

## Avaliação dos riscos alimentares e ambientais: estudo de caso da soja geneticamente modificada utilizando o método GMP-RAM

*Food and environmental risk assessment: case study of genetically modified soybean using the method GMP-RAM*

### Autores | Authors

✉ **Simone Marchini Naves  
CREMONEZI**

*Programa de Pós-Graduação  
Interunidade em Biotecnologia  
USP - I. Butantan - IPT  
Embrapa Meio Ambiente  
Laboratório de Biossegurança e  
Ecotoxicologia  
Rodovia SP 340, Km 127,5  
Caixa Postal: 69  
CEP: 13820-000  
Jaguariúna/SP - Brasil  
e-mail: simone@cnpma.embrapa.br*

**Fernanda Leite MANZATO**

*Pontifícia Universidade Católica (PUC)  
Embrapa Meio Ambiente  
e-mail: fernandalm@cnpma.embrapa.br*

**Katia Regina Evaristo de  
JESUS-HITZSCHKY**

*Embrapa Meio Ambiente  
e-mail: katiareg@cnpma.embrapa.br*

### Resumo

A avaliação da segurança é essencial para a pesquisa e desenvolvimento das plantas geneticamente modificadas (PGMs), incluindo a análise dos riscos potenciais do plantio ou das práticas relacionadas ao seu cultivo para o meio ambiente e seus efeitos para a saúde humana e animal de maneira comparativa com a variedade convencional. O emprego do método GMP – RAM (*Risk Assessment Method for Genetically Modified Plants*), a primeira metodologia para avaliação caso a caso dos riscos de PGMs, possibilita a adoção de medidas para evitar ou controlar tal risco. A possibilidade de inserir indicadores específicos para a avaliação da PGM em questão e a necessidade de elaborar a lista de recomendações a partir dos resultados levantados permite uma análise caso a caso do evento. Neste trabalho, foi realizado o estudo de caso da segurança alimentar e ambiental da Soja Roundup Read, que evidenciou a inexistência de risco potencial desde que medidas de manejo e monitoramento sejam seguidas.

**Palavras-chave:** *Plantas geneticamente modificadas; Avaliação de risco; Soja Roundup Read; Análise caso a caso.*

### Summary

It is essential to the research and development of Genetically Modified Plants (GMPs) the evaluation of safety, including analysis of the potential risks of plants or practices related to its cultivation on the environment, human or animal health, in comparison with the conventional variety. The GMP-RAM method (*Risk Assessment Method for Genetically Modified Plants*), the first GMP risk assessment methodology from this analysis, enables the adoption of measures to prevent or control such risks. The possibility of inserting specific indicators for the evaluation of GMP in questioned the need to draw up a list of recommendations from the results raised allows a case study of event, in this case study the food and environmental safety of Roundup Read Soybean. Thereby, we can conclude that there is potential risk to food safety and environmental condition that management and monitoring measures are followed.

**Key words:** *Genetically modified plants; Risk assessment; Roundup Read Soybean; Case by case study.*

## Avaliação dos riscos alimentares e ambientais: estudo de caso da soja geneticamente modificada utilizando o método GMP-RAM

CREMONEZI, S. M. N. et al.

### 1 Introdução

A importância da avaliação dos riscos de PGMs e/ou de alimentos geneticamente modificados (AGMs) consiste em identificar o perigo e avaliar o efeito acerca dos riscos potenciais. Para a adequada avaliação dos riscos, são necessárias informações sobre a liberação e a descrição prévia do organismo geneticamente modificado (OGM). O primeiro procedimento é identificar a situação que poderia produzir algum dano. A análise de risco compreende as etapas de: avaliação, gerenciamento e comunicação de risco. Desta maneira, as avaliações de risco preenchem uma lacuna na área da segurança alimentar e nutricional considerando três eixos que são inseparáveis e complementares: acesso, educação e qualidade.

De maneira geral, poderiam ser apresentadas as seguintes situações de risco: toxicidade, desenvolvimento de resistência a antibióticos, e alergenicidade – do ponto de vista alimentar; e capacidade de transferência de material genético, ou efeitos negativos sobre organismos não-alvo da modificação genética - do ponto de vista ambiental. Para avaliar a segurança da soja GM resistente ao glifosato (CP4EPSPS) a partir de dados publicados na literatura, segundo Jesus et al. (2006) e Jesus-Hitzschky et al. (2007), foi empregado o método GMP – RAM.

Segundo James (2007), a área global de lavouras transgênicas no Brasil chegou a 14,5 milhões de hectares apenas com o cultivo da Soja RR. Este avanço pode ser explicado, segundo Cerdeira e Duke (2006), devido à tolerância ao glifosato para garantir uma maior produtividade e reduzir a necessidade do uso de outros herbicidas mais tóxicos.

Além disso, a cultura da soja foi escolhida, pois, além de ser um dos cultivos transgênicos mais importantes para o Brasil, segundo Taylor et al. (1999), ela apresenta grandes quantidades de proteínas de excelente qualidade para a alimentação humana e/ou animal, inclusive como óleo para o consumo humano. A utilização deste cultivar pode ser observado tanto na agroindústria de alimentos (massas, bebidas, alimentação animal, etc.) quanto nas indústrias de confecções e química (indústrias de adesivos, adubos, combustíveis, etc.), isso sem mencionarmos a utilização da soja integral funcionando principalmente como lecitina, estabilizante e emulsificante. Segundo James (2007), o Brasil em 2007 deteve a terceira posição dos produtores de soja RR, depois de Estados Unidos e Argentina.

A soja RR é construída a partir de uma soja convencional na qual foi introduzido um gene que confere à planta a resistência ao herbicida Roundup (princípio ativo Glifosato). Segundo Cerdeira e Duke (2006), as vantagens do herbicida Roundup são: reduz a quantidade, o número de aplicações e o número de herbicidas utilizados para

controlar as plantas daninhas, permite práticas integradas de controle de plantas daninhas (rotação de culturas ou adoção de práticas alternativas) em suas áreas plantadas – normalmente não possíveis quando herbicidas pré-plantio ou pré-emergentes são utilizados. A tolerância ao glifosato, de acordo com Kruse et al. (2000), ocorre pela inserção de um gene que codifica a proteína CP4 (extraído de uma espécie de *Agrobacterium* - microorganismo comumente encontrado no solo) funcionalmente semelhante à EPSPS que é originária da soja.

### 2 Material e métodos

A metodologia “Avaliação de Risco de Plantas Geneticamente Modificadas – GMP-RAM” (*Risk Assessment Method for Genetically Modified Plants*) desenvolvida por Jesus et al. (2006) é o único método disponível para a análise de risco de PGM e foi empregada para o estudo de caso da soja GM para a resistência ao glifosato. O *Software* auxilia a avaliação de risco por meio de duas ferramentas: Planilhas de Evidência dos Riscos e Matriz de Avaliação, conforme mostram as Figuras 1 e 2, respectivamente. Na planilha de evidência dos riscos, são sugeridos 15 indicadores, codificados de “a” até “o”, que representam os riscos potenciais mais preocupantes para a comunidade científica. A planilha prevê ainda a possibilidade do avaliador inserir os riscos mais específicos para o transgênico em questão. Com o auxílio da primeira ferramenta, busca-se a análise criteriosa e individual dos riscos através da atribuição de valores. A partir da análise dos riscos, são determinados: “Índice de Risco = Magnitude x Exposição ao dano x Precedente” e “Índice de Significância = Extensão x Reversibilidade”. Nas Tabelas de 1 a 3, são apresentados os fatores que compõem os Índices e, na Tabela 4, as faixas de Risco e de Significância juntamente com seus Índices.

Os resultados obtidos da formulação dos índices são apresentados na Matriz de Avaliação, o que permite

Riscos Potenciais	Critérios para Avaliação	Informação para Avaliação	Fatores de Moderação			Índice de Risco	Fatores de Moderação		Índice de Significância
			Dano	Exposição	Precedente		Extensão	Reversibilidade	
(e) Geração de plantas com aspecto daninho ou indesejável	Características do receptor	Os maiores problemas relacionados à soja	4	2	1	8	4	8	32
	Reprodutividade, competitividade ou habilidade adaptativa	As plantas daninhas têm a capacidade de se reproduzir	4	2	1	8	4	8	
(f) Aparecimento de atributos adicionais	Especificidade do Gene	O glifosato é um herbicida pós-emergente, não	4	2	1	8	2	4	8

Figura 1. Parâmetros gerais (e) e (f) analisados para o estudo de caso da Soja RR.

## Avaliação dos riscos alimentares e ambientais: estudo de caso da soja geneticamente modificada utilizando o método GMP-RAM

CREMONEZI, S. M. N. et al.

**Figura 2.** Parâmetros gerais (p), (q) e (r) analisados para o estudo de caso da Soja RR.

**Tabela 1.** Fatores de moderação: magnitude/exposição ao dano.

Magnitude/exposição ao dano	Valores
Baixa	1
Média	2
Alta	4

**Tabela 2.** Fator de ponderação: precedente.

Precedente	Valores
Não	1
Sim	2

**Tabela 3.** Fator de ponderação para o índice de significância.

Fator de ponderação	Níveis	Valores
Extensão	Pontual	1
	Local	2
	Entorno	4
Reversibilidade	Reversível naturalmente	1
	Reversível com manejo simples	2
	Reversível com manejo complexo	4
	Irreversível	8

**Tabela 4.** Índice de risco e índice de significância.

Faixa de risco/significância	Índice de risco/índice de significância
Muito baixo	1-3
Baixo	4-7
Médio	8-15
Alto	16-32

a visualização dos riscos envolvidos, possibilitando estabelecer em qual nível as ações mitigatórias devem ser tomadas. A utilização do método pode ser feita através do *Software* GMP – RAM, disponível no site da Embrapa

Meio Ambiente: [http://www.cnpma.embrapa.br/forms/gmp\\_ram.php3](http://www.cnpma.embrapa.br/forms/gmp_ram.php3).

A partir dos resultados, o avaliador deve elaborar a lista de recomendação, tendo em vista a diminuição dos riscos associados à cultura e ao AGM. A possibilidade de inserir indicadores específicos para a avaliação e para a necessidade de elaborar a lista permite uma análise caso a caso do evento.

Para este trabalho, realizou-se uma análise criteriosa da literatura especializada, segundo Jesus et al. (2006) e Jesus-Hitzschky et al. (2007), sobre os riscos alimentares e ambientais sobre a Soja RR, e os dados foram inseridos no *Software* de acordo com a avaliação preconizada no Método GMP – RAM.

### 3 Resultados e discussão

Os dados referentes aos riscos associados ao plantio e consumo da Soja RR utilizados foram publicados em artigos científicos. Abaixo são apresentados os riscos potenciais (indicadores da avaliação de risco) mais problemáticos para a segurança alimentar e ambiental desta PGM.

Foram analisados todos os indicadores disponibilizados na literatura: indicadores gerais, como mostra a Figura 1 (codificados com letras do alfabeto de “a” até “o”), e indicadores específicos, como mostra a Figura 2 (codificados com letras do alfabeto de “p” até “w”). Neste trabalho, serão apresentados e discutidos, com o emprego do Método GMP-RAM, somente os indicadores mais preocupantes para o caso da Soja RR.

Primeiramente analisaremos os indicadores gerais para o estudo de caso da soja geneticamente modificada:

Para a Potencial Fonte de Exposição: Característica da Planta Geneticamente Modificada: (e) Quanto à “Geração de linhagens com aspectos de planta daninha” - Os maiores problemas relacionados à Soja RR são devidos às plantas daninhas apresentarem resistência ao glifosato (GAZZIERO, 2006). Assim, o índice de risco é médio (8) e o índice de significância é alto (32), e a matriz recomenda restrições.

Já, para o segundo parâmetro da Potencial Fonte de Exposição: Característica da Planta Geneticamente Modificada: (f) Quanto ao “Aparecimento de atributos adicionais – resistência e seletividade induzida pela modificação genética” – O glifosato é um herbicida pós-emergente, não seletivo em condições normais. Apenas PGMs, com resistência induzida, apresentam seletividade (DUKE et al., 2003), assim, tanto o índice de risco quanto o de significância são (8) e a matriz recomenda manejo.

Para garantir uma avaliação efetiva da segurança alimentar e ambiental associada à Soja RR, foram inseridos indicadores mais específicos, no campo do *Software* - Poten-

## Avaliação dos riscos alimentares e ambientais: estudo de caso da soja geneticamente modificada utilizando o método GMP-RAM

CREMONEZI, S. M. N. et al.

cial Fonte de Exposição: Avaliação caso a caso do evento, apresentados na Figura 2 e relacionados a seguir:

Potencial Fonte de Exposição: Avaliação da segurança alimentar: (p) Quanto à “Análise Composicional” - Segundo Padgett et al. (1996) e Taylor et al. (1999), a composição da Soja RR é substancialmente equivalente à das variedades de soja não-transgênica. As análises para tal comprovação incluíram: análise bromatológica (proteína, gordura, fibras, cinza, carboidratos e umidade); antinutrientes (inibidores de tripsina, lectinas, fitoestrógenos, estaquiose, rafinose e fitato); perfil de ácidos graxos; e composição do aminoácido. Dessa maneira, o índice de risco é baixo (2) e o de significância é médio (8) e a matriz indica que o parâmetro analisado requer monitoramento.

Já, com relação ao segundo parâmetro - Potencial Fonte de Exposição: Avaliação da segurança alimentar: (q) Quanto à “Equivalência Nutricional” - A Soja RR quando comparada à soja convencional apresentou a mesma equivalência nutricional. Estudos realizados com diversos animais comprovam esta equivalência na alimentação: diversos animais (ratos, vacas leiteiras, codornas, frangos) foram divididos em dois grupos, sendo um alimentado com a soja convencional e o outro com a transgênica. Comparando-se estes dois grupos, não houve diferença significativa no crescimento destes animais, no valor nutricional da soja e nas alterações dos órgãos relacionados à imunidade (ROGERS, 1998), assim, o índice de risco é baixo (2) e o de significância é médio (8) e a matriz indica que o parâmetro analisado requer monitoramento.

Quanto ao parâmetro da Potencial Fonte de Exposição: Avaliação da segurança alimentar: (r) “Grau de toxicidade – associado à possibilidade de aumento das aplicações do glifosato” – O glifosato é tóxico para muitos patógenos de plantas e para alguns fungos (TOUBIA-RAHME et al., 1995; WYSS e MULLER-

SCHARER, 2001). Assim, o índice de risco é baixo (4), o índice de significância é alto (16) e matriz indica que o parâmetro requer manejo.

Os parâmetros para a avaliação da segurança alimentar da soja RR, utilizando o *Software* GMP-RAM, são apresentados conforme mostram as Figuras 1 e 2.

Na matriz de avaliação de risco verificamos os principais parâmetros analisados para a segurança alimentar e ambiental da Soja RR conforme mostra a Figura 3.

### 4 Conclusões

Com o objetivo de avaliar a segurança alimentar da soja GM, foi utilizado um estudo de caso da Soja RR empregando-se o método GMP-RAM para diagnosticar os prováveis riscos das PGMs e os possíveis impactos sobre a alimentação, ambiente, saúde humana e animal. Pela análise do caso da soja geneticamente modificada resistente ao glifosato com o Método GMP-RAM, foi possível concluir que não existe risco potencial para a segurança alimentar e ambiental de maneira geral, caso algumas medidas de manejo e monitoramento sejam seguidas.

No caso dos parâmetros gerais da avaliação de risco, podemos montar a seguinte lista de recomendação: parâmetro (e): que aborda a geração de linhagens com aspectos de planta daninha: trata-se de um dos maiores problemas relacionados à soja GM, não existe a possibilidade de retorno à condição anterior ao efeito adverso, já que é irreversível e sua extensão alcança todo o entorno. Neste caso, a recomendação é restringir a quantidade de herbicida aplicado na cultura. Já com relação ao parâmetro (f): que aborda resistência e seletividade, a matriz de avaliação recomenda manejo, que deve garantir o isolamento e a segurança da propriedade com o objetivo de diminuir a probabilidade de fluxo gênico, o que ocasionaria a disseminação da característica de resistência ao glifosato e comprometeria as alternativas de manejo e controle de espécies daninhas às culturas agrícolas.

A lista de recomendações dos parâmetros específicos, para o caso da Soja RR, que necessitam de gerenciamento é: parâmetro (p): análise composicional, a matriz sugere o monitoramento constante, pois, embora a equivalência substancial tenha sido evidenciada nas análises composicionais, a utilização do transgênico para a alimentação humana inspira acompanhamento da qualidade do produto; quanto ao parâmetro (r): que se refere a toxicidade, a matriz requer manejo na medida em que o glifosato é tóxico para muitos patógenos de plantas e para alguns fungos, afetando diretamente o ecossistema de modo irreversível. Portanto, a recomendação seria um maior controle na aplicação do glifosato, diminuindo a possibilidade de impacto ambiental negativo.



Figura 3. Matriz de avaliação de risco.

## **Avaliação dos riscos alimentares e ambientais: estudo de caso da soja geneticamente modificada utilizando o método GMP-RAM**

CREMONEZI, S. M. N. *et al.*

### **Agradecimentos**

Pelo suporte financeiro, à Embrapa Meio Ambiente e à FAPESP.

### **Referências**

CERDEIRA, A. L.; DUKE, S. O. The Current Status and Environmental Impacts of Glyphosate-Resistant Crops: A Review. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 35, n. 5, p. 1633-1658, 2006.

DUKE, S. O.; SCHEFFLER, B. E.; BOYETTE, C. D.; LYDON, J.; OLIVA, A. Herbicides: Biotechnology for Control of Weeds. In: PLIMMER, J. R.; GAMMON, D. W.; RAGSDALE, N. N. (Org.). **Encyclopedia of Agrochemicals**. New York: John Wiley & Sons, 2003. v. 2, p. 733-744.

GAZZIERO, D. L. P. Soja transgênica: o que muda no manejo de plantas daninhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 4, 2006, Londrina, PR. **Anais...** Londrina, PR: Embrapa Soja, 2006. 156 p.

JAMES, C. **Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops**: 2007. ISAAA: Ithaca, NY, 2007. ISAAA Brief No. 37.

JESUS, K. R. E.; LANNA, A. C.; VIEIRA, F. D.; ABREU, A. L.; LIMA, D. U. A proposed Risk Assessment Method for Genetically

Modified Plants. **Applied Biosafety**, Mundelein, v. 11, n. 3, p. 127-137, 2006.

JESUS-HITZSCHKY, K. R. E.; CREMONEZI, S. M. N. ; LIMA, D. U. **Método GMP-RAM para avaliação dos riscos ambientais de plantas geneticamente modificadas (pgm): estudo de caso do mamão geneticamente modificado para resistência ao vírus da mancha anelar**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2007. 60 p. (Boletim de Pesquisa, 45). Disponível em: <[http://www.cnpma.embrapa.br/download/boletim\\_45.pdf](http://www.cnpma.embrapa.br/download/boletim_45.pdf)>. Acesso em: 7 jan. 2008.

PADGETTE, S. R.; TAYLOR, N. B.; NIDA, D. L.; BAILEY, M. R.; MACDONALD, J.; HOLDEN, L. R.; FUCHS, R. L. The composition of glyphosate-tolerant soybean seeds is equivalent to that of conventional soybeans. **Journal of Nutrition**, Rockville, v. 126, n. 3, p. 702-716, 1996.

ROGERS, S. G. Biotechnology and the soybean. **American Journal of Clinical Nutrition**, local de publicação, v. 68, n. 5, p. 1330-1332, 1998.

TAYLOR, N. B.; FUCHS, R. L.; MACDONALD, J.; SHARIFF, A. R.; PADGETTE, S. R. Compositional analysis of glyphosate-tolerant soybeans treated with glyphosate. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Columbus, v. 47, n. 10, p. 4469-4473, 1999.