

# Elaboração de indicadores ambientais relacionados à saúde: análise crítica e proposta de melhoria

Cláudia V. Viegas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento,  
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC),  
Trindade / Caixa Postal: 476 - Florianópolis/SC - 88040-900  
Fone: (+55 48) 331-7121  
e-mail: claudiav@egc.ufsc.br

## Resumo

Metodologias de elaboração de indicadores ambientais relacionados à saúde enfrentam um impasse marcado, por um lado, pela excessiva especificidade de estudos epidemiológicos, relacionados a fatores ambientais e seus efeitos à saúde e, por outro, pela generalização expressa em *frameworks* utilizados por agências governamentais internacionais do setor. Embora sirvam para a compreensão de realidades isoladas, com riqueza de elementos de análise, estudos epidemiológicos não apresentam bases adequadas à construção de modelos genéricos. As características hierárquica, complexa e adaptativa dos sistemas ambientais, exigem, necessariamente, uma aproximação das metodologias genéricas e específicas, com vistas à sua revisão e busca de novas formas de modelagem de conhecimentos nelas embutidos. Em contrapartida aos estudos específicos, quadros de referência genéricos de causa e efeito para a estruturação de indicadores relacionais entre fatores ambientais e condições de saúde deixam de incorporar avanços científicos, como os das áreas de ecotoxicologia e bioindicadores. A desconsideração desses avanços, as distâncias entre as concepções estritamente científicas, no âmbito dos ecossistemas, e as concepções gerenciais, que têm a tarefa de adequar as demandas científicas às políticas públicas, são restrições à construção mais adequada de indicadores ambientais relacionados à saúde. Os objetivos deste artigo são: revisar conceitos de indicadores ambientais associados à saúde, apresentar os principais *frameworks* que guiam a estruturação de tais indicadores, abordar critérios e restrições à sua elaboração, apresentar diretrizes para a sua classificação e os avanços registrados nesta área, além de propor a aproximação entre as concepções científicas e gerenciais que os envolvem.

# Palavras-chave

Indicadores ambientais; indicadores de saúde; modelos.

## Abstract

### **Necessary improvements to elaborate environmental indicators concerning health issues**

Environmental indicators' methodologies concerning health issues face a deadlock marked, on the one side, by epidemiologic studies' excessive specificity, and, on the other side, by excessive generalisation expressed in governmental international agencies *frameworks*. Even though epidemiologic studies lead to isolated realities comprehension, giving a great amount of analysis elements, they have not adequate references to build generic models. Hierarchic, complex and adaptative features of environmental systems require an approach of egeneric and specific methodologies, aiming their own revision and searching of new modelling knowledges themselves embedded. In counterpart to specific studies, generic frameworks of causes and effects to structure indicators linking environmental and health issues do not incorporate scientific progress, specially in ecotoxicology and bioindicators fields. Dismissing of these progress, distance between scientific narrow conceptions, in ecosystems level, and managerial conceptions, which have the task to equalise scientific demands to public policies, arise as constrains to a better environmental indicators' building concerning health issues. This article proposes: a revision of environmental indicators concepts related to health; a presentation of major frameworks which guide such a indicators structuring; an approach of requirements and constrains to elaboration of these kinds of indicators; a presentation of classification directions and improvements in this fiels; and an approximation between scientific and managerial conceptions which evolve them.

## Key words

Environmental indicators; health indicators; models.

# Introdução

A elaboração de indicadores ambientais relacionados à saúde é uma tarefa difícil, na qual os esforços de natureza técnico-científica nem sempre conseguem ser incorporados de modo efetivo a ponto de responderem, simultaneamente, a exigências como capacidade de observação e controle de fatos relevantes em um ecossistema, clareza de comunicação e demandas de políticas públicas de saúde. O presente artigo propõe a discussão de impasses relacionados à elaboração de tais tipos de indicadores revisando conceitos, estruturas, diretrizes de classificação e entraves referentes à aproximação entre aspectos científicos e gerenciais implicados na concepção desses indicadores.

Na seção 2, são introduzidos e discutidos conceitos de indicadores ambientais relacionados à saúde; são tratadas as dimensões e formas de abordagem desses indicadores, ressaltando-se as dificuldades para a sua construção, dada, principalmente, a necessidade de incorporarem diferentes disciplinas e avanços nelas presentes; é abordada a insuficiência de métodos de construção de indicadores de relação entre meio ambiente e saúde, como os estudos epidemiológicos, que sofrem de restrições no sentido de se generalizarem seus resultados, apesar de responderem detalhadamente à representação de relações de causa e efeito entre fatores ambientais e saúde em situações bem localizadas; é introduzida e caracterizada a noção de espécie indicadora como forma de traduzir as influências do meio sobre diferentes espécies que impactam, direta ou indiretamente, as condições de saúde humana.

Na seção 3, são apresentados os principais *frameworks* que caracterizam genericamente relações de causa e efeito entre meio ambiente e saúde, sendo os mesmos desenvolvidos e adotados no âmbito de agências governamentais do setor.

Na seção 4, são tratados os critérios para a elaboração de indicadores ambientais relacionados à saúde, associando-os a aspectos de tomada de decisão (nível gerencial). São mencionadas as questões metas, custos (em relação a espécies e em relação a gastos de obtenção de dados), bases conceituais, disponibilidade de dados, restrições do meio, interpretação (objetividade e subjetividade), escolha do tipo e estágio do ciclo de vida de espécies, variabilidade de populações expostas e efeitos cumulativos.

Na seção 5, são apresentadas classificações de indicadores ambientais relativos à saúde, levando-se em considerações ecossistemas e suas espécies, relações entre eventos e sinais; balanços de entrada/saída de insumos; cronicidade; presença ou não de fatores causais, naturalmente, em um dado ecossistema; e questões de relevância dos eventos que ocorrem no meio ambiente para os humanos.

Na seção 6, são apresentados alguns avanços na construção de indicadores ambientais associados à saúde, é proposta uma forma de seleção de critérios para elaborá-los, apontando-se a necessidade de inserir tais critérios em uma dimensão gerencial.

## 1. Conceitos, formas de abordagem e restrições

É consenso entre especialistas que indicadores devem sempre obedecer ao critério de comunicar com a maior clareza e precisão e da forma mais simples possível um estado do que

se deseja representar (diagnóstico) ou obter (prognóstico). Contudo, quando se trata de indicadores ambientais relacionados à saúde, entram em cena fatores complexos que geralmente fogem à previsibilidade e às capacidades de controle e observação, simultaneamente. Patten (2005) assinala que a elaboração deste tipo de indicadores é uma questão complexa e técnica, o que justifica esforços na tentativa de um tratamento mais compreensível do tema.

Segundo Folan e Browne (2005), indicadores refletem processos que estão encaixados uns nos outros e, quando isolados, são superficiais. Ganham expressividade enquanto sistemas que requerem medidas formais e multifatoriais. Para Müller e Lenz (2005, p.2), “indicadores são tentativas de reduzir a complexidade, evitar medidas muito complicadas e selecionar métodos simples”. Contextualizados na área ambiental, relativizados ao âmbito de eventos que têm potencial impacto sobre a saúde, tais indicadores são também chamados “ecológicos”. Patten (2005) afirma que indicador ecológico é uma característica do ambiente que, quando medida, quantifica a magnitude do estresse, as características do habitat, o grau de exposição a um agente estressor, ou uma resposta ecológica a uma exposição. Conforme este autor, esses indicadores devem resumir, de forma simples, condições e mudanças em processos e produtos significativos dos ecossistemas.

Numa definição mais formal, Patten assinala que:

indicadores ecológicos são variáveis científicas destinadas a dar uma rápida e fácil informação que reflita o estado dos sistemas ecológicos em termos de significado, a fim de avaliar-se a saúde, a vitalidade, a sustentabilidade e a capacidade de prover os recursos necessários ou desempenhar as funções necessárias e outras características (PATTEN, 2005, p.2).

Rice (2003) prefere a denominação “indicadores do estado de um ecossistema”, e os caracteriza como sendo os que têm o papel de comunicar e de servir de suporte à decisão. Para este autor, indicadores assim podem ser simplesmente informativos, sem valores de confiabilidade, juízos ou benefícios a eles associados, e podem ser mesmo insensíveis a fatores que os usuários acreditam estarem nele refletidos. Com isto, Rice (2003) destaca a necessidade de se observarem e registrarem sinais confiáveis do meio ambiente, para somente então selecionar, a partir deles, os melhores indicadores de estados de ecossistemas doravante chamados também indicadores ambientais.

Müller e Lenz (2005) acreditam que a consistência dos indicadores ambientais depende, em boa parte, de estarem baseados em teorias dos ecossistemas, ou seja, em bases conceituais adequadas e robustas. Eles explicam que o estado recente dessas teorias pode ser caracterizado por uma intensificação do desenvolvimento de processos de entidades ecológicas, numa combinação com os conceitos da termodinâmica, da teoria das redes<sup>1</sup> e sinergia. Müller e Lenz (2005) reconhecem que, embora tais abordagens pareçam estar muito longe do ambiente real dos objetos, elas oferecem muitas idéias para a derivação de conjuntos de indicadores consistentes.

---

<sup>1</sup> Teoria das redes é um ramo da Matemática e da Física aplicada com o mesmo objeto de interesse geral, ou seja, os grafos informalmente, conjunto de objetos ligados por vértices e bordas que guardam relações entre si. A teoria das redes preocupa-se com o estudo dos grafos enquanto representações de relações simétricas ou, mais genericamente, de relações assimétricas entre objetos discretos. Os grafos relativos a essa teoria formam redes complexas, sendo exemplos delas a World Wide Web, a Internet, as redes regulatórias de genes, as redes metabólicas, as redes sociais e as redes epistemológicas (WIKIPEDIA, 2006).

O recorte dos indicadores ambientais em escalas é importante porque traduz uma abordagem sistemática de como se vai dirigi-los como instrumentos de investigação e expressão de respostas a fenômenos e situações que necessitam ser compreendidos passo a passo a fim de melhorar-se o gerenciamento de políticas específicas ambientais (gerais), agrícolas, de pesca, de saúde, de transportes etc. Patten (2005) refere-se a indicadores de macroescala que levam em conta fenômenos ambientais globais buscando medidas neste nível, como, por exemplo, a temperatura média da superfície terrestre; de mesoescala que consideram os efeitos dos fenômenos globais em escalas médias, como, por exemplo, a concentração de dióxido de carbono em diferentes regiões, causada pela elevação da temperatura média da superfície terrestre; e de microescala que consideram os efeitos localizados de fenômenos globais, como a situação da biodiversidade de espécies em um determinado ecossistema afetado pelo aumento das temperaturas médias da superfície terrestre e da conseqüente elevação da concentração de dióxido de carbono.

Tradicionalmente, a pesquisa que possibilita a construção de indicadores ambientais associados à saúde vale-se de estudos epidemiológicos, ou seja, relativos aos fatores que afetam as condições de saúde e doença de indivíduos e populações e que servem de fundamento lógico para intervenções de interesse público em aspectos de medicina preventiva (WIKIPEDIA b, 2006). Tais estudos, em que pese sua possibilidade de riqueza em termos de detalhamento da descrição de situações e sua consistência na elaboração de indicadores de forte correlação - fatores ambientais associados a causas de doenças - são limitados a um determinado meio geográfico e não possibilitam generalizações.

Um exemplo recente deste tipo de estudo é o de Zhao et al. (2005), que relaciona a incidência de câncer de pulmão em populações chinesas à exposição a fatores ambientais, como ar interno das residências, uso intensivo de carvão para cozinhar ou para aquecer o ambiente e uso de certos tipos de óleo de cozinha, além de hábito do tabagismo. Trata-se de uma pesquisa fortemente amparada em métodos estatísticos probabilísticos, que conclui que a poluição do ar e a exposição a certos fatores ambientais em ambiente internos pode aumentar a incidência de câncer de pulmão. Contudo, não se consegue, unicamente, a partir deste tipo de abordagem, estruturar um *framework* generalizável que valide situações muito diversas de relação entre fatores ambientais e conseqüências à saúde.

Apesar das diversas críticas aos estudos epidemiológicos para a construção de indicadores ambientais relacionados ao meio ambiente, eles são valiosos para indicar efeitos nocivos de substâncias a grupos muito específicos de indivíduos. Segundo Neal Barnard, presidente do Comitê Médico por uma Medicina Responsável, dos Estados Unidos, utilizando diferentes espécies em diferentes projetos, os cientistas podem encontrar evidências que sustentam qualquer teoria nesses estudos. No caso do cigarro, tanto as provas de que o tabaco é cancerígeno, quanto as que asseguram a sua inocência, valeram-se de animais como base experimental (BARNARD, 2002). Foram, portanto, necessários estudos com populações e sob condições diversas para invalidar essas ambigüidades - daí o argumento de relevância dos estudos epidemiológicos. O problema, para efeito de modelagem, é justamente que não se consegue generalizar a partir deste tipo de pesquisa.

Uma sofisticação com relação a tal abordagem tradicional de estudos epidemiológicos é a combinação de métodos determinísticos e probabilísticos. Gay e Korre (2005), por exemplo, propõem uma metodologia que combina avaliação quantitativa probabilística e métodos espaciais estatísticos para avaliação de riscos à saúde humana por exposição ao solo contaminado. O método preserva a distribuição de riscos e a medida de incerteza na avaliação, sendo, do ponto de vista do estabelecimento de correlações, mais consistente. Porém, não escapa à mesma abordagem tradicional/localizada.

Medina (2004) considera, como relação entre indicadores de meio ambiente e saúde, o conceito de espécie indicadora:

[...] um organismo cujas características (presença/ausência, densidade populacional, dispersão, sucesso reprodutivo etc) são usadas como um índice de atributos muito difíceis, inconvenientes ou caros de se medir para outras espécies ou condições ambientais de interesse (MEDINA, 2004).

Apesar da amplitude envolvida no conceito deste tipo de indicador o que o torna de difícil manipulação, a autora aponta a existência de algumas variações que se podem utilizar, entre as quais se incluem as espécies indicadoras da saúde do ambiente,

[...] as quais são usadas para acessar efeitos de poluentes ou processos do ecossistema e condições ambientais físicas em organismos. Pode ser uma única espécie ou uma guilda. Normalmente são invertebrados como, por exemplo, os filtradores, que acumulam poluentes em determinados tecidos (MEDINA, 2004).

Tais espécies seriam analisadas conforme seus atributos de medida, características de história de vida, características ecológicas, raridade e sensibilidade às mudanças ambientais.

Por envolver diversas áreas de conhecimento e fomentar relações entre elas que dão margem até mesmo ao surgimento de novas disciplinas, o processo de elaboração de indicadores ambientais relacionados à saúde está, de fato, alinhado a tendências emergentes no campo teórico das metodologias de construção de indicadores. Evoluções de diferentes disciplinas relativas a meio ambiente e saúde levam ao surgimento de avanços na área de indicadores. Como exemplo, cita-se o termo “ecotoxicogenoma”, cunhado por Snape et al. (2004, apud BREITHOLTZ et al., 2005) para descrever a integração entre qualidade do genoma e ecotoxicologia em um mesmo indicador, o que denota uma profunda integração entre aspectos da saúde humana e das condições ambientais em um indicador útil a um campo estendido de organizações do setor público (de saúde e controle ambiental, por exemplo) e mesmo a empresas privadas, que podem incorporar tal conceito à medição de algum aspecto de seus processos ou produtos.

Um fundamento importante dentro das tendências emergentes em indicadores ambientais é o binômio controlável/observável. Esses conceitos, introduzidos por Kalman (1960 e 1963, apud PATTEN, 2005) e Kalman et al. (1961, apud PATTEN, 2005), servem para explorar aparentes anomalias no comportamento dinâmico dos sistemas e para testar a existência de soluções visando à otimização dinâmica de problemas. Patten (2005) explica que a capacidade de controle refere-se ao atingimento, num tempo futuro, de estados interiores que residem na saída de ambientes originados em pontos de entrada de um sistema, ou seja, é sempre prospectiva. Já a capacidade de observação é referente a tempos passados (retrospectiva) de estados de entrada de um sistema. “Existe uma correspondência exata entre 'controlabilidade' e 'observabilidade' (*sic*), sendo ambas instrumentos de gestão” (PATTEN, 2005, p.11).

Mais recentemente, vêm-se destacando dois grupos de indicadores que relacionam meio ambiente a saúde: os que respondem a problemas já estruturados em termos de políticas públicas, como os indicadores agroambientais, e os que lidam com o estado-da-arte na fronteira da ciência, como os bioindicadores ou biomarcadores. Segundo Yli-Viikari et al. (2005), indicadores agroambientais ganharam importância com as mudanças nas políticas supranacionais, pois requerem um diálogo mais próximo entre cientistas e elaboradores de

políticas públicas. Já os biomarcadores são respostas biológicas a substâncias químicas as quais possibilitam medir a exposição e, às vezes, os efeitos tóxicos da mesma (FRÄNZLE, 2005). Servem de base à chamada Avaliação de Riscos Ambientais (Environmental Risk Assessment/ERA), que, segundo Neri et al. (2006), é o vínculo entre a ciência ambiental e gestão de riscos. A ERA provê informações suficientes para a tomada de decisão com o propósito de proteger o meio ambiente de substâncias químicas não desejadas, e os bioindicadores são os instrumentos que permitem a exploração de vários mecanismos no caminho que vai da exposição aos efeitos à saúde.

“Biomarcadores são características específicas utilizadas para medir ou indicar efeitos ou progresso de uma doença ou condição” (NERI et al., 2006, p. 4). Conforme tais autores, esta espécie de indicador é adequada a avaliações de exposições a agentes tóxicos que ocorrem ao longo do tempo, visando ao estudo de interações entre genes e o meio ambiente, servindo para estabelecer se determinado perfil genético pode alterar riscos individuais de doenças e para indicar subgrupos e riscos crescentes. Fränzle (2005) ressalta que os bioindicadores são altamente variáveis, devido à suscetibilidade das espécies aos agentes estressores ambientais ser também variável.

Um estudo muito importante sobre indicadores ambientais é o de Van Bellen (2002), que compara três modelos recentes: o Ecological Footprint (pegada ecológica), o Barometer of Sustainability (barômetro de sustentabilidade) e o Dashboard of Sustainability (painel de sustentabilidade). Todos se referem à sustentabilidade de ecossistemas, sendo o primeiro focado eminentemente nas questões ecológicas, o segundo aberto a aspectos de bem-estar social e o terceiro à incorporação de variáveis de educação ambiental, diferenciando-se especialmente pela facilidade de compreensão. Para este autor, o melhor indicador é o que consegue conjugar harmonicamente as dimensões econômica, ecológica e social. Contudo, tal estudo não faz foco específico na questão da saúde.

## 2. Frameworks de estruturação

As abordagens estruturais (*frameworks*) que relacionam condições do meio ambiente e saúde partem de esquemas em nível macroestrutural e são constructos simplificados que respondem a necessidades de políticas públicas, sendo geralmente propostos por agências governamentais. Destacam-se as descritas por Corvalán et al. (1999) e Bosch et al. (1999).

Corvalán et al. (1999) discutem vínculos entre saúde, meio ambiente e desenvolvimento sustentável e apresentam uma estrutura que vai do domínio da epidemiologia ao domínio da gestão política. Conforme esses autores, forças diretivas de natureza social, econômica e política geram pressões ambientais, forçando mudanças no estado do meio ambiente e contribuindo para exposições humanas a esses estados alterados, o que gera efeitos à saúde. As pressões são potencialmente associadas com todos os estados do ciclo de vida de produtos industriais, desde a extração de matéria-prima até o processamento e a distribuição. Um estado alterado do ambiente pode gerar perigos para a saúde humana, cuja magnitude dependerá do grau de exposição a que as pessoas estão sujeitas. A exposição refere-se à intersecção entre pessoas e perigos ambientais, sendo seu nível variável de não prejudicial até não aceitável. Dado o conhecimento da exposição e o conhecimento das relações de dose-resposta, podem ser feitas estimativas dos riscos à saúde derivados de perigos

específicos. Os indicadores, nesse esquema, devem ser construídos para satisfazer necessidades de ações (políticas públicas), minimização de perigos, melhorias ambientais (monitoramento), educação (conscientização) e tratamento (reabilitação). A Figura 1 representa tal esquema.

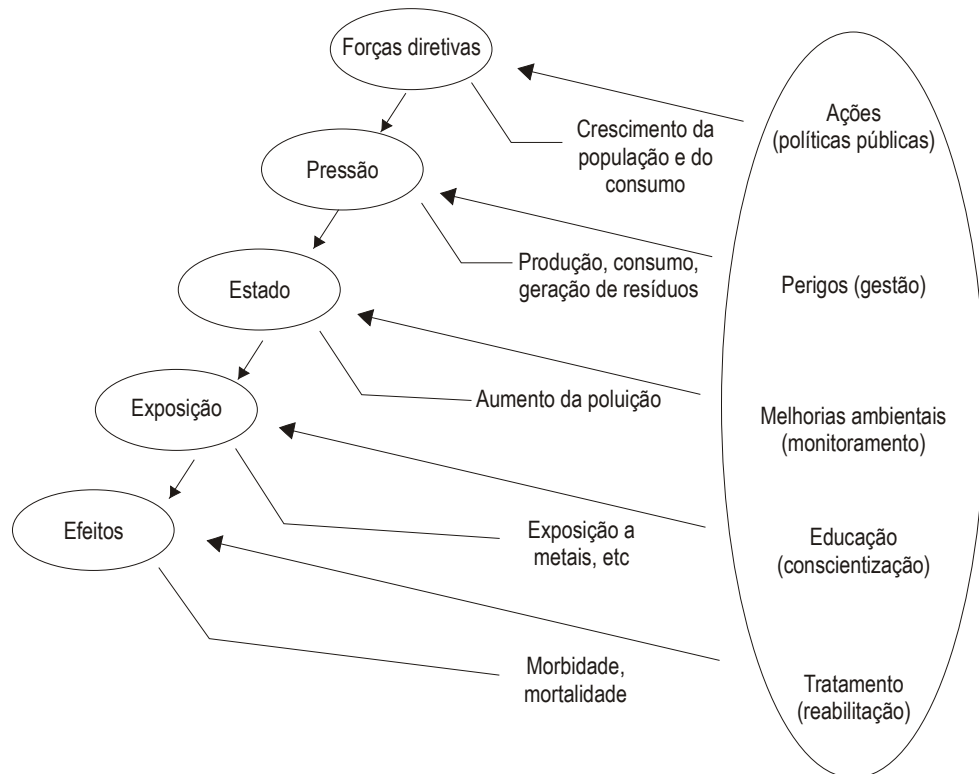


Figura 1 - Esquema de causa e efeito relacionando fatores ambientais à saúde  
 Fonte: Adaptado de Corvalán et al. (1999, p. 657)

O modelo de Bosch et al. (1999) que descreve o *framework* adotado pela Agência Europeia de Meio Ambiente (European Environmental Agency/ EEA) para esquematizar relações de causa e efeito entre exposição ambiental e saúde (1999) fornece raciocínio bastante similar ao de Corvalán et al. (1999) ao estabelecer uma trajetória lógica de construção de indicadores ambientais associados à saúde. Analisando-se o *framework*, surge o questionamento sobre como estabelecer fronteiras a cada sistema possível por ele englobado e se não seria o mesmo uma proposta de generalização de estudos localizados, replicável indefinidamente para apoiar políticas públicas.



### 3. Critérios e restrições à elaboração

A concepção de critérios para a construção de indicadores ambientais associados à questão da saúde deve ser precedida da pergunta de como eles contribuem para a tomada de decisão. Há basicamente duas abordagens. Uma é estabelecerem-se alvos associados a estados do meio ambiente que se desejam. Outra é estabelecerem-se limites além dos quais o risco de prejuízo é sério ou irreversível (RICE, 2003). Uma diretriz comum é dada por Rice: “Para ser bem-sucedidos, os indicadores devem resumir um grande número de informações técnicas em um pequeno número de valores a serem interpretados de forma não ambígua” (RICE, 2003, p. 242). O custo é também importante e não se refere sempre a fatores econômicos ou financeiros, mas a fatores de preservação de espécies, no caso de bioindicadores. Estes, segundo Breitholtz et al. (2005), são tanto melhores quanto mais relevantes ecologicamente, confiáveis, capazes de conferir resultados reprodutíveis e sensíveis à exposição.

Patten (2005) aponta os seguintes critérios como necessários à modelagem de indicadores ambientais: bases conceituais consistentes, relevância das variáveis, consideração de propriedades estatísticas, qualidade, robustez e habilidade de lidar com dados, especialmente face a mudanças tecnológicas e consideração do fator custo-benefício. Fränze (2005), além de citar esses atributos, destaca, no caso das propriedades estatísticas, a necessidade de cuidados como verificar se tais propriedades possibilitam mudanças nos valores do indicador de modo que ele permaneça com significado claro, sem ser mascarado por variabilidades naturais. Ressalta ainda a importância de compatibilizar e harmonizar dados, pois um mesmo indicador ecológico é muitas vezes composto por um conjunto de dados.

McMahon (2002), ao descrever a experiência da elaboração de indicadores de qualidade de vida que combinam fatores ambientais e de saúde para a cidade de Bristol, na Inglaterra, resume como sugestões as seguintes características para tais indicadores: serem fáceis de entender e ajudarem a simplificar informações complexas; terem ressonância e refletirem a sustentabilidade no dia-a-dia e preocupações com qualidade de vida; serem capazes de mostrar tendências ao longo do tempo e monitorarem se a mudança está indo em direção sustentável; terem flexibilidade numa sociedade de mudanças; serem capazes de permitir a comparação entre departamentos e cidades.

A definição de critérios para indicadores ambientais deve sempre levar em conta as restrições tanto do meio, objetivamente, em sua disponibilidade de dados, quanto da percepção e do julgamento dos elaboradores em relação a conjuntos muito diversos de fatores. A subjetividade, por mais que se esforce para afastá-la do processo de construção de indicadores, sempre estará presente. Rice (2003) aponta como um dos problemas nesses esforços o de definir objetivamente o que os especialistas e a sociedade consideram como aceitável/inaceitável num ecossistema. Ele ressalta que dificilmente se consegue representar adequadamente todas as espécies de uma comunidade e suas interações. Muitas vezes, pontos de referência são incorretamente identificados, ou então podem-se usar indicadores hipersensíveis ou sensíveis para fatores não relevantes, ou então a aplicação de técnicas apuradas para a obtenção de métricas com baixas taxas de erro tornar-se impraticável por razões de custos. Corre-se o risco de selecionar indicadores que falhem por informar sobre eventos que não ocorreram no mundo real, ou que forneçam falsos alarmes.

Bickerstaff e Walker (2001) destacam a importância da visibilidade de sinais para a formação de juízos sobre relações entre condições do meio ambiente e efeitos à saúde. Num estudo relacionando poluição do ar a doenças, sob o ponto de vista da percepção dos indivíduos expostos, esses autores concluíram que visibilidade é um fator de incerteza para o estabelecimento do vínculo entre condições ambientais e efeitos à saúde. Eles chamam esta restrição de dissonância cognitiva “as pessoas concordam com a presença do perigo, mas acreditam que não vai acontecer com elas” (BICKERSTAFF e WALKER, 2001, p. 142). Isto mostra que a conscientização sobre a má qualidade do ar como causa de doenças, por exemplo, está longe de ser universal. “(...) as pessoas não fazem uma correlação simples entre poluição do ar e saúde, mas listam diversos fatores nesta percepção” (BICKERSTAFF e WALKER, 2001, p.143).

Procedimentos e critérios para testes que detectam substâncias tóxicas e que, portanto, servem como indicadores de ecotoxicidade também estão na lista de restrições à elaboração de indicadores ambientais. Segundo Breitholtz et al. (2005), 95% de todas as espécies existentes são de invertebrados, mas nem sempre são utilizados, nos protocolos-padrão de testes ecotoxicológicos, os mais representativos. Também os crustáceos são pouco empregados nesses testes, embora haja mais de 30 mil espécies deles e os mesmos tenham respostas muito variáveis em relação a poluentes. Breitholtz et al. (2005) ainda apontam mais uma restrição quanto aos testes de ecotoxicidade: neles, os animais são avaliados em seu estágio adulto, perdendo-se informações cruciais dos estágios anteriores, sobre sua reprodução e dinâmicas populacionais, o que pode levar a resultados falso-negativos.

Gay e Korre (2005) citam como restrição das atuais metodologias de avaliação de riscos ambientais e composição de indicadores o fato de elas considerarem que toda uma população está exposta da mesma maneira a um determinado tipo de contaminação (GAY e KORRE, 2005, p.2).

Para Patten (2005), o problema da seleção acurada de indicadores consiste em superar a rede em que eles estão “empacotados” devido ao fato de que a organização holística do ambiente leva-os a encaixar-se.

Trazer variáveis encaixadas em profundas estruturas de sistemas complexos à superfície, por meio da escolha adequada de indicadores é suficientemente difícil (...) Como diferenciar sinal de barulho nas variáveis de indicadores torna-se um problema técnico (PATTEN, 2005, p.8).

Yli-Viikari et al. (2005), relativamente aos indicadores agroambientais, assinalam a necessidade de considerarem-se os efeitos cumulativos da exposição a poluentes ambientais. Como exemplo, citam o índice de uso de pesticidas, cuja redução, a partir de um dado momento, não implica necessariamente redução de riscos à saúde, em razão dos efeitos cumulativos dessas substâncias sobre o organismo.

Dada a multiplicidade de bases criteriosais para a elaboração de indicadores ambientais associados à saúde, torna-se relevante delimitar as situações específicas de sua aplicabilidade a fim de compor uma hierarquia de critérios (dos mais aos menos importantes) conforme tais situações. Podem-se listar, de acordo com as considerações expostas, dos diversos autores, os seguintes critérios para seleção de indicadores ambientais associados à saúde:

- influência/importância na tomada de decisão sobre uma política pública visada;
- objetivos para um contexto específico ou para um grupo de situações;
- custos em relação a espécies;
- custos econômicos de obtenção;
- coerência com bases conceituais;
- disponibilidade de dados para contextualizá-los;
- restrições do meio à sua obtenção;
- objetividade/subjetividade de interpretação;
- escolha adequada de espécies (tipo e estágio do ciclo de vida);
- variabilidade das populações expostas;
- capacidade de informar efeitos cumulativos.
- facilidade de compreensão e acessibilidade para indivíduos-alvo.

## 4. Classificação

A classificação de indicadores ambientais não é unívoca. Depende do nível de abordagem macro, meso ou microescala, das finalidades a que se destinam, do maior ou menor grau de relacionamento deles com aspectos de desempenho de gestão e da acurácia de instrumentos de captação e medição de sinais do meio ambiente.

Rice (2003) aponta quatro classes efetivas de indicadores: de espécies, de diversidade, de agregados do estado dos ecossistemas e métricas emergentes de propriedades dos ecossistemas. Indicadores de espécies apontam a sensibilidade das mesmas aos efeitos dos estados de um ecossistema. Indicadores de diversidade dizem respeito a quantas espécies diferentes existem numa coleção e ao grau de abundância em que elas ocorrem umas em relação às outras. Indicadores agregados do estado de ecossistemas consideram o espectro de biomassa neles presente e a curva de abundância das espécies. Com relação aos indicadores emergentes, Rice (2003) os subclasseia em sucessos, perdas, falsos alarmes e verdadeiros-negativos. Sucessos são indicadores de eventos que ocorreram e cujos sinais do ambiente confirmam a sua ocorrência. Perdas são indicadores de eventos que ocorreram, mas cujos sinais do meio estão associados a outros, de modo que não se consiga diferenciá-los de ruídos de fundo. Alarmes falsos são indicadores de que nada de fato ocorreu, mas sinais do ambiente informam ter ocorrido. E verdadeiros-negativos são indicadores que informam que um evento ocorreu, mas não é possível um sinal perfeito sobre esta ocorrência.

Yli-Viikari et al. (2005) identificam três tipos de indicadores para a realidade agroambiental: de fluxo baseiam-se em balanços de entradas e saídas nos agrossistemas; de estados descrevem estruturas prevalentes do sistema; e de risco que ficam numa posição intermediária entre os dois tipos anteriores. Fränzle (2005), em relação aos bioindicadores, os classifica em de efeito (reação) ou de acumulação (cronicidade). Podem também ser ativos quando são inseridos num ecossistema ou passivos quando já existem no ecossistema.

Uma classificação bastante compatível com preocupações de políticas públicas é oferecida por Bosch et al. (1999), levando em conta quatro questões que podem ser respondidas com seus respectivos tipos de indicadores: “O que está acontecendo ao meio ambiente e aos humanos?” (indicadores descritivos); “isto é importante?” (indicadores de desempenho); “estamos melhorando?” (indicadores de eficiência); “estamos empenhados na

melhoria?" (indicadores de bem-estar). Segundo Bosch et al. (1999), os descritivos são a maioria dos indicadores usados por nações, em nível internacional, e baseiam-se em descrições de situações presentes em relação às principais questões ambientais por exemplo, mudança climática, acidificação, contaminação tóxica, resíduos. Os indicadores de desempenho servem para comparar as atuais condições com um conjunto específico de condições de referência, medindo a distância entre a situação atual e a desejada são, freqüentemente, compromissos. Os indicadores de eficiência referem-se à intensidade dos fluxos de produtos e processos por geração de serviço à sociedade e ajudam a verificar se as ações adotadas e o balanço entre benefícios gerados e externalidades deles decorrentes (emissões) estão no curso adequado, segundo metas que podem mudar. E os indicadores de bem-estar ou sustentabilidade contemplam um equilíbrio amplo entre necessidades humanas e condições ambientais, sendo as experiências com os mesmos, conforme Bosch et al. (1999), relativamente recentes.

Considerando-se as abordagens expostas sobre a classificação de indicadores recém-descritas, ressalta-se a de Bosch et al. (1999) como a mais representativa dos focos de interesse humano geral. Isto porque ela compreende um roteiro de questões que, além de poder abarcar indiretamente outras abordagens sendo, portanto, geral e embutindo um potencial de especificidade é capaz, ao mesmo tempo, de ser utilizada em nível gerencial como uma espécie de *checklist* para qualquer tipo de abordagem específica que se adote.

## 5. Considerações finais: avanços e aproximação entre concepções científicas e gerenciais

Há, entre os especialistas, um consenso relativamente generalizado a respeito da limitação dos estudos de caráter epidemiológico, baseados em métodos estatísticos, como base para a construção de modelos de indicadores ambientais.

Yli-Viikari et al. (2005) acreditam que questões como biodiversidade e valorização de aspectos da paisagem na montagem de indicadores estão sendo melhor consideradas ultimamente. Breitholtz et al. (2005) indicam que a pesquisa nesta área deve dirigir-se ao desenvolvimento de metodologias mais padronizadas para testes de ecotoxicidade de substâncias não solúveis em água, pois a maioria dos testes dessa natureza, hoje, são adequados apenas para substâncias solúveis. "É importante que os testes possibilitem o desenvolvimento de estratégias viáveis para um grande número de substâncias químicas previamente não testadas" (BREITHOLTZ et al., 2005, p.7).

Neri et al. (2006) apontam as seguintes tendências de avanços para os indicadores ambientais: geração de amplos conjuntos de dados sobre exposição e sua relação com a saúde; aumento das chances de detecção de tendências espaciais e temporais; possibilidade de comparação entre áreas geográficas diferentes; quantificação da contribuição de diferentes "compartimentos ambientais" ar, água, alimentos etc para um mesmo efeito à saúde; melhoria na identificação de fontes de emissão de poluentes, dando aos elaboradores de políticas ambientais melhores informações para o planejamento de suas ações ambientais.

Para Matthies et al. (2005), o desenvolvimento de sistemas de apoio à decisão ambiental é uma área que está rapidamente progredindo e pode contribuir significativamente com a integração de áreas de conhecimento para incrementar a qualidade dos indicadores ambientais relacionados à saúde.

Uma das discussões que tende a se intensificar é sobre a percepção da dominância dos efeitos ambientais indiretos no desenvolvimento de indicadores, ou seja, dos efeitos crônicos e não localizados. De acordo com Müller e Lenz (2005), este conhecimento, até agora, não foi adotado no desenvolvimento de indicadores ambientais, em grau satisfatório. Também se discutem, com destaque: o aperfeiçoamento de modelos de simulação gerados para agregar indicadores e produzir índices; a junção de fatores biológicos e não biológicos, na tentativa de encontrarem-se resultados mais expressivos em nível de indicadores de estruturas, processos, funções e organização em um ecossistema; a melhoria da teoria, da terminologia e da metodologia geral de indicadores ambientais, uma vez que faltam regras básicas, métodos e princípios de derivação e aplicação desses indicadores. Müller e Lenz (2005), a este respeito, alertam que, em muitos casos, os conjuntos de indicadores são desenvolvidos sem que sejam satisfeitos fundamentos científicos.

Há, também, necessidade de unificarem-se indicadores e previsão de avaliação de riscos e apontar condições ambientais em diferentes escalas; otimizar o número de indicadores e a complexidade dos sistemas de indicadores, pois, conforme Müller e Lenz (2005), existe uma grande diferença entre cientistas e políticos no que se refere a projetos conjuntos de indicadores enquanto cientistas preferem trabalhar com muitas variáveis diferentes que podem detalhar a real complexidade da natureza, políticos querem encontrar suas decisões em um número extremamente pequeno de variáveis. Neste aspecto, ambas as partes deveriam assumir compromissos, mas os meios ótimos para isto e para agregação de indicadores para propósitos específicos não estão ainda claros.

É importante que a seleção de critérios esteja não apenas de acordo com o contexto e as metas segundo as quais os indicadores ambientais vão se relacionar às questões de saúde, mas de acordo com aspectos considerados importantes pela própria população (meio) ao qual irão se aplicar esses indicadores. Neste sentido, é importante a compreensão de esquemas de causa e efeito que relacionam fatores ambientais à saúde humana daí a validade de considerarem-se *frameworks* como os de Corvalán et al. (1999) e Bosch et al. (1999). Mas tais *frameworks* devem guiar somente a compreensão macroestrutural prévia à elaboração dos indicadores, sendo, portanto auxiliares. Questiona-se, de fato, se eles não são apenas tentativas de generalização de situações particulares ou, em outras palavras, tentativas de generalização dos estudos epidemiológicos, o que, por sua vez, implicaria a necessidade de novos questionamentos, como os relativos às suas fronteiras para validação em termos de uso possível no âmbito das políticas públicas.

Considera-se relevante a hierarquização dos critérios listados ao final da seção 4, de acordo com a situação de aplicabilidade dos indicadores e a inserção desses critérios, uma vez hierarquizados, numa dimensão de controle gerencial, o que pode ser viabilizado, por exemplo, com o *checklist* proposto por Bosch et al. (1999). Assim, sugere-se que qualquer proposta de melhoria à construção de indicadores ambientais associados à saúde comece sempre pelo questionamento de propósitos das políticas públicas ou gerenciais buscadas, tendo um balanceamento (seleção e priorização) de critérios coerente com tais propósitos, sem deixar de levar em conta o necessário detalhamento proporcionado pelo progresso científico nas disciplinas que dizem respeito a meio ambiente e saúde e apoiando-se em *frameworks*, os quais servem para proporcionar uma coerência representacional à modelagem do conhecimento nessa área, mas não devem limitar o surgimento de novas formas de representação.

## Referências bibliográficas

- BARNARD, N. D. Toxicity testing in the development of anticancer drugs. **Lancet Oncol** 2002;3:4401.
- BICKERSTAFF, Karen; WALKER, Gordon. Public understanding of air pollution: the 'localisation' of environmental risk. **Global Environmental Change**, 11 (2001), pp. 133-145.
- BOSCH, Peter; BÜCHELE, Martin; GEE, David. Environmental indicators: typology and overview. **European Environmental Agency, Technical Report**, N 25, Copenhagen, 1999, pp. 1-19.
- BREITHOLTZ, Magnus; RUDÉN, Chritina; HANSSON, Sven Ove; BENGTSSON, Bengt-Erik. Tem Challenges for improved exotoxicological testing in environmental risk assessment. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. Accepted in Dec 2005, pp. 1-12.
- CORVALÁN, Carlos F.; KJELLSTRÖM, Tord; SMITH, Kirk R. Health, environmental and sustainable development. Identifying links and indicators to promote action. **Epidemiology Resources**, Vol 10, N 5, Sept 1999, pp. 656-659.
- FOLAN, Paul; BROWNE, Jim. A review of performance measurement: towards performance management. **Computer Integrated Manufacturing Research Unity (CIMRU)**, n 56 (2005), 663-680.
- FRÄNZLE, O. Complex bioindication and environmental stress assessment. **Ecological Indicators**, 2005, pp. 1-23. Disponível em: [www.elsevier.com/locate/ecolind](http://www.elsevier.com/locate/ecolind). Acessado em 20/01/2006.
- GAY, Rebecca J.; KORRE, Anna. A spatially-evaluated methodology for assessing risk to a population from contaminated land. **Environmental Pollution** (2005), Accepted in Oct 7<sup>th</sup>, 2005, pp. 1-18.
- MATTHIES, Michael; GIUPPONI, Carlo; OSTENDORF, Bertram. Environmental decision support systems: current issues, methods and tools. **Environmental Modelling & Software**, 2005, pp. 1-5.
- McMAHON, S.K. The development of quality of life indicators a case study from the city of Bristol, UK. **Ecological Indicators** 2 (2002), 177-185.
- MEDINA, Branca M. O. Indicadores Ambientais. In **Ecologia Hoje**. Disponível em <<http://www.biologo.com.br/ecologia/ecologia3.htm>>, 2004. Acessado em 03/03/06.
- MÜLLER, Felix; LENZ, Roman. Ecological indicators: theoretical fundamentals of consistent applications in environmental management. **Ecological Indicators**, 2005, pp. 1-5.
- NERI, Monica; BONASSI, Stefano; KNUDSEN, Lisbeth E.; SRAM, Radim J.; HOLLAND, Nina; UGOLINI, Donatella; MERLO, Domenico F. Children's exposure to environmental pollutants and biomarkers of genetic damage I. Overview and critical issues. **Mutation Research**, 612 (2006), 1-13.
- PATTEN, Bernard C. Network perspectives on ecological indicators and actuators: enfolding, observability, and controllability. **Ecological Indicators**, 2005, pp. 1-18.

RICE, Jake. Environmental health indicators. **Ocean and Coastal Management**, n. 46 (2003), 235-259.

VAN BELLEN, Hans M. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. Florianópolis: Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina (Tese de Doutorado), 2002, 235p.

YLI-VIIKARI, Anja; HIETALA-KOIVU, Reja; HUUSE LA-VEISTOLA, Erja; HYVÖNEN, Terkho; PERÄLÄ, Paula; TURTOLA, Eila. Evaluating agri-environmental indicators (AEIs) Use and limitations of international indicators at national level. **Ecological Indicators**. Accepted in Nov, 20<sup>th</sup>, 2005, pp. 1-14.

WIKIPEDIA a. **Network theory**. Disponível em:

<[http://en.wikipedia.org/wiki/Network\\_theory](http://en.wikipedia.org/wiki/Network_theory)>. Acessado em 28/01/06.

WIKIPEDIA b. **Epidemiology**. Disponível em :

<<http://en.wikipedia.org/wiki/Epidemiology>>. Acessado em 25/01/2006.

ZHAO, Yu; WANG, Shuxiao; AUNAN, Kristin; SEIP, Hans M.; HAO, Jiming. Air pollution and lung cancer risks in China a meta-analysis. **Science of Total Environment**. Accepted in Oct 2005, pp. 1-14.