por Dimensão.

O software estará disponível para acesso através do link:  
<http://www.cnpma.embrapa.br/inovatec-agro.php3>.

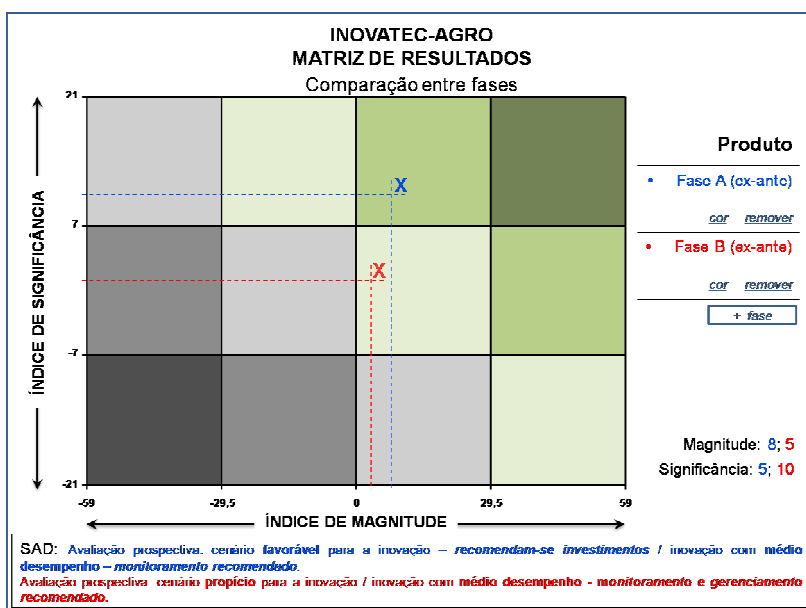


FIGURA 2. Matriz de Resultados, possibilitando a comparação entre as fases do produto (ou projeto).

SAD - Inovatec-AGRO (Sistema de Apoio à Decisão para Avaliação da Sustentabilidade de Tecnologias Agrícolas)	
Quadrante	Recomendação
1	Avaliação prospectiva: cenário desfavorável à inovação / inovação na fase inicial de implementação (avaliação de impacto potencial) ou com baixa perspectiva de sucesso – inovação não recomendada.
2	Avaliação prospectiva: cenário desfavorável à inovação / inovação com baixo desempenho – recomendam-se ações corretivas.
3	Avaliação prospectiva: cenário desfavorável à inovação / inovação com médio desempenho – recomenda-se acompanhamento com restrições.
4	Avaliação prospectiva: cenário desfavorável à inovação / inovação com ótimo desempenho – inovação recomendada.
5	Avaliação prospectiva: cenário propício para a inovação / inovação na fase inicial de implementação (avaliação de impacto potencial) ou com baixa perspectiva de sucesso – gerenciamento recomendado com restrições.
6	Avaliação prospectiva: cenário propício para a inovação / inovação com baixo desempenho - recomenda-se ações corretivas.
7	Avaliação prospectiva: cenário propício para a inovação / inovação com médio desempenho - monitoramento e gerenciamento recomendado.
8	Avaliação prospectiva: cenário propício para a inovação / inovação com ótimo desempenho – inovação recomendada.
9	Avaliação prospectiva: cenário favorável para a inovação – recomenda-se investimentos no setor da inovação / inovação com baixo desempenho – gerenciamento recomendado.
10	Avaliação prospectiva: cenário favorável para a inovação – recomendam-se investimentos / inovação com baixo desempenho - gerenciamento recomendado.
11	Avaliação prospectiva: cenário favorável para a inovação – recomendam-se investimentos / inovação com médio desempenho – monitoramento recomendado.
12	Avaliação prospectiva: cenário favorável para a inovação – recomendam-se investimentos / inovação com ótimo desempenho - inovação fortemente recomendada.

FIGURA 3. Lista de Recomendações do SAD (Sistema de Apoio à Decisão do Método Inovatec-Agro).

## CONCLUSÃO

A análise prospectiva deve ser realizada para prever a ocorrência do impacto negativo da tecnologia no ambiente, na saúde humana e para otimizar recursos. O emprego dessa metodologia nos possibilita definir as medidas para mitigar ou evitar os efeitos adversos ou ocorrências inesperadas que podem resultar de um risco potencial identificado na avaliação ex ante. Assim, é possível desenvolver tecnologias agrícolas com maior probabilidade de sucesso e segurança.

Considerando o alcance de diferentes tecnologias agrícolas a serem avaliadas e as preocupações com sua segurança e desempenho, que devem ser contempladas em uma análise caso a caso, o sistema proposto não pode cobrir todos os aspectos relacionados com sua aplicação, entretanto este apresenta um amplo espectro de ações para uma avaliação de impacto. Assim, o usuário é encorajado a ampliar as possibilidades desta ferramenta adicionando ou desconsiderando parâmetros de acordo com a necessidade da avaliação. Por outro lado, cabe aos investidores ou agentes reguladores avaliarem se os parâmetros escolhidos são os melhores para definir o impacto potencial da tecnologia em questão.

Portanto, a caracterização do impacto empregando-se ferramentas ou métodos semi-quantitativos permite a redução significativa da subjetividade da avaliação. O método proposto representa um recurso menos subjetivo e mais transparente para a avaliação de impacto das tecnologias para aplicações na agricultura.

## AGRADECIMENTOS

À Embrapa Meio Ambiente, pela oportunidade de estágio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SPRAGUE, RALPH H.; HUGH J. WATSON. **Sistemas de Apoio à Decisão**. Campus. 1991.

JESUS-HITZSCHKY, K. R. E. **Impact assessment system for technological innovation: inova-tec system**. Journal of Technology Management & Innovation, v. 2, p. 67-82, 2007.