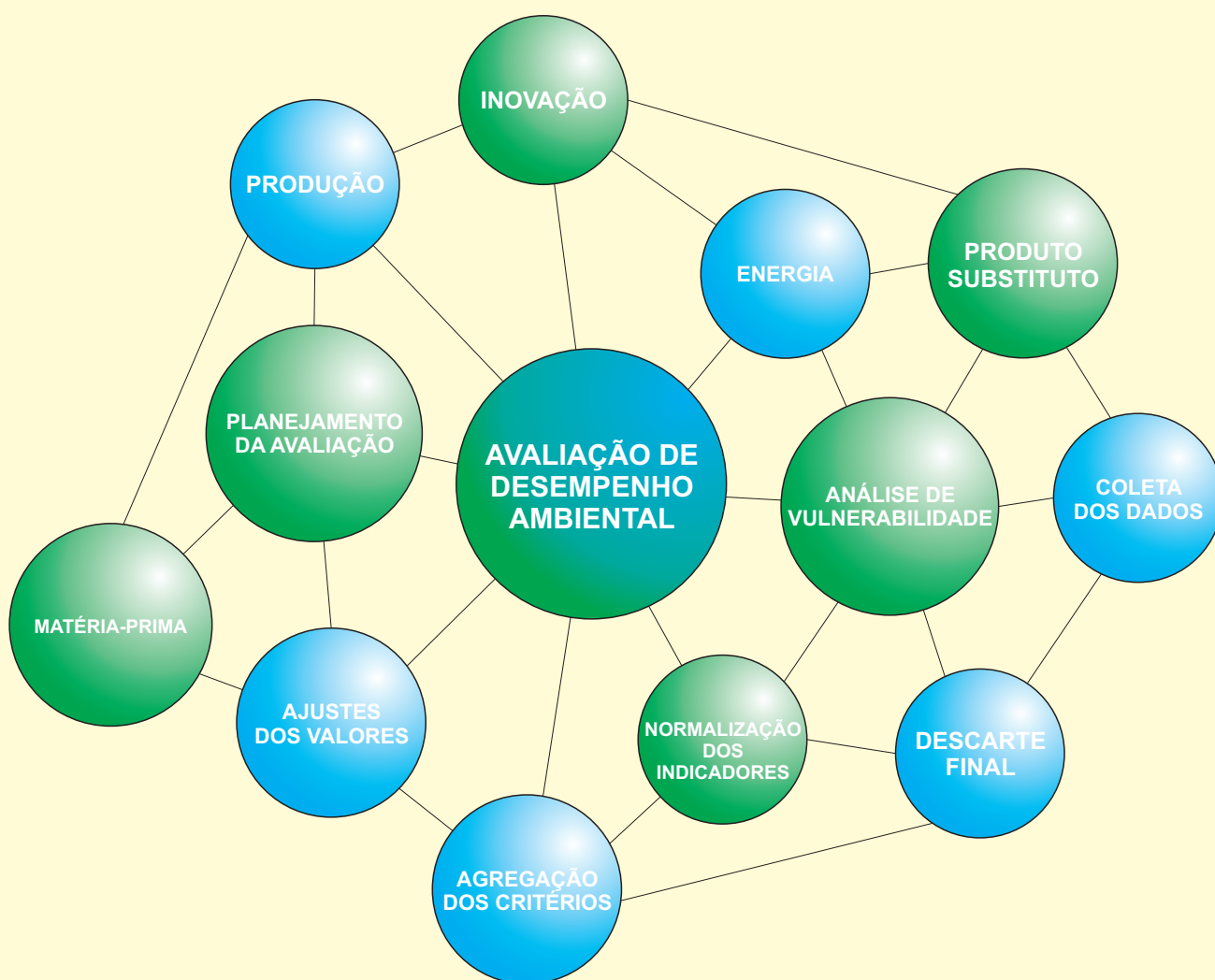


## Método de Avaliação do Desempenho Ambiental de Inovações Tecnológicas Agroindustriais: Ambitec-Ciclo de Vida



ISSN 1677-1915  
Outubro, 2009

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Agroindústria Tropical  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

## **Documentos 121**

# **Método de Avaliação do Desempenho Ambiental de Inovações Tecnológicas Agroindustriais: Ambitec-Ciclo de Vida**

*Maria Cléa Brito de Figueiredo  
Morsyleide de Freitas Rosa  
Adriano Lincoln Albuquerque Mattos  
Suetônio Mota  
Vicente de P. P. B. Vieira*

Embrapa Agroindústria Tropical  
Fortaleza, CE  
2009

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Agroindústria Tropical**

Rua Dra. Sara Mesquita 2270, Pici  
CEP 60511-110 Fortaleza, CE  
Caixa Postal 3761  
Fone: (85) 3391-7100  
Fax: (85) 3391-7109  
Home page: [www.cnpat.embrapa.br](http://www.cnpat.embrapa.br)  
E-mail: [vendas@cnpat.embrapa.br](mailto:vendas@cnpat.embrapa.br)

**Comitê de Publicações da Embrapa Agroindústria Tropical**

Presidente: *Antonio Teixeira Cavalcanti Júnior*  
Secretário-Executivo: *Marco Aurélio da Rocha Melo*  
Membros: *Ana Cristina Portugal Pinto de Carvalho, Antonio Calixto Lima, Diva Correia, Ingrid Vieira Machado de Moraes, Adriano Lincoln Albuquerque Mattos e Ebenézer de Oliveira Silva*

Supervisão editorial: *Marco Aurélio da Rocha Melo*  
Revisão de texto: *Ana Fátima Costa Pinto*  
Normalização bibliográfica: *Ana Fátima Costa Pinto*  
Editoração eletrônica: *Arilo Nobre de Oliveira*

**1ª edição**

1ª impressão (2009)

**Todos os direitos reservados**

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

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Embrapa Agroindústria Tropical**

---

Método de avaliação do desempenho ambiental de inovações tecnológicas agroindustriais: Ambitec - ciclo de vida / Maria Cléa Brito de Figueiredo... [et al.]. - Fortaleza : Embrapa Agroindústria Tropical, 2009.

64 p.; 29,7 cm. – (Documentos / Embrapa Agroindústria Tropical, ISSN 1677-1915, 121).

1. Impacto ambiental. 2. Método. 3. Vulnerabilidade ambiental. 4. Ciclo de vida. I. Figueiredo, Maria Cléa Brito de. II. Rosa, Morsyleide de Freitas Mota. III. Mattos, Adriano Lincoln Albuquerque. IV. Mota, Suetônio. V. Vieira, Vicente de P. P. VI. Série.

CDD 363.7

---

© Embrapa 2009

# **Autores**

## **Maria Cléa Brito de Figueiredo**

Analista de Sistemas, D. Sc. em Saneamento Ambiental, pesquisadora da Embrapa Agroindústria Tropical, Rua Dra. Sara Mesquita, 2270, Pici, CEP 60511-110, Fortaleza, CE, clea@cnpat.embrapa.br

## **Morsyleide de Freitas Rosa**

Engenheira Química, D. Sc. em Processos Químicos e Biológicos, pesquisadora da Embrapa Agroindústria Tropical na área de Gestão Ambiental

## **Adriano Lincoln Albuquerque Mattos**

Engenheiro Agrônomo, M. Sc. em Economia Aplicada, analista da Embrapa Agroindústria Tropical

## **Suetônio Mota**

Engenheiro Sanitarista, D. Sc., professor da Universidade Federal do Ceará (UFC) na área de impactos ambientais e reúso de efluentes, Av. Mister Hull, 2977, Campus do Pici, CEP 60356-000 Fortaleza, CE

## **Vicente de P. P. B. Vieira**

Engenheiro Civil, D. Sc., professor da Universidade Federal do Ceará (UFC) na área de Análise de Risco e Indicadores Ambientais

# Apresentação

A avaliação de desempenho ambiental é uma ferramenta importante na busca do desenvolvimento sustentável, à medida que permite uma melhor compreensão dos aspectos ambientais de uma atividade, política ou inovação tecnológica, capazes de provocar alterações no meio ambiente.

A Embrapa, compromissada com o desenvolvimento de soluções tecnológicas que contribuam para a sustentabilidade do agronegócio brasileiro, vem contribuindo ativamente com o desenvolvimento de métodos de avaliação do desempenho ambiental de inovações e atividades agroindustriais. A Embrapa Agroindústria Tropical também participa dessa iniciativa, apresentando neste documento o método de avaliação de desempenho ambiental de inovações tecnológicas agroindustriais Ambitec-Ciclo de Vida, que considera o conceito do ciclo de vida e a vulnerabilidade ambiental das regiões onde as inovações provavelmente serão inseridas.

O método foi desenvolvido para servir de suporte à tomada de decisão na etapa de desenvolvimento de inovações, auxiliando na melhoria contínua de produtos e processos agroindustriais e na transferência de inovações tecnológicas.

*Vitor Hugo de Oliveira*

Chefe-Geral da Embrapa Agroindústria Tropical

# Sumário

<b>Introdução</b> .....	9
<b>Estrutura conceitual</b> .....	10
Particularidades da etapa de produção da matéria-prima .....	11
<b>Detalhamento do método Ambitec-Ciclo de Vida</b> .....	15
Planejamento da Avaliação .....	17
Definição da função, da unidade funcional, do produto ou processo substituto utilizado na comparação e do fluxo de referência .....	17
Escolha das unidades em cada etapa da avaliação .....	17
Identificação das bacias hidrográficas onde cada unidade se localiza .....	17
Análise da Vulnerabilidade Ambiental de bacias hidrográficas .....	18
Normalização dos indicadores de vulnerabilidade ambiental .....	20
Agregação dos indicadores em critérios de Vulnerabilidade Ambiental .....	21
Agregação dos critérios no Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) da bacia.....	21
Avaliação de Desempenho Ambiental em uma etapa do ciclo de vida de um produto ou na etapa de uso de um processo .....	22
Ajuste dos valores dos indicadores de Desempenho Ambiental pela unidade funcional.....	24
Normalização dos indicadores de desempenho ambiental em uma etapa .....	24
Ponderação de indicadores pelo (IVA) da bacia .....	25
Agregação dos indicadores de uma etapa em critérios de desempenho ambiental.....	26
Agregação de critérios de uma etapa em princípios de desempenho ambiental.....	26
Agregação dos critérios no Índice de Desempenho Ambiental (IDA) de uma etapa.....	26
Avaliação final do desempenho ambiental de um produto.....	27
Agregação dos valores dos indicadores de cada etapa em indicadores finais .....	27
Normalização do indicador final de desempenho ambiental.....	27
Ponderação do indicador final pela vulnerabilidade ambiental média.....	27
Agregação dos indicadores finais normalizados em critérios de desempenho ambiental .....	28
Agregação dos critérios em princípios de desempenho ambiental .....	28
Agregação dos critérios no IDA <sub>i</sub> .....	28
<b>Estudo de caso: substrato de coco verde (SCV)</b> .....	28
Planejamento da avaliação .....	28
Análise de vulnerabilidade.....	30
Avaliação de desempenho ambiental .....	32
<b>Considerações finais</b> .....	36
<b>Referências</b> .....	38
<b>Apêndice A - Descrição dos indicadores de vulnerabilidade ambiental</b> .....	40
<b>Apêndice B - Descrição dos indicadores de desempenho ambiental</b> .....	42

# Método de Avaliação do Desempenho Ambiental de Inovações Tecnológicas Agroindustriais: Ambitec-Ciclo de Vida

---

*Maria Cléa Brito de Figueiredo*

*Morsyleide de Freitas Rosa*

*Adriano Lincoln Albuquerque Mattos*

*Suetônio Mota*

*Vicente de P. P. B. Vieira*

## Introdução

Nos últimos vinte anos, a sociedade mundial vem discutindo o modelo sustentável de desenvolvimento, como prerrogativa para que gerações atuais e futuras possam usufruir uma qualidade de vida condizente com as aspirações humanas de bem estar econômico, social e ecológico. Nas discussões sobre como alcançar um desenvolvimento que seja sustentável, existe um consenso sobre a importância do desenvolvimento científico e tecnológico nesse processo. Compreende-se por inovação tecnológica, novos ou aprimorados produtos ou processos. Inovação de produto envolve bens ou serviços com uso ou função nova ou diferenciada no mercado, enquanto inovação de processo envolve novos métodos de produção ou distribuição de um novo ou existente produto (ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 1997).

Segundo o Conselho Mundial Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável – WBCSD (2001), atingir a sustentabilidade requer o desenvolvimento de inovações, que tornem a produção industrial eficiente no uso dos recursos naturais. Essa compreensão da necessidade de se desenvolver inovações comprometidas com a sustentabilidade é compartilhada pelas Organizações das Nações Unidas – ONU (1997), pela Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento – OECD (1998) e pelo Banco Mundial (2000). Ao mesmo tempo em que a importância do desenvolvimento científico e tecnológico é reconhecida como vital ao desenvolvimento sustentável, poucas são as instituições que utilizam instrumentos de avaliação ambiental de inovações na etapa de seu desenvolvimento (SEILER-HAUSMANN, 2002; BERKEL, 2005), tornando a passagem da teoria para a prática da sustentabilidade ainda mais complexa.

Nesse contexto, destaca-se a iniciativa da Embrapa em avaliar o impacto ambiental de suas inovações agroindustriais, com o desenvolvimento do Sistema Ambitec-Agro, que possui indicadores ecológicos e socioeconômicos. O Ambitec vem sendo utilizado pelos Centros de Pesquisa da Embrapa em todo o País, desde 2001 (RODRIGUES et al., 2003). Esse sistema, caracteriza-se por ter como foco de avaliação a unidade produtiva onde a inovação é utilizada, não considerando a vulnerabilidade às pressões ambientais da região na qual uma dada inovação é utilizada.

Contudo, na última década, intensificou-se o debate sobre a importância de se avaliar o impacto de uma inovação ao longo de uma cadeia de produção, consumo e pós-consumo, ou seja, ao longo do seu ciclo de vida. Ressalta-se também a importância de se considerar a vulnerabilidade de ambientes frente às pressões exercidas por inovações agroindustriais, uma vez que diferentes ambientes são afetados de forma diferenciada, dependendo do seu estado de conservação e disponibilidade de recursos naturais.

Este trabalho tem como objetivo apresentar o método Ambitec-Ciclo de Vida de avaliação do desempenho ambiental de inovações agroindustriais (FIGUEIREDO, 2008). O objetivo geral do método é avaliar o desempenho ambiental de uma inovação tecnológica, considerando o ciclo de vida da inovação e a vulnerabilidade ambiental de bacias hidrográficas às questões ambientais relacionadas às atividades agroindustriais.

## Estrutura Conceitual

Na Figura 1 está apresentada a estrutura geral do método Ambitec-Ciclo de Vida. Essa estrutura revela, que a análise de desempenho é comparativa, ou seja, os resultados do desempenho de uma inovação são relativos aos resultados alcançados por um produto ou processo substituto existente, que possui função igual ou similar no mercado. Essas etapas devem ser analisadas, antes e depois da introdução da inovação.

A análise de desempenho proposta considera 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 (Etapa 3, Figura 1).

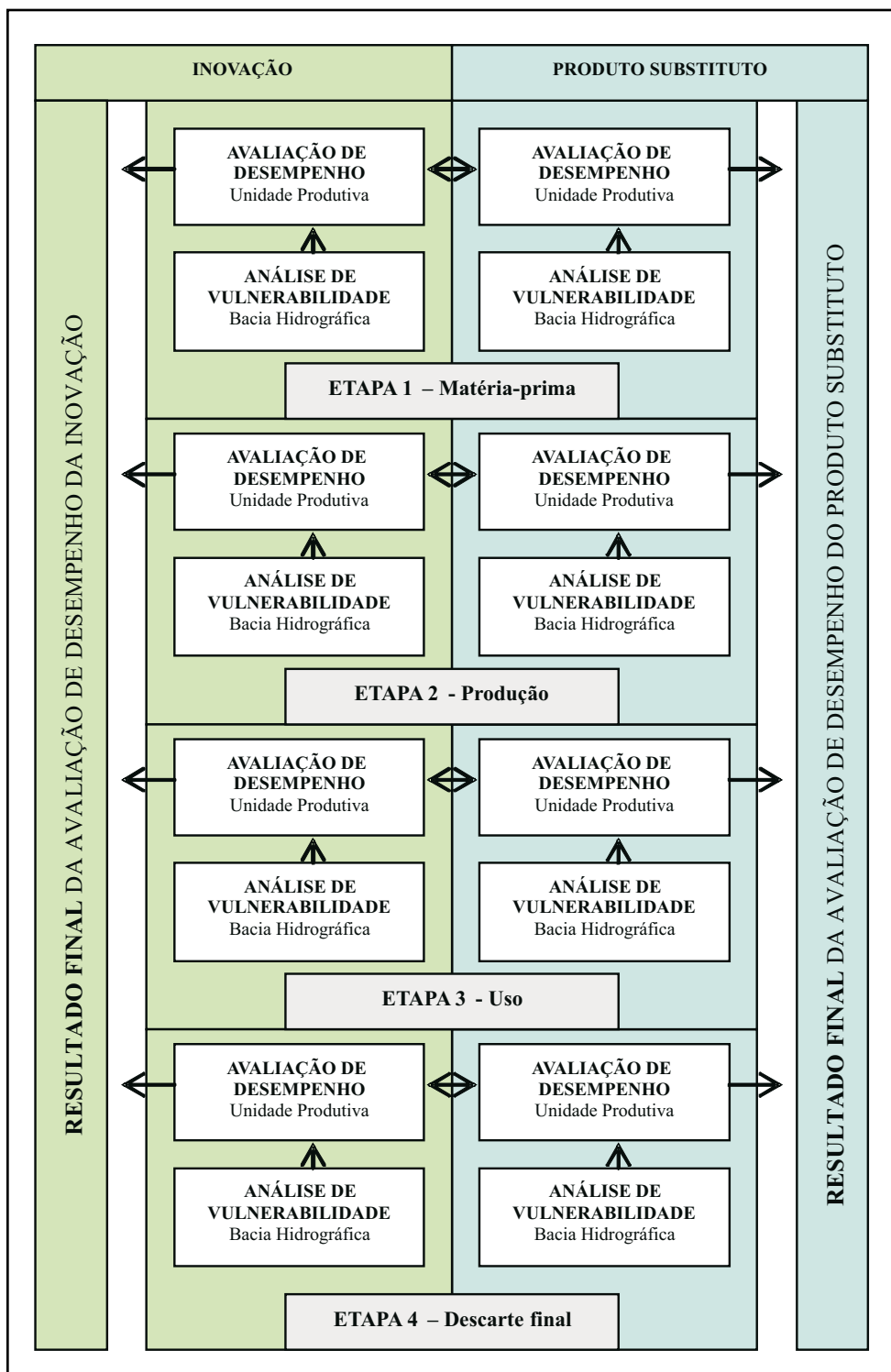


Figura 1. Estrutura geral do método de Ambitec-Ciclo de Vida.



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 existente. 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.

Esse método busca auxiliar pesquisadores e equipes de transferência de inovações tecnológicas agroindustriais, que devem considerar o seu desempenho ambiental, ao propor e difundir inovações.

## Particularidades da etapa de produção da matéria-prima

Podem ocorrer três situações diferentes relacionadas à etapa de produção da matéria-prima, quando da comparação de um produto novo com outro, seu substituto no mercado:

**Situação 1:** o novo produto e o produto a ser substituído utilizam matérias-primas que não são resíduos.

**Situação 2:** o novo produto, ou o seu substituto, utiliza matéria-prima que é resíduo, enquanto o outro produto utiliza matéria-prima que não é resíduo.

**Situação 3:** tanto o novo produto como o seu substituto utilizam matérias-primas que são resíduos.

Em quaisquer das situações, considera-se que a inovação de produto tem potencial de substituir integralmente o produto existente. Essas situações serão analisadas separadamente, a seguir.

**Situação 1:** o novo produto e o seu substituto utilizam matérias-primas que não são resíduos.

Na situação anterior à introdução da inovação no mercado, as etapas do ciclo de vida do produto novo ainda não existem, mas apenas a do produto a ser substituído. Quando a inovação é transferida, considera-se que para cada massa consumida do novo produto, deixa-se de consumir uma massa de igual valor do produto substituto. Por esse motivo, na situação pós-transferência, o ciclo de vida do produto a ser substituído deixa de existir. Os resultados de uma etapa do ciclo de vida do novo produto devem ser comparados com os resultados na mesma etapa, obtidos para o produto substituto, conforme apresentado na Figura 2.

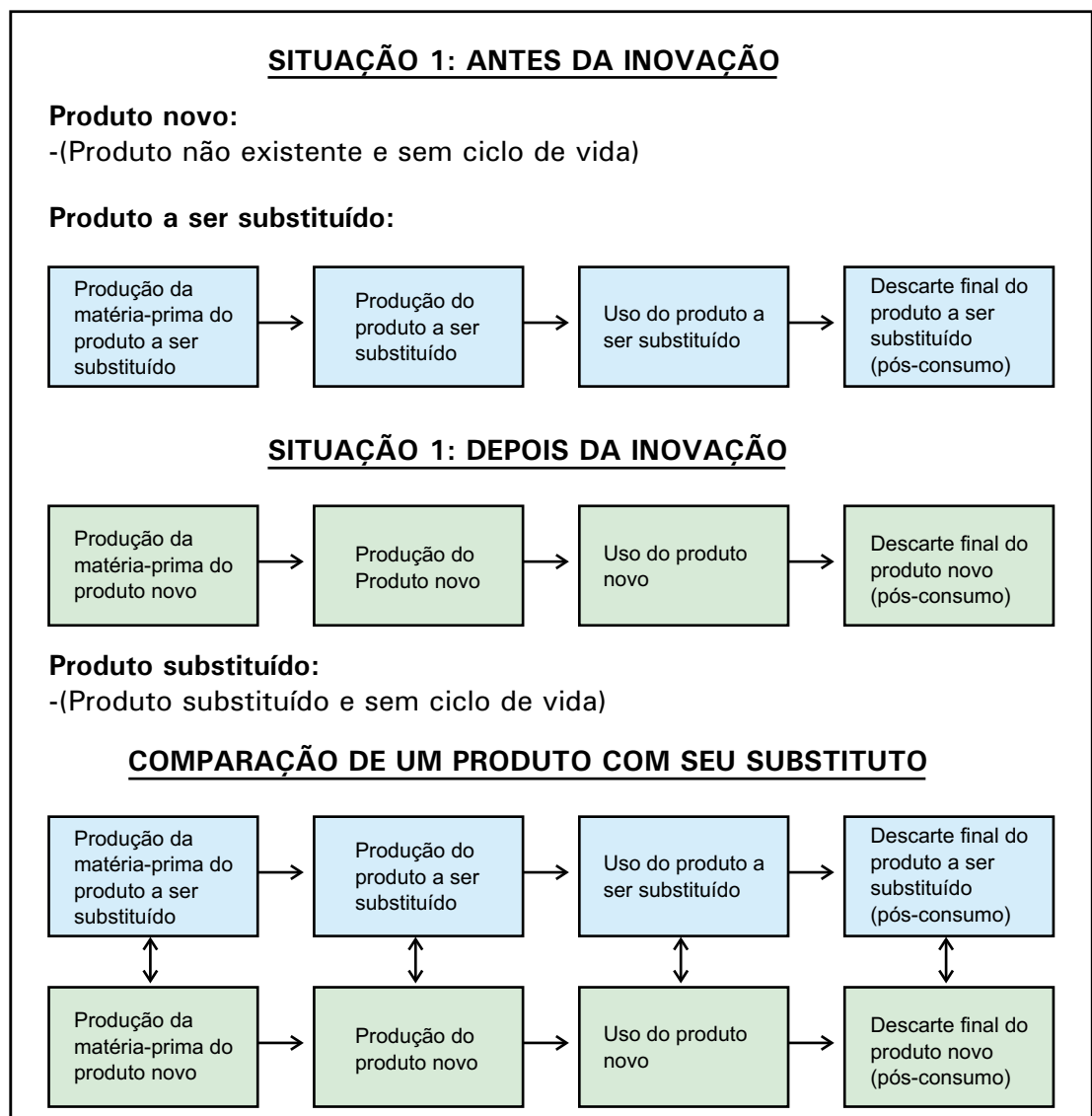


Figura 2. Sistemática de comparação geral de produtos (Situação 1).

**Situação 2:** o novo produto, ou o seu substituto, utiliza matéria-prima que é resíduo, enquanto o outro produto utiliza matéria-prima que não é resíduo.

Um caso particular ocorre quando a matéria-prima utilizada por um produto é um resíduo, visto que o resíduo continuará a ser gerado, mesmo que não utilizado, diferentemente do caso tradicional, onde se produz apenas a matéria-prima, se essa for processada. Assim, quando um produto (inovação ou produto substituto) utiliza um resíduo como matéria-prima, a etapa de descarte do resíduo deve ser destacada e incluída na análise do ciclo de vida desse produto na situação pré-transferência da inovação. Outro aspecto é que, na situação pós-transferência da inovação, como a matéria-prima utilizada por um dos produtos é um resíduo, os impactos ambientais gerados na etapa de “produção da matéria-prima” não devem ser contabilizados, uma vez que esses ônus devem-se à produção de outro produto qualquer, e não ao produto em estudo.

Na comparação de um produto novo com seu substituto, na etapa de “produção da matéria-prima”, os aspectos ambientais relacionados ao descarte do resíduo, ainda não utilizado por um dos produtos, devem ser acrescidos aos aspectos do processamento da matéria-prima do outro produto analisado, e comparados com a ausência de aspectos nessa etapa no ciclo de vida do produto que utiliza resíduo. A Figura 3 exemplifica essa situação para o caso de o produto novo utilizar um resíduo como matéria-prima.

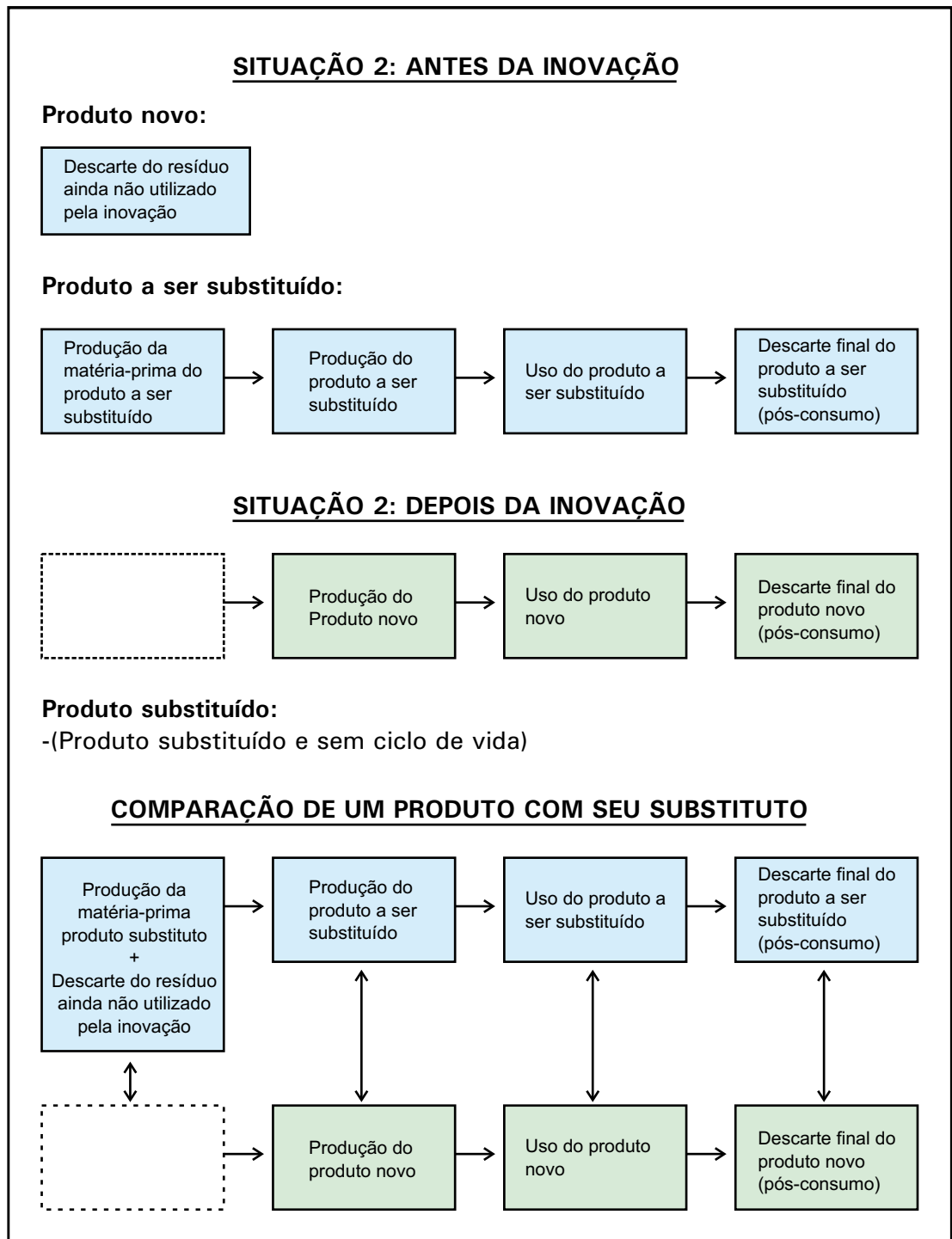


Figura 3. Sistemática de comparação de produtos da Situação 2.

**Situação 3:** tanto o produto novo como o seu substituto utilizam matérias-primas que são resíduos

Nessa situação, tanto o produto novo quanto o produto a ser substituído são provenientes de resíduos e, portanto, não possuem uma etapa de produção de matéria-prima. Entretanto, na situação anterior à inovação, ocorre o descarte do resíduo ainda não utilizado como matéria-prima pela inovação. Na situação posterior à adoção da inovação, o resíduo que era utilizado para fabricação do produto substituto deixa de ser usado como matéria-prima e passa a ser descartado, devendo essa etapa de descarte também ser contemplada na avaliação (Figura 4).

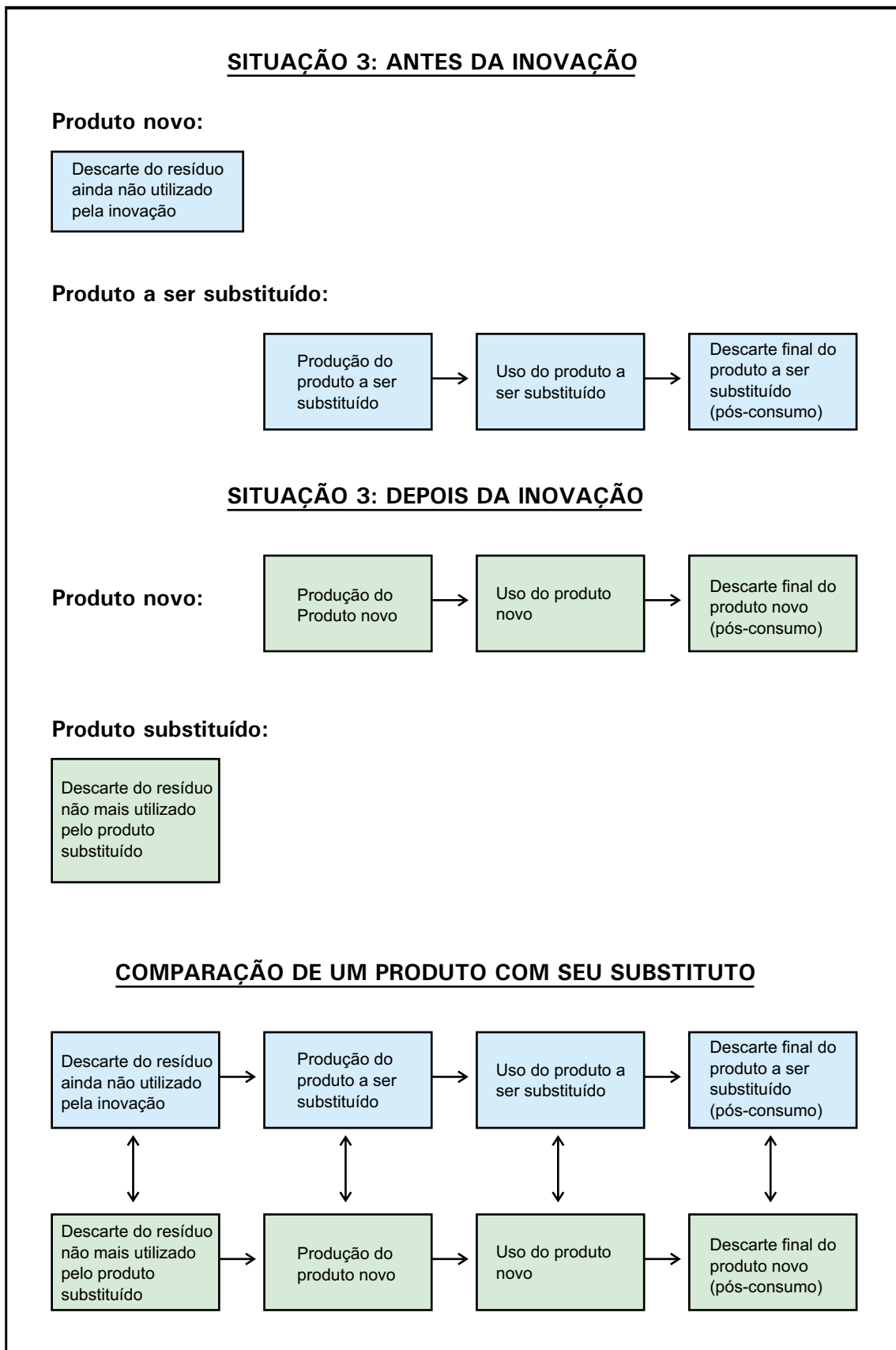


Figura 4. Sistemática de comparação de produtos da Situação 3.

## Detalhamento do Método Ambitec-Ciclo de Vida

Na Figura 5, detalha-se o Ambitec-Ciclo de Vida, mostrando-se do lado direito a estrutura conceitual, já apresentada na Figura 1 e do lado esquerdo, 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 podem ocorrer; 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.

No planejamento da avaliação, deve-se definir a função e a unidade funcional da inovação, identificar o produto ou processo tecnológico substituto utilizado na comparação e o fluxo de referência para o levantamento dos dados dos indicadores, de acordo com a norma ISO 14040 (ABNT, 1999). Identificados os produtos e processos 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, que é optativa.

A análise de vulnerabilidade utiliza um conjunto de indicadores de vulnerabilidade, que são normalizados para uma unidade adimensional, tornando possível a agregação dos resultados em critérios de vulnerabilidade e, a agregação deles no índice de vulnerabilidade de uma bacia hidrográfica. O índice de vulnerabilidade entra como um fator de ponderação na avaliação de desempenho da etapa, sediada na bacia hidrográfica analisada. Quando não se deseja realizar a análise de vulnerabilidade, assume-se na avaliação de desempenho ambiental, que a vulnerabilidade das bacias hidrográficas é mínima.

A avaliação de desempenho ambiental de uma unidade produtiva ou de descarte de resíduos é realizada em cada etapa do ciclo de vida, quando a inovação é de produto, e considerando apenas a etapa de uso, quando a inovação é de processo. Inicialmente, os valores coletados para cada indicador de desempenho ambiental, 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, então, a normalização dos valores dos indicadores de desempenho para uma escala adimensional, pela comparação dos valores relacionados à inovação, com os obtidos para o produto ou processo substituto. 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. Em seguida, os valores dos indicadores são agregados em critérios, esses em princípios e no índice de desempenho ambiental da inovação na etapa em estudo.

A avaliação final de desempenho ambiental deve ser realizada quando se avalia uma inovação de produto. Nessa etapa, os valores dos indicadores, já ajustados ao fluxo de referência, relativos à cada etapa de estudo dos produtos, são, então, agregados para obtenção dos valores totais dos indicadores ao longo do ciclo de vida. Esses valores totais são normalizados para uma unidade adimensional, pela comparação entre produtos, ponderados pela média dos índices de vulnerabilidade das bacias, relacionadas ao ciclo de vida de um produto, agregados em critérios, esses, em princípios e no índice final de desempenho ambiental da inovação.

As ações enumeradas na Figura 5 são detalhadas a seguir.

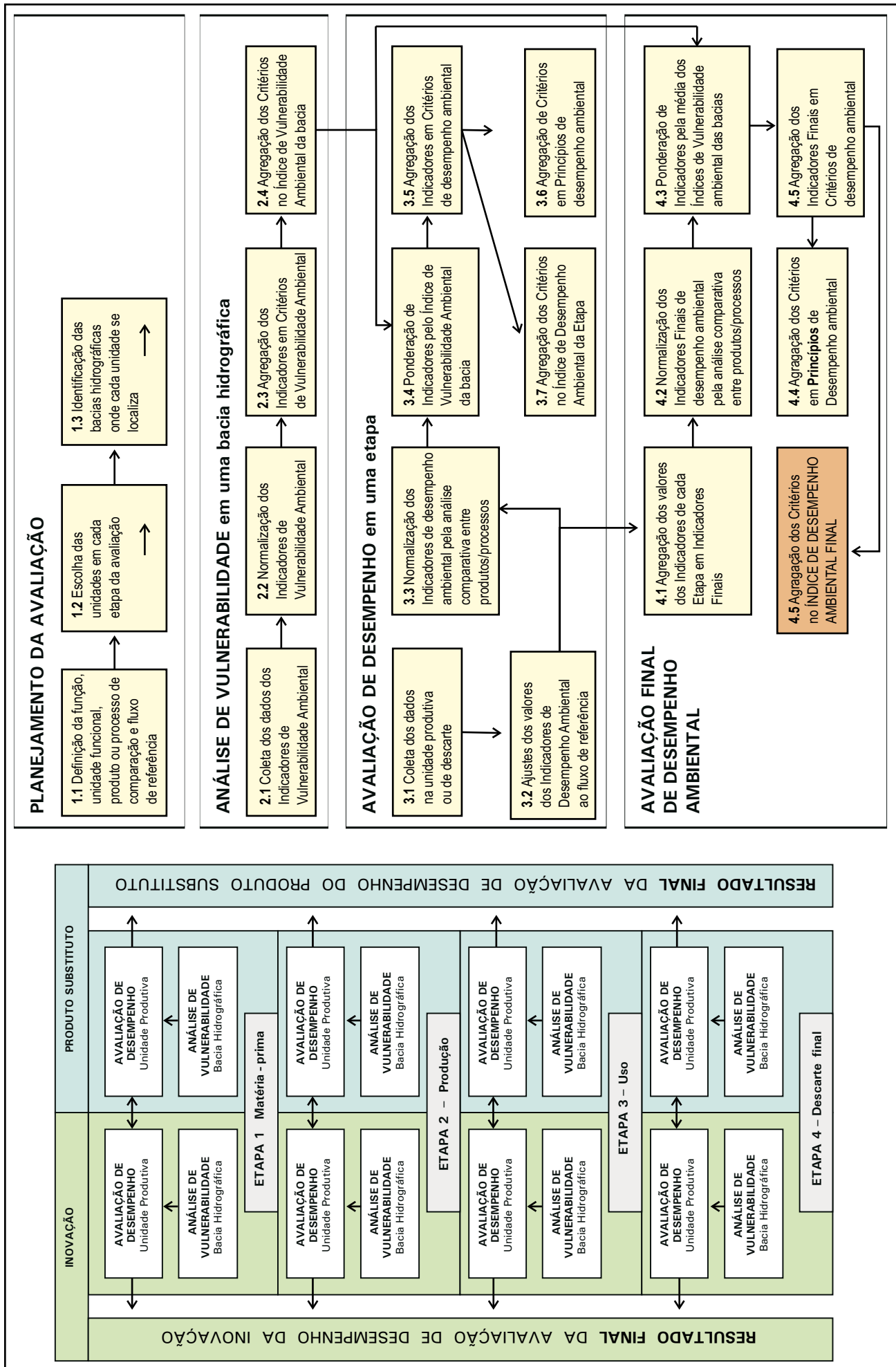


Figura 5. Detalhamento do método Ambitec-Ciclo de Vida de avaliação do desempenho ambiental de inovações agroindustriais.

## Planejamento da avaliação

### **Definição da função, da unidade funcional, do produto ou processo substituto utilizado na comparação e do fluxo de referência**

O método requer a definição de um produto ou processo substituto, que desempenhe função semelhante à inovação em estudo, ou seja, o consumo da inovação implica na redução do consumo ou uso do produto ou processo. A função de uma inovação de processo ou de produto pode ser explicitada, a partir da indagação do seu objetivo no agronegócio, quando utilizada. Produtos ou processos que possuem os mesmos objetivos, ou prestam os mesmos serviços, podem ser comparados com a definição de uma unidade funcional, ou seja, uma medida que quantifique sua função. Tomando-se como exemplo o produto “substrato de coco verde”, que tem como função atuar como base física para o desenvolvimento de plantas, pode-se avaliar seu desempenho em comparação ao produto “substrato de coco seco”, que possui objetivo semelhante, por meio da definição da unidade funcional “suporte físico ao enraizamento de uma roseira para produção de uma rosa”. Assim, o levantamento dos dados e a comparação entre produtos ou processos são realizados para uma mesma unidade funcional.

Na avaliação de produtos, depois de definida a unidade funcional, é necessário levantar o fluxo de referência tanto do produto novo como do substituto, ou seja, os valores de produção relacionados a cada etapa do ciclo de vida, para que a unidade funcional seja atendida. Tomando como exemplo a unidade funcional definida no item anterior (suporte físico para produção de uma rosa), será preciso levantar quanto de substrato deverá ser produzido para servir à produção de uma rosa e quanto de casca de coco deixará de ser descartada ou incorporada ao solo. Esses valores serão tomados como referência nas etapas de produção do substrato e descarte das cascas, respectivamente.

### **Escolha das unidades em cada etapa da avaliação**

Durante o desenvolvimento de um produto agroindustrial, unidades piloto ou experimentos são usualmente montados visando descrever e ajustar o sistema de produção esquematizado em laboratório ou em campo para uma escala maior. Esses locais são naturalmente as unidades de estudo nas etapas 2 (produção) e 3 (uso) do ciclo de vida desse novo produto.

Sugerem-se os seguintes critérios na escolha das demais unidades produtivas ou de descarte, onde ocorre cada etapa do ciclo de vida de um produto ou onde um processo é utilizado: i) volume de produção, para refletir a representatividade do processo produtivo, empregado pela empresa, na etapa do ciclo de vida do produto; ii) aceitação da empresa para realização dos levantamentos de dados.

### **Identificação das bacias hidrográficas onde cada unidade se localiza**

No caso de o usuário do método optar pela consideração da vulnerabilidade ambiental das bacias hidrográficas, onde cada etapa do ciclo de vida ocorre ou pode ocorrer, as unidades produtivas e de descarte escolhidas para o levantamento dos dados devem ser georreferenciadas no mapa das bacias hidrográficas estaduais para identificação das bacias, onde o estudo de vulnerabilidade será conduzido.

## **Análise da Vulnerabilidade Ambiental de bacias hidrográficas**

A análise de vulnerabilidade das bacias hidrográficas onde as etapas do ciclo de vida da inovação e do produto ou processo substituto ocorrem, ou podem ocorrer, é optativa no método. Para inserção da vulnerabilidade ambiental na análise de desempenho ambiental de um produto, adotou-se um conceito de vulnerabilidade baseado em Adger (2006), que compreende a vulnerabilidade ambiental como a susceptibilidade de uma bacia à ocorrência de impactos ambientais, sendo avaliada, considerando-se:

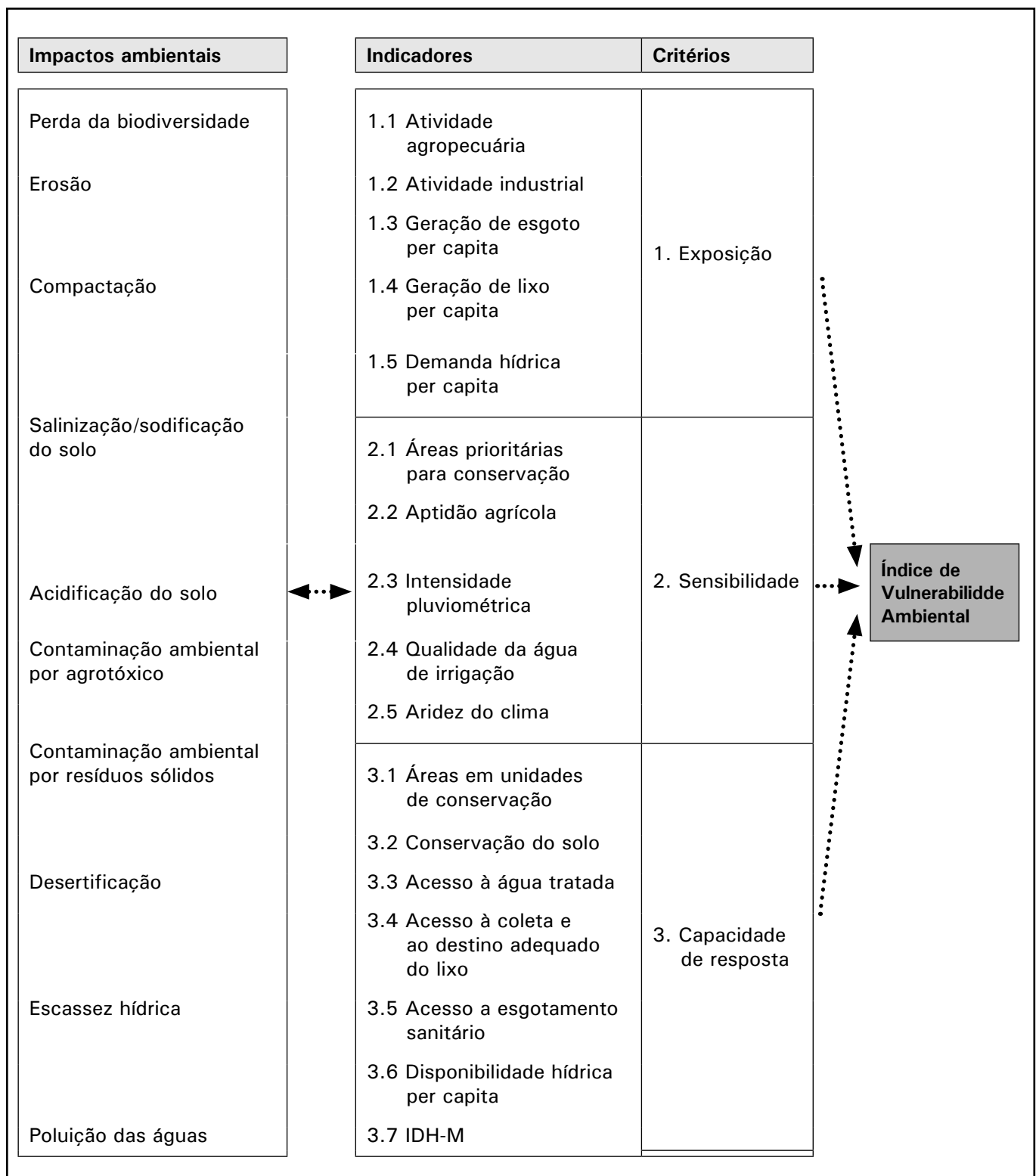
- Exposição da bacia às pressões ambientais típicas de atividades agroindustriais, avaliada por indicadores que mostram a pressão antrópica exercida no sistema.
- Sensibilidade da bacia às pressões exercidas, avaliada pelo uso de indicadores, que mostram as características do meio físico e biótico (tipo de solo, clima, vegetação etc.) que já ocorrem antes de qualquer perturbação e que interagem com as pressões.
- Capacidade de resposta da população da bacia, avaliada pela adoção de ações de conservação ou preservação ambiental, que mitigam ou reduzem os possíveis efeitos das pressões exercidas.

Caso a análise de vulnerabilidade seja considerada, ela é realizada por um conjunto de 17 indicadores, organizados em três critérios, gerando-se um índice, que expressa a vulnerabilidade de uma bacia (Figura 6).

Quanto maior a exposição a pressões, maior a sensibilidade e menor a capacidade de resposta de um sistema, tanto maior a sua vulnerabilidade ambiental. A escolha dos indicadores de vulnerabilidade, baseou-se na análise dos fatores de pressão, sensibilidade e capacidade de resposta da população de uma bacia frente às seguintes questões ambientais: perda da biodiversidade, erosão, compactação, salinização, sodificação e acidificação do solo, contaminação ambiental por agrotóxicos e por resíduos sólidos, desertificação, escassez hídrica e poluição hídrica. Na escolha dos indicadores, considerou-se ainda a relevância, fundamentação teórica e mensurabilidade dos indicadores (OECD, 1993), assim como a disponibilidade de dados nas bases de dados disponíveis e livremente acessíveis para o território nacional.

Para obtenção do Índice de Vulnerabilidade ambiental de uma bacia, realiza-se a coleta dos dados, a normalização dos indicadores e sua agregação nos critérios e índice, conforme apresentado nos próximos itens.





**Figura 6.** Estrutura de organização dos indicadores utilizados na análise da vulnerabilidade ambiental de uma bacia hidrográfica.

### Normalização dos indicadores de vulnerabilidade ambiental

Cada indicador de vulnerabilidade é normalizado, utilizando-se uma transformação linear, numa escala que varia de 1 a 2 (Tabela 1). A normalização dos indicadores nessa escala única é necessária, para que valores em diferentes unidades de medida possam ser agregados.

**Tabela 1.** Níveis de vulnerabilidade.

Vulnerabilidade	Valor
Muito Baixa	1 – 1,2
Baixa	1,2 – 1,4
Média	1,4 – 1,6
Alta	1,6 – 1,8
Muito Alta	1,8 – 2

São utilizados dois tipos de normalização: um para indicadores qualitativos e outro para indicadores quantitativos. Indicadores quantitativos podem ser de dois tipos: “quanto maior seu valor, maior a vulnerabilidade ambiental” e “quanto menor seu valor, maior a vulnerabilidade ambiental”. Para indicadores do primeiro tipo, utiliza-se a Equação 1a, e para indicadores do segundo tipo, a Equação 1b.

$$Valor_i = \left( \frac{indicador_i - Valor_{\min}}{Valor_{\max} - Valor_{\min}} \right) + 1 \quad (1a)$$

$$Valor_i = \left( \frac{Valor_{\max} - indicador_i}{Valor_{\max} - Valor_{\min}} \right) + 1 \quad (1b)$$

Onde,

$i$  = um indicador dentre os utilizados no método (Figura 6);

$indicador_i$  = valor original assumido por um indicador  $i$  de vulnerabilidade;

$Valor_{\max}$  = valor máximo possível de ser alcançado pelo indicador  $i$  de vulnerabilidade;

$Valor_{\min}$  = valor mínimo possível de ser alcançado pelo indicador  $i$  de vulnerabilidade;

$Valor_i$  = valor normalizado do indicador  $i$ .

Os seguintes indicadores quantitativos utilizam a Equação 1a de normalização: atividade agropecuária, atividade industrial, geração de esgoto per capita, geração de lixo per capita, demanda hídrica per capita, intensidade pluviométrica e qualidade da água de irrigação (salinidade). Os seguintes indicadores quantitativos utilizam a Equação 1b: conservação do solo, acesso à água tratada, acesso à coleta e ao destino adequado do lixo, acesso ao esgotamento sanitário e disponibilidade hídrica per capita.

Para os indicadores qualitativos, é atribuído um valor de vulnerabilidade na escala de 1 a 2, para cada uma das possíveis respostas apresentadas pelo indicador, conforme a compreensão do que representa uma maior ou menor vulnerabilidade. Os indicadores qualitativos utilizados são: áreas prioritárias para conservação, aptidão agrícola, qualidade da água de irrigação (sodicidade), aridez do clima e áreas em unidades de conservação.

Exceto os indicadores “demanda hídrica per capita” e “disponibilidade hídrica per capita”, os demais indicadores numa bacia hidrográfica apresentam valores diferentes em diferentes municípios ou áreas da bacia. Optou-se por considerar as variações de valores de um dado indicador no cálculo da sua vulnerabilidade final, utilizando-se a Equação 2, que pondera o percentual ocupado por cada área de uma bacia, pelo valor de vulnerabilidade atribuído àquela área.

$$Vulnerabilidade\_Indicador_i = \sum_{j=1}^n Valor_j * peso_j \quad (2)$$

Onde,

$j$  = uma das áreas que integram a bacia hidrográfica em estudo (ex: área de um município, de uma classe climática ou de um grupo de aptidão agrícola);

$Valor_i$  = valor normalizado da vulnerabilidade de um indicador  $i$  numa área  $j$  da bacia;

$peso_i$  = percentual ocupado por uma área  $j$  na bacia ao qual é atribuído um valor para um indicador  $i$  de vulnerabilidade;

$Vulnerabilidade\_Indicador_i$  = valor final da vulnerabilidade de um indicador  $i$  na bacia.

No Anexo A, apresenta-se a descrição de cada indicador por critério, com o método de cálculo e de normalização utilizado, a justificativa da sua escolha e a base de dados, onde as informações podem ser coletadas.

### Agregação dos indicadores em critérios de Vulnerabilidade Ambiental

Os indicadores de vulnerabilidade são agregados, inicialmente, nos critérios exposição, sensibilidade e capacidade de resposta, de forma linear, pela média ponderada dos indicadores pertencentes a cada categoria (Equação 3). Considera-se que cada indicador tem o mesmo peso na composição do critério ao qual pertença.

$$Critério_c = \sum_{i=1}^n peso_i * Vulnerabilidade\_Indicador_i \quad (3)$$

Onde,

$c$  = um dos três critérios de vulnerabilidade do método (1-exposição, 2-sensibilidade ou 3-capacidade de resposta);

$peso_i$  = peso do indicador  $i$  no critério  $c$ ;

$Vulnerabilidade\_Indicador_i$  = valor normalizado do indicador  $i$  de vulnerabilidade ambiental numa bacia;

$Critério_c$  = valor de vulnerabilidade do critério  $c$ .

### Agregação dos critérios no Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) da bacia

O índice final de vulnerabilidade é composto pela média ponderada dos valores atribuídos aos critérios (Equação 4) pelo peso de cada um. Considera-se, que cada critério tem o mesmo peso na avaliação, uma vez que são igualmente importantes no estudo da vulnerabilidade de um sistema à degradação ambiental.

$$IVA = \sum_{c=1}^3 peso_c * Critério_c \quad (4)$$

Onde,

$peso_c$  = peso do critério na formação do índice;

$Critério_c$  = valores do critério  $c$  (1-exposição, 2-sensibilidade e 3-capacidade de resposta);

IVA = índice de vulnerabilidade ambiental de uma bacia.

## **Avaliação de Desempenho Ambiental em uma etapa do ciclo de vida de um produto ou na etapa de uso de um processo**

Essa avaliação é realizada por um conjunto de indicadores, organizados em critérios, e esses, em princípios de desempenho ambiental (Figura 7). Desses indicadores, alguns são comuns às atividades agrícolas, agroindustriais e de descarte de resíduos, e outros são próprios de cada atividade.

Foi utilizada como base a estrutura hierárquica adotada no Sistema Ambitec-Agro, sendo a estrutura ampliada, para abranger todas as etapas do ciclo de vida da inovação. Assim, os valores atribuídos aos indicadores de desempenho ambiental, em cada etapa da avaliação, são agregados em critérios e princípios, para formação do índice de desempenho ambiental final da avaliação.

Os princípios de desempenho ambiental utilizados foram os mesmos do Sistema Ambitec-Agro, sendo ampliada sua abrangência, contemplando-se outros princípios de ecoeficiência (GIANNETTI e ALMEIDA, 2006; SONEMANN et al. 2004):

- Eficiência tecnológica, buscando-se uma redução no consumo total de materiais, insumos (água, energia e combustíveis) e área, como também, reduzir o uso de recursos não renováveis, virgens e perigosos.
- Conservação das características naturais do solo, da água, do ar e a da biota, pela redução de emissões de poluentes, do desmatamento e de ações que acarretam a redução da biodiversidade, assim como pela adoção de ações de recuperação ambiental.
- Qualidade do produto, buscando-se maior durabilidade, além de reduzir o uso de aditivos.

Os critérios foram escolhidos, observando-se esses princípios e os seguintes impactos ambientais, usualmente atribuídos às atividades agroindustriais: perda da biodiversidade, erosão, compactação, salinização e sodificação do solo, acidificação do solo, contaminação ambiental por agrotóxicos e por resíduos sólidos, desertificação, escassez hídrica, poluição hídrica, mudança climática, depleção de recursos não renováveis e contaminação de alimentos pelo uso de aditivos.

Os indicadores foram escolhidos por critério, consideraram-se sua relevância, fundamentação teórica e mensurabilidade, de acordo com OECD (1993). Na escolha dos indicadores, foram observados, também, os indicadores utilizados no Ambitec-Agro. Ao final, construiu-se uma hierarquia entre princípios, critérios e indicadores. O Apêndice B apresenta a descrição de cada indicador proposto.

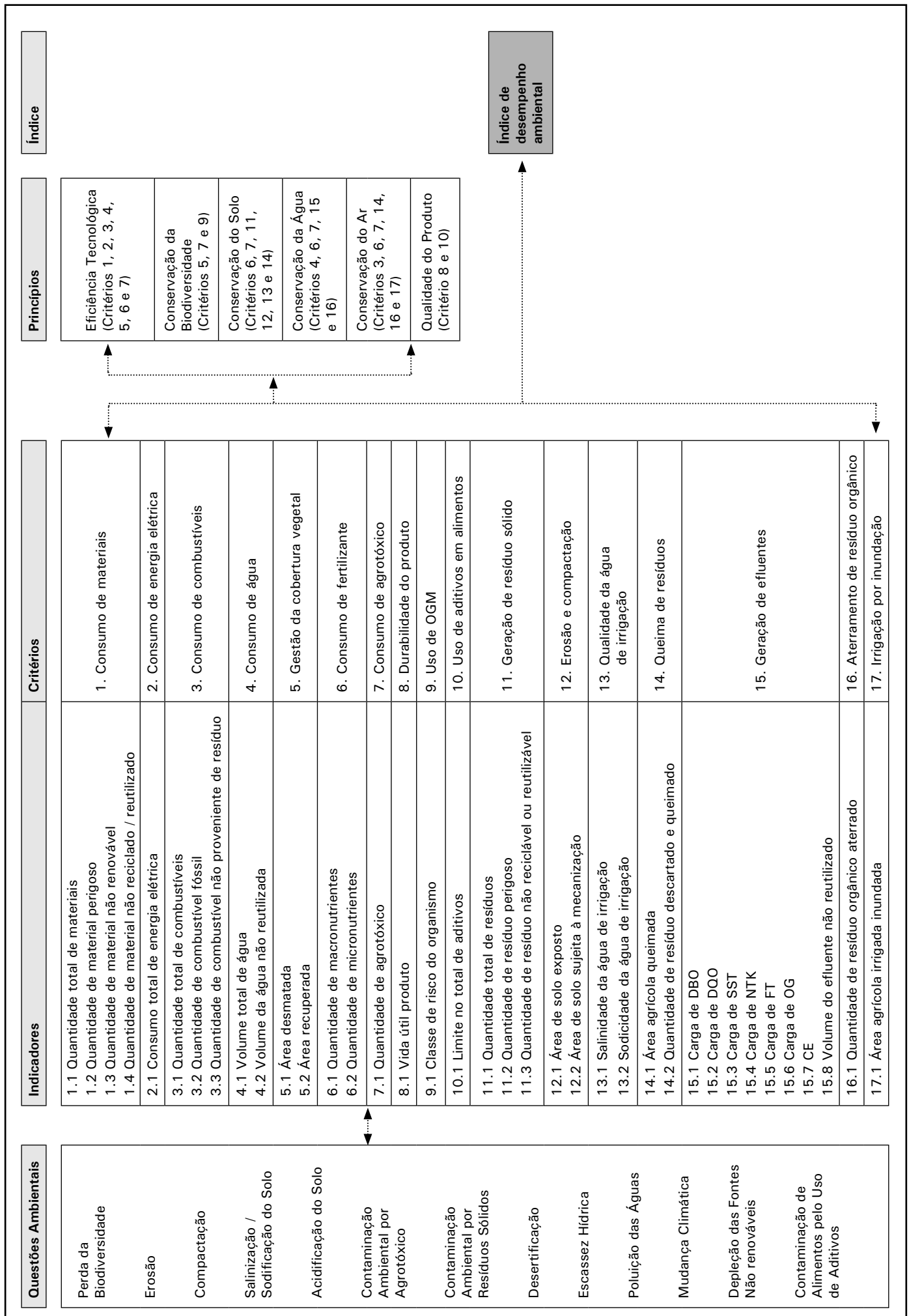


Figura 7. Estrutura de organização dos indicadores utilizados na avaliação de Desempenho Ambiental de tecnologias.

A seguir, apresentam-se como os indicadores de desempenho ambiental são ajustados à unidade funcional, normalizados, ponderados pelo índice de vulnerabilidade ambiental e agregados em critérios, princípios e no índice de desempenho ambiental de uma etapa (IDAe).

### Ajuste dos valores dos indicadores de Desempenho Ambiental pela unidade funcional

Em razão de a coleta de dados dos indicadores, realizada junto às unidades produtivas ou de descarte de resíduos referir-se a uma massa (ou volume) de produção, muitas vezes diferente daquela necessária à unidade funcional estabelecida, ajusta-se linearmente o valor assumido por um indicador à massa ou volume de produção necessário à unidade funcional, em uma dada etapa do ciclo de vida da inovação, ou do produto, ou processo substituto, utilizando-se a Equação 5.

$$Indicador\_ajustado_i = \frac{valor\_produção\_UF * indicador\_medido_i}{valor\_produção\_medido} \quad (5)$$

Onde,

$i$  = um dos indicadores de desempenho ambiental do método (Figura 7);

$valor\_produção\_UF$  = massa ou volume de produção necessário à unidade funcional definida;

$indicador\_medido$  = valor encontrado para o indicador  $i$  no levantamento de campo;

$valor\_produção\_medido$  = massa ou volume de produção utilizada nas medidas de campo dos indicadores;

$Indicador\_ajustado_i$  = valor ajustado do indicador  $i$  referente à unidade funcional definida.

Observa-se, no Apêndice B, alguns indicadores que não necessitam de ajuste à unidade funcional, pois seu valor não varia de acordo com ela, sendo este o caso dos seguintes indicadores: vida útil do produto, classe de risco do organismo, limite no total de aditivos, salinidade e sodicidade da água de irrigação.

### Normalização dos indicadores de desempenho ambiental em uma etapa

O valor encontrado para cada indicador de desempenho ambiental, após ajustado ao fluxo de referência, deve ser normalizado para uma escala única adimensional, que varia de 0 (menor desempenho) a 100 (maior desempenho), pela comparação do valor encontrado para a inovação, com o valor encontrado para o produto ou processo substituto, numa dada etapa da avaliação.

Os indicadores de desempenho podem ser de dois tipos: “quanto maior seu valor, maior o desempenho ambiental” e “quanto menor seu valor, maior o desempenho ambiental”. Para cada um desses tipos, seguem-se regras próprias de normalização (MALCZEWSKI, 1999), detalhadas a seguir:

- Para indicadores do tipo “quanto maior seu valor, maior o desempenho ambiental”, deve-se utilizar a Equação 6a, para valores diferentes de zero. Quando o indicador assume valor igual a zero, alcança mínimo desempenho ambiental (valor 0).

$$Indicador\_norm_i = \left( \frac{Indicador\_medido_i}{Valor\_máximo_i} \right) * 100 \quad (6a)$$

Onde,

$Indicador\_norm_i$  = valor normalizado do desempenho ambiental do indicador  $i$ , em uma dada etapa do ciclo de vida de um processo ou produto (inovação ou produto ou processo substituto);

$Indicador\_medido_i$  = valor do indicador  $i$ , já ajustado (Equação 5), em uma dada etapa do ciclo de vida de um processo ou produto (inovação ou produto ou processo substituto);

$Valor\_máximo_i$  = maior valor do indicador  $i$ , em uma dada etapa do ciclo de vida, quando são comparados os valores medidos para a inovação e para o produto ou processo substituto.

- Para indicadores do tipo “quanto menor seu valor, maior o desempenho ambiental”, deve-se utilizar a Equação 6b, para valores diferentes de zero. Quando o indicador assume valor igual a zero, alcança máximo desempenho ambiental (valor 100).

$$\text{Indicador\_norm}_i + \left( \frac{\text{Valor\_mínimo}_i}{\text{indicador\_medido}_i} \right) * 100 \quad (6b)$$

Onde,

$\text{Valor\_mínimo}_i$  = menor valor do indicador  $i$ , em uma dada etapa do ciclo de vida, quando são comparados os valores obtidos para a inovação e para o produto ou processo substituto.

### Ponderação de indicadores pelo IVA da bacia

Na avaliação comparativa entre produtos ou processos em uma dada etapa da avaliação, as vulnerabilidades das bacias hidrográficas receptoras dos aspectos ambientais provenientes dos produtos ou processos tecnológicos em estudo, podem ser consideradas. A vulnerabilidade ambiental é contemplada na avaliação do desempenho ambiental de um produto ou processo, como um fator de ponderação para aqueles indicadores ambientais, que contribuem para o aumento ou redução das questões ambientais no âmbito de uma bacia. Esse fator de ponderação é o IVA da bacia, onde uma dada etapa do ciclo de vida de um produto, ou onde a etapa de uso de um processo ocorre ou pode ocorrer.

Não são ponderados pelo IVA da bacia indicadores relacionados, exclusivamente à poluição do ar, ao consumo de materiais e energia elétrica e à vida útil do produto (Apêndice A). Caso a análise de vulnerabilidade não seja considerada na avaliação, esse índice assume valor 1 na análise de desempenho de produtos ou processos tecnológicos.

A ponderação de indicadores de desempenho pelo IVA de uma bacia é realizada conforme a regra, a seguir: caso o indicador de desempenho repercuta em um impacto positivo numa bacia, ele é multiplicado pelo IVA (Equação 7a), acarretando um maior desempenho ambiental do indicador; caso o indicador de desempenho repercuta em um impacto negativo numa bacia, ele é dividido pelo IVA (Equação 7b), acarretando um menor desempenho ambiental do indicador.

$$\text{Indicador\_ponderado}_i = \text{indicador\_norm}_i * \text{IVA}_b \quad (7a)$$

$$\text{Indicador\_ponderado}_i = \text{indicador\_norm}_i * \frac{1}{\text{IVA}_b} \quad (7b)$$

Onde,

$\text{indicador\_norm}_i$  = valor do indicador  $i$  de desempenho ambiental, já normalizado (Equação 6a ou 6b), em uma dada etapa do ciclo de vida de um produto ou na etapa de uso de um processo;

$\text{IVA}_b$  = índice de vulnerabilidade ambiental de uma bacia  $b$  onde uma etapa ocorre;

$\text{Indicador\_ponderado}_i$  = indicador resultante da ponderação do valor normalizado de um indicador  $i$ , em uma etapa do ciclo de vida de um produto ou processo, pelo IVA da bacia onde a etapa ocorre.

O uso da Equação 7a pode levar a geração de um valor de desempenho para um indicador que ultrapassa a escala utilizada pelo Ambitec-Ciclo de Vida (que varia de 0 a 100). Nesse caso, atribui-se ao indicador o valor máximo de desempenho nessa escala (100).

### Agregação dos indicadores de uma etapa em critérios de desempenho ambiental

A agregação de indicadores em um critério utiliza a média ponderada, onde todos os indicadores de um critério recebem o mesmo peso, sendo a soma desses pesos igual a 1 (Equação 8).

$$\text{Critério}_c = \sum_{i=1}^n \text{peso}_i * \text{Indicador}_{norm_i} \quad (8)$$

Onde,

$c$  = um dos critérios de desempenho ambiental do método (Figura 7);

$\text{peso}_i$  = peso de um indicador  $i$  na formação do critério  $c$ . Considera-se que todos os indicadores têm a mesma importância e peso na formação dos critérios;

$\text{Indicador}_{norm_{ic}}$  = valor adimensional normalizado do indicador  $i$ , já ponderado pelo IVA da bacia (quando for o caso), associado a um critério  $c$  em uma etapa do ciclo de vida de um produto ou processo;

$\text{Critério}_c$  = valor do desempenho ambiental do critério  $c$  de desempenho ambiental, em uma etapa do ciclo de vida.

### Agregação de critérios de uma etapa em princípios de desempenho ambiental

Os critérios estão associados a um ou mais princípios de desempenho ambiental. Considera-se que todos os critérios têm o mesmo peso na formação de um dado princípio, sendo a soma total desses pesos igual a 1. Os critérios são agregados na formação de um princípio, utilizando-se a média ponderada (Equação 9).

$$\text{Princípio}_p = \sum_{c=1}^m \text{peso}_c * \text{Critério}_c \quad (9)$$

Onde,

$p$  = um dos princípios de desempenho ambiental do método (Figura 7);

$\text{peso}_c$  = peso de um critério  $c$  na formação do princípio  $p$ . Considera-se que os critérios têm o mesmo peso na formação de um princípio  $p$  de desempenho ambiental;

$\text{Princípio}_p$  = valor do desempenho ambiental do princípio  $p$ , composto pela agregação de critérios em uma etapa do ciclo de vida de um produto ou processo.

### Agregação dos critérios no Índice de Desempenho Ambiental de uma Etapa (IDAE)

Os critérios são agregados no IDAE da inovação ou do produto, ou processo substituto, numa etapa da avaliação, utilizando-se a média ponderada dos critérios (Equação 10). Considera-se que todos os critérios têm a mesma importância e peso na formação do Índice, sendo a soma desses pesos igual a 1.

$$\text{IDAE}_e = \sum_{c=1}^n \text{peso}_c * \text{Critério}_c \quad (10)$$

Onde,

$e$  = uma das etapas de ciclo de vida avaliada;

$\text{peso}_c$  = peso de critério  $c$  na formação do Índice (IDA);

$\text{IDAE}_e$  = índice de desempenho ambiental na etapa  $e$  do ciclo de vida de uma inovação, ou do produto ou processo substituto.



## Avaliação final do desempenho ambiental de um produto

Na avaliação final do desempenho ambiental de um produto tecnológico, são consideradas todas as etapas do seu ciclo de vida. O Índice de Desempenho Ambiental Final ( $IDA_f$ ) é obtido pela agregação dos valores dos indicadores obtidos nas quatro etapas de avaliação, normalização desses indicadores, ponderação pelo valor médio dos IVAs das bacias relacionadas ao ciclo de vida de um produto, agregação dos mesmos em critérios, princípios e no Índice de Desempenho Ambiental final, conforme descrito a seguir.

### Agregação dos valores dos indicadores de cada etapa em indicadores finais

O primeiro passo na avaliação final do desempenho de uma inovação ou de um produto, ou processo substituto é a agregação dos valores atribuídos a um indicador, já ajustados ao fluxo de referência (quando for o caso), em cada etapa do ciclo de vida estudado. Essa agregação é realizada de duas formas:

- Pela soma dos valores de cada etapa (Equação 11a), quando o indicador é expresso em uma unidade de medida de massa, energia, volume ou área.

$$Indicador\_final_i = \sum_{e=1}^4 indicador\_medido_{ie} \quad (11a)$$

- Pela média dos valores obtidos em cada etapa (Equação 11b), quando a soma dos valores obtidos em cada etapa não resulta em valor com significado para a avaliação, sendo esse o caso dos indicadores “classe de risco do organismo”, “limite da quantidade de aditivos”, “salinidade” e “sodicidade” da água de irrigação e “CE do efluente”. Embora o indicador “vida útil” seja usualmente relativo apenas à etapa de uso do produto ou processo, se essa etapa se subdividir em mais de uma, pode-se aplicar essa regra para agregação dos valores desse indicador na avaliação final.

$$Indicador\_final_i = \frac{\sum_{e=1}^4 indicador\_medido_{ie}}{número\_etapas_i} \quad (11b)$$

Onde,

$Indicador\_medido_{ie}$  = valor do indicador  $i$  numa etapa  $e$ , ajustado pela unidade funcional (se for o caso);

$número\_etapas_i$  = número de etapas em que um indicador  $i$  é utilizado;

$Indicador\_final_i$  = valor final de um indicador  $i$ , relativo ao ciclo de vida de um produto ou processo.

### Normalização do indicador final de desempenho ambiental

A normalização dos valores encontrados para os indicadores finais para a escala adimensional definida (0 a 100) é dada pela análise comparativa entre produtos ou processos, já descrita no item “Normalização dos indicadores de desempenho ambiental em uma etapa”, com o diferencial que o valor medido do indicador, refere-se agora ao seu valor total, representativo de todas as etapas do ciclo de vida analisadas.

### Ponderação do indicador final pela vulnerabilidade ambiental média

A ponderação do indicador final pela vulnerabilidade ambiental é realizada da forma descrita no item “Ponderação de indicadores pelo IVA da bacia”, com o diferencial que o IVA refere-se agora ao valor médio obtido, considerando os IVAs das bacias hidrográficas, onde as etapas do ciclo de vida do produto em estudo ocorrem.

### **Agregação dos indicadores finais normalizados em critérios de desempenho ambiental**

A agregação dos indicadores finais (já normalizados e ponderados pelo IVA médio, quando for o caso), em critérios de desempenho ambiental, é realizada pela média aritmética dos indicadores relacionados a um critério (Equação 22), da mesma forma já descrita para uma etapa do ciclo de vida, no item “Agregação dos indicadores de uma etapa em critérios de desempenho ambiental”.

### **Agregação dos critérios em princípios de desempenho ambiental**

A agregação dos critérios em princípios de desempenho ambiental é realizada pela média aritmética dos critérios, relacionados a cada um dos princípios (Equação 23), da mesma forma já descrita para uma etapa do ciclo de vida, no item “Agregação dos critérios de uma etapa em princípios de desempenho ambiental”.

### **Agregação dos critérios no $IDA_f$**

A agregação dos critérios no  $IDA_f$  é realizada pela média ponderada dos critérios (Equação 24), da mesma forma já descrita para uma etapa do ciclo de vida, no item “Agregação dos critérios no Índice de Desempenho Ambiental de uma etapa ( $IDA_e$ )”.

## **Estudo de Caso: Substrato de Coco Verde (SCV)**

O método Ambitec-Ciclo de Vida foi aplicado no estudo do desempenho ambiental do substrato de coco verde (SCV), um produto desenvolvido pela Embrapa Agroindústria Tropical. O SCV foi avaliado na fase final do seu desenvolvimento pela equipe de pesquisa, quando foi criada uma unidade piloto de produção e implantado um experimento de campo em uma empresa potencialmente usuária desse produto. O SCV atua como um meio físico para o desenvolvimento de mudas, plantas olerícolas e flores em cultivo protegido, não buscando aportar nutrientes às plantas. Esse produto dá um uso à casca de coco verde, importante resíduo agroindustrial resultante do consumo da água de coco verde in natura ou envasada (ROSA et al., 2002).

A avaliação de desempenho ambiental do SCV requereu, inicialmente, a definição de um produto existente com função similar no mercado, para a avaliação comparativa de desempenho entre os produtos. Foi estabelecido pela equipe de pesquisa e transferência de tecnologia da Embrapa, que o “substrato de coco seco (SCS)” era o produto substituto com características mais próximas do SCV. O SCS é obtido a partir do processamento da casca de coco maduro, principalmente da variedade gigante, sendo mundialmente utilizado na produção hidropônica, desde a década de 80 (ROSA et al., 2002). A casca de coco maduro representa 57% do peso do coco maduro (NUNES, 2002), sendo um resíduo agrícola resultante da extração da amêndoa do coco no campo, que é encaminhada às indústrias produtoras de leite de coco, coco ralado e derivados.

A análise de desempenho contemplou as seguintes etapas do ciclo de vida desses produtos: descarte das cascas de coco (Etapa 1), produção do substrato (Etapa 2), uso do substrato na produção de mudas (Etapa 3a), uso do substrato na produção de rosas (Etapa 3b) e descarte final do substrato (Etapa 4). A Etapa 1 se refere ao descarte de cascas, ao invés da produção de coco, matéria-prima para produção do substrato, uma vez que o coco é atualmente produzido para extração de água, ou da amêndoa, e não para produção de substrato, sendo então considerado como etapa inicial, a disposição de cascas não utilizadas. Assim, na Etapa 1 do ciclo de vida do SCV, avalia-se o descarte das cascas de coco seco, que deixam de ser utilizadas na produção do SCS. Já a Etapa 1 do ciclo de vida do SCS abrange o descarte das cascas de coco verde, que deixam de ser utilizadas e são encaminhadas ao aterro sanitário para disposição final.

### **Planejamento da avaliação**

Na Tabela 2, apresenta-se as unidades produtivas e de descarte, onde foram realizadas as coletas de dados para cada indicador de desempenho ambiental, assim como a bacia hidrográfica onde cada unidade está inserida.

**Tabela 2.** Unidades de Produção e de Descarte visitadas e suas respectivas bacias hidrográficas.

Produto	Unidade	ETAPA 1 - Matéria-prima	ETAPA 2 - Produção	ETAPA 3 - Uso		ETAPA 4 - Descarte final
				ETAPA 3a - Uso na produção de mudas	ETAPA 3b - Uso na produção de rosas	
Substrato de coco verde (SCV)	Unidade de Produção ou descarte visitada	Descarte de cascas de coco seco - Fazenda Lagoa das Mercês	Produção do SCV - Cooperativa Jangurussu <sup>(1)</sup>	Uso do SCV na produção de mudas de rosas Carola - Cearosa <sup>(2)</sup>	Uso do SCV na produção de rosas Carola - Cearosa <sup>(2)</sup>	Descarte do SCV após uso na produção de rosas Carola - Cearosa
	Bacia Hidrográfica para avaliação da vulnerabilidade	Metropolitana (CE)	Metropolitana (CE)	Parnaíba (CE)	Parnaíba (CE)	Parnaíba (CE)
Substrato de coco seco (SCS)	Unidade de Produção ou descarte visitada	Descarte de cascas de coco verde - Aterro Asmoc	Produção do SCS - Recicasco	Uso do SCS na produção de mudas de rosas Carola - Cearosa	Uso do SCS na produção de rosas Carola- Cearosa	Descarte do SCS após uso na produção de rosas Carola - Cearosa
	Bacia Hidrográfica para avaliação da vulnerabilidade	Litoral (CE)	Baixo Mundaú (AL)	Parnaíba (CE)	Parnaíba (CE)	Parnaíba (CE)

<sup>(1)</sup>Unidade piloto de produção do SCV.

<sup>(2)</sup>Empresa potencialmente usuária do produto.

Foi assumida como função desses substratos dar suporte físico ao enraizamento de roseiras, visando à produção de rosas. A unidade funcional escolhida para medição dessa função foi dar suporte à produção de uma rosa da variedade Carola.

Para atender à unidade funcional de produção de uma rosa comercializável da variedade Carola, foram mensuradas as quantidades necessárias de SCV e de SCS, assim como as quantidades de cascas de coco verde e seco, necessárias à produção dos substratos, definindo-se um fluxo de referência para a avaliação de desempenho. Nas Tabelas 3 e 4, apresentam-se esse fluxo de referência e os valores de produção, utilizados nos levantamentos de campo, respectivamente. Os dados da Tabela 4 são necessários ao ajuste dos valores dos indicadores, medidos em campo, ao fluxo de referência estabelecido (Tabela 3).

**Tabela 3.** Fluxo de referência dos valores de produção para atender a Unidade Funcional ao longo do ciclo de vida.

Produto	ETAPA 1 - Descarte de cascas (kg de cascas descartadas)	ETAPA 2 - Produção (kg de substrato produzido)	ETAPA 3 - Uso		ETAPA 4 - Descarte final (número de rosas produzidas com substrato descartado)
			ETAPA 3a - Uso na produção de mudas (número de mudas viáveis produzidas)	ETAPA 3b - Uso na produção de rosas (número de rosas Carola comercializadas)	
Substrato de coco verde - SCV	3,65	2,42	1	1	1
Substrato de coco seco - SCS	11,26	1,62	1	1	1

**Tabela 4.** Valores de produção utilizados nos levantamentos dos indicadores nas unidades produtivas e de descarte.

Produto	ETAPA 1 - Matéria-prima (kg de cascas descartadas)	ETAPA 2 - Produção (kg de substrato produzido)	ETAPA 3 - Uso		ETAPA 4 - Descarte final (número de rosas produzidas com substrato descartado)
			ETAPA 3a - Uso na produção de mudas (número de mudas viáveis produzidas)	ETAPA 3b - Uso na produção de rosas (número de rosas Carola comercializáveis)	
Substrato de coco verde - SCV	66.800,00	116,12	212	48	48
Substrato de coco seco - SCS	7.221.375,00	182,47	203	78	78

## Análise de Vulnerabilidade

As unidades produtivas em estudo estão localizadas em quatro bacias hidrográficas: Metropolitana (CE), Litoral (CE), Baixo Mundaú (AL) e Parnaíba (CE) (Tabela 2). O resumo com os valores de vulnerabilidade obtidos para cada indicador, critério e IVAs das bacias (escala de vulnerabilidade variando de 1 a 2) estão apresentados na Tabela 5. Observou-se que as vulnerabilidades das bacias, em estudo, apresentam valor médio e são similares, provavelmente por causa delas se localizarem no Nordeste brasileiro, onde algumas características do meio são comuns, como ocorrência de secas e de solos de baixa aptidão agrícola, pressões humanas medianas e baixa capacidade de resposta social frente aos problemas ambientais em estudo,

Observa-se que o critério “exposição” apresentou vulnerabilidade média no Baixo Mundaú, principalmente em virtude da extensa área devotada à atividade agrícola, e baixa nas bacias Metropolitana, Litoral e Parnaíba, quando se analisaram apenas os indicadores de exposição. O critério “sensibilidade” obteve uma vulnerabilidade alta nas bacias do Parnaíba e Metropolitana, média no Litoral e baixa no Baixo Mundaú, quando se observaram somente os fatores do meio físico e biótico, que influenciam na sensibilidade das questões ambientais analisadas. A sensibilidade alta está relacionada à alta intensidade pluviométrica e a aridez do clima (maior na bacia do Parnaíba). Já o critério “capacidade de resposta” mostrou uma vulnerabilidade alta nas bacias em estudo, principalmente por causa dos baixos investimentos em áreas de conservação e baixa disponibilidade hídrica per capita.



## Avaliação de desempenho ambiental

Na escala de desempenho ambiental utilizada, que varia de 0 (mínimo) a 100 (máximo), o SCV apresentou um índice de desempenho ambiental final (IDA<sub>f</sub>) médio (64,06) inferior ao SCS (70,43) (Figura 8). Esse desempenho resultou do uso dos valores médios dos indicadores de desempenho, em cada etapa da avaliação.

Contudo, supondo-se que os valores médio, mínimos e máximos dos indicadores possuem a mesma probabilidade de ocorrerem, observou-se que não se pode afirmar que o SCV possui um desempenho inferior ao do SCS. Enquanto nas situações em que os indicadores apresentam valores médios ou máximos para o SCV (valores), e valores mínimos para o SCS, o SCV apresentou IDA<sub>f</sub> inferior ao do SCS, na situação em que os indicadores apresentaram valores mínimos para o SCV, e máximos para o SCS, o IDA<sub>f</sub> do SCV foi superior ao do SCS.

Analisando-se o resultado da avaliação de desempenho em cada etapa, observa-se que as etapas 1 (descarte de cascas de coco), 3a (uso do substrato na produção de mudas) e 4 (descarte de substrato) apresentaram resultados satisfatórios para o SCV, enquanto as etapas 2 (produção de substrato) e 3b (uso na produção de rosas) obtiveram desempenho ambiental inferior, requerendo uma compreensão melhor dos critérios, que contribuíssem para esse menor desempenho, e das ações que podem ser adotadas para reverter essa situação.

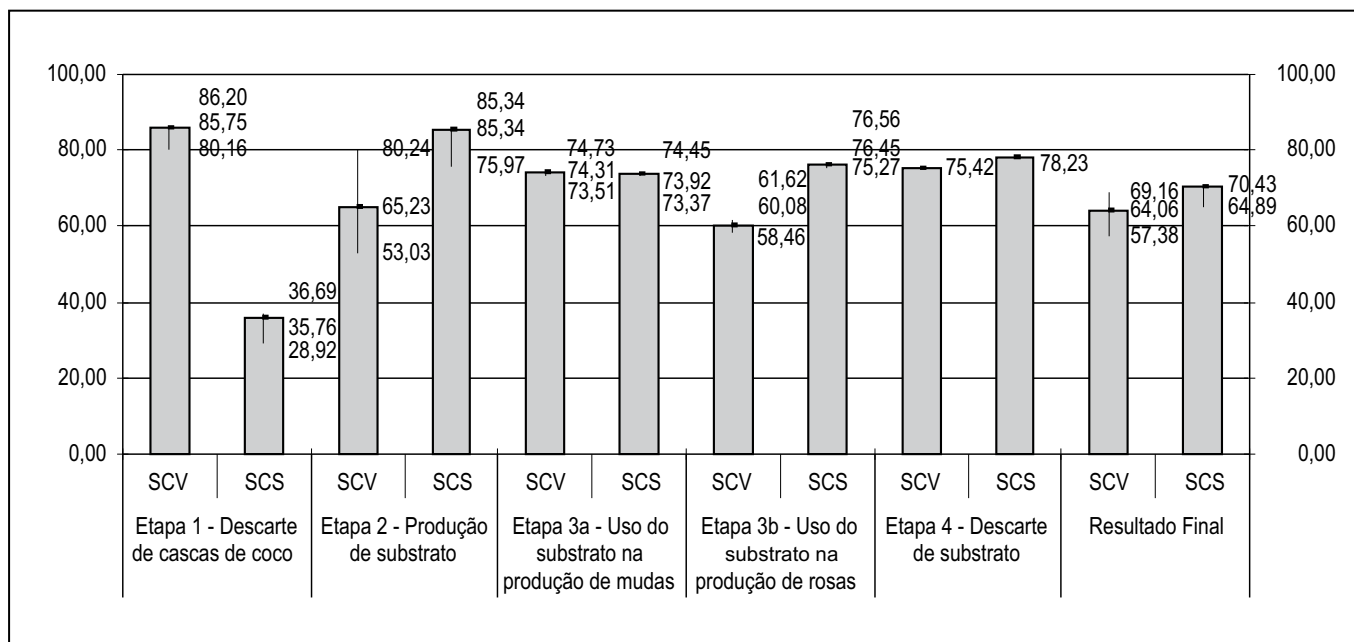


Figura 8. IDA<sub>e</sub> e IDA<sub>f</sub> do SCV e do SCS ao longo das etapas dos seus ciclos de vida.

### Desempenho ambiental do SCV e SCS na Etapa 1

Na Etapa 1 (descarte de cascas de coco), observa-se que é preferível utilizar a casca de coco verde como matéria-prima para produção de substrato agrícola, do que utilizar a casca de coco seco. Isso ocorre, em razão de as cascas de coco verde, quando não utilizadas, serem usualmente encaminhadas a aterros e lixões, contribuindo para a produção de chorume e liberação de gases de efeito estufa, quando da sua degradação anaeróbica. Já as cascas de coco seco, são usualmente incorporadas ao solo, em áreas de coqueirais, contribuindo para melhoria das características físicas do solo agrícola.

## Desempenho ambiental do SCV e SCS na Etapa 2

Na Etapa 2 (produção de substrato), ocorre o menor desempenho ambiental do SCV (65,23), em relação ao SCS (85,24). Esse resultado decorre, principalmente, do baixo desempenho alcançado pelos seguintes critérios (Figura 9):

- **Consumo de água:** o volume de água utilizado na produção de 2,42kg de SCV, necessário ao cultivo de uma rosa comercializável, é de 15,80 L, superior ao volume utilizado na produção de 1,62 kg de SCS (8,61 L). A água é utilizada na produção de SCV para lavagem do substrato, visando reduzir sua condutividade elétrica (CE) a 1 dS/m e para lavagem das máquinas, ao final de cada dia. O volume de água utilizado na produção do SCV pode ser reduzido com um aumento na eficiência do processo de prensagem, na retirada do líquido das cascas de coco verde (LCCV), do processo de lavagem do substrato e do processo de lavagem das máquinas. Uma maior prensagem das cascas reduz a quantidade de líquido retido no substrato, reduzindo sua CE e posterior necessidade de água para sua lavagem. Embora houvesse a indicação técnica de se utilizar um volume de água de lavagem do SCV igual ao volume de substrato, com retirada dessa água 24 h após a imersão, não foram utilizados equipamentos que permitissem esse controle de volume e do tempo, sendo, em alguns momentos, utilizada água corrente para redução da CE do substrato. Também, a lavagem das máquinas foi realizada com água corrente, por períodos que variaram de meia a uma hora. Uma melhor limpeza manual dos equipamentos antes da lavagem e o uso de baldes reduzirão esse volume de água.
- **Consumo de energia:** o consumo de energia por rosa na produção de SCV (0,32 kWh) é um pouco superior ao consumo na produção do SCS (0,22 kWh). Na produção de SCV, necessitou-se de energia para trituração, prensagem e separação do substrato. A quantidade de energia consumida na produção do SCV pode ser reduzida com melhorias no sistema de trituração, que “engasgava” com resíduos mais sólidos provenientes do endocarpo do coco verde, acarretando frequentes paradas na produção e aumentando o tempo de processamento e o consumo de energia pelas máquinas.
- **Geração de efluentes:** a produção do SCV gera 12,51 L de efluentes com alta carga poluente, resultantes da prensagem da casca de coco verde (líquido da casca de coco verde – LCCV), da lavagem do substrato e da lavagem das máquinas. O efluente LCCV apresenta concentrações médias superiores, de todos os parâmetros analisados, em relação aos demais efluentes da produção de SCV e de SCS. Os efluentes gerados na produção de SCV apresentam uma CE média de 2,88 dS/m e uma carga de 126,38 g de DBO, 191,52 g de DQO, 21,02 g de SST, 0,39 g de NTK, 0,43 g de FT e 1,17 g de OG. Para diminuir a carga poluente dos efluentes na produção do SCV, o volume de efluentes provenientes das lavagens das máquinas e do substrato deve ser reduzido, com um melhor controle do processo, como já foi indicado. Entretanto, como a principal carga poluente é proveniente do LCCV e esse líquido precisa ser retirado com maior eficiência, devem-se intensificar pesquisas para o reúso desse efluente em outros processos produtivos, como na geração de biogás ou fertirrigação.
- **Geração de resíduos sólidos:** são gerados em média 0,90 kg de resíduos na produção de 2,42 kg de SCV utilizado no cultivo de uma rosa comercializável. Esses resíduos são provenientes das sobras de material, que caem ao longo do processo de produção e de materiais, que ainda não encontraram mercado. Essas sobras podem ser reintroduzidas no processo e o material oriundo do sistema de peneiras, que retirava fibras longas ainda incorporadas ao pó, pode ser reservado para posterior mistura com outros materiais, uma vez que o mercado de substrato requer materiais com granulometrias diferentes para cultivos de diferentes espécies vegetais.

O elevado consumo de água e a geração de efluentes com alta carga poluente tem potencial de causar impactos significativos na bacia Metropolitana, provedora de água e receptora desses efluentes. Essa bacia já se apresenta com baixa capacidade de resposta quanto à disponibilidade hídrica e ao acesso da população a esgotamento sanitário, além de média exposição à geração de esgoto.

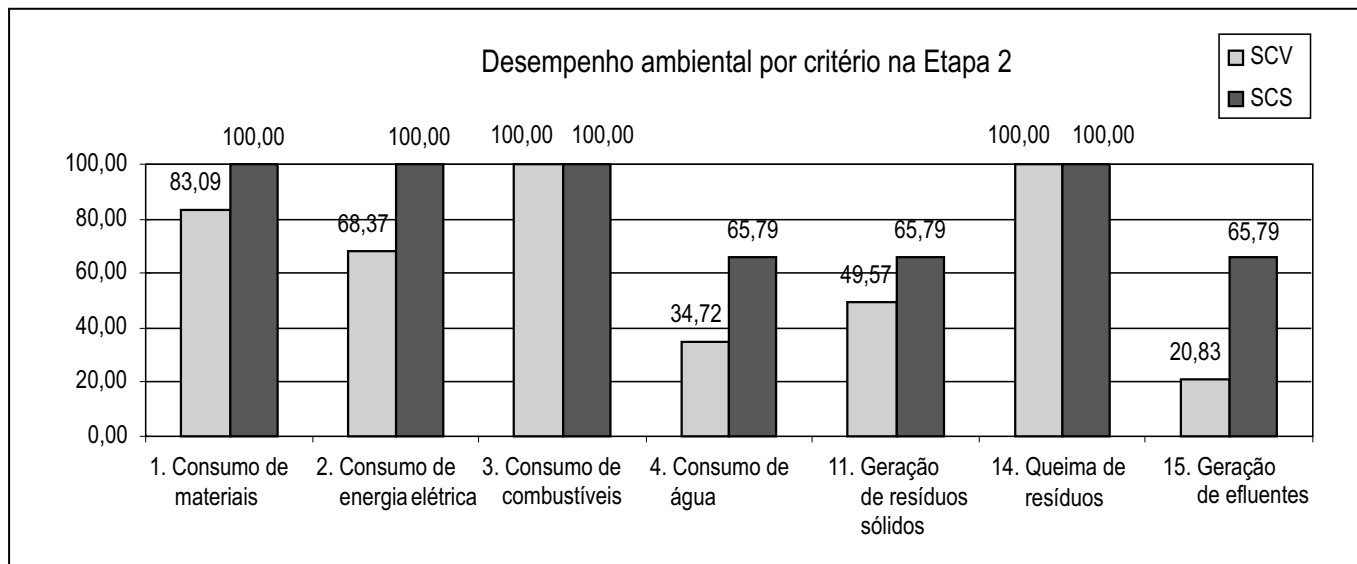


Figura 9. Desempenho ambiental por critério na Etapa 2.

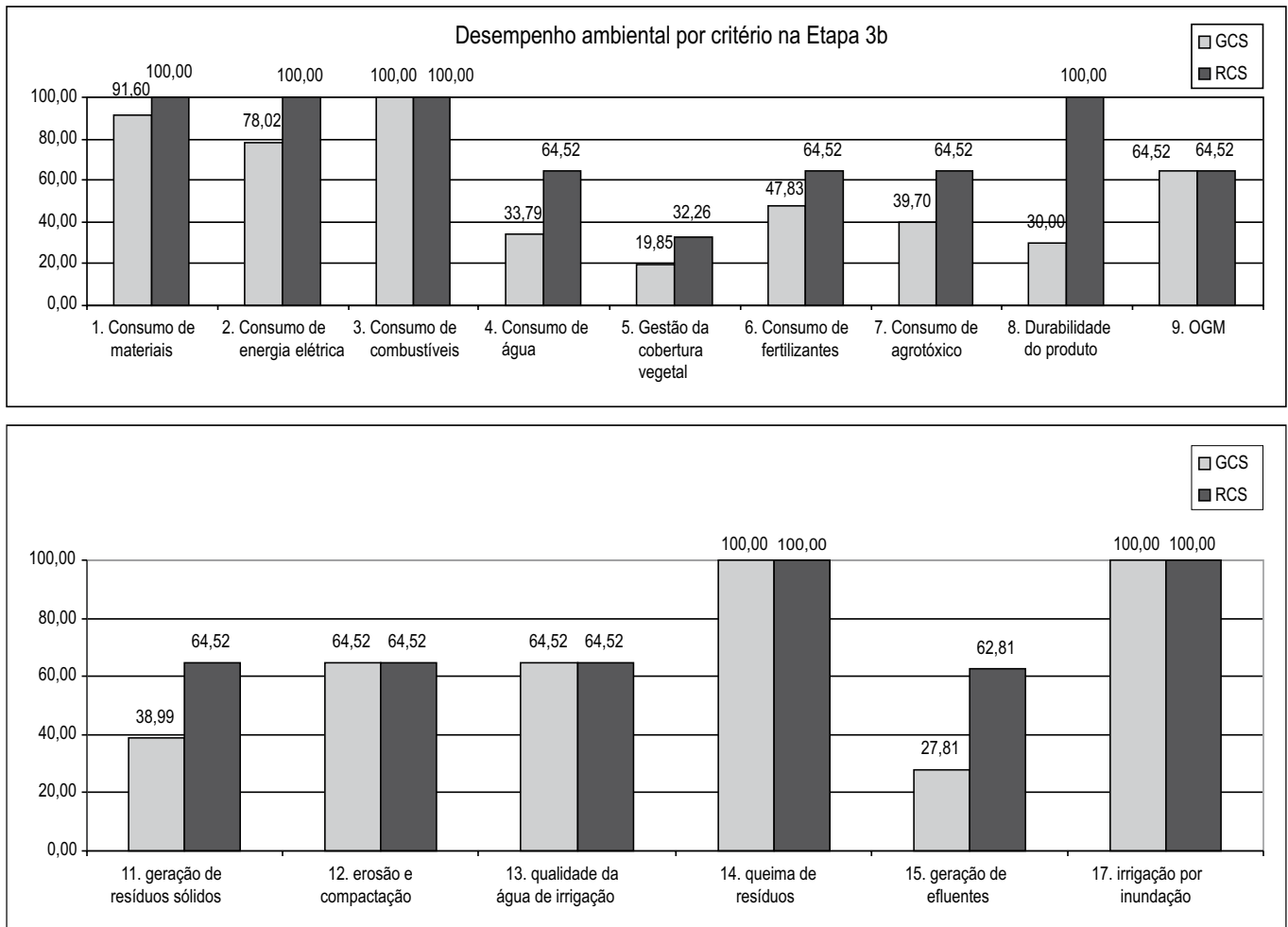
### Desempenho ambiental do SCV e SCS na Etapa 3

Na Etapa 3a (uso de substrato na produção de mudas de rosas), o SCV apresentou  $IDA_e$  melhor (74,31) que o SCS (73,92). Apesar desse melhor desempenho, o consumo de água é maior na produção de mudas com SCV. A produção de uma muda de roseira requer 0,42 L de água para redução da CE do substrato, que precisa está em torno de 0,3 dS/m, para o adequado enraizamento das estacas. O volume de água na lavagem do SCV poderia ser em muito reduzido, adotando-se melhorias no processo de prensagem e lavagem do substrato, já pontuados na descrição da Etapa 2 de produção do SCV.

Na Etapa 3b (uso de substrato na produção de rosas), o SCV apresentou menor  $IDA_e$  (60,08) que o SCS (76,45), devido, principalmente, aos seguintes critérios (Figura 10):

- Durabilidade do produto: foi observado que, após 60 dias de cultivo, o SCV começa a apresentar cheiro ruim (ovo podre) nos vasos utilizados para produção de rosas, indicando a ocorrência de decomposição anaeróbica, o que não ocorre com o SCS. Essa instabilidade do SCV reduz a oferta de oxigênio disponível às raízes das roseiras, contribuindo para um menor rendimento desse substrato. Ao final de 120 dias, foram produzidas 48 rosas Carola cultivadas em SCV e 78, em SCS. A menor durabilidade do SCV é decisiva no seu menor rendimento, repercutindo num maior consumo de fertilizantes, agrotóxicos, energia elétrica e geração de resíduos sólidos, por rosa comercializável produzida. Para tanto, deverá ser melhorado o processo de maturação desse substrato, realizado na Etapa 2 de produção.
- Consumo de água: observou-se que o consumo total de água por rosa Carola produzida em SCV foi de 94,12 L, utilizada na lavagem de substrato no início e ao longo da produção para redução da sua CE. Uma maior eficiência na lavagem do substrato na Etapa 2 de produção reduzirá o consumo de água nessa etapa.
- Geração de efluente: os efluentes gerados na produção de rosas estiveram relacionados à lavagem dos substratos no início da produção e ao longo dela, para redução da CE dos substratos, e à drenagem da irrigação. Avaliando-se o volume de efluente e a carga gerada por rosa Carola comercializada, percebe-se que o cultivo de Carola com SCV gerou um maior volume de efluente (25,73 L) que o cultivo com SCS (10,56 L), assim como uma maior carga poluidora: 1,91 g de DBO, 6,81 g de DQO, 1,64 g de SST, 0,12 g de NTK, 0,10 g de FT e 0,46 g de OG. Em virtude da mesma quantidade de fertilizante ter sido aplicada na água de irrigação dos substratos, a maior carga poluente resultante da drenagem do SCV decorre, provavelmente, da decomposição desse substrato após 60 dias de cultivo e da baixa absorção de nutrientes pelas raízes das roseiras cultivadas nesse substrato.





**Figura 10.** Desempenho ambiental por critério na Etapa 3b.

A bacia do Parnaíba, provedora de água e receptora dos efluentes oriundos da Etapa 3b, apresenta vulnerabilidade alta à aridez do clima e à disponibilidade hídrica, assim como vulnerabilidade média ao acesso a esgotamento sanitário. Assim, é importante que melhorias sejam efetuadas no processo de produção de rosas utilizando SCV, no que se refere ao consumo de água e geração de efluentes.

#### **Desempenho ambiental do SCV e SCS na Etapa 4**

Na Etapa 4, a disposição final dos substratos foi analisada. Depois de dois anos, geralmente, os substratos são trocados por outros novos, sendo os antigos materiais enviados para compostagem. O SCV apresentou  $IDA_e$  menor (75,42) que o SCS (78,23), porque uma maior quantidade de SCV foi enviada para compostagem e uma maior área foi utilizada para essa atividade.

## Considerações Finais

O compromisso em desenvolver e difundir inovações agroindustriais capazes de contribuir para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental é premente nas instituições de pesquisa, em todo o mundo. Este trabalho soma esforços nessa busca pelo desenvolvimento sustentável, apresentando um método de avaliação do desempenho ambiental, que considera os conceitos de ciclo de vida e de vulnerabilidade ambiental.

Tomou-se como base os módulos agricultura e agroindústria do Sistema Ambitec-Agro (RODRIGUES et al., 2003) para avaliação do impacto ambiental de inovações agroindustriais, ampliando seu escopo e transformando em quantitativa a análise semiquantitativa utilizada. Nesse sentido, o método de avaliação multicritério do Sistema Ambitec-Agro foi expandido e sua estrutura interna de funcionamento alterada, para permitir a avaliação do desempenho ambiental de uma inovação de produto nas etapas de produção ou de descarte da matéria-prima utilizada pela inovação, produção, uso e descarte final do produto, além da consideração da vulnerabilidade ambiental das bacias hidrográficas onde cada etapa está localizada. O desempenho ambiental de inovações de processo, também, pode ser avaliado quantitativamente, pelo método proposto, focando a análise na etapa de uso ou adoção da inovação.

Em sintonia com o Sistema Ambitec-Agro, o método proposto avalia o desempenho ambiental de uma inovação, de forma relativa, tomando-se como referência ou padrão para normalização dos valores dos indicadores referentes à inovação, os valores desses indicadores relativos a um produto ou processo substituto, que desempenhe função similar no mercado.

Um conjunto de indicadores de consumo e de emissões foi escolhido por representar fontes potenciais de impactos ambientais associados às atividades agrícolas e agroindustriais, tomando-se como base os indicadores já disponíveis no Sistema Ambitec (módulos agricultura e agroindústria) e os princípios de ecoeficiência. Esses princípios incentivam a redução no uso de materiais e na geração de resíduos perigosos, e ampliação de reúso e reciclagem de materiais e energia. Esses indicadores foram agregados em critérios, princípios e no índice de desempenho ambiental, com resultados por etapa, considerando todas as etapas numa avaliação final.

A análise de vulnerabilidade efetuada considerou as questões ou impactos ambientais associados à atividade agroindustrial, utilizando-se os indicadores relacionados, a seguir: a exposição da área às pressões ambientais, que levam aos impactos considerados; a sensibilidade do meio físico às pressões exercidas; e, a capacidade de resposta da sociedade local na elaboração de soluções capazes de reduzir ou mitigar o efeito adverso das pressões. Essa análise resultou em um índice de vulnerabilidade, que entra como um fator de ponderação dos indicadores de desempenho que representam fontes potenciais de impacto em nível de bacia hidrográfica.

A aplicação do método Ambitec-Ciclo de Vida gera benefícios e implica em desafios, que precisam ser considerados, quando do planejamento de um estudo do desempenho de uma inovação agroindustrial, utilizando o método proposto.

Dentre os principais desafios inerentes à aplicação do método, ressaltam-se:

- Definição da função do produto ou processo e sua unidade funcional, pois dependendo da definição adotada o resultado da avaliação se modifica. Por exemplo, o processo de beneficiamento da casca de coco verde gera fibra e pó, que podem ser utilizados como substrato agrícola, mas a fibra também possui outras aplicações, podendo ser utilizada em estofamentos, artesanatos, produção de novos materiais, dentre outros usos. Caso a função do produto ou processo seja definida como “beneficiar casca de coco verde”, o foco restringe-se a etapa de processamento das cascas e a comparação será realizada com outro processo, que também beneficie as cascas do coco. Caso o foco do trabalho seja direcionado não para o processo

de beneficiamento, mas para o produto “substrato” que suporta o enraizamento de mudas e de plantas em cultivos hidropônicos, o foco contemplaria as etapas do ciclo de vida do substrato e a comparação seria feita com outro produto similar, como o substrato de coco seco.

- Escolha de unidades com produção representativa e que permitem a realização dos levantamentos de campo. Em muitas empresas, as informações requeridas pelo método (ex: consumo de água e energia por kg de produto) não estão disponíveis e para levantá-las é preciso acompanhar repetidas vezes o processo de produção, realizando-se mensurações que alteram a rotina de trabalho.
- Demanda de tempo, pessoal capacitado e recursos financeiros para coleta dos dados que envolvem viagens, diárias e realização de análises laboratoriais. Esses recursos precisam ser planejados e alocados ao processo de pesquisa e desenvolvimento agroindustrial, para que possam garantir uma ampla e consistente avaliação do desempenho ambiental de inovações agroindustriais.

Dentre os benefícios advindos com a aplicação do método, ressaltam-se:

- Melhor compreensão do desempenho ambiental de uma inovação de produto, possibilitando à equipe de pesquisa ainda na fase do desenvolvimento do produto, ajustar aspectos que são fontes potenciais de impacto ambiental, não só no local onde é diretamente utilizado, mas também nas demais etapas do seu ciclo de vida. A análise isolada do desempenho de um novo produto, em uma dada etapa do seu ciclo de vida, pode levar à conclusão de que ele já se apresenta com reduzido impacto ambiental, quando comparada a outro produto substituto, não revelando pontos críticos em outras etapas do seu ciclo de vida, que deveriam ser foco de aperfeiçoamento da pesquisa. A aplicação do modelo proposto na avaliação do SCV exemplifica essa situação, pois algumas etapas do ciclo de vida desse produto apresentaram desempenho satisfatório (etapa de descarte de matéria-prima e de uso do substrato na produção de mudas Carola), enquanto outras etapas (etapa de produção do substrato, de uso na produção de rosas e de descarte final) revelaram situações de menor eficiência no uso dos recursos naturais e maior geração de resíduos, que devem ser consideradas para melhoria do desempenho desse produto.
- Maior clareza das características dos produtos ou processos comparados, pela incorporação dos conceitos de função e unidade funcional no método de avaliação. Sem essa definição, corre-se um risco maior de comparação de produtos ou processos com funções pouco parecidas e do levantamento de dados de consumo e de emissões para quantidades diferentes de produto final, conduzindo a uma interpretação equivocada dos resultados.
- A entrada de dados de consumo e de emissões de cada produto ou processo, separadamente, no método e sua posterior normalização, ao invés da entrada de um valor já normalizado, baseado na comparação efetuada pelo usuário da inovação (utilizado no Sistema Ambitec-Agro), torna aparentes os valores envolvidos na comparação e o resultado da normalização desses valores, facilitando a compreensão do desempenho de um produto ou processo em relação ao outro. Essa entrada de dados, também, facilita a comparação de produtos que são fabricados, utilizados e, ou, descartados em locais diferentes e de processos, que são adotados em locais diferentes, não requerendo que o usuário de um produto ou processo novo possua conhecimento sobre o produto ou processo substituto na avaliação de desempenho.
- O estudo da vulnerabilidade de bacias hidrográficas na avaliação do desempenho ambiental de inovações permite analisar em quais bacias os impactos negativos se acentuam e em quais são minimizados, podendo-se construir cenários de uso da inovação, que podem auxiliar na definição de estratégias de difusão tecnológica.

## Referências

- ADGER, W. N. Vulnerability. **Global Environmental Change**, v. 16, p. 268-281, 2006.
- ABNT. **NBR ISO 14031**. Rio de Janeiro, 1999.
- ABNT. **NBR ISO 10004**. Rio de Janeiro, 2004.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Cadernos de recursos hídricos: disponibilidades e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Brasília, DF, 2005. Disponível em: <[www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)>. Acesso em: 11 abr. 2005.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991.
- BANCO MUNDIAL. **The World Bank approach to the environment**. Washington, DC, 2000.
- BERKEL, R. **Innovation and technology for a sustainable materials future**, 2005. Disponível em: <[www.c4cs.curtin.edu.au/](http://www.c4cs.curtin.edu.au/)>. Acesso em: 1 set. 2005.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Aptidão agrícola das terras do Ceará**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura: SUPLAN, 1979.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros**. Brasília, DF: SBF, 2002b. 404 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Mapa das áreas prioritárias para conservação, uso sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira. 2006**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=72&idMenu=3812>>. Acesso em: 15 jan. 2008.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Mapa de áreas susceptíveis à desertificação**. 2004. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=72&idMenu=3812>>. Acesso em: 15 jan. 2008.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Projeto de conservação e utilização sustentável da diversidade biológica brasileira: relatório de atividades**. Brasília, DF, 2002a. 73 p.
- BRASIL. Lei Federal Nº 9.985, de 18/07/2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2000. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm)>. Acesso em: 2 out. 2008.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; PALMEIRA, A. F. **Intensidade pluviométrica: uma maneira de tratar dados pluviométricos para análise da vulnerabilidade de paisagens à perda de solo**. São José dos Campos: INPE, 2004.
- D'ALMEIDA, L. O.; VILHENA, A. (Coord.). **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. São Paulo: IPT: CEMPRE, 2000.
- FIGUEIRÊDO, M. C. B. de. **Método de avaliação do desempenho ambiental de inovações tecnológicas agroindustriais, considerando o conceito de ciclo de vida e a vulnerabilidade ambiental: Ambitec-ciclo de vida**. 2008. Tese (Doutorado em Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Ceará – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Fortaleza.
- FAO. **Codex general standard for food additives (GSFA) online database**. Disponível em: <<http://www.codexalimentarius.net/gsaonline/index.html?lang=en>>. Acesso em: 23 maio 2008.
- GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B. **Ecologia industrial: conceitos, ferramentas e aplicações**. São Paulo : Edgard Blucher, 2006.

- IBGE. **Cadastro Nacional de Empresas 2005**. Disponível em: < [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br) >. Acesso em: 12dez. 2007.
- IBGE. **Censo agropecuário 1996**. Disponível em: < [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br) >. Acesso em: 12 dez. 2007.
- IBGE. **Censo Demográfico 2000b**. Disponível em: < [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br) >. Acesso em: 12dez. 2007.
- IBGE. **Mapa de Áreas Protegidas**. Disponível em: < <http://mapas.ibge.gov.br/uc/Run.htm> >. Acesso em: 12 jan.2008.
- IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2000a**. Disponível em: < [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br) >. Acesso em: 12 dez. 2007.
- IBGE. **Pesquisa perfil dos municípios brasileiros – meio ambiente: instrumentos de gestão ambiental. 2002**. Disponível em: < [http://www.ibge.gov.br/munic\\_meio\\_ambiente\\_2002/index.htm](http://www.ibge.gov.br/munic_meio_ambiente_2002/index.htm) >. Acesso em: 28 fev. 2008.
- JORGENSEN, S. E. **Fundamentals of ecological modelling**. Amsterdam: Elsevier, 1994. 628 p.
- NUNES, M. U. C. Fibra e pó da casca de coco: produtos de grande importância para a indústria e a agricultura. In: ARAGÃO, W. M. **Coco: pós-colheita**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. p. 66-71.
- ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. **Manual Oslo**: proposta de diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação tecnológica. 1997. Disponível em: < <http://www.finep.org.br> >. Acesso em: 20. set. 2004.
- ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. **Policy Brief, sustainable development: a renewed effort by the OECD**. Paris, 1998.
- ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. **Aggregated environmental indices: review of aggregation methodologies in use**. Paris, 2002a.
- ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. **A synthesis report by the group on the state of the environment**. Paris, 1993.
- ONU. **Programme for the further implementation of Agenda 21**. 1997. Disponível em: < [www.un.org/documents/ga/res/spec/aress19-2.htm](http://www.un.org/documents/ga/res/spec/aress19-2.htm) >. Acesso em: 1 dez. 2006.
- PNUD. **Atlas de desenvolvimento humano no Brasil**. 2003. Disponível em: < <http://www.pnud.org.br/atlas/> >. Acesso em: 12 nov. 2007.
- REBOUÇAS, A. C. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 2002a. p. 1-37.
- RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C.; KITAMURA, P. C. **Avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária: AMBITEC-AGRO**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003. (Embrapa Meio Ambiente. Documento, 34)
- ROSA, M. F.; BEZERRA, F. C.; CORREIA, D.; SANTOS, F. J. S.; ABREU, F. A. P.; FURTADO, A. A. L.; BRÍGIDO, A. K. L.; NORÕES, E. R. V. **Utilização da casca de coco como substrato agrícola**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. 24 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documento, 52).
- SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE DO CEARÁ . Portaria 154, de 22/07/2002. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. **Diário Oficial do Estado do Ceará**. Disponível em: < [http://www.semace.ce.gov.br/biblioteca/legislacao/conteudo\\_legislacao.asp?cd=95](http://www.semace.ce.gov.br/biblioteca/legislacao/conteudo_legislacao.asp?cd=95) > Acesso em: 20 fev. 2007.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2004. Brasília, DF: MCIDADES : SNSA, 2006. Disponível em: < <http://www.snis.gov.br> >. Acesso em: 10 set. 2007.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos serviços de água e esgoto – 2004**. Brasília, DF: MCIDADES : SNSA, 2005. Disponível em: < <http://www.snis.gov.br> >. Acesso em: 10 set. 2007.
- SEILER-HAUSMANN, J. D. **Innovation & sustainable development: guiding business innovation towards sustainable development**. 2002. Disponível em: < [enviroscope.iges.or.jp/modules/envirolib/upload/111/attach/BE2\\_3018.pdf](http://enviroscope.iges.or.jp/modules/envirolib/upload/111/attach/BE2_3018.pdf) >. Acesso em: 11 abr. 2006.
- SONNEMANN, G; CASTELLS, F.; SCHUHMACHER, M. **Integrated life-cycle and risk assessment for industrial processes**. New York: Lewis, 2004.
- WORLD BUSINESS COMMISSION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **The business case for sustainable development: making a difference toward the Johannesburg Summit 2002 and beyond**. Johannesburg, 2001.

## Apêndice A

### Descrição dos Indicadores de Vulnerabilidade Ambiental

#### Indicadores Relativos ao Critério “Exposição”

##### Atividade agropecuária

Avalia a pressão exercida pela atividade agropecuária numa bacia. A atividade agropecuária é um fator de pressão importante em uma bacia, uma vez que: acarreta o desmatamento com perda da vegetação natural e redução da biodiversidade; contribui para processos erosivos, de salinização e contaminação do solo pelo uso de agrotóxicos, e; altera a ciclagem natural de nutrientes, ampliando as ofertas de nitrogênio e fósforo, que podem reduzir a qualidade das águas e contribuir para o aquecimento global (emissões de óxido nitroso).

A atividade agropecuária, em um município de uma bacia, é calculada com a aplicação da Equação 1, que divide a área de cada município da bacia devotada ao cultivo e pastagens pela área total do município.

$$Atividade\_agropecuária_i = \frac{área\_agropecuária_i}{área\_município_i} * 100 \quad (1)$$

Onde,

$área\_agropecuária_i$  = área devotada à atividade agropecuária no município;

$área\_município_i$  = área do município;

$Atividade\_agropecuária_i$  = percentual da área do município i devotada à atividade agropecuária na bacia.

Quanto menor o percentual da área agrícola, menores as pressões ambientais e menor a vulnerabilidade da bacia. Considera-se que esse indicador varia entre 0% (valor mínimo) e 100% (valor máximo). A área agropastoril de cada município está disponível no Censo Agropecuário de 1996, enquanto a área municipal é obtida no Censo Demográfico de 2000 do IBGE. Considera-se como área agropastoril as seguintes áreas do sistema de uso da terra do IBGE: lavouras permanentes, lavouras temporárias, lavouras temporárias em descanso, pastagens naturais, pastagens plantadas e matas e florestas artificiais.

## Atividade industrial

Avalia a pressão exercida pela atividade industrial numa bacia. A atividade industrial também é um fator de pressão importante em uma bacia, uma vez que gera efluentes sólidos, líquidos e gasosos com potencial de reduzir a qualidade do ar, da água e do solo, além de acarretar o desmatamento, com perda da vegetação natural e redução da biodiversidade, no caso da indústria extrativa.

A atividade industrial de um município da bacia é calculada com a aplicação da Equação 2, que considera a relação entre o pessoal ocupado na indústria extrativa e de transformação, em um município, e a área do município.

$$Atividade\_industrial_i = \frac{pessoal\_ocupado_i}{\acute{a}rea\_munic\acute{i}pio_i} \quad (2)$$

Onde,

$pessoal\_ocupado_i$  = número total de pessoas ocupadas nas indústrias extrativas e de transformação no município  $i$ ;

$\acute{a}rea\_munic\acute{i}pio_i$  = área do município  $i$ ;

$Atividade\_industrial_i$  = número de pessoas ocupadas, por unidade de área, no município  $i$  da bacia.

Quanto menor a atividade industrial, menores as pressões ambientais e menor a vulnerabilidade da bacia. Considera-se que esse indicador varia entre 0 (valor mínimo) e 125 empregados/km<sup>2</sup> (valor máximo). Os dados sobre pessoal ocupado nas indústrias extrativas e de transformação, por município, estão disponíveis no Cadastro Central de Empresas (IBGE, 2005), enquanto a área municipal é obtida no Censo Demográfico (IBGE, 2000b).

## Geração de esgoto per capita

Avalia a intensidade da geração de esgoto nos municípios da bacia, pela relação entre o volume de esgoto coletado em cada município da bacia e a população atendida pela coleta no município (Equação 3). O volume gerado de esgoto per capita é um importante indicador de pressão sobre os recursos hídricos em uma bacia, pois quanto mais elevado esse volume, maior o volume de água necessário para diluição e depuração da matéria orgânica e nutrientes presentes no esgoto. Um elevado volume de esgoto pode acarretar a eutrofização de corpos lânticos, além de comprometer as reservas hídricas para consumo humano, escassas em regiões semiáridas.

$$Gera\c{c}o\~{a}\_esgoto\_per\_capita_i = \frac{volume\_coletado_i (m^3/ano)}{popula\c{c}o\~{a}\_atendida_i (hab)} \quad (3)$$

Onde,

$volume\_coletado_i$  = volume total de esgoto coletado no município  $i$  da bacia;

$popula\c{c}o\~{a}\_atendida_i$  = população total atendida pelo serviço de coleta de esgoto no município  $i$  com sede na bacia;

$Gera\c{c}o\~{a}\_esgoto\_per\_capita_i$  = volume de esgoto gerado por cada habitante do município  $i$ .

Quanto menor a geração de esgoto per capita, menores as pressões ambientais e menor a vulnerabilidade da bacia. Considera-se que esse indicador varia entre 10 (valor mínimo) e 100 m<sup>3</sup>.hab<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (valor máximo), de acordo com o SNIS que avaliou que mais de 95 % da geração de esgoto per capita em 2004 estava entre esses valores (SNIS, 2005). As informações sobre volume de esgoto coletado e população atendida estão disponíveis na Pesquisa de Saneamento Básico (IBGE, 2000a) e no Censo Demográfico (2000b), respectivamente.

## Geração de lixo per capita

Avalia a intensidade de geração de lixo em uma bacia, por meio da relação entre a massa diária coletada de lixo (kg) e a população atendida pela coleta. A massa de lixo gerada é fonte de poluição do ar, da água e do solo. Quanto maior a massa de lixo gerada maiores áreas são necessárias para a correta disposição final em aterros sanitários ou maior número de incineradores. Esse indicador de pressão ambiental é utilizado pela OECD (2002a). A geração de lixo per capita em um município com sede na bacia é calculada pela Equação 4.

$$Geração\_lixo_i = \frac{lixo\_coletado_i (kg/dia)}{população\_atendida_i (hab)} \quad (4)$$

onde,

$lixo\_coletado_i$  = quantidade total de lixo coletado por dia em um município  $i$  com sede na bacia;

$população\_atendida_i$  = quantidade de pessoas atendidas pelo serviço de coleta no município  $i$  com sede na bacia;

$Geração\_lixo_i$  = quantidade de lixo coletado, por habitante, num município  $i$  da bacia.

Quanto menor a geração de lixo per capita, menores as pressões ambientais e menor a vulnerabilidade da bacia. Considera-se que esse indicador varia entre 0,1 (valor mínimo) e 1,5 kg.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> (valor máximo), de acordo com informações sobre a geração de lixo per capita para algumas sedes municipais brasileiras do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (SNIS, 2006). A fonte de informação sobre massa coletada de lixo municipal é a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2000a) e sobre população atendida pelo serviço de coleta é o Censo Demográfico (IBGE, 2000b).

## Demanda hídrica per capita

Avalia a intensidade de utilização dos recursos hídricos em uma bacia, por meio da relação entre demanda hídrica global, referente a todos os usos consuntivos (consumo humano, animal, industrial e irrigação) e a população da bacia, estimada pelos municípios com sedes na mesma. Uma demanda hídrica elevada pressiona as reservas hídricas, contribuindo para a ocorrência de eventos de escassez.

A demanda hídrica é estimada considerando-se índices de consumo humano per capita por faixa populacional, consumo animal por unidade de equivalente animal (BEDA), consumo industrial por número de empregados e consumo de irrigação pela área irrigada (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA, 2005).

A demanda hídrica per capita é calculada pela Equação 5.

$$Demanda\_per\_capita = \frac{demanda\_municípios\_bacia (m^3/ano)}{população\_bacia (hab)} \quad (5)$$

Onde,

$demanda\_municípios\_bacia$  = retirada total de água de todos os usuários da bacia em um ano, obtida pela soma das demandas para todos os usos dos municípios pertencentes à bacia;

$população\_bacia$  = população total dos municípios com sede na bacia;

$Demanda\_per\_capita$  = demanda hídrica per capita na bacia.

Quanto menor a demanda hídrica per capita, menores as pressões exercidas sobre as reservas hídricas e menor a vulnerabilidade. Considera-se que esse indicador varia entre 30 (valor mínimo) e 1.500 m<sup>3</sup>.hab<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (valor máximo), de acordo com valores observados por Rebouças (2002a) para os estados brasileiros. As fontes de



informação sobre demanda hídrica de bacias hidrográficas são os planos de bacias hidrográficas, os planos estaduais de recursos hídricos e a base de dados da Agência Nacional de Água. Esse indicador é utilizado para refletir a pressão sobre os recursos hídricos exercida por países, pela OECD (OECD, 2002b).

## Indicadores Relativos ao Critério “Sensibilidade”

### Áreas prioritárias para conservação

Avalia a existência de áreas consideradas prioritárias para conservação da biodiversidade na bacia. As áreas são classificadas em cinco classes de prioridade: área não contempladas como prioritária; área insuficientemente conhecida; mas de provável importância; área de alta importância biológica; área de muito alta importância biológica, e; área de extrema importância biológica (BRASIL, 2006). As áreas foram definidas para cada bioma considerando aspectos relacionados à importância biológica e às pressões antrópicas existentes nas diferentes regiões. Dentre os aspectos ecológicos considerados para delimitação das áreas, destacam-se: ocorrência de endemismo de espécies raras e ameaçadas, de espécies migratórias e de interesse econômico, além de locais de uso cultural ou tradicional (BRASIL, 2002a). Áreas de extrema importância biológica são as mais ricas em termos de biodiversidade e dessa forma, as mais sensíveis caso degradadas.

Considera-se que quanto maior a área considerada prioritária para conservação em uma bacia, maior a sua vulnerabilidade quanto à degradação. Assim, é atribuído um valor de vulnerabilidade para cada uma das cinco classes de prioridade possíveis de serem encontrados numa bacia:

- Área não contemplada como prioritária, vulnerabilidade = 1,2.
- Área insuficientemente conhecida, mas de provável importância, vulnerabilidade = 1,4.
- Área de alta importância biológica, vulnerabilidade = 1,6.
- Área de muito alta importância biológica, vulnerabilidade = 1,8.
- Área de extrema importância biológica, vulnerabilidade = 2.

A fonte de informação sobre áreas prioritárias é o Mapa de Áreas Prioritárias para Conservação (BRASIL, 2006) desenvolvido pelo Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica (PROBIO), do Ministério do Meio Ambiente.

### Aptidão Agrícola

A aptidão agrícola da terra avalia a potencialidade das classes de solo ao uso agrícola. A análise de aptidão do solo indica solos mais ou menos susceptíveis à erosão, compactação, acidez e salinização, considerando-se diversos parâmetros, como textura, teor de sais, matéria orgânica e drenagem. Solos de maior aptidão agrícola são aqueles indicados para lavouras com pouca ou nenhuma limitação de fertilidade, de excesso ou falta de água no solo, de erosão e de mecanização. Esse indicador determina a vulnerabilidade da bacia a terras inaptas para agricultura, ponderando-se a área ocupada por cada classe de solo pelo valor de vulnerabilidade atribuído ao grupo de aptidão agrícola ao qual a classe de solo pertence.

O estudo de aptidão realizado pela Secretaria Nacional de Planejamento Agrícola – SUPLAN do Ministério da Agricultura em 1979 (BRASIL, 1979), para os diversos estados brasileiros, é a base para esse indicador. Esse estudo considera na análise de aptidão agrícola características do solo como: textura, estrutura, acidez, fertilidade, teor de matéria orgânica, drenagem, permeabilidade, quantidade de sais e profundidade do solo. Além dos fatores relacionados às características do solo, também são considerados o clima (definido pela precipitação), o relevo (declividade) e o tipo de vegetação natural da área (floresta, campo, caatinga, cerrado, mangue, praias e dunas), no estudo das limitações de cada classe de solo, quanto à deficiência de fertilidade, deficiência de água, excesso de água, susceptibilidade à erosão e impedimentos à mecanização.

A cada classe de solo é atribuído um grupo de aptidão agrícola:

- Grupo 1, solos com aptidão boa para lavoura em pelo menos um dos níveis de manejo (baixo, médio e alto).
- Grupo 2, solos com aptidão regular para lavouras em pelo menos um dos níveis de manejo.
- Grupo 3, solos com aptidão restrita para lavouras em pelo menos um dos níveis de manejo.
- Grupo 4, solos com aptidão boa, regular ou restrita para pastagem plantada.
- Grupo 5, solos com aptidão boa, regular ou restrita para silvicultura e ou pastagem natural.
- Grupo 6, terras sem aptidão para uso agrícola.

A definição dos valores de vulnerabilidade de cada grupo de aptidão agrícola considera que quanto maior o valor do grupo ao qual um solo pertence, maior a sua sensibilidade e vulnerabilidade quanto à atividade agrícola:

- Grupo 1, vulnerabilidade = 1.
- Grupo 2, vulnerabilidade = 1,2.
- Grupo 3, vulnerabilidade = 1,4.
- Grupo 4, vulnerabilidade = 1,6.
- Grupo 5, vulnerabilidade = 1,8.
- Grupo 6, vulnerabilidade = 2.

### Intensidade pluviométrica

Avalia a intensidade das chuvas em uma região, pela relação entre a pluviosidade média anual e a duração do período chuvoso (número de meses de chuva em um ano). A intensidade pluviométrica é um parâmetro importante na avaliação da erosividade da chuva e susceptibilidade de uma área à erosão hídrica pelo escoamento superficial, não tendo sido considerado na avaliação da susceptibilidade à erosão realizada no estudo da aptidão agrícola. De acordo com Crepani et al. (2004), uma grande lâmina de água precipitada em um curto intervalo de tempo conduz a uma situação onde a quantidade de água disponível para o escoamento superficial é muito grande, e, portanto, é maior a capacidade de erosão. Assim, quanto maior a intensidade da chuva, maior seu potencial erosivo.

A intensidade da chuva é obtida pela aplicação da Equação 6 em cada posto de monitoramento da pluviometria numa bacia.

$$Intensidade\_pluviométrica_i = \frac{\left[ \frac{\sum_{j=1}^n \frac{Pluviosidade\_anual_j}{Dias\_com\_chuva_j}}{30} \right]}{n} \quad (6)$$

onde,

$i$  = posto  $i$  próximo ou na bacia;

$j$  = ano  $i$  de monitoramento de uma dado posto  $i$ ;

$n$  = número de anos de observação;

$Pluviosidade\_anual_j$  = lâmina de água (mm) precipitada em um ano  $i$ ;

$Dias\_com\_chuva_j$  = número de dias com chuva num ano  $i$ ;

$Intensidade\_pluviométrica_i$  = intensidade pluviométrica da chuva no posto  $i$ .

Quanto menor a intensidade pluviométrica, menor a sensibilidade do meio à erosão hídrica e a compactação do solo, sendo menor a vulnerabilidade. Considera-se que esse indicador varia entre 50 (valor mínimo) e 525 mm/mês (valor máximo), de acordo com a classificação utilizada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (CREPANI et al., 2004). A área de abrangência de cada posto de monitoramento é delimitada pelo cálculo dos Polígonos de Thiessen. Os dados sobre precipitação diária podem ser obtidos junto às instituições que trabalham com meteorologia ou junto à ANA.

## Qualidade da água de irrigação

Avalia a qualidade da água disponível para irrigação na bacia, pelos parâmetros salinidade e sodicidade. A vulnerabilidade do solo à água de irrigação é avaliada pelo risco de salinização ou sodificação do solo. O risco de salinização e sodificação do solo é usualmente avaliado pela análise da salinidade e da sodicidade da água de irrigação, conforme (AYRES e WESTCOT, 1991).

A salinidade da água de irrigação é avaliada pela condutividade elétrica (CE) (AYRES e WESTCOT, 1991). Quanto menor a CE, menor a sensibilidade do meio à salinização do solo pela água de irrigação, sendo menor a vulnerabilidade quanto à salinidade. Considera-se que a CE varia entre 0,1 (valor mínimo) e 3 dS.m<sup>-1</sup> (valor máximo), de acordo de Ayers e Westcot (1991).

A avaliação da sodicidade combina os valores de CE e razão de adsorção de sódio (RASo), onde para uma mesma RASo, o risco de sodicidade será tanto menor quanto maior a CE (AYRES e WESTCOT, 1991). A RASo é obtida de acordo com Ayers e Westcot (1991). O valor normalizado da vulnerabilidade referente a sodicidade em um dado posto de monitoramento, é obtido pelo uso da Tabela 1. As classes de vulnerabilidade foram definidas de acordo com a classificação de qualidade da água para irrigação, quanto à sodicidade, adotada por Ayers e Westcot (1991), que combina valores de CE e RAS na análise do risco de sodicidade da água.

**Tabela 1.** Classes de vulnerabilidade quanto à sodicidade da água de irrigação.

Razão de Adsorção de Sódio (RASo)	Valor de vulnerabilidade quanto a sodicidade num posto de monitoramento		
	1 (baixa)	1,5 (média)	2 (muito alta)
	----- Condutividade Elétrica (CEi) (dS/m) -----		
0 a 3	> 0,7	0,7 a 0,2	< 0,2
3 a 6	> 1,2	1,2 a 0,3	< 0,3
6 a 12	> 1,9	1,9 a 0,5	< 0,5
12 a 20	> 2,9	2,9 a 1,3	< 1,3
20 a 40	> 5	5 a 2,9	< 2,9

O valor final da vulnerabilidade, em cada posto, é obtido pelo maior valor de vulnerabilidade obtido para CE e RAS no local.

A área de abrangência de cada posto de monitoramento é delimitada pelo cálculo dos Polígonos de Thiessen. A fonte dos dados de CE e RAS são os órgãos estaduais de meio ambiente e gestão das águas. Devem ser utilizados valores médios, de séries históricas disponíveis, de CE e RAS.

## Aridez do clima

Avalia a classe climática média da bacia por meio da média ponderada das áreas com determinada classe climática pela vulnerabilidade imputada a determinada classe. A aridez do clima contribui para escassez hídrica, concentração de sais no solo, principalmente o irrigado, e para o desenvolvimento de processos de

desertificação, quando da retirada da vegetação. É utilizado pela ONU na identificação de áreas de escassez hídrica e na avaliação de áreas susceptíveis à desertificação. O Índice Municipal de Alerta do Ceará, utilizado para identificar regiões críticas quanto à ocorrência de secas, também considera a aridez na sua avaliação.

A definição dos valores de vulnerabilidade de cada classe climática na bacia considera que quanto mais árida é uma região, maior a sua sensibilidade e vulnerabilidade quanto à aridez do clima:

- Áreas não contempladas no mapa, vulnerabilidade = 1.
- Áreas de entorno das regiões áridas e semiáridas, vulnerabilidade = 1,4.
- Subúmido seco, vulnerabilidade = 1,6.
- Semiárido, vulnerabilidade = 1,8.

A fonte de informação sobre aridez no Brasil é o Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca PAN-BRASIL (BRASIL, 2004), que contém a lista dos municípios brasileiros de clima semiárido e subúmido seco. Esses dados estão georreferenciados no Mapa de Áreas Susceptíveis à Desertificação no Semiárido (BRASIL, 2004).

## Indicadores Relativos ao Critério “Capacidade de Resposta”

### Áreas em unidades de conservação

Avalia o compromisso dos municípios da bacia com a conservação da biodiversidade, pela delimitação de unidades de conservação, definidas pela legislação federal, estadual e municipal. De acordo com o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (BRASIL, 2000), as unidades de conservação podem pertencer a duas categorias: de proteção integral e de uso sustentável. O objetivo básico das unidades de “proteção integral” é preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, com exceção dos casos previstos em lei. Essa categoria é composta pelas seguintes unidades de conservação: Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque Nacional, Monumento Natural e Refúgio de Vida Silvestre. As unidades de “uso sustentável” têm como objetivo compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais. Fazem parte dessa categoria as unidades de conservação: Área de Proteção Ambiental, Área de Relevante Interesse Ecológico, Floresta Nacional, Reserva Extrativista, Reserva de Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural.

Assim, a proteção da vegetação natural é maior em unidades de “proteção integral” do que em áreas de “uso sustentável”. O percentual da área de um ecossistema que está protegido em unidades de conservação é um indicador de resposta social a problemas de perda de biodiversidade utilizado pela OECD (1993). Esse indicador pondera o percentual de cada área de conservação por um peso que representa a vulnerabilidade de cada tipo de área, quanto à degradação ambiental.

São considerados três tipos de área numa bacia: área em unidade de conservação de “proteção integral” (ecossistema mais protegido e menos vulnerável), área em unidade de conservação de “uso sustentável” (ecossistema menos protegido e área mais vulnerável) e área sem proteção. Considera-se, na definição dos valores de vulnerabilidade, que áreas “sem proteção” representam uma baixa capacidade de resposta e uma alta vulnerabilidade ambiental, áreas de “proteção integral” são menos vulneráveis à perda da biodiversidade e demais questões ambientais advindas dessa perda, como erosão e escassez hídrica, enquanto áreas de “uso sustentável” trazem alguma proteção, refletindo numa vulnerabilidade média:

- Área de proteção integral, vulnerabilidade = 1,2.
- Área de uso sustentável, vulnerabilidade = 1,5.
- Área sem proteção, vulnerabilidade = 2.

As fontes de informação sobre a área ocupada pelas unidades de conservação federais e sua localização são o IBAMA, o IBGE e as secretarias estaduais de meio ambiente.

## Conservação do solo

Avalia o compromisso dos municípios com a conservação do solo, pela prática das seguintes ações: combate ou controle da salinização do solo, combate e, ou, controle a processos erosivos, fiscalização ou controle do uso de fertilizantes e agrotóxicos, incentivo à promoção e práticas de agricultura orgânica e recuperação de áreas degradadas. Essas ações repercutem diretamente na qualidade do solo agrícola, com benefícios a todo o ambiente.

Para cada município com sede na bacia, avalia-se seu compromisso com a conservação do solo pela Equação 7, que realiza uma média do número de ações de conservação adotados num município.

$$\text{Conservação\_solo\_município}_i = \frac{\text{número\_de\_ações}}{5} * 100 \quad (7)$$

Onde,

*número\_de\_ações* = número de ações de gestão do solo (combate ou controle da salinização do solo, combate e, ou, controle a processos erosivos, fiscalização ou controle do uso de fertilizantes e agrotóxicos, incentivo à promoção e práticas de agricultura orgânica e recuperação de áreas degradadas) praticadas por um município *i*;

*Conservação\_solo\_município<sub>i</sub>* = valor da gestão do solo no município *i*, avaliando-se a ocorrência das cinco ações de gestão do solo consideradas.

Quanto maior o número de ações de conservação do solo adotadas pelo município, maior a resposta social e menor a vulnerabilidade. Considera-se que esse indicador varia entre 0% (valor mínimo) e 100% (valor máximo). A fonte dessa informação para municípios é a Pesquisa "Perfil dos Municípios Brasileiros" (IBGE, 2002). Essa pesquisa fornece informações em nível municipal. Assim, devem-se definir quais municípios possuem sedes municipais na bacia em estudo.

## Acesso à água tratada

Avalia o acesso da população de uma bacia à rede de abastecimento de água e ao tratamento convencional de água. O acesso à água tratada é fundamental à saúde da população, em especial em locais onde as águas encontram-se poluídas pelo lançamento de esgotos e poluição difusa oriunda de atividades agrícolas. Entretanto, um grande acesso à rede de abastecimento de água não garante que o volume coletado recebeu tratamento convencional, necessário em bacias cujos rios são classificados como Classe 2 pela Resolução Conama Nº 357, de 17/03/2005 (rios sem classificação são considerados Classe 2 por essa resolução). Dessa forma, é necessário considerar o volume de água que recebe tratamento convencional. O tratamento convencional reduz a quantidade de sólidos suspensos e a contaminação bacteriológica encontrada em águas receptoras de dejetos humanos e animais, minimizando a pressão exercida pela geração de esgoto pela população dos municípios de uma bacia. O acesso à água e a seu tratamento adequado é um indicador de desenvolvimento sustentável, utilizado pelo IBGE e pela Comissão para o Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas.

O acesso à rede de abastecimento de água é avaliado pela relação entre o total de pessoas com acesso a um sistema de abastecimento e o total da população de um município (Equação 8). O acesso ao tratamento convencional de água avalia o fornecimento de tratamento convencional, pela relação entre o volume diário de água distribuída e o volume total de água, que recebe tratamento convencional (tratamento envolvendo no mínimo floculação, decantação, filtração e desinfecção) em um município da bacia (Equação 9).

$$Acesso\_abastecimento_i = \frac{população\_acesso\_água_i (hab)}{população\_município_i (hab)} * 100 \quad (8)$$

Onde,

$população\_acesso\_água_i$  = total de habitantes com acesso a rede de abastecimento de água no município  $i$  com sedes na bacia;

$população\_município_i$  = total da população no município  $i$  da bacia;

$Acesso\_abastecimento_i$  = percentual da população com acesso a rede de abastecimento de água no município  $i$ .

$$Tratamento\_convencional_i = \frac{volume\_água\_tratada_i (m^3/dia)}{volume\_água\_distribuída_i (m^3/dia)} * 100 \quad (9)$$

Onde,

$volume\_água\_tratada_i$  = volume total de água que recebe tratamento convencional no municípios  $i$  com sede na bacia;

$volume\_água\_distribuída_i$  = volume total de água distribuída pela rede de abastecimento no município  $i$  com sede na bacia;

$Tratamento\_convencional_i$  = percentual da água distribuída pela rede de abastecimento que recebe tratamento convencional no município  $i$ .

A definição das classes de vulnerabilidade considerou que quanto maior o acesso à rede de abastecimento de água e ao tratamento convencional da água distribuída, maior a resposta social à problemática do saneamento básico e menor a vulnerabilidade da bacia. Considera-se que tanto o percentual de acesso à rede de água, como o percentual de acesso ao tratamento convencional da água variam entre 0 (valor mínimo) e 100% (valor máximo). A vulnerabilidade final de cada município com sede na bacia, quanto à problemática da água, é dada pela média aritmética das vulnerabilidades de acesso à rede de água e ao tratamento convencional da água. As informações utilizadas estão disponíveis na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2000a) e no Censo Demográfico (IBGE, 2000b).

## Acesso à coleta e ao destino adequado do lixo

Avalia o acesso da população da bacia à coleta e ao destino adequado do lixo coletado. Resíduos não coletados ou coletados e encaminhados a locais inadequados acarretam problemas de saúde pública, além de contaminação ambiental. O acesso e o destino adequado do lixo são indicadores de desenvolvimento sustentável, utilizados pelo IBGE e pela Comissão para o Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas.

O acesso à coleta do lixo, que avalia o percentual da população com acesso à coleta de lixo em um município da bacia, é calculado utilizando-se a Equação 10, enquanto o acesso ao destino adequado do lixo, que avalia o percentual do lixo coletado com destino adequado, é calculado pela Equação 11.

$$Acesso\_lixo_i = \frac{população\_atendida_i}{população\_município_i} * 100 \quad (10)$$

Onde,

$população\_atendida_i$  = população atendida pela coleta de lixo no município  $i$  com sede na bacia;

$população\_município_i$  = população total do município  $i$  com sede na bacia;

$Acesso\_lixo_i$  = percentual da população com acesso a coleta de lixo no município;

$$Destino\_lixo_i = \frac{quantidade\_destino\_adequado_i(t/dia)}{quantidade\_lixo\_coletado_i(t/dia)} * 100 \quad (11)$$

Onde,

$quantidade\_destino\_adequado_i$  = quantidade de lixo destinado a aterros, estações de triagem, reciclagem, compostagem e incineração no município  $i$ , com sede na bacia;

$quantidade\_lixo\_coletado_i$  = quantidade total de lixo coletado no município  $i$ ;

$Destino\_lixo_i$  = percentual do lixo coletado que possui destino adequado no município  $i$ .

A definição das classes de vulnerabilidade considerou que quanto maior o acesso à coleta e ao destino adequado do lixo, maior a resposta social à problemática dos resíduos sólidos e menor a vulnerabilidade da bacia. Considera-se que tanto o percentual de acesso à coleta de lixo, como o percentual de acesso ao destino adequado do lixo variam entre 0 (valor mínimo) e 100% (valor máximo). A vulnerabilidade final de cada município com sede na bacia, quanto à problemática do lixo, é dada pela média aritmética das vulnerabilidades de acesso e destino do lixo. As fontes de informação para esse índice são o Censo Demográfico (IBGE, 2000b) e a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2000a).

## Acesso a esgotamento sanitário

Avalia o acesso à rede coletora de esgoto (rede coletora pública e fossa séptica) na bacia. O acesso à coleta de esgoto mostra uma resposta efetiva da sociedade para melhoria das condições de saneamento básico e redução da carga poluidora nos corpos hídricos. Apesar do grande acesso à coleta de esgoto não significar que o volume coletado foi devidamente tratado, são escassas as informações sobre o volume de esgoto coletado e sobre o tratamento sanitário recebido na maioria dos municípios brasileiros. O acesso a esgotamento sanitário é um indicador utilizado pela Comissão para o Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas.

O acesso a esgotamento sanitário em um município da bacia é calculado pelo uso da Equação 12, que avalia o percentual da população com acesso à rede de esgotamento.

$$Acesso\_esgotamento_i = \frac{população\_esgoto\_coletado_i(hab)}{população\_município_i(hab)} * 100 \quad (12)$$

Onde,

*população\_esgoto\_coletado<sub>i</sub>* = total de habitantes com acesso a coleta de esgoto pela rede pública ou fossa séptica no município *i* com sede na bacia;

*população\_município<sub>i</sub>* = total da população no município<sub>i</sub>;

*Acesso\_esgotamento<sub>i</sub>* = percentual da população com acesso à coleta de esgoto no município *i*.

A definição das classes de vulnerabilidade considerou que quanto maior o acesso a esgotamento sanitário, maior a resposta social à problemática dos efluentes líquidos e menor a vulnerabilidade da bacia. Considera-se que o percentual de acesso a esgotamento sanitário varia entre 0 (valor mínimo) e 100% (valor máximo). As informações relativas à população atendida por serviços de coleta e à população total de municípios encontram-se disponíveis na base de dados do IBGE, na pesquisa Censo Demográfico (IBGE, 2000b).

### Disponibilidade hídrica per capita

Avalia a disponibilidade ou a oferta de água para a população, resultante de investimentos no armazenamento e acesso a reservas hídricas. A disponibilidade hídrica per capita expressa uma resposta do planejamento hídrico às necessidades de consumo em uma bacia.

A disponibilidade hídrica per capita é medida pela divisão da vazão média anual pela população total de uma bacia (Equação 13).

$$Disponibilidade\_hídrica = \frac{Vazão\_média(m^3/ano)}{população\_bacia(hab)} \quad (13)$$

Onde,

*Vazão\_média* = vazão regularizada anual com no mínimo 90% de garantia, em rios perenizados, ou a vazão com 95% de permanência, em rios perenes.

*População\_bacia* = população total da bacia;

*Disponibilidade\_hídrica* = disponibilidade de água na bacia per capita.

Compreende-se que quanto menor a disponibilidade hídrica per capita, menor a capacidade de resposta quanto à oferta hídrica e maior a vulnerabilidade. Considera-se que esse indicador varia entre 0 (valor mínimo) e 100.000 m<sup>3</sup>.hab<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (valor máximo), de acordo com valores adotados pela ANA para avaliação das disponibilidades hídricas nas bacias hidrográficas brasileiras (ANA, 2005). Informações sobre disponibilidade hídrica podem ser obtidas nos planos de bacias, nos planos estaduais de recursos hídricos, assim como na base de dados da ANA.

### IDH-M

Avalia o nível de desenvolvimento humano dos municípios com sede na bacia. A pobreza, aqui representada por um baixo IDH-M, inibe ações sociais relativas ao controle, minimização e recuperação do meio ambiente. Uma maior longevidade, renda e nível educacional possibilitam a uma dada comunidade melhor atuar frente às questões socioambientais que a circundam.



O IDH-M de cada município com sede na bacia é obtido pela média aritmética de três indicadores: educação (taxa de alfabetização de pessoas acima de 4 anos de idade, com peso 2; a taxa bruta de frequência à escola, com peso 1), saúde (esperança de vida ao nascer) e renda (renda municipal per capita). O IDH-M varia entre 0 e 1.

Considera-se que quanto maior o IDH-M, melhor a capacidade de resposta das pessoas que habitam na bacia frente aos problemas ambientais e menor sua vulnerabilidade ambiental. Como o IDH-M é um valor normalizado, mas varia inversamente à vulnerabilidade (quanto maior seu valor, menor a vulnerabilidade), utiliza-se o valor complementar do IDH-M (Equação 14) no cálculo da vulnerabilidade de cada município, sendo acrescido ainda o valor "1", para que a escala seja a utilizada neste trabalho, de 1 a 2, e não de 0 a 1, como é a escala original do IDH-M.

$$Valor_i = (1 - IDH - M_i) + 1 \quad (14)$$

Onde,

$IDH - M_i$  = valor encontrado para o IDH-M de um município  $i$ , com sede na bacia;

$Valor_i$  = valor da vulnerabilidade do município  $i$ , quanto ao IDH - M.

O IDH - M foi desenvolvido e é utilizado pelo Programa das Nações para o Desenvolvimento (PNUD). Os dados de IDH - M estão disponíveis para todos os municípios brasileiros no Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (PNUD, 2003).

## Apêndice B

# Descrição dos Indicadores de Desempenho Ambiental

### Consumo de Materiais

#### Quantidade total de materiais

Avalia a massa da matéria-prima principal de um produto tecnológico. Nas etapas de uso e de descarte do produto, o material é o próprio produto. Não considerar nesse item, o consumo de água e agroquímicos, que devem ser considerados nos indicadores dos itens 4.1, 6.1, 6.2 e 7.1. Em uma produção eficiente, busca-se reduzir o consumo de matéria-prima para atender uma determinada unidade funcional.

Características do indicador:

- Unidade de medida é “kg”.
- Seu valor deve ser ajustado ao fluxo de referência.
- Utiliza a Equação 6b no procedimento de normalização.
- Seu valor normalizado não deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho.
- Pertinente às atividades agrícolas, agroindustriais e de descarte de resíduos.

#### Quantidade de material perigoso

Avalia a quantidade da massa de matéria-prima utilizada por um produto que é material perigoso, de acordo com a Portaria Nº 204, de 20/05/1997 do Ministério dos Transportes (1997). De acordo com os princípios de ecoeficiência e ecologia industrial, deve-se reduzir o uso de substâncias tóxicas ao longo do ciclo de vida de produtos.

As classes de produtos perigosos são:

- Classe 1 – explosivos.
- Classe 2 – gases, com as seguintes subclasses:
  - Subclasse 2.1 – Gases inflamáveis.
  - Subclasse 2.2 – Gases não inflamáveis, não tóxicos.
  - Subclasse 2.3 – Gases tóxicos.
- Classe 3 – líquidos inflamáveis

- Classe 4 – Esta classe se subdivide em:
  - Subclasse 4.1 – Sólidos inflamáveis.
  - Subclasse 4.2 – Substâncias sujeitas a combustão espontânea.
  - Subclasse 4.3 – Substâncias que, em contato com a água, emitem gases inflamáveis.
- Classe 5 – Esta classe se subdivide em:
  - Subclasse 5.1 – Substâncias oxidantes.
  - Subclasse 5.2 – Peróxidos orgânicos.
- Classe 6 – Esta classe se subdivide em:
  - Subclasse 6.1 - Substâncias tóxicas (venenosas).
  - Subclasse 6.2 - Substâncias infectantes.
- Classe 7 – materiais radioativos.
- Classe 8 – corrosivos.
- Classe 9 – substâncias perigosas diversas.

Características do indicador:

- Unidade de medida é “kg”.
- Seu valor deve ser ajustado ao fluxo de referência.
- Utiliza a Equação 6b no procedimento de normalização.
- Seu valor normalizado não deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho.
- Pertinente às atividades agrícolas, agroindustriais e de descarte de resíduos.

### **Quantidade de material não renovável**

Avalia a quantidade da massa de matéria-prima utilizada por um produto que não é proveniente de fonte renovável. De acordo com os princípios de ecoeficiência, ecologia industrial, e devido ao esgotamento das fontes minerais de matéria e energia, deve-se privilegiar o uso de materiais renováveis.

Características do indicador:

- Unidade de medida é “kg”.
- Seu valor deve ser ajustado ao fluxo de referência.
- Utiliza a Equação 6b no procedimento de normalização.
- Seu valor normalizado não deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho.
- Pertinente às atividades agrícolas, agroindustriais e de descarte de resíduos.

### **Quantidade de material não reciclado ou reutilizado**

Avalia a quantidade da massa de materiais utilizada por um produto que não é proveniente de material reciclado ou reutilizado. Quando o material é descartado, avalia-se quanto da massa é reutilizada, reciclada ou compostada no processo de disposição. Considera-se que reciclagem “é o resultado de uma série de atividades, pela qual materiais que se tornariam lixo, são desviados, coletados, separados e processados para serem usados como matéria-prima na manufatura de novos produtos” (D’ALMEDA; VILHENA, 2000, pág. 81). De acordo com os princípios de ecoeficiência e ecologia industrial, e devido ao esgotamento das fontes minerais de matéria e energia, devem-se aumentar os fluxos de reúso e reciclagem ao longo do ciclo de vida de produtos.

Características do indicador:

- Unidade de medida é “kg”.
- Seu valor deve ser ajustado ao fluxo de referência.
- Utiliza a Equação 6b no procedimento de normalização.
- Seu valor normalizado não deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho.
- Pertinente às atividades agrícolas, agroindustriais e de descarte de resíduos.

## Consumo de Energia Elétrica

### Consumo total de energia elétrica

Avalia o consumo de energia elétrica (kWh) necessário ao funcionamento de equipamentos. Em uma produção eficiente, busca-se reduzir o consumo de energia para atender uma determinada unidade funcional.

Características do indicador:

- Unidade de medida é “kWh”;
- Seu valor deve ser ajustado ao fluxo de referência;
- Utiliza a Equação 6b no procedimento de normalização;
- Seu valor normalizado não deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho;
- Pertinente às atividades agrícolas, agroindustriais e de descarte de resíduos.

## Consumo de Combustíveis

### Quantidade total de combustíveis

Avalia o volume de combustível (gasolina, diesel, gás natural, carvão mineral, biocombustível), utilizado por máquinas ou veículos. Em uma produção eficiente, busca-se reduzir o consumo de combustível para atender uma determinada unidade funcional.

Características do indicador:

- unidade de medida é “L”.
- seu valor deve ser ajustado ao fluxo de referência.
- utiliza a Equação 6b no procedimento de normalização;
- seu valor normalizado não deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho;
- pertinente às atividades agrícolas, agroindustriais e de descarte de resíduos.

### Quantidade de combustível fóssil

Avalia quanto do total de combustível consumido é de fontes fósseis, utilizado por máquinas ou veículos. O consumo de combustíveis fósseis deve ser minimizado, pois além de constituírem fontes não-renováveis de energia, quando queimados, liberam gases de efeito estufa. Apesar da queima de biocombustíveis também emitir gases de efeito estufa, por serem renováveis os biocombustíveis sequestram carbono, reduzindo as emissões, quando considerado o balanço total de carbono.

Esse indicador é apresentado na avaliação dos princípios de eficiência tecnológica (critério “consumo de energia”) e de conservação do ar, para uma etapa de avaliação. Entretanto é contabilizado apenas uma vez no cômputo do IDA<sub>e</sub> e do IDA<sub>r</sub>, que envolve todas as etapas.

Características do indicador:

- Unidade de medida é “L”.
- Seu valor deve ser ajustado ao fluxo de referência.
- Utiliza a Equação 6b no procedimento de normalização.
- Seu valor normalizado não deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho.
- Pertinente às atividades agrícolas, agroindustriais e de descarte de resíduos.

### **Percentual de combustível não proveniente de resíduo ou resto vegetal**

Avalia quanto do total de combustível consumido, que não é proveniente de resíduos ou restos vegetais, utilizado por máquinas ou veículos. A reutilização de resíduos deve ser perseguida como um critério de ecoeficiência.

Características do indicador:

- Unidade de medida é “L”.
- Seu valor deve ser ajustado ao fluxo de referência.
- Utiliza a Equação 6b no procedimento de normalização.
- Seu valor normalizado não deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho.
- Pertinente às atividades agrícolas, agroindustriais e de descarte de resíduos.

## **Consumo de Água**

### **Volume total de água**

Avalia o volume de água de processo, não inerente à massa do produto. Embora a água seja um bem renovável, é escassa em muitas regiões, em especial no Semi-Árido nordestino, devendo seu uso ser minimizado, sempre que viável.

Características do indicador:

- Unidade de medida é “L”.
- Seu valor deve ser ajustado ao fluxo de referência.
- Utiliza a Equação 6b no procedimento de normalização.
- Seu valor normalizado deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho.
- Pertinente às atividades agrícolas, agroindustriais e de descarte de resíduos.

### **Volume da água que não é reutilizada**

Avalia o volume de água utilizado, que não é proveniente de reúso. O reúso de água segue os princípios de ecoeficiência e da ecologia industrial, além de reduzir a demanda por esse escasso recurso.

Características do indicador:

- Unidade de medida é "L".
- Seu valor deve ser ajustado ao fluxo de referência.
- Utiliza a Equação 6b no procedimento de normalização.
- Seu valor normalizado deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho.
- Pertinente às atividades agrícolas, agroindustriais e de descarte de resíduos.

## Gestão da Cobertura Vegetal

### Área desmatada

Avalia a área desmatada necessária ao desenvolvimento de uma etapa do ciclo de vida de um produto ou processo. A modificação no uso da terra, considerando a sua condição natural inicial, elimina ou reduz a cobertura vegetal e a biodiversidade da região.

Características do indicador:

- Unidade de medida é "m<sup>2</sup>".
- Seu valor deve ser ajustado ao fluxo de referência.
- Utiliza a Equação 6b no procedimento de normalização.
- Seu valor normalizado deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho.
- Pertinente às atividades agrícolas e de descarte de resíduos.

### Área recuperada

Avalia a área recuperada de solos e, ou, vegetação. A recuperação vai além da conservação ambiental, restaurando ou regenerando áreas degradadas e contribuindo para o aumento da biodiversidade.

Características do indicador:

- Unidade de medida é "m<sup>2</sup>".
- Seu valor deve ser ajustado ao fluxo de referência.
- Utiliza a Equação 6a no procedimento de normalização.
- Seu valor normalizado deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho.
- Pertinente às atividades agrícolas e de descarte de resíduos.

## Consumo de Fertilizantes

### Quantidade de macronutrientes

Avalia a massa de macronutrientes utilizada em uma atividade agrícola. Constituem-se macronutrientes, fertilizantes contendo uma ou mais das seguintes substâncias: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre. O excesso de macronutrientes altera as características físico químicas do solo, podendo inibir a

absorção de nutrientes pela planta, comprometendo a produção vegetal. A aplicação de nitrogênio contribui para a liberação de gases de efeito estufa e para acidificação do solo, enquanto o uso de nitrogênio e fósforo na agricultura contribui para o processo de eutrofização de lagos. Assim, o uso de macronutrientes deve ser minimizado.

Características do indicador:

- Unidade de medida é “g”.
- Seu valor deve ser ajustado ao fluxo de referência.
- Utiliza a Equação 6b no procedimento de normalização.
- Seu valor normalizado deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho.
- Pertinente às atividades agrícolas.

### Quantidade de micronutrientes

Avalia a massa de micronutrientes utilizada em uma atividade agrícola. Constituem-se micronutrientes, fertilizantes contendo uma ou mais das seguintes substâncias: boro, cobalto, zinco, ferro, manganês, molibdênio e cobre. O excesso de micronutrientes altera as características físico-químicas do solo, podendo inibir a absorção de nutrientes pela planta, comprometendo a produção vegetal. O excesso de micronutriente aplicado ao solo acarreta efeito residual, sendo carregado aos corpos d’água pela erosão ou lixiviação. Assim, o uso de micronutrientes deve ser minimizado.

Características do indicador:

- Unidade de medida é “g”.
- Seu valor deve ser ajustado ao fluxo de referência.
- Utiliza a Equação 6b no procedimento de normalização.
- Seu valor normalizado deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho.
- Pertinente às atividades agrícolas.

## Consumo de Agrotóxico

### Quantidade de agrotóxico

Avalia a massa de agrotóxico por classe de toxidez (I – muito alta; II - alta; III – média; IV - baixa). À quantidade de agrotóxico de classe I, é multiplicado um fator de ponderação de 0,4, à quantidade de classe II, um fator de 0,3, à quantidade de classe III, um fator de 0,2, e a uma quantidade de classe IV, um fator de 0,1. O uso de agrotóxicos causa contaminação ambiental, devendo ser reduzido seu consumo, principalmente quando é do tipo mais tóxico.

Características do indicador:

- Unidade de medida é “g”.
- Seu valor deve ser ajustado ao fluxo de referência.
- Utiliza a Equação 6b no procedimento de normalização.
- Seu valor normalizado deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho.
- Pertinente às atividades agrícolas.

## Durabilidade do Produto

### Vida útil do produto

Avalia o tempo limite que um produto pode estar disponível para consumo. Deve ser utilizado na etapa de uso do produto. A durabilidade é um princípio de ecoeficiência, que contribui para redução do desperdício.

Características do indicador:

- Unidade de medida é “dias”.
- Seu valor não deve ser ajustado ao fluxo de referência.
- Utiliza a Equação 6a no procedimento de normalização.
- Seu valor normalizado não deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho.
- Pertinente às atividades agrícolas e agroindustriais.

## Uso de Organismo Geneticamente Modificado (OGM)

### Classe de risco do organismo

Avalia a classe de risco do produto tecnológico em estudo, na etapa de consumo do produto. Deve assumir um dos seguintes valores:

- O organismo não é geneticamente modificado ou é OGM de baixo risco individual e baixo risco para a coletividade.
- Moderado risco individual e baixo risco para a coletividade.
- Alto risco individual e risco moderado para a coletividade.
- Alto risco individual e alto risco para a coletividade.

Organismos geneticamente modificados, ao serem cultivados, têm potencial de alterar a biodiversidade da região onde são inseridos, sendo esse potencial maior, quanto maior a classe de risco determinada pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança – CTNBio.

Características do indicador:

- Seu valor não deve ser ajustado ao fluxo de referência;
- Utiliza a Equação 6a no procedimento de normalização;
- Seu valor normalizado deve ser ponderado pelo IVA da bacia (para valores  $> 1$ ), caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho;
- Pertinente às atividades agrícolas.

## Uso de Aditivos em Alimentos

### Limite no total de aditivos

Avalia a tolerância humana aos aditivos utilizados em alimentos, pela soma das quantidades máximas permitidas de cada aditivo utilizado (Maximum Use Level), de acordo com os limites presentes no Codex Alimentarius (FAO; WHO 2008). Aditivos em alimentos podem ser nutricionais, sensoriais, conservantes ou



auxiliares no processamento do alimento. Aditivos em alimentos oferecem riscos à saúde, podendo provocar intoxicação a curto e longo prazo. Quanto menor o limite imposto a um aditivo na composição de um alimento, maior o risco oferecido à saúde humana.

Características do indicador:

- Unidade de medida é “g por kg de alimento”.
- Seu valor não deve ser ajustado ao fluxo de referência.
- Utiliza a Equação 6a no procedimento de normalização.
- Seu valor normalizado não deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho.
- Pertinente às atividades agroindustriais.

## Geração de Resíduos Sólidos

### Quantidade total de resíduos

Avalia a massa de resíduos sólidos gerados. Geração de resíduos indica desperdício de materiais e energia ao longo do ciclo de vida de um produto.

Características do indicador:

- Unidade de medida é “kg”.
- Seu valor deve ser ajustado ao fluxo de referência.
- Utiliza a Equação 6b no procedimento de normalização.
- Seu valor normalizado deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho.
- Pertinente às atividades agrícolas, agroindustriais e de descarte de resíduos.

### Quantidade de resíduo perigoso

Avalia a massa de resíduo que é perigoso (Classe I, pela NBR 10004 (ABNT, 2004)). Os resíduos perigosos possuem um maior potencial de contaminação ambiental, devendo ser minimizados.

Características do indicador:

- Unidade de medida é “kg”.
- Seu valor deve ser ajustado ao fluxo de referência.
- Utiliza a Equação 6b no procedimento de normalização.
- Seu valor normalizado deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho.
- Pertinente às atividades agrícolas, agroindustriais e de descarte de resíduos.

### Quantidade de resíduo não reciclável ou reutilizável

Avalia a massa de resíduo que não pode ser reutilizada ou reciclada. De acordo com os princípios de ecoeficiência e ecologia industrial, os fluxos reuso e reciclagem devem ser maximizados ao longo do ciclo de vida de um produto, pois reduzem o consumo de materiais e energia, além das emissões relacionados à disposição final.

Características do indicador:

- Unidade de medida é “kg”.
- Seu valor deve ser ajustado ao fluxo de referência.
- Utiliza a Equação 6b no procedimento de normalização.
- Seu valor normalizado deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho.
- Pertinente às atividades agrícolas, agroindustriais e de descarte de resíduos.

## Erosão e Compactação

### Área de solo exposto

Avalia a área agrícola, sem cobertura vegetal, exposta às intempéries do clima. A exposição do solo contribui para a erosão, também acarretando o assoreamento de rios e lagos.

Características do indicador:

- Unidade de medida é “m<sup>2</sup>”.
- Seu valor deve ser ajustado ao fluxo de referência.
- Utiliza a Equação 6b no procedimento de normalização.
- Seu valor normalizado deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho.
- Pertinente às atividades agrícolas.

### Área de solo sujeita à mecanização

Avalia a área de uma propriedade agrícola sujeita ao uso de tratores e outros veículos mecanizados, devido aos tratamentos culturais necessários ao cultivo. O uso de maquinário na produção agrícola contribui para a compactação do solo, intensificando processos erosivos e de salinização do solo.

Características do indicador:

- Unidade de medida é “m<sup>2</sup>”.
- Seu valor deve ser ajustado ao fluxo de referência.
- Utiliza a Equação 6b no procedimento de normalização.
- Seu valor normalizado deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho.
- Pertinente às atividades agrícolas.

## Qualidade da Água de Irrigação

### Salinidade da água de irrigação

Avalia a salinidade da água utilizada na irrigação por meio da análise da condutividade elétrica (CE). Essa avaliação deve ser feita quando o produto ou processo em estudo requerer o uso de irrigação em uma ou mais etapas do seu ciclo de vida. A salinidade da água de irrigação pode levar à salinização do solo.

Conforme Ayers e Westcot (1991), o valor de CE deve ser analisado quanto ao risco de salinidade da água de irrigação:

- CE > 3 dS/m, risco de “problema severo”.
- CE entre 0,7 e 3 dS/m, risco de “problema moderado”.
- CE < 0,7 dS/m, “nenhum problema”.

Características do indicador:

- Unidade de medida é “dS/m”.
- Seu valor não deve ser ajustado ao fluxo de referência.
- Utiliza a Equação 6b no procedimento de normalização.
- Seu valor normalizado deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho.
- Pertinente às atividades agrícolas.

## Sodicidade da água de irrigação

Avalia a sodicidade da água utilizada na irrigação por meio da análise da condutividade elétrica (CE) e razão de adsorção de sódio (RAS). Essa avaliação deve ser feita quando a produto ou processo em estudo requerer o uso de irrigação em uma ou mais etapas do seu ciclo de vida. Os valores médios de CE e RAS devem ser analisados quanto ao risco de sodicidade da água de irrigação, conforme Ayers e Westcot (1991). O valor atribuído ao desempenho ambiental desse indicador deve ser:

- 0, caso a classe de sodicidade aponte “problemas severos”.
- 50, caso aponte “problemas crescentes”.
- 100, caso aponte “sem problemas”.

Características do indicador:

- Seu valor não deve ser ajustado ao fluxo de referência.
- Utiliza a Equação 6b no procedimento de normalização.
- Seu valor normalizado deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho.
- Pertinente às atividades agrícolas.

## Queima de Resíduos

### Área agrícola queimada

Avalia a área agrícola que foi queimada para produção agrícola. A queima de resíduos libera gases de efeito estufa e deve ser evitada.

Esse indicador deve ser utilizado quando a queima de restos vegetais for uma atividade necessária ao produto ou processo em estudo.

Características do indicador:

- Unidade de medida é “m<sup>2</sup>”.
- Seu valor deve ser ajustado ao fluxo de referência.
- Utiliza a Equação 6b no procedimento de normalização.
- Seu valor normalizado não deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho.
- Pertinente às atividades agrícolas.

## Quantidade de resíduo descartado e queimado

Avalia a massa de resíduo cujo destino final é a queima descontrolada, sem utilização em nenhum processo produtivo. A queima de resíduos libera gases de efeito estufa e deve ser evitada.

Restos culturais que foram retirados do campo, amontoados e queimados, devem ser computados nesse indicador e não no indicador "Área queimada". Restos culturais que são queimados em caldeiras devem ser computados no indicador "Quantidade de combustível não proveniente de resíduo ou resto vegetal".

Características do indicador:

- Unidade de medida é "kg".
- Seu valor não deve ser ajustado ao fluxo de referência.
- Utiliza a Equação 6b no procedimento de normalização.
- Seu valor normalizado não deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho.
- Pertinente às atividades agrícolas, agroindustrias e de descarte de resíduos.

## Geração de Efluentes

(Indicadores 15.1 DQO; 15.2 DBO; 15.3 SST; 15.4 Nitrogênio Total Kjeldahl; 15.5 Fósforo Total; 15.6 Óleos e graxas)

Avalia a carga poluidora dos efluentes não reutilizados ao longo do ciclo de vida de um produto ou processo.

A carga é obtida multiplicando-se a concentração de um poluente pelo volume de efluente gerado, para cada um dos seguintes poluentes: Demanda química de oxigênio (DQO); Demanda bioquímica de oxigênio (DBO); Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK); Fósforo Total (FT); Sólidos Suspensos Totais (SST); e, Óleos e Graxas (OG).

Efluentes de atividades agroindustriais são, usualmente, ricos em matéria orgânica e nutrientes, e tendem a apresentar valores elevados de DQO, DBO, sólidos suspensos totais, óleos e graxas, fósforo total e nitrogênio total Kjeldahl. Esse tipo de efluente contribui para o desequilíbrio da biota aquática, pela redução da quantidade de oxigênio disponível no meio, aumento da turbidez e assoreamento de corpos d'água. A Portaria 154 da Superintendência de Meio Ambiente do Estado do Ceará (SEMACE), 22/07/2002 padroniza o lançamento de efluentes industriais, estipulando valores limites para os parâmetros DQO, DBO, sólidos suspensos totais e óleos e graxas, sendo importante considerá-los.

Características do indicador:

- unidade de medida é "g";
- seu valor deve ser ajustado ao fluxo de referência;
- utiliza a Equação 6b no procedimento de normalização;
- seu valor normalizado deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho;
- pertinente às atividades agrícolas, agro-industrias e de descarte de resíduos.

## CE do efluente sem uso

Avalia a concentração de sais de um efluente que não é reutilizado. A CE é uma medida da salinidade de um efluente, que ao ser lançado ao solo ou em corpos d'água, contribui para salinização do solo ou da água.

Características do indicador:

- Unidade de medida é “dS/m”.
- Seu valor não deve ser ajustado ao fluxo de referência.
- Utiliza a Equação 6b no procedimento de normalização.
- Seu valor normalizado deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho.
- Pertinente às atividades agrícolas, agroindustrias e de descarte de resíduos.

## **Volume do efluente não reutilizado**

Avalia o volume do efluente que não é utilizado em algum processo produtivo, como por exemplo, para irrigação ou geração de energia. O uso de efluentes em outros processos está de acordo com os princípios de ecoeficiência e ecologia industrial, além de reduzir as pressões sobre os mananciais de abastecimento.

Características do indicador:

- Unidade de medida é “L”.
- Seu valor deve ser ajustado ao fluxo de referência.
- Utiliza a Equação 6b no procedimento de normalização.
- Seu valor normalizado deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho.
- Pertinente às atividades agrícolas, agroindustrias e de descarte de resíduos.

## **Aterramento de Resíduo Orgânico**

### **Quantidade de resíduo orgânico aterrado**

Avalia a massa de resíduo orgânico cujo destino final é o aterramento em lixão ou aterro sanitário. A decomposição anaeróbia de resíduos orgânicos ocasiona a liberação de gases de efeito estufa, além de aumentar o volume de chorume nos aterros, devendo ser evitada.

Características do indicador:

- Unidade de medida é “kg”.
- Seu valor deve ser ajustado ao fluxo de referência.
- Utiliza a Equação 6b no procedimento de normalização.
- Seu valor normalizado deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho.
- Pertinente às atividades de descarte de resíduos.

## Irrigação por Inundação

### Área agrícola irrigada inundada

Avalia a área agrícola que utiliza como técnica de irrigação a inundação. O cultivo com inundação acarreta a liberação de gases de efeito estufa pela degradação anaeróbia de matéria orgânica, devendo o uso dessa técnica ser reduzida.

Características do indicador:

- Unidade de medida é “m<sup>2</sup>”.
- Seu valor deve ser ajustado ao fluxo de referência.
- Utiliza a Equação 6b no procedimento de normalização.
- Seu valor normalizado não deve ser ponderado pelo IVA da bacia, caso a análise de vulnerabilidade integre a análise de desempenho.
- Pertinente às atividades agrícolas.



---

*Agroindústria Tropical*

Ministério da  
Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento

