

# Métodos de avaliação do desempenho ambiental de inovações tecnológicas agroindustriais

## Métodos de evaluación de desempeño ambiental de innovaciones tecnológicas agroindustriales

Maria Cléa Brito de Figueirêdo\*, Geraldo Stachetti Rodrigues\*\*, Armando Caldeira-Pires\*\*\*, Morsyleide de Freitas Rosa\*\*\*\* e Francisco Suetônio Bastos Mota\*\*\*\*\*

Recibido: 16-03-2010 - Aprobado: 10-07-2010

### Contenido

- [1. Introdução](#)
- [2. Métodos de avaliação ambiental de inovações agroindustriais](#)
  - [2.1 Ambitec-Agro](#)
  - [2.2 INOVA-tec](#)
  - [2.3 Métodos de Avaliação do Ciclo de Vida \(ACV\)](#)
  - [2.4 Ambitec-Ciclo de Vida](#)
- [3. Análise comparativa dos métodos](#)
  - [3.1 Escopo](#)
  - [3.2 Estrutura conceitual e operacional](#)
  - [3.3 Suporte dos métodos a um processo sustentável de inovação](#)
- [4. Considerações finais](#)
- [Referências](#)

### RESUMO:

A avaliação de desempenho ambiental (ADA) de inovações é uma ferramenta importante na busca do desenvolvimento sustentável. No presente trabalho, analisam-se métodos de ADA de inovações tecnológicas agroindustriais, discutindo-se aspectos relacionados a seus escopos, estruturas conceituais e operacionais, bem como seus potenciais para apoio ao processo de inovação tecnológica. Equipes de pesquisa e desenvolvimento podem se beneficiar deste estudo quando da escolha de métodos de avaliação ambiental de inovações agroindustriais.

**Palavras-chave:** Impacto ambiental, ciclo de vida, Tecnologia agroindustrial

### ABSTRACT:

Environmental performance evaluation (EPE) of technological innovations is an important tool to achieve sustainable development. This work aims to analyze methods currently available to perform EPE of agro-industrial technological innovations, discussing issues related to their scope, conceptual and operational frameworks, and potential to support the technology innovation process. Research and Development groups can benefit from this analysis when deciding about which method to use to evaluate agro-industrial innovations.

**Key-words:** Environmental impact, Life cycle, Agro-industrial technology

-----

**RESUMEN:**

La evaluación de desempeño ambiental (EDA) de la innovación es una herramienta importante en la búsqueda del desarrollo sostenible. En este trabajo examinamos los métodos agrícolas de EDA, las innovaciones tecnológicas, discutiendo aspectos relacionados con su ámbito de aplicación, los marcos y operativa, así como su potencial para apoyar el proceso de innovación tecnológica. Equipos de investigación y desarrollo pueden beneficiar de este estudio, cuando la elección de los métodos de evaluación ambientales de innovaciones agroindustriales.

**Palabras Clave:** Impacto ambiental, Ciclo de vida, Tecnología agroindustrial

## 1. Introdução

De acordo com a Norma NBR ISO 14031 (ABNT, 1999), a avaliação de desempenho ambiental (ADA) é um processo utilizado para facilitar decisões gerenciais relativas aos resultados da gestão de uma organização sobre seus aspectos ambientais ou elementos que podem interagir e gerar impactos ao meio ambiente. Essa avaliação é conduzida por meio do acompanhamento dos aspectos ambientais (p.ex., entradas e saídas de materiais e energia com potencial de causar impactos ambientais relevantes) ou, opcionalmente, de indicadores de alterações nas condições ambientais. As ADAs possibilitam o conhecimento dos aspectos ambientais relevantes relacionados a uma atividade, assim como o delineamento de ações de melhoria de eficiência visando à redução dos níveis de consumo e de emissões danosas ao meio ambiente (Jasch, 2000).

Embora mais frequentemente focadas na avaliação da gestão ambiental de organizações, as ADAs podem ser utilizadas em avaliações ao longo do

processo de inovação, com o objetivo de acessar as alterações ambientais potenciais relacionadas a um novo ou aprimorado processo ou produto tecnológico, contribuindo com a melhoria contínua das inovações tecnológicas. Nesse contexto, as ADAs podem auxiliar as instituições de pesquisa na realização de análises desde o desenvolvimento até a difusão e adoção de inovações tecnológicas, possibilitando alterações no design de produtos e processos tecnológicos, de forma a torná-los mais eficientes na utilização dos recursos naturais, menos poluentes, economicamente rentáveis e mais apropriados às características sociais e do ambiente onde as inovações serão utilizadas.

Alguns métodos disponíveis permitem a ADA de inovações agro-industriais, podendo-se destacar: o Sistema Ambitec-Agro (Rodrigues et. al., 2003a); o INOVA-tec (Jesus-Hitzschky, 2007); o Ambitec-Ciclo de Vida (Figueirêdo et. al., 2009); assim como métodos que utilizam avaliação de ciclo de vida (ACV), conforme a norma ISO 14040 (ABNT, 2009), como o Ecoindicator 99 (Goedkoop, Spriensma, 2000), o TRACI (Bare et. al., 2003), o EPS 2000 (Steen, 1999), o Impact 2002+ (Jolliet et. al., 2003) e o EDIP (Hauschild, Wenzel, 1998; Potting, Hauschild, 2005). Esses métodos possuem diferentes escopos e abordagens conceituais, possibilitando avaliações complementares.

O presente trabalho tem como objetivo analisar esses métodos, visando contribuir com as equipes de ADA na tomada de decisão sobre qual método utilizar em cada etapa do processo de inovação. Nesse contexto, são apresentados os métodos Ambitec-Agro, INOVA-tec, ACV e Ambitec-Ciclo de Vida. Em seguida, realiza-se uma análise comparativa desses métodos, discutindo aspectos relacionados a seu escopo, estrutura conceitual e operacional e potencial de apoio ao processo de inovação.

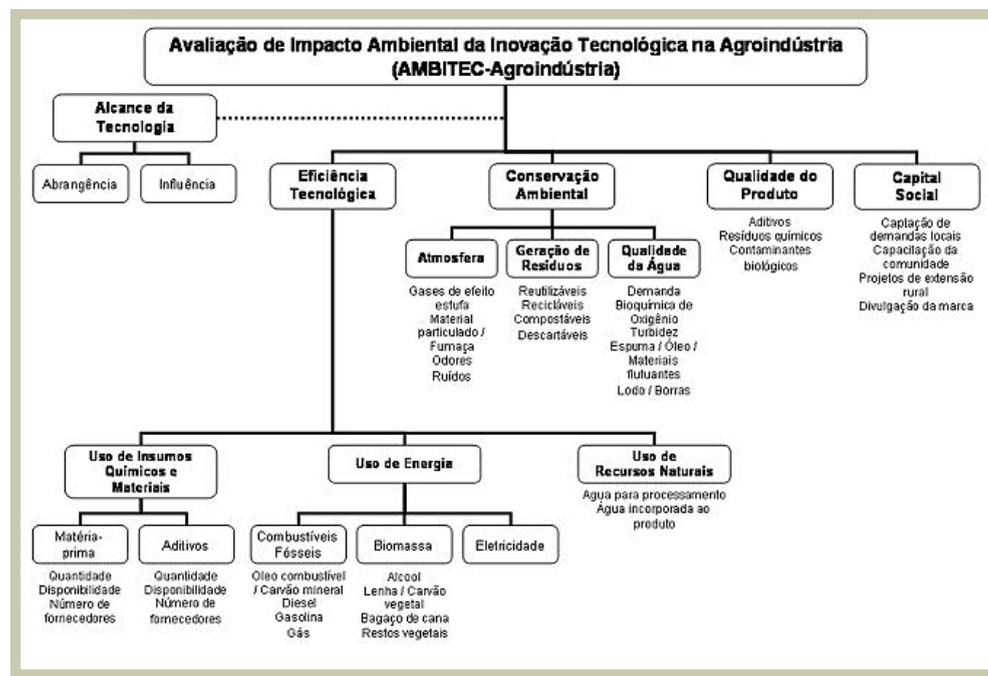
## 2. Métodos de avaliação ambiental de inovações agroindustriais

### 2.1 Ambitec-Agro

O Sistema Ambitec-Agro proposto por Rodrigues et. al. (2003a) foi concebido para avaliar aspectos e impactos de inovações tecnológicas agropecuárias na escala do estabelecimento rural ou unidade de transformação agro-industrial, analisando indicadores de aspectos e impactos ambientais e socioeconômicos.

Os aspectos e impactos de inovações são avaliados por um conjunto de variáveis quantitativas e qualitativas, organizadas em critérios de desempenho socioambiental e, esses, em princípios ou objetivos de contribuição da inovação tecnológica para o desenvolvimento local sustentável (Rodrigues et. al., 2003b). O sistema Ambitec-Agro compõe-se de módulos complementares dedicados a inovações agrícolas (Ambitec-Agricultura), pastoris (Ambitec-ProduçãoAnimal) e agroindustriais (Ambitec-Agroindústria), além de impactos sócio-econômicos (Ambitec-Social – Monteiro, Rodrigues, 2006), nos quais são utilizados diferentes indicadores, critérios e princípios, de acordo com as questões ambientais relevantes associadas a esses setores produtivos rurais. Por exemplo, a hierarquia de indicadores ambientais do módulo Ambitec-Agroindústria é apresentada na Figura 1. Os princípios ambientais considerados são 'Alcance da tecnologia', 'Eficiência tecnológica', 'Conservação ambiental', 'Qualidade do produto' e 'Capital social'.

Figura 1. Estrutura de avaliação do Ambitec-Agroindústria, módulo agroindústria



Fonte: (Rodrigues et. al., 2003b)

Nesse método, compara-se a situação de uso dos recursos e de emissão de poluentes resultantes da adoção de uma inovação com uma situação anterior a sua adoção, numa dada unidade produtiva. A pontuação das alterações nos indicadores ambientais é feita a partir de vistoria de campo e levantamento de dados junto ao responsável pela gestão da unidade produtiva rural, em uma amostra representativa de usuários da inovação tecnológica avaliada. O impacto ambiental da inovação tecnológica é expresso segundo os coeficientes de alteração (ausente, moderada ou grande alteração) dos indicadores após a introdução da inovação, utilizando a escala de pontuação da Tabela 1.

Tabela 1. Coeficientes de alteração do Sistema Ambitec-Agro

| Efeito da tecnologia na atividade sob as condições de manejo | Coefficiente de alteração do indicador |
|--|--|
| Grande aumento no indicador                                  | +3                                     |

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| Moderado aumento no indicador    | +1 |
| Indicador inalterado             | 0  |
| Moderada diminuição no indicador | -1 |
| Grande diminuição no indicador   | -3 |

Fonte: Rodrigues et. al. (2003a)

O Ambitec-Agro utiliza duas ponderações para cada indicador. A primeira ponderação se refere à escala espacial em que se dá o impacto: seja pontual, local ou no entorno, atribuindo-se um peso maior para impactos que afetem o entorno da unidade produtiva. O segundo fator de ponderação diz respeito à importância do indicador na formação do índice geral de impacto ambiental. A agregação final dos indicadores em subíndices e desses no índice final é feita pela soma dos coeficientes de alteração, ponderados pelos dois fatores mencionados. Finalmente todos os indicadores são integrados pela média dos índices de impacto, e normalizados segundo a importância de cada indicador para a expressão do índice de impacto da inovação tecnológica. O método utiliza planilhas Excel para entrada, agregação dos valores atribuídos aos indicadores e geração de gráficos mostrando os resultados da avaliação de desempenho por indicador, critério, princípio e índice final ([www.cnpma.embrapa.br/forms/index.php3?func=softwma](http://www.cnpma.embrapa.br/forms/index.php3?func=softwma)). O Ambitec-Agro tem sido utilizado como metodologia de referência para a avaliação dos impactos ambientais e sociais das inovações tecnológicas obtidas nos projetos e programas de P&D no âmbito institucional da Embrapa (Ávila et. al., 2005).

## 2.2 INOVA-tec

O INOVA-tec, proposto por Jesus-Hitzschky (2007), busca avaliar o impacto potencial de uma inovação qualquer (ex: agroindustrial, farmacêutica, etc.) tanto antes como após sua adoção, auxiliando na tomada de decisão de instituições e agências de fomento à pesquisa sobre qual inovação adotar ou apoiar.

O método utiliza dois índices que são avaliados conjuntamente em uma matriz de decisão: o índice de significância da inovação e o índice de magnitude. O índice de significância considera a extensão do uso de uma inovação (pontual, local, regional, nacional ou internacional) e a influência (nula, direta ou indireta) da inovação nas áreas ambiental, de saúde humana, de qualidade de produto ou processo, social, econômica, política e legal.

O índice de magnitude considera indicadores referentes às dimensões social, econômica, ambiental, institucional, de capacitação, de transferência da inovação e de eventos inesperados. Os indicadores desse índice estão organizados por dimensão em critérios, sendo facultado ao usuário do método a inserção de novos indicadores.

Na dimensão ambiental foram definidos os critérios e indicadores apresentados na Tabela 2. Os critérios e seus indicadores não estão diretamente relacionados a aspectos ou impactos ambientais das atividades agroindustriais, uma vez que o método não se restringe a avaliações de inovações agroindustriais.

Os indicadores são valorados numa escala que varia de -2 a +2, pela comparação da inovação com uma situação anterior à inovação proposta, de acordo com o julgamento de valor do usuário do método, que deve se basear em pesquisas e conhecimentos científicos. Para alguns indicadores, podem ser atribuídos fatores de correção aumentando seu valor na escala proposta. O valor final de um indicador é obtido multiplicando o valor atribuído a cada indicador pelo seu peso e acrescentando os fatores de correção, quando existentes. Os indicadores são agregados numa dimensão pela soma dos seus valores finais. O índice de magnitude é obtido pela média aritmética dos valores atribuídos às dimensões.

Tabela 2. Critérios e indicadores da dimensão ambiental do INOVA-tec

| Critérios   | Indicadores  | Valor do indicador   |
|---|--|--|
| Recursos hídricos, solo e ar                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Qualidade da água</li> <li>Quantidade de metais pesados</li> <li>Resíduos químicos ou orgânicos</li> <li>Emissão de poluentes atmosféricos</li> <li>Alteração na demanda por recursos naturais</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Piora (-1), mantém (0), melhora (+1)</li> <li>Aumenta (-1), mantém (0), diminui (+1)</li> </ul> |
| Recursos bióticos: microorganismos, flora e fauna | <ul style="list-style-type: none"> <li>Alteração do equilíbrio do ecossistema</li> <li>Ocorrência de efeitos negativos em plantas, na saúde humana e animal</li> <li>Alteração na demanda por recursos naturais</li> </ul>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Afeta indivíduo(-1), afeta comunidade (-2), não afeta nenhum nível ecológico (0)</li> <li>Sim (-1), Não (0)</li> <li>Aumenta (-1), mantém (0), diminui (+1)</li> </ul>  |
| Conservação ambiental                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Prática de manejo ou monitoramento ambiental</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Criação (2), melhoria (1), não interfere (0), extinção (-2)</li> </ul>  |
| Recuperação ambiental                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Diminuição do nível de poluentes sólidos, químicos, biológicos</li> <li>Mecanismo de biodegradação</li> <li>Proporciona estabilidade de um ecossistema ameaçado</li> </ul>                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Sim (1), Não (0)</li> <li>Criação (2), melhoria (1), não se aplica (0)</li> <li>Sim (1), Não (0)</li> </ul>   |

Fonte: Jesus-Hitzschky (2007)

Comparam-se os valores alcançados pelos índices de significância e de magnitude em uma matriz de avaliação, onde cada quadrante da matriz sugere uma maior ou menor viabilidade da inovação avaliada.

O método Inova-tec foi implementado em uma ferramenta computacional ([www.cnpma.embrapa.br/forms/inova\\_tec.php3](http://www.cnpma.embrapa.br/forms/inova_tec.php3)) que disponibiliza indicadores fixos, possibilita a inserção de novos indicadores, realiza as operações de agregação dos valores dos indicadores e permite a

visualização dos índices de significância e de magnitude na matriz de avaliação.

### 2.3 Métodos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

O conceito de ciclo de vida (Life Cycle Thinking) instiga a análise das questões ambientais relacionadas a um produto ao longo de seu ciclo de vida (Figura 2). Esse conceito vem sendo adotado por pesquisadores, empresários e instituições governamentais e não governamentais com o intuito de auxiliar a tomada de decisão sobre pesquisa, desenvolvimento, comercialização e disposição final de produtos e serviços, permitindo a expansão dos horizontes da avaliação de desempenho ambiental (Frankl, Rubik, 2000).

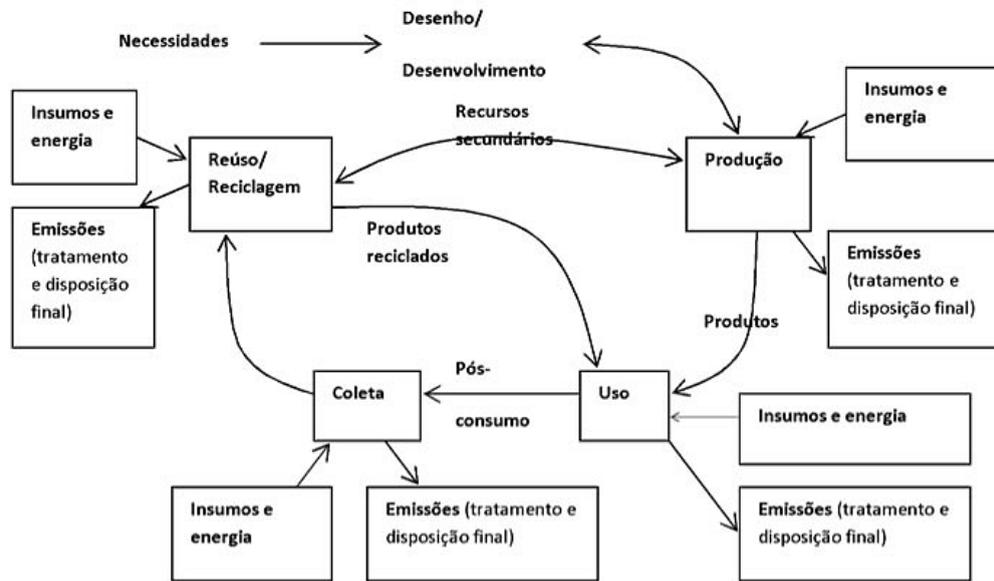


Figura 2. Etapas do ciclo de vida de um produto  
Fonte: A partir de Rebitzer et. al. (2004)

A série de normas ISO 14040 (ABNT, 2009) normaliza os procedimentos para condução de ACV e embasa vários métodos que podem ser utilizados na avaliação do desempenho de inovações agroindustriais, como: o Ecoindicator 99 (Goedkoop, Spriensma, 2000), o TRACI (Bare et. al., 2003), o EPS 2000 (Steen, 1999), o Impact 2002+ (Jolliet et. al., 2003) e o EDIP (Hauschild, Wenzel, 1998; Potting, Hauschild, 2005).

Esses métodos utilizam diferentes procedimentos para avaliar categorias de impactos (ex.: eutrofização, acidificação) a partir de um inventário de consumos e emissões (ex.: recursos minerais, CO<sub>2</sub>, SO<sub>4</sub>) associados ao ciclo de vida de um produto. Um esquema conceitual geral utilizado pelos métodos de ACV na avaliação de impactos ambientais é apresentado na Figura 3. Nesse esquema, observa-se que a análise parte do inventário de substâncias com potencial de causar impactos, sendo necessário a classificação e caracterização dos dados para se obter resultados por categoria de impacto, podendo-se ainda aplicar técnicas de normalização para obtenção de subíndices ou de um índice final. Alguns métodos de ACV, como o Eco-indicator 99 (Goedkoop, Spriensma, 2000), o EPS 2000 (Steen, 1999) e o IMPACT 2002+ (Jolliet et. al., 2003), buscam relacionar as categorias de impacto a danos ambientais, como dano à saúde humana, dano à qualidade dos ecossistemas, à biodiversidade e danos às reservas de recursos minerais.

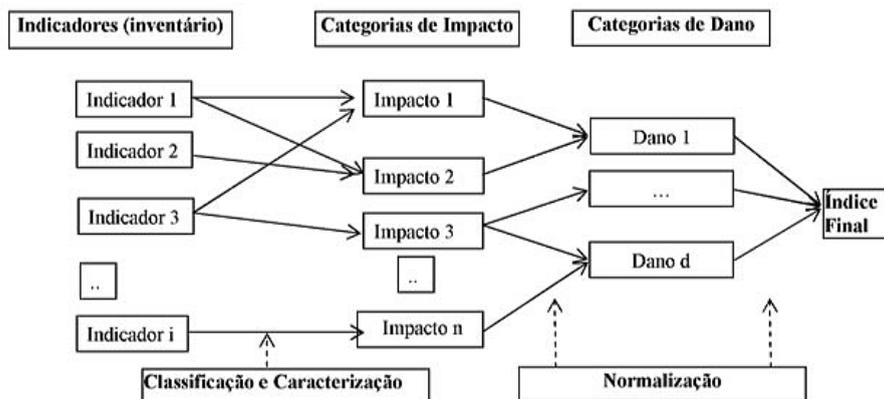


Figura 3. Modelo geral de avaliação de impactos na ACV

Na realização do inventário, são levantadas todas as entradas e saídas dos processos relacionados a categorias de impacto avaliadas em um método. Todos os indicadores ambientais integrantes do inventário em cada etapa do ciclo de vida de um produto são somados no final da avaliação, gerando totais de retirada de recursos naturais e de emissões (Rebitzer et. al., 2004).

Visando facilitar o inventário de entradas e saídas ao longo do ciclo de vida de produtos, foram desenvolvidos bancos de dados para países europeus e outros, contendo essas informações para vários processos relacionados à produção de energia e de matérias-primas, além de serviços, como transporte e distribuição de energia. Esses bancos de dados estão comumente associados a softwares comerciais que auxiliam a organização dos dados e a avaliação de impactos. Exemplos de banco de dados são o sueco SPINE e o suíço ecoinvent, que contém dados sobre consumos e emissões relacionados à produção de alguns produtos agrícolas (Rebitzer et. al., 2004).

Devido às especificidades dos processos produtivos em uso em cada país, especialistas em ACV recomendam o desenvolvimento de bases de dados nacionais (Hischier et. al., 2007) para cada país. Em 2005, iniciaram-se no Brasil as discussões sobre a estruturação de uma base de dados brasileira para a prática da ACV. Em 2007, foi iniciado o primeiro inventário para a base de dados brasileira, relacionado à produção de energia (Ferreira et. al., 2007).

Os indicadores inventariados são classificados (relacionados) em categorias de impacto e caracterizados, ou seja, transformados em uma substância equivalente padrão com o uso de métodos que definem a importância de cada indicador na ocorrência de uma categoria. Exemplificando, é atribuído um fator a cada gás inventariado de efeito estufa, expresso em CO2 equivalente, que está relacionado a seu potencial de causar mudança climática. Como resultado, a categoria de impacto “mudança climática” numa avaliação ACV expressa uma quantidade de CO2 equivalente que comunica a contribuição dos diversos gases de efeito estufa para essa categoria. As categorias de avaliação de impacto consideradas pelos métodos ACV analisados estão apresentadas na Tabela 3.

Para transformar os resultados das categorias de impacto em valores de referência ou para agregar os resultados de categorias de impacto em sub-índices e índices, os métodos ACV aplicam técnicas de normalização. A normalização dos dados é usualmente feita comparando-se os valores das categorias de impacto obtidos na avaliação de um produto com valores típicos de determinadas regiões (Souza et. al., 2007; Sousa et. al., 2007). Métodos que agregam categorias em sub-índices e índices, como o Eco-indicator 99 (Goedkoop, Spriensma, 2000), atribuem pesos às diversas categorias de impacto e ou sub-índices, utilizando a média ponderada na agregação dos dados.

| Categorias de Impactos ambientais |                               | TRACI | EDIP 2003 | ECOINDICATOR 99 | IMPACT 2002+ | EPS 2000 |
|-----------------------------------|-------------------------------|-------|-----------|-----------------|--------------|----------|
| Emissões                          | Mudança climática             | x     | x         | x               | x            | x        |
|                                   | Depleção da camada de ozônio  | x     | x         | x               | x            | x        |
|                                   | Toxicidade humana             | x     | x         | x               | x            | x        |
|                                   | Formação foto oxidante        | x     | x         | x               | x            | x        |
|                                   | Poluição sonora               |       | x         |                 |              | x        |
|                                   | Acidificação                  | x     | x         | x               | x            | x        |
|                                   | Eutrofização terrestre        | x     | x         | x               |              | x        |
|                                   | Eutrofização aquática         | x     | x         |                 | x            | x        |
|                                   | Ecotoxicidade                 | x     | x         | x               | x            | x        |
| Uso de recursos naturais          | Uso da Terra*                 | x     |           | x               | x            | x        |
|                                   | Uso de energia fóssil         | x     |           | x               | x            | x        |
|                                   | Extração de recursos minerais | x     |           | x               | x            | x        |
|                                   | Uso da água                   |       |           |                 |              | x        |

Tabela 3. Categorias de impacto ambiental consideradas pelos principais métodos ACV

As bases de dados que auxiliam na realização de inventários (ex: ecoinvent, SPINE) e os métodos de avaliação de impacto (Ecoindicator 99, IMPACT 2002+, EPS 2000, EDIP, TRACI e outros) estão inseridos em softwares comerciais que auxiliam na estruturação de estudos ACV, podendo-se citar o SimaPro, Umberto, GaBi, PEMS, Emis e Regis (Frischknecht, 2005).

## 2.4 Ambitec-Ciclo de Vida

Esse método avalia o desempenho ambiental de uma inovação em relação a um produto ou processo substituto, considerando o conceito de ciclo de vida e de vulnerabilidade ambiental (Figueirêdo et. al., 2009), expandindo o escopo do Ambitec-Agro (Monteiro; Rodrigues, 2006). A estrutura conceitual de avaliação utilizada nesse método está apresentada na Figura 4.

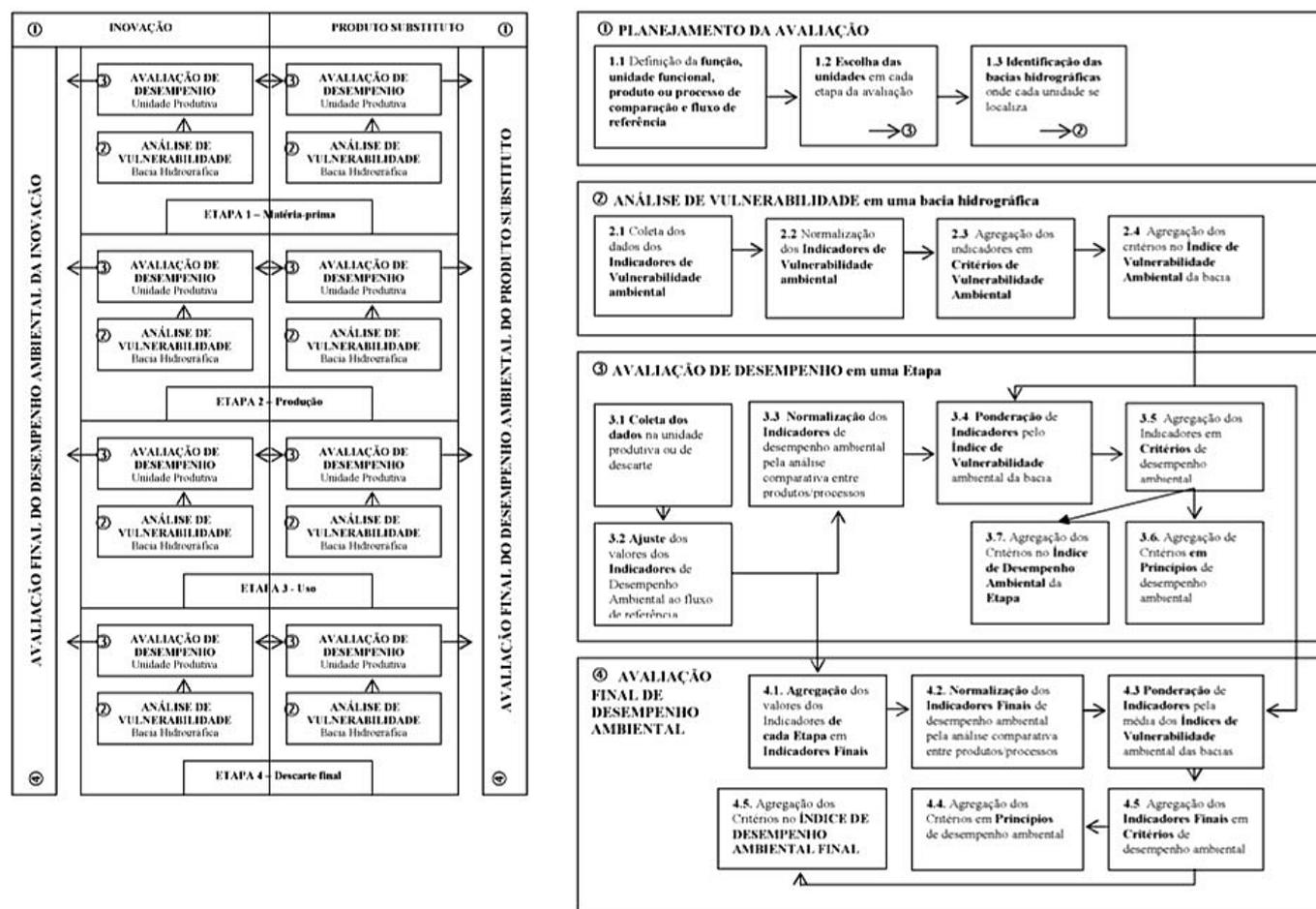


Figura 4. Método Ambitec-Ciclo de Vida de avaliação do desempenho ambiental de inovações agroindustriais  
Fonte: Figueirêdo et. al. (2009)

O lado direito dessa figura mostra que o método permite analisar quatro etapas do ciclo de vida de uma inovação de produto: produção da matéria-prima utilizada pelo produto, produção, uso e descarte final do produto. Na avaliação de uma inovação somente de processo, como não ocorre modificação do produto, avalia-se apenas a etapa de uso do processo. Em cada etapa do ciclo de vida da inovação, pode-se realizar uma análise de vulnerabilidade da bacia hidrográfica onde a etapa está situada. O resultado da análise de vulnerabilidade é utilizado na avaliação do desempenho ambiental em uma unidade produtiva ou de descarte de resíduos, escolhida como representante da etapa. Quanto maior a vulnerabilidade ambiental de uma bacia, maior o potencial de impacto relacionado aos consumos e emissões oriundos de uma inovação, reduzindo seu desempenho ambiental numa região.

O desempenho da inovação em uma etapa é avaliado, comparando-se seus resultados com os obtidos por outro produto ou processo substituto. Uma vez que inovações de produto envolvem várias etapas do seu ciclo de vida, uma avaliação final considerando todas as etapas é importante. Os desempenhos ambientais finais de um produto novo e do seu substituto são obtidos pela agregação dos resultados da avaliação de desempenho de cada etapa.

O lado esquerdo da Figura 4 mostra as ações que precisam ser tomadas para implementação do método, relativas: ao planejamento da avaliação; a análise da vulnerabilidade ambiental das bacias hidrográficas onde as etapas do ciclo de vida da inovação e do produto ou processo existente ocorrem; a avaliação do desempenho ambiental em cada etapa nas unidades produtivas e de descarte de resíduos; e, a avaliação final do desempenho dos produtos em estudo, considerando todas as etapas dos seus ciclos de vida.

Na ação de “planejamento da avaliação”, defini-se a função e a unidade funcional da inovação, identificar o produto ou processo substituto de comparação e o fluxo de referência para o levantamento dos dados dos indicadores, conforme preconizado pela norma ISO 14040 de ACV. Identificados os produtos ou processos foco do estudo, devem-se escolher as unidades produtivas e de descarte onde os dados dos indicadores serão levantados, assim como identificar as bacias hidrográficas relacionadas, para realização da análise de vulnerabilidade.

Em cada etapa do ciclo de vida da inovação, pode-se realizar uma análise de vulnerabilidade da bacia onde a etapa está situada, cujos passos estão detalhados na ação “análise de vulnerabilidade”. Nessa ação, utiliza-se um conjunto de indicadores quantitativos e qualitativos de vulnerabilidade, relacionados à exposição, sensibilidade e capacidade de resposta de uma bacia hidrográfica frente as questões ambientais relevantes às atividades agroindustriais (Figura 5).

Esses indicadores são normalizados para uma unidade adimensional numa escala contínua, que varia de 1 a 2, considerando valores mínimos e máximos possíveis de serem atingidos por cada indicador. Os valores normalizados dos indicadores são então agregados em critérios e no índice de vulnerabilidade ambiental (IVA) de uma bacia hidrográfica, utilizando-se a média ponderada. O IVA entra como um fator de ponderação na avaliação de desempenho da etapa sediada na bacia hidrográfica analisada. Caso não se queira considerar a vulnerabilidade ambiental das bacias na avaliação de desempenho, atribui-se o valor 1 (um) ao índice de vulnerabilidade.

Na ação de “avaliação do desempenho em uma etapa”, comparam-se os resultados alcançados por uma inovação com os obtidos por outro produto ou processo substituto nessa mesma etapa, escolhida por desempenhar função igual ou semelhante no mercado. A avaliação de desempenho é realizada por um conjunto de indicadores quantitativos, relacionados a aspectos ambientais (consumos e emissões) capazes de gerar impactos usualmente relacionados à agroindústria (Figura 6). Alguns indicadores são comuns às atividades agrícola, agroindustrial e de descarte de resíduos,

enquanto outros são próprios de cada atividade.

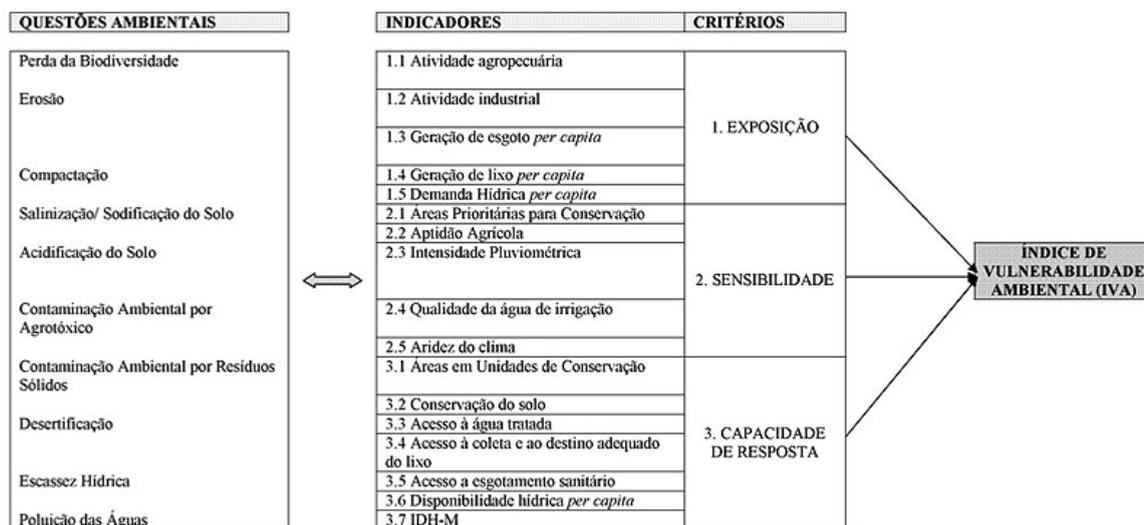


Figura 5. Estrutura de organização dos indicadores utilizados na análise da Vulnerabilidade Ambiental de uma bacia hidrográfica  
Fonte: Figueirêdo et. al. (2009)

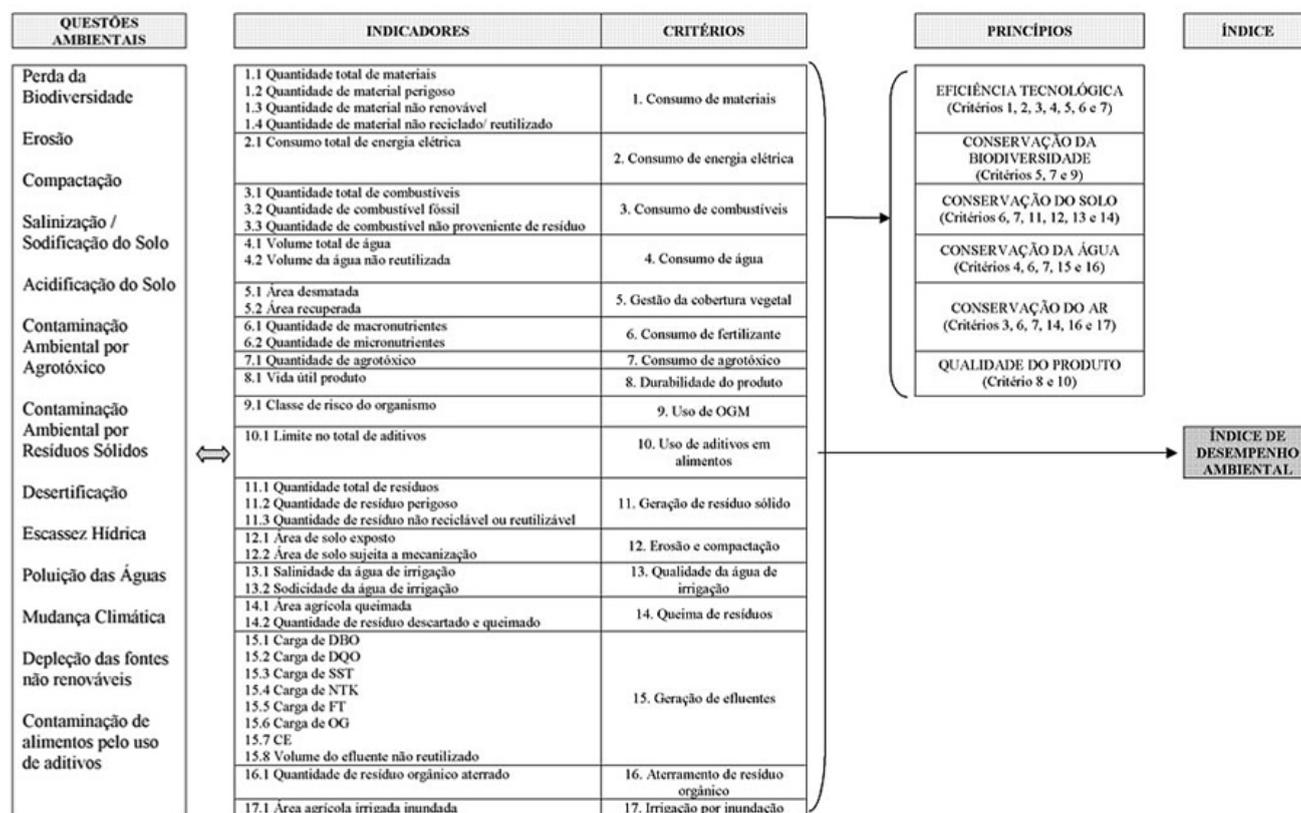


Figura 6. Estrutura de organização dos indicadores utilizados na avaliação de desempenho ambiental produtos ou processos  
Fonte: Figueirêdo et. al. (2009)

Inicialmente, os valores coletados para cada indicador, relativos a uma massa de produção específica, são ajustados para a produção necessária ao fluxo de referência estabelecido, possibilitando uma comparação entre produtos ou processos em bases iguais. Realiza-se a normalização dos valores dos indicadores da inovação para uma escala adimensional que varia de 0 a 100, considerando como referência os valores alcançados pelo produto ou processo substituto. Em seguida, os valores normalizados dos indicadores com potencial de causar impactos locais e regionais, no âmbito de uma bacia hidrográfica, são ponderados pelo índice de vulnerabilidade da bacia onde a unidade está situada. Os indicadores normalizados e ponderados pelo IVA são, então, agregados em critérios, esses em princípios e, esses últimos, no índice de desempenho ambiental da inovação na etapa em estudo, utilizando-se a média ponderada.

Quando a inovação é de produto, na ação de “avaliação final de desempenho ambiental”, avalia-se os desempenhos ambientais finais da inovação e do seu produto ou processo substituto, considerando todas as etapas do ciclo de vida. Nessa ação, os valores dos indicadores de cada etapa são agregados para obtenção dos valores totais dos indicadores ao longo do ciclo de vida. Esses valores totais são normalizados para a escala adimensional adotada (0 a 100), pela comparação entre produtos ou processos e ponderados pela vulnerabilidade média das bacias relacionadas a cada etapa do ciclo de vida da inovação. Em seguida, realiza-se a agregação dos resultados dos indicadores em critérios, esses, em princípios e no índice final de desempenho ambiental.

O método Ambitec-Ciclo de Vida foi implementado em planilhas Excel que geram gráficos de desempenho comparativo entre a inovação e o produto ou processo substituto, apresentando os resultados por etapa e numa avaliação final que considera todas as etapas do ciclo de vida consideradas (Figueirêdo et. al., 2009). Em cada etapa e na avaliação final, os resultados são apresentados para cada indicador, critério, princípio e

índice de desempenho final. Para tanto, o usuário do método necessita cadastrar a inovação, sua função, o produto ou processo substituto, a unidade funcional utilizada e os fluxos de referência para cada produto ou processo analisado, os índices de vulnerabilidade das bacias contempladas no estudo e os valores assumidos pelos indicadores em cada etapa do ciclo de vida dos produtos ou processos avaliados.

[\[inicio\]](#) [\[siguiente\]](#)

\* Pesquisadora da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa email:

\*\* Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Meio Ambiente) em Jaguariúna (SP).

\*\*\*Professor da Universidade de Brasília (UNB).

\*\*\*\*Pesquisadora da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa.

\*\*\*\*\*Professor da Universidade Federal do Ceará.

Vol. 31 (4) 2010

[\[Índice\]](#)