

Avaliação de Risco Ecológico (ARE)

*Title in English:
Ecological Risk Assessment (ERA)*

RESUMO

A Avaliação de Risco Ecológico (ARE) é um procedimento de investigação que deve ser executado quando um bem ecológico a ser protegido estiver sob influência de um estressor físico, químico ou biológico, estabelecendo critérios objetivos a serem empregados na tomada de decisão para a gestão do problema. Pode ser prospectiva ou retrospectiva e divide-se nas etapas: Formulação do Problema, Análise e Caracterização do Risco. As incertezas devem ser identificadas e o estudo finaliza quando houver suficiência e confiança nos resultados para a tomada de decisão

Palavras-chave:
Risco Ecológico. Estressores. Receptor.
Bem Ecológico a Proteger

Key words:
*Ecological Risk. Stressors. Receptor. Ecological
Assets*

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Avenida Professor Frederico Hermann Jr., 345
Alto de Pinheiros CEP 05459-900 São Paulo - SP
Tel.: (11) 3133 3000
<http://www.cetesb.sp.gov.br>

Primeira Edição

XXXXX/2010, homologada pela Decisão de Diretoria – D.D. nº XXX/20/P, de XX/0X/20. Publicada no Diário Oficial do Estado de São Paulo – Caderno Executivo I, v.xxx, nºxxx, de xx/0x/20, Poder Executivo, Seção I, p.xxx.

© CETESB 2020

É permitida a reprodução total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte. Direitos reservados de distribuição.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. OBJETIVO E CAMPO DE APLICAÇÃO.....	3
3. DOCUMENTOS COMPLEMENTARES3	3
4. DEFINIÇÕES.....	4
5. ORIENTAÇÕES PARA A ELABORAÇÃO DA AVALIAÇÃO DE RISCO ECOLÓGICO	7
REFERÊNCIAS.....	22
APÊNDICE A - Fluxograma Administrativo da ARE na CETESB.....	25
APÊNDICE B - Síntese da etapa de formulação do problema.....	26
APÊNDICE C - Análise de risco ecológico para a bioinvasão.....	28
APÊNDICE D - Quadros de integração dos resultados.....	30
ANEXO A -Exemplos de Modelos Conceituais.....	33
ANEXO B -Integração dos Resultados.....	35
ANEXO C - Tabela de Incertezas.....	38

1 INTRODUÇÃO

A Avaliação de Risco Ecológico (ARE) é uma linha de investigação que tem como objetivo avaliar qualitativa e quantitativamente o risco a que um bem ecológico que se quer proteger pode estar submetido, mediante alguma alteração antrópica de natureza física, química ou biológica, e estabelece critérios objetivos a serem empregados na tomada de decisão para a gestão do problema. Se a ARE for realizada antes da alteração ocorrer, ela é chamada de prospectiva ou preventiva, por exemplo, em registro ou uso de produtos, na avaliação de impactos de empreendimento, entre outros. Se for realizada após a alteração ocorrer, é denominada retrospectiva ou corretiva, como na avaliação de áreas contaminadas. Os enfoques dos estudos serão diferentes. Por exemplo, para estressores químicos, no primeiro caso, o estudo considerará essencialmente dados ecotoxicológicos, modelos de dispersão e dados de literatura sobre a sensibilidade da biota do local de estudo ao estressor. No segundo caso, será necessário avaliar se o efeito adverso já ocorreu e, em caso afirmativo, em que extensão. Além disso, será essencial estabelecer a relação causal entre efeito observado e estressor.

No estudo devem ser avaliados efeitos diretos e indiretos, estruturais e funcionais, nas escalas espacial e temporal aos receptores ecológicos e, em estudos mais complexos, considerar diferentes linhas de evidência. Baseia-se em um modelo conceitual de risco ecológico e pode ser executado por tipo de ambiente (ambientes aquáticos e terrestres). Caracteriza e inter-relaciona componentes primários do risco: a exposição e os efeitos aos quais os receptores selecionados podem estar sujeitos em decorrência do contato com os estressores.

A ARE finaliza quando houver suficiência e confiança nos resultados para a tomada de decisão, avalizada pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Nos casos em que um estudo de avaliação de risco à saúde humana também seja requerido, este será desenvolvido em paralelo, sendo que ambos os resultados serão considerados para nortear as propostas de gerenciamento do risco.

Esse documento visa estabelecer procedimento uniforme entre os técnicos e orientar os trabalhos de ARE a serem encaminhados para a CETESB. O **Apêndice A** apresenta o fluxograma de documentação dos processos referentes a ARE na CETESB.

2 OBJETIVO E CAMPO DE APLICAÇÃO

Esta norma tem o objetivo de estabelecer os critérios e procedimentos para a realização de estudos de ARE no Estado de São Paulo, como uma ferramenta para subsidiar a tomada de decisão nas ações ambientais.

A ARE poderá ser solicitada pela CETESB, à critério desta, quando existir um bem ecológico a proteger, sob influência de um estressor químico, físico ou biológico, principalmente, nas seguintes situações: no licenciamento ambiental, quando requerido um Estudo de Impacto Ambiental, na introdução de espécies exóticas, na avaliação de áreas contaminadas, ou na avaliação de fontes de poluição existentes, quando considerado necessário, com a devida motivação.

3 DOCUMENTOS COMPLEMENTARES

Na aplicação desta norma recomenda-se consultar os documentos relacionados a seguir. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisões e alterações, aqueles que realizam procedimentos com base nesta, devem verificar a existência de legislação superveniente aplicável ou de edições mais recentes dos documentos citados:

- **Lei Federal n. 9.985, de 18 de julho de 2000**, que regulamenta o art. 225, § 1º, incisos i, ii, iii e vii da constituição federal, institui o sistema nacional de unidades de conservação da natureza e dá

outras providências (BRASIL, 2000);

- **Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009**, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo. Nas situações em que a existência de determinada Área Contaminada sob Investigação (AI) ou Área Contaminada sob Intervenção (ACI) possa implicar em impactos significativos aos recursos ambientais, o gerenciamento do risco poderá se basear nos resultados de uma avaliação de risco ecológico, a critério do órgão ambiental competente. As denominações AI e ACI, citadas nesta Resolução, foram alteradas/atualizadas para ACI (Área Contaminada sob Investigação) e ACRI (Área Contaminada com Risco Confirmado), respectivamente, conforme consta do Decreto do Estado de São Paulo nº 59.263 de 05 de junho de 2013, citado a seguir (BRASIL, 2009);

- **Constituição Estadual** em seu art.193, item II, segundo a qual é atribuição da administração pública direta e indireta adotar medidas, nas diferentes áreas de ação pública e junto ao setor privado, para manter e promover o equilíbrio ecológico e a melhoria da qualidade ambiental, prevenindo a degradação em todas as suas formas e impedindo ou mitigando impactos ambientais negativos e recuperando o meio ambiente degradado (SÃO PAULO, 1989);

- **Decreto Estadual nº 59.263, de 5 de junho de 2013**, que regulamenta a Lei Estadual nº 13.577, de 8 de julho de 2009, que dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá providências correlatas, define que uma área será classificada como Área Contaminada com Risco Confirmado (ACRI) quando, entre outras situações, for observado risco inaceitável para organismos presentes nos ecossistemas, por meio da utilização de resultados de Avaliação de Risco Ecológico (SÃO PAULO, 2013);

- **Decisão de Diretoria Nº 038/2017/C, de 07 fevereiro de 2017**, que estabelece que a Avaliação de Risco Ecológico deverá ser elaborada nas situações em que exista um ecossistema natural sob influência ou que possam estar sob influência de uma Área Contaminada sob Investigação (ACI) (CETESB, 2017);

- **Resolução SMA nº 100, de 17 de outubro de 2013**. Regulamenta as exigências para os resultados analíticos, incluindo-se a amostragem, objeto de apreciação pelos órgãos integrantes do Sistema Estadual de Administração da Qualidade Ambiental, Proteção, Controle e Desenvolvimento do Meio Ambiente e Uso Adequado dos Recursos Naturais – SEAQUA;

- **ISO 19204: Soil quality — Procedure for site-specific ecological risk assessment of soil contamination (soil quality TRIAD approach)**, (ISO, 2017);

- **Federal Contaminated Sites Action Plan (FCSAP): Ecological Risk Assessment Guidance** (CCME, 2012);

- **Guidelines for ecological risk assessment. (USEPA, 1998).**

4. DEFINIÇÕES

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os seguintes termos e definições:

Área de Influência: Área geográfica direta ou indiretamente afetada pelos estressores, considerando, em todos os casos, a bacia hidrográfica na qual se localiza.

Área de Influência Direta: Corresponde à área que sofrerá os impactos diretos dos estressores.

Área de Influência Indireta: Corresponde à área sujeita aos impactos indiretos dos estressores;

Área de Estudo: Área abrangida no estudo podendo incluir parcial ou totalmente as áreas de influência Direta e Indireta.

Área Protegida: Espaço geográfico definido, reconhecido, dedicado e gerido, mediante meios legais ou outros meios efetivos, de modo a alcançar a conservação a longo prazo da natureza, dos serviços ecológicos e dos valores culturais associados.

Atributo: Qualidade ou característica de um receptor ecológico.

Avaliação de Habitat - Metodologia para estudo de campo que tem como objetivo avaliar o grau de alterações no habitat promovidas por ações antrópicas, de forma a prever impactos ecológicos. Em ecossistemas aquáticos pode seguir protocolos de métricas já desenvolvidos, como o proposto pela United States Environmental Protection Agency (USEPA) (KAUFMANN et al., 1999).

Bem Ecológico a Proteger: Componente ecológico relevante na área de influência, podendo ser uma população, um grupo de espécies, uma comunidade biológica, a fauna, a flora, a qualidade do solo, das águas e do ar, ou todo um ecossistema. Por exemplo, uma espécie ameaçada de extinção ou de especial valor cultural, a avifauna, a biota aquática, a paisagem, entre outros.

Bioacumulação: Processo pelo qual substâncias acumulam nos tecidos de organismos. A bioacumulação ocorre quando a concentração de uma substância de interesse, na biota, é maior que a concentração no meio circundante.

Biodisponibilidade: Fração de um agente químico presente no ambiente que pode ser adsorvida, absorvida, acumulada ou metabolizada pela biota, disponível para interação com sistemas biológicos.

Biomagnificação: Processo de acúmulo progressivo de substâncias de um nível trófico para o outro ao longo da teia alimentar.

Biomarcadores: São alterações biológicas nos fluídos corporais, células ou tecidos indicativas da exposição ou efeito, a concentrações sub-letais de estressores químicos, detectadas em nível molecular, celular e fisiológico.

Biota: Conjunto de seres vivos que vivem em determinado ecossistema ou região.

Caminho de Exposição: Percorso desenvolvido, ou que possa ser desenvolvido, por uma substância química de interesse (SQI) desde a fonte de contaminação até o receptor.

Capacidade de Invasão (*invasiveness*): Potencial invasor de uma espécie medida por suas características biológicas e ecológicas.

Compartimento Ambiental: Os compartimentos ambientais são constituídos por diferentes meios: meio físico (como solo, sedimento, água superficial, água intersticial e ar) e meio biótico (flora, fauna, microrganismos).

Concentração Basal: Nível natural de uma substância química de interesse presente no solo, ou sedimento, de um ambiente sem ou com pouco impacto antrópico.

Efeito Estrutural: Efeito sobre atributos estruturais do receptor, relativo a características dos elementos que compõem o ecossistema, como a densidade de organismos, no caso de uma população, ou a diversidade, no caso de uma comunidade ou ecossistema.

Efeito Funcional: Efeito sobre atributos funcionais do receptor, relativo a processos, fluxos, como a taxa de respiração, no caso de uma população, ou a ciclagem de nutrientes ou a taxa de decomposição, no caso de uma comunidade, ou ecossistema.

Entidade Ecológica: Organismo, população, comunidade, habitat ou ecossistema, que representa o bem ecológico a ser protegido.

Espécie Chave: Grupo funcional ou população, sem redundância; uma espécie, como um predador,

que tem influência dominante na estrutura e no funcionamento de uma comunidade ou ecossistema. Quando é retirada do meio em que está inserida, causa grandes impactos e mudanças drásticas no ecossistema.

Espécie Exótica Invasora: Espécie que se encontra fora de sua área de distribuição natural e que, por suas vantagens competitivas, favorecida inicialmente pela ausência de predadores locais, ameaça ecossistemas, habitats e espécies nativas.

Estressor: Qualquer agente físico, químico ou biológico que pode induzir um efeito adverso a um receptor ecológico.

Exposição: Contato ou coocorrência de um receptor com um estressor.

Fonte Primária: Entidade ou atividade que é origem de um ou mais estressores químicos, físicos ou biológicos, para o ambiente.

Fonte Secundária: Meio atingido pelo estressor de interesse, químico, físico ou biológico, proveniente da Fonte Primária, capaz de armazenar ou dispersar esse estressor e atuar como fonte para o ambiente.

Mesocosmos: Ensaios que simulam ecossistemas ou parte deles, nos quais organismos pertencentes a diferentes níveis tróficos são expostos, ao mesmo tempo, ao estressor de interesse. Podem ser efetuados em laboratório ou em campo.

Metas de Recuperação: Metas ambientais estabelecidas, em parte, com base nas medidas de avaliação ou em objetos de proteção, a serem acompanhadas para avaliar a eficiência das medidas de gerenciamento de risco adotadas. As metas de recuperação ambiental podem estar relacionadas com a restauração ou manutenção de espécies, populações, comunidades ou ecossistemas, devendo ser explícitas e quantificáveis.

Metas de Remediação: Valor Máximo Aceitável do estressor de interesse que deve ser atingido nos compartimentos do meio físico, por meio da execução de medida de remediação.

Nível de Organização Biológico: Níveis hierárquicos de organização biológica que se inicia com a forma mais simples e se estende até a mais complexa, cada uma englobando a anterior. Compreendem: célula, tecido, órgão, sistema de órgãos, organismo, população, comunidade, ecossistema, paisagem, bioma, ecosfera. Na ARE englobam, normalmente os níveis de organismo, população, comunidade, ecossistema e paisagem.

Patógeno: Agente biológico, seja vírus, bactéria, fungo, protozoário, helminto ou outro, que cause enfermidade a organismos da biota local.

Plano de Contingência: Documento que registra o planejamento elaborado a partir do estudo de um ou mais cenários de risco ecológico e estabelece os procedimentos para ações de monitoramento, alerta, alarme e resposta ao evento adverso.

Potencial Mutagênico: Potencial que possuem determinadas substâncias em reagir com o ácido desoxirribonucleico (DNA), causando danos a esta molécula e levando à formação de mutações, que podem estar envolvidas na carcinogênese.

Receptor Ecológico: Entidade ecológica que é sensível ao estressor de interesse.

Receptor Ecológico Suscetível: Receptor ecológico exposto, ou potencialmente exposto, ao estressor de interesse.

Risco Ecológico: Probabilidade de um estressor produzir efeito adverso a entidade ecológica em condições de exposição específicas.

Risco Aceitável: É o nível de efeito adverso tolerável a ser definido com base nos objetivos de proteção, e que depende das incertezas, de dados científicos, ambientais, sociais e econômicos.

Serviços Ecossistêmicos: Benefícios que o ser humano obtém dos ecossistemas direta ou indiretamente e que incluem serviços tais como alimentos, água, controle de doenças, regulação do clima, produção de oxigênio, degradação e formação do solo, ciclagem de nutrientes; culturais, como de lazer, e outros que mantêm as condições de vida na Terra.

Suscetibilidade do Ambiente (*invasibility*): Avaliação das características físicas, químicas e biológicas de um ambiente que podem torná-lo suscetível (ou vulnerável) à bioinvasão por uma determinada espécie exótica.

Vias de Ingresso: Mecanismo pelo qual o estressor de interesse entra no organismo, por exemplo, ingestão, inalação, contato dérmico e absorção pelas guelras.

5 ORIENTAÇÕES PARA A ELABORAÇÃO DA AVALIAÇÃO DE RISCO ECOLÓGICO

Esta norma deve atender aos seguintes critérios e procedimentos:

O Estudo de Avaliação de Risco Ecológico se inicia com a etapa de Formulação do Problema que engloba a caracterização da área de influência direta e as áreas de influência indireta, a seleção dos estressores e dos receptores, a elaboração de um modelo conceitual, a definição do objeto de proteção (*"assessment endpoint"*) e o Plano de Trabalho. A ARE pode ser qualitativa ou quantitativa, e o esquema para o seu desenvolvimento consta da **Figura 1**.

A etapa de Análise é executada por compartimento ambiental, para caracterizar a exposição e os efeitos aos quais os receptores selecionados podem estar sujeitos em decorrência da existência de agentes estressores, considerando as escalas espacial e temporal, e a relação causal. Nesta etapa são diferenciados os procedimentos para a ARE prospectiva e retrospectiva.

Na etapa final, de Caracterização do Risco, é estimado e descrito o risco dentro do contexto ecológico, sem deixar de considerar as interações entre estressores e receptores e também dos estressores entre si e dos receptores entre si.

O trabalho pode ser realizado em fases (Preliminar e Detalhada), as quais podem ser revistas em qualquer momento do estudo.

Ao longo do estudo deve-se identificar as incertezas e, quando possível, eliminá-las ou minimizá-las (**em 5.4**). O estudo só finaliza quando houver informação suficiente para a tomada de decisão, quanto ao gerenciamento do risco.

A ARE deve utilizar a melhor técnica analítica disponível, adotando procedimentos padronizados e laboratórios acreditados, como previsto nos artigos 17, 18 e 19 da Resolução CONAMA 420/2009 (SÃO PAULO, 2009) e na Resolução SMA 100/2013 (SÃO PAULO, 2013).

Se, para alguns dos ensaios selecionados, não existirem laboratórios acreditados ou procedimentos padronizados, esses poderão ser aceitos, desde que executados por instituições/laboratórios que apresentem o detalhamento da metodologia, demonstrem sua pertinência, sejam validados e que possuam capacidade para desenvolvê-los de acordo com critérios estabelecidos dentro de um sistema de qualidade analítica. As alterações na metodologia deverão ser informadas, justificadas e validadas.

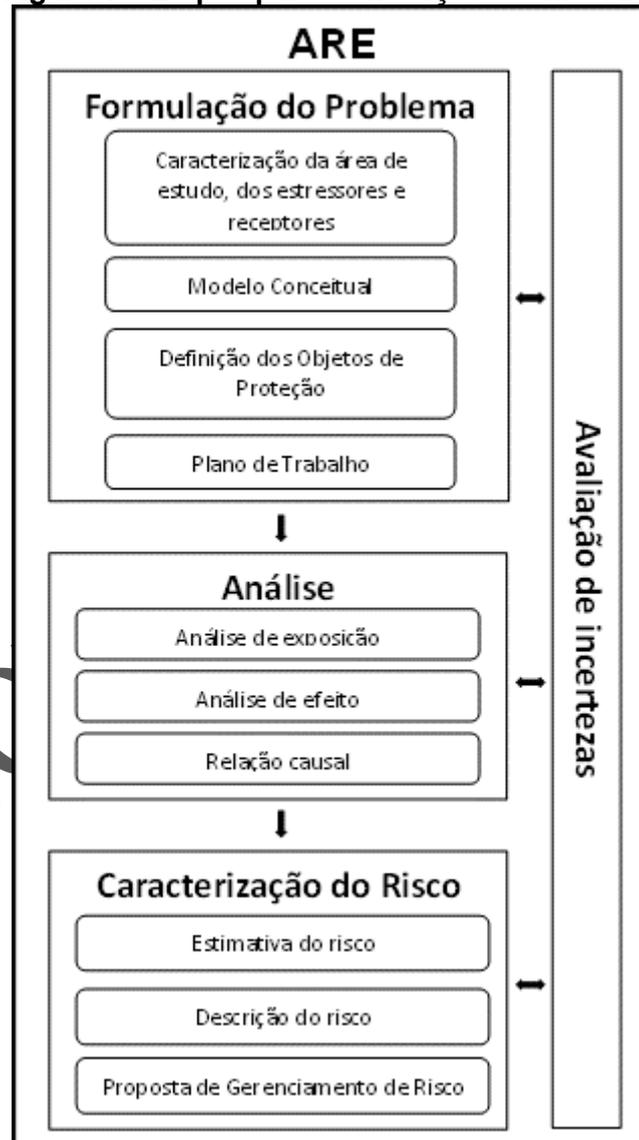
Como validação de método poderá ser aceita uma, ou a combinação, das seguintes técnicas:

- a) calibração ou avaliação da tendência e precisão utilizando padrões de referência ou materiais de referência,

- b) avaliação sistemática dos fatores que influenciam o resultado,
- c) ensaio de robustez do método por meio da variação de parâmetros controlados, como temperatura de incubação, volume dispensado,
- d) comparação com resultados obtidos por outros métodos validados,
- e) comparações interlaboratoriais, e
- f) avaliação da incerteza de medição dos resultados com base na compreensão sobre os princípios teóricos do método e na experiência prática com o desempenho do método de amostragem ou ensaio.

A **Figura 1** apresenta esquema para o desenvolvimento de uma ARE de acordo com o descrito nesta Norma.

Figura 1 – Etapas para a execução de uma ARE



Fonte: CETESB (2020)

5.1 **Formulação do Problema**

Esta etapa se inicia com o levantamento de dados, que incluem, dados primários (originais, obtidos em campo) e secundários (bibliografias). Envolve a caracterização das áreas de influência direta e indireta, a definição da área de estudo, a seleção e caracterização dos estressores e dos receptores ecológicos, o levantamento dos caminhos de exposição, das vias de ingresso e do modo de ação do

estressor e a elaboração do modelo conceitual.

Na ausência de receptores ecológicos suscetíveis, é possível encerrar a avaliação de risco ecológico, devendo ser apresentado à CETESB o Relatório Conclusivo I, conforme **5.1.5**.

A ocorrência de receptores ecológicos suscetíveis ao estressor determinará a necessidade de continuidade dos estudos, com a definição dos objetos de proteção e do Plano de Trabalho, devendo ser apresentada uma Proposta de Continuidade da ARE conforme **5.1.6**.

Ambos os relatórios deverão passar por aprovação da CETESB.

5.1.1 Caracterização da Área de Estudo

A caracterização da área de estudo pode ser baseada em dados primários e/ou secundários, devendo:

- a) contextualizar a área de estudo em escala regional (p. ex.: microbacias, bacias), com levantamento e priorização dos ecossistemas, ou compartimentos ambientais afetados ou que podem ser afetados,
- b) estabelecer os locais prioritários a serem avaliados,
- c) levantar a legislação ambiental incidente, focando na verificação da existência de áreas protegidas relativas à área de estudo e entorno,
- d) caracterizar fisicamente (p. ex. hidrogeologia) a área de estudo,
- e) apresentar levantamento faunístico e florístico da área de estudo, destacando as espécies de valor econômico, raras, endêmicas, ameaçadas e exóticas invasoras, conforme legislação federal e estadual em vigor, bem como as espécies/comunidades indicadoras da qualidade ambiental e sensíveis ao estressor,
- f) descrever os principais componentes da teia/cadeia alimentar do local, por tipo de ambiente, destacando as características biológicas, incluindo metabolismo microbiano, hábitos e ciclos de vida, hábito alimentar e variabilidade espacial e sazonal em suas distribuições e densidades que sejam pertinentes à investigação,
- g) identificar fontes primárias e secundárias, atuais e pretéritas, de impactos físicos, químicos e biológicos que possam interferir no(s) bem(ns) de interesse ecológico a proteger, e
- h) apresentar os usos reais, potenciais e pretendidos para a área de estudo, respaldados pelo arcabouço legal.

5.1.2 Seleção e Caracterização dos Estressores

Inicialmente devem ser levantados todos os estressores (químicos, físicos ou biológicos) relacionados a um empreendimento existente, no caso da ARE retrospectiva, ou que possam vir a ser relacionados a um empreendimento em projeto, no caso da ARE prospectiva, que seja objeto de avaliação. A partir dos estressores levantados devem ser selecionados aqueles que apresentam riscos potenciais ao(s) bem(ns) ecológico(s) a proteger.

Estressores químicos envolvem todo elemento ou substância química, inorgânica (metais, metalóides, nutrientes, etc), ou orgânica (agrotóxicos, HPAs, PCBs, dioxinas e furanos, compostos organoclorados, medicamentos, retardantes de chama, etc), que possam causar efeitos adversos à biota. Os estressores devem ser avaliados quanto aos seus potenciais de toxicidade, biodisponibilidade, bioacumulação, biomagnificação, mobilidade e transformação no ambiente. Em

uma ARE retrospectiva, dentre os estressores químicos potenciais, devem ser selecionadas as Substâncias Químicas de Interesse (SQIs) que, a priori, serão aquelas cujas concentrações na matriz ambiental (solo, água ou sedimento) superarem os limites estabelecidos legalmente, ou descritos em literatura e aceitos pela CETESB para a proteção dos receptores ecológicos. As substâncias químicas biomagnificáveis deverão ser sempre selecionadas como SQI. Recomenda-se considerar, quando pertinente, as concentrações basais, regionais ou locais, para as substâncias de origem não antrópica. A biodisponibilidade de uma potencial SQI poderá ser avaliada pela análise de suas concentrações na biota diretamente afetada, como por exemplo, na vegetação e na fauna edáfica, quando a contaminação estiver no solo, ou em macrófitas enraizadas, macroinvertebrados e peixes bentônicos, quando a contaminação estiver nos sedimentos.

Estressores físicos envolvem alterações como as registradas em níveis naturais de vazão, no material particulado, radiação, calor, som, vibração e pressão. Quanto a esses estressores deve-se identificar, caracterizar e dimensionar aqueles que alteram ou podem alterar as condições naturais do ambiente com possíveis efeitos ao bem ecológico a proteger (ex: aumento no material em suspensão, alteração da vazão, aumento da temperatura).

Estressores biológicos incluem espécies exóticas, espécies introduzidas geneticamente modificadas, espécies nativas introduzidas em um novo habitat (ex: espécies criadas em cativeiros ou capturadas em áreas que terão seu habitat destruído), espécies nativas que, por um desequilíbrio ecológico, se tornam danosas ao ecossistema, e patógenos. Diferentemente dos estressores químicos e físicos, o biológico cresce, se reproduz e pode se multiplicar no ambiente, se dispersa ativa ou passivamente, interage nos ecossistemas e, no caso de microrganismos, pode evoluir de forma imprevisível. Assim, em muitos casos, não se pode negligenciar níveis baixos de suas populações. Deverão ser levantadas suas características biológicas e ecológicas, incluindo informações sobre ciclo de vida, dinâmica populacional (taxa de reprodução, dispersão), requisitos ambientais (relacionados à alimentação e ao habitat), doenças associadas e interações interespecíficas (predadores, competidores). Nos casos de espécie exótica com potencial de bioinvasão, espécie geneticamente modificada ou patógeno, verificar também se a espécie já possui registro de invasão, impacto ou moléstia em outra região. Em caso positivo, comparar as condições ambientais da região de origem e de onde já houve invasão, impacto ou surto com as condições ambientais do local onde há risco de sua introdução e levantar dados sobre os impactos da espécie sobre a biota nativa dos locais invadidos.

A caracterização dos estressores inclui a apresentação de informações relativas a:

- a) o detalhamento dos estressores de interesse, sua natureza (física, química ou biológica), suas fontes e distribuição na área de estudo;
- b) o levantamento de outros estressores que coocorrem na área (físico, químico ou biológico), suas fontes e distribuição na área de estudo;
- c) as propriedades físicas, químicas ou biológicas relacionadas à mobilidade e persistência dos estressores;
- d) a interação dos estressores de interesse com as características do ambiente de estudo e com outros estressores;
- e) o potencial de dispersão; e
- f) o levantamento de efeitos potenciais na biota (modos de ação).

5.1.3 Seleção e Caracterização dos Receptores Ecológicos

Devem ser selecionados os receptores ecológicos locais com maior potencial de serem afetados, com base no levantamento faunístico e florístico do ambiente avaliado. Esses receptores ecológicos devem ser representativos do bem ecológico a proteger e devem ser definidos por compartimento

ambiental.

A seleção dos receptores ecológicos deve considerar:

- a) aqueles que apresentam maior sensibilidade e suscetibilidade ao(s) estressor(es) de interesse;
- b) a presença de espécies de interesse (ex: ameaçadas, endêmicas, de importância cultural ou econômica);
- c) espécies-chave;
- e) os serviços ecossistêmicos relacionados ao bem ecológico a proteger;
- f) as vias de ingresso (por contato, ingestão e/ou inalação);
- g) os caminhos de exposição; e
- h) os receptores ecológicos atuais e futuros, considerando o bem ecológico a proteger e o uso pretendido da área de influência direta.

Deve ser apresentada a justificativa para a seleção dos receptores.

5.1.4 Modelo Conceitual do Risco Ecológico

O modelo conceitual resume as informações levantadas na formulação do problema, devendo servir como um guia para a etapa analítica da avaliação do risco ecológico. Ele inclui descrições de fontes, reais ou potenciais, primárias e secundárias, a área de influência e os processos pelos quais os receptores ecológicos podem ser expostos, direta ou indiretamente, aos estressores, incluindo caminhos de exposição e vias de ingresso. Deve diferenciar os compartimentos de estudo e considerar os fluxos envolvidos no transporte do estressor entre compartimentos.

Sua apresentação deve ser gráfica (figura/quadro), acompanhada por texto explicativo, claro e sintético. Deve transmitir as informações e hipóteses, levantadas e selecionadas na formulação do problema, aos tomadores de decisão e outros envolvidos.

O Modelo Conceitual de Risco Ecológico deve ser formulado considerando:

- a) impactos pretéritos, atuais e/ou futuros, de natureza física, química e/ou biológica, que podem afetar a área de estudo,
- b) estressores e suas caracterizações,
- c) efeitos potenciais diretos e indiretos, atuais e futuros dos estressores,
- d) compartimentos ambientais que podem ser afetados,
- e) teia alimentar específica da área de estudo,
- f) receptores ecológicos sensíveis aos estressores por compartimento ambiental,
- g) fluxos envolvidos no transporte do estressor intra e intercompartimentos, caminhos de exposição e as vias de ingresso por receptor,
- h) impactos resultantes da coocorrência de estressores e receptores, e
- i) incertezas.

Com o Modelo Conceitual de Risco Ecológico são levantadas e selecionadas hipóteses sobre o risco potencial aos bens ecológicos a proteger. A seleção das hipóteses de risco mais apropriadas depende de um julgamento profissional especializado, sendo importante documentar a razão para esta seleção. As hipóteses de risco selecionadas deverão ser avaliadas durante o desenvolvimento da ARE e detalhadas nos Relatórios a serem apresentados à CETESB.

A partir dos resultados obtidos na análise e caracterização do risco, o Modelo Conceitual inicial poderá ser revisado.

Exemplos ilustrativos de Modelo Conceitual de Risco Ecológico constam do **Anexo A** deste documento.

5.1.5 Critérios para encerramento nesta Etapa

Se não forem identificados receptores ecológicos suscetíveis, atuais ou futuros, não é necessária a elaboração de um Plano de Trabalho e a ARE se encerra nesta etapa (**Apêndice A**). Isto se aplica nos casos em que os receptores identificados não são sensíveis aos estressores, ou não foram verificados caminhos de exposição ou vias de ingresso, considerando os usos pretendidos, atuais e futuros, das áreas de influência (direta e indireta).

Nesses casos, deve ser apresentado um Relatório Conclusivo I (**em 5.5**), contendo as informações levantadas na formulação do problema, incluindo a caracterização da área de influência direta e das áreas de influência indireta, dos estressores e dos receptores, o modelo conceitual e as hipóteses levantadas, com as respectivas incertezas, a ser aprovado pela CETESB.

5.1.6 Continuidade da Avaliação de Risco Ecológico

Se forem identificados receptores ecológicos suscetíveis, atuais ou futuros, é necessária a continuidade da ARE com a definição dos Objetos de Proteção e elaboração de um Plano de Trabalho. A Proposta para a Continuidade da Avaliação de Risco Ecológico deverá ser apresentada em um documento, conforme descrito no **em 5.5**, que deverá ser submetido à CETESB para aprovação, antes da execução do Plano de Trabalho. Deve constar dessa proposta um cronograma de atividades.

Essa proposta deve incluir as informações levantadas nos itens anteriores, relativos a Formulação do Problema, como: caracterização da área de estudo, considerando os ecossistemas, bens a proteger, compartimentos ambientais, estressores e suas fontes, receptores, caminhos de exposição e vias de ingresso a serem investigadas, o modelo conceitual, as hipóteses a serem testadas e os Objetos de Proteção definidos, bem como o Plano de Trabalho. Os caminhos de exposição, as vias de ingresso e as hipóteses descartadas deverão ser apresentados e justificados.

O **Apêndice B** apresenta exemplos de quadro síntese, contendo as variáveis selecionadas, por receptor ecológico, objeto de proteção e linha de evidência e medida de avaliação.

5.1.7 Definição dos Objetos de Proteção (*Assessment Endpoints*)

Nesta etapa devem ser definidos os objetos de proteção, entendidos como os receptores e seus respectivos atributos, como, por exemplo, a diversidade de peixes, a taxa de decomposição da serapilheira, as densidades das populações de carnívoros de topo.

A seleção dos Objetos de Proteção deve atender aos seguintes critérios:

- a) Mensurável: deve ser mensurável direta ou indiretamente, qualitativa ou quantitativamente. Atributos que permitem medições diretas diminuem a incerteza existente no uso de extrapolações;

- b) Relevância Ecológica: deve refletir características importantes do ecossistema e devem estar associados a outros atributos. Devem ajudar a manter a estrutura, a função e a diversidade do ecossistema ou de seus componentes. A relevância está associada à natureza e intensidade dos efeitos potenciais, às escalas temporal e espacial em que os efeitos podem ocorrer e o nível de organização biológico que pode ser afetado;
- c) Sensibilidade ao estressor: quão prontamente o receptor ecológico é afetado, sendo diretamente relacionada ao modo de ação do estressor e influenciada por características individuais e populacionais (p. ex. fisiologia, ciclo de vida, estágio de vida, preferência de habitat, taxa de reprodução e território) e pela presença de outros estressores e perturbações naturais;
- d) Requisitos legais: deve ser avaliada a existência de espécies, habitats e ecossistemas ameaçados ou protegidos, ou de importância socioeconômica e outros diplomas legais relativos às entidades ecológicas potencialmente afetadas;
- e) Relevância para as ações de gestão: considerar o uso de valores ecológicos com percepção pública nas decisões a serem tomadas, o que não deve se sobrepor à validade científica. Deve-se compatibilizar o rigor científico com o que é reconhecidamente valioso para o público e os gestores;
- f) Outros aspectos a serem considerados na escolha do Objeto de Proteção que orientarão as análises a serem realizadas, são: viabilidade técnica e científica e os usos reais e potenciais da área.

Quanto maior a área atingida ou a complexidade do problema, maior será o número de objetos de proteção selecionados.

É recomendável que a seleção final dos Objetos de Proteção seja discutida com eventuais atores envolvidos (p. ex., o conselho consultivo de áreas protegidas).

5.1.8 Plano de Trabalho

O Plano de Trabalho descreve o desenho amostral e as metodologias a serem adotadas, para o desenvolvimento das etapas de Análise e Caracterização do Risco na Área de Influência Direta e na Área de Influência Indireta definidas no Modelo Conceitual.

Os pontos de amostragem devem ser selecionados considerando a heterogeneidade das áreas de estudo, procurando representar os diferentes compartimentos ambientais e usos.

A escolha das variáveis a serem medidas deve ter como objetivo responder as hipóteses levantadas no Modelo Conceitual, considerando o(s) objeto(s) de proteção estabelecido(s) e as incertezas.

O trabalho pode ser realizado em fases (Preliminar e Detalhada), a serem definidas neste plano.

5.2 Análise

Nesta etapa são levantados dados de campo para serem realizadas as investigações da probabilidade ou intensidade da exposição dos receptores aos estressores e da probabilidade ou intensidade dos efeitos. O objetivo desta etapa é fornecer elementos para a etapa de caracterização do risco.

As AREs prospectiva e retrospectiva podem envolver estressores biológicos, físicos e químicos. Porém, como os enfoques dessas AREs são distintos, as orientações para Análise serão tratadas separadamente.

5.2.1 ARE Prospectiva

A Avaliação de Risco Ecológico Prospectiva visa à predição de exposição e efeitos de atividades que podem gerar estressores ou alterar o habitat (físico). Ainda não há exposição e nem efeitos no local. A magnitude do estressor que poderá entrar em contato com os receptores, sua dispersão no meio e a probabilidade de provocar efeitos adversos, diante das características reais do ambiente, são estimadas, principalmente, por meio da aplicação de modelos. Dados bibliográficos e relatos de empreendimentos similares podem servir para levantar potenciais efeitos sobre os receptores ecológicos.

Os resultados podem, por exemplo, definir alterações locacionais e tecnológicas do projeto proposto, ações de prevenção da dispersão, definir a concentração máxima de aplicação de um produto em um determinado local e subsidiar a elaboração de plano de contingência que eventualmente venha a ser necessário.

Níveis aceitáveis de risco poderão ser propostos, quando couber, a partir dos quais uma ação contingencial será requerida.

A análise prospectiva para estressores biológicos pode diferir de acordo com o estressor. Nos casos que envolvem a introdução de espécies exóticas, informações sobre a vulnerabilidade ou suscetibilidade do local onde será introduzida deverão se somar às informações levantadas na caracterização, que definiram sua capacidade de invasão. Um detalhamento específico para a elaboração da Proposta de Avaliação de Risco Ecológico para bioinvasão está disponível no **Apêndice C**. Quando se tratar de microrganismo geneticamente modificado ou patógeno, como vírus, bactéria ou outro agente biológico que causam doenças na biota, uma abordagem similar poderá ser adotada. Além disso, protocolos de biossegurança e sanitários/fitosanitários poderão orientar a análise e o gerenciamento do risco. Na introdução de espécies nativas em um novo habitat, sempre que requerido, a avaliação deverá realizar um levantamento das características populacionais das populações locais e da capacidade suporte do ambiente.

Para estressores químicos e físicos, deve-se executar uma etapa de análise composta pelas avaliações de exposição e efeitos:

Avaliação de exposição:

Para avaliar o potencial de exposição, devem ser utilizados modelos de dispersão (espacial e temporal) do estressor na área de influência e de probabilidade de exposição do receptor.

Avaliação de efeitos:

Para estressores químicos e alguns físicos (material em suspensão, alteração de temperatura, erosão, alteração de vazão) pode-se avaliar potenciais efeitos utilizando-se ensaios e experimentos laboratoriais e/ou de campo (mesocosmos, avaliação de habitat), com a simulação de cenários de exposição.

5.2.2 ARE Retrospectiva

A Avaliação de Risco Ecológico Retrospectiva envolvendo estressores biológicos, apresenta algumas peculiaridades que a diferenciam das demais. Um estressor biológico pode envolver uma espécie exótica com potencial de bioinvasão, um patógeno, ou uma espécie nativa cuja população cresceu drasticamente em decorrência de um desequilíbrio ecológico, passando a causar risco a outras espécies. No primeiro caso, o **Apêndice C** orienta o estudo, o qual serve de referência também quando o estressor for um patógeno. No último caso, a investigação, e provavelmente também o gerenciamento, deverá se concentrar mais na causa do desequilíbrio do que no estressor biológico, propriamente dito, já que sua origem pode estar relacionada a um estressor de outra natureza. Por exemplo, a explosão populacional de cianobactérias geralmente está associada ao excesso de nutrientes, podendo causar mortalidades na biota, seja por depleção de oxigênio ou presença de cianotoxinas. Neste caso, o estudo se assemelhará ao que será descrito a seguir para estressores físicos e químicos.

A Proposta de Avaliação de Risco Ecológico Retrospectiva para estressores físicos e químicos deve

contemplar a realização de trabalhos de campo na Área de Influência, para o detalhamento da situação em termos espaciais e temporais, envolvendo diferentes linhas de evidência.

Devem ser selecionadas linhas de evidência, ou seja, informações específicas (Química, Física, Ecotoxicológica e Ecológica) que dizem respeito a algum aspecto importante do ambiente, as quais serão utilizadas para a avaliação das hipóteses definidas. Para estressores físicos, devem ser contempladas, minimamente, duas linhas de evidência (Física e Ecológica) e, no caso de estressores químicos, três linhas de evidência (Química, Ecotoxicológica e Ecológica). Se uma substância química for bioacumulável, havendo risco de biomagnificação, uma quarta linha de evidência (Biomagnificação) deverá ser incorporada.

A Linha de Evidência Química envolve a determinação da distribuição espacial na área de estudo e da biodisponibilidade das SQIs e seu potencial de efeito adverso, por meio de comparação com valores orientadores obtidos com base em ensaios ecotoxicológicos, da determinação da fração biodisponível, da aplicação de modelos de biodisponibilidade e transferência ao longo da cadeia trófica e da determinação das concentrações das SQIs na biota da área de estudo. Pode-se realizar a comparação com valores basais do local de interesse.

A Linha de Evidência Física envolve o dimensionamento dos estressores que podem alterar as condições naturais do ambiente com possíveis efeitos nos receptores, por meio de comparação com dados de literatura e modelagem.

A Linha de Evidência Ecotoxicológica envolve a realização de ensaios de laboratório com amostras da área de estudo, ensaios *in situ*, e simulações em laboratório, tais como mesocosmo ou fortificação da amostra.

A Linha de Evidência Ecológica envolve a realização de levantamentos de indicadores estruturais e/ou funcionais na área de estudo e comparação com valores de referência, que podem ser obtidos em áreas de referência ou na literatura.

Para cada linha de evidência, devem ser definidas as variáveis que serão mensuradas. Os requisitos para a escolha das variáveis são: sensibilidade, custo-benefício, representatividade, complementariedade, disponibilidade de dados locais e possibilidade de determinar de forma padronizada por normas.

Decisões metodológicas, como o método de amostragem, o número e distribuição dos pontos de amostragem e a malha amostral dependerão dos compartimentos ambientais, da área de estudo, da abrangência espacial do estudo e dos Objetos de Proteção selecionados. Por exemplo, a definição de pontos de amostragem com base em gradientes de concentração, quando couber, pode ser uma alternativa de desenho amostral, que também auxiliará a investigação da relação causal.

Para dimensionar exposição e efeito pode-se definir uma área de referência que deve ter condições físicas, químicas e ecológicas similares à área de estudo, porém sem a presença do estressor. Pode-se ainda utilizar condições de referência de literatura, desde que sejam comparáveis à área de estudo.

5.2.2.1 Avaliação da Exposição

A Avaliação da Exposição estima a magnitude (qualitativa ou quantitativamente) do contato ou da coocorrência entre o estressor e o receptor. Considera frequência, duração, caminho de exposição e vias de ingresso pelos quais os estressores interagem com os receptores ecológicos. É realizada com base nas informações obtidas nas Linhas de Evidência Química, Física e Biomagnificação.

Para estressores químicos, deve-se detalhar a distribuição de suas concentrações ambientais, considerando, quando necessário, aspectos temporais (sazonais) e seu potencial de biodisponibilidade, de bioacumulação e de biomagnificação, além de sua mobilidade e transformação no ambiente. Para estressores físicos, deve-se avaliar sua magnitude, transporte e dispersão.

Os valores dos estressores obtidos em campo nos compartimentos ambientais devem ser comparados com padrões de qualidade de água, valores orientadores de prevenção para solo, valores de intervenção para água subterrânea, conforme regulamentação vigente. Para sedimento devem ser utilizados os valores definidos pela Agência Ambiental Canadense (Canadian Council of Ministers of the Environment - CCME). Para as substâncias que não constarem nessas listas, poderão ser utilizados valores orientadores propostos por outras entidades reconhecidas, como, por exemplo, a USEPA ou valores de uma área de referência.

Deve ser realizada uma avaliação crítica dos valores de literatura, comparando-os com as concentrações basais da região, ou presentes em uma área de referência.

Para estressores físicos, devem ser utilizados valores de uma área de referência ou de literatura.

A avaliação da exposição por contato e ingestão pode ser realizada, por exemplo, por meio de análise da concentração da substância de interesse no tecido da biota, na medição de sua fração biodisponível, na aplicação de biomarcadores ou ser estimada por meio de Modelos de Exposição. Neste caso, podem ser utilizados protocolos, como, por exemplo, da USEPA ou do CCME, com adaptações para a fauna local, incluindo variações nos hábitos alimentares e de vida, além das características físicas (porte, morfologia, anatomia) dos receptores. Para receptores de grande porte, o modelo de habitat também pode ser utilizado, principalmente quando a área impactada for menor que a área de forrageamento (território) do receptor de interesse. Essa avaliação procura realizar uma estimativa mais realista de coocorrência, ou contato, entre receptor e estressor. Nesses casos a área de forrageamento (território) pode influenciar os limites da área de estudo.

5.2.2.2 Avaliação de Efeitos

A Avaliação dos Efeitos considera a interação do estressor com o receptor ecológico suscetível, por meio das linhas de evidência Ecotoxicológica e Ecológica.

Esta etapa tem como objetivo avaliar, a partir de dados obtidos em trabalho de campo e/ou laboratório, qualitativa ou quantitativamente, as respostas biológicas provocadas pelos estressores nos receptores ecológicos selecionados, por compartimento ambiental. Deve considerar a comparação dos levantamentos de dados de campo e de laboratório com áreas de referência ou valores de literatura, para cada linha de evidência.

O desenho amostral deve considerar a variabilidade natural nas escalas espacial, como gradientes de distribuição, e temporal, como a sazonalidade ou o ciclo hidrológico e os efeitos de outros estressores que eventualmente ocorram na área de estudo.

5.2.2.2.1 Efeitos Ecotoxicológicos

A Linha de Evidência Ecotoxicológica envolve a realização de ensaios em laboratório ou *in situ* com amostras ambientais. A escolha dos ensaios ecotoxicológicos em laboratório deve considerar a matriz a ser analisada (solo, água e sedimento) e o tipo de efeito esperado pela exposição à SQI, conforme previsto no modelo conceitual. Os ensaios devem ser apropriados para avaliar os efeitos selecionados (p.ex., uma vez que bifenilas policloradas 'PCBs' causam efeito na reprodução, o ensaio a ser selecionado deve estabelecer a avaliação desse efeito).

O organismo-teste deve ser sensível à SQI, tolerante às condições do meio, como granulometria do sedimento ou dureza da água, e representativo dos organismos residentes na área estudada.

Devem ser utilizados, quando disponíveis, ensaios com organismos de diferentes níveis tróficos, hábitos alimentares e de vida, representativos de cada compartimento ambiental analisado. Recomenda-se a utilização de pelo menos três desses ensaios, dando-se prioridade aos ensaios padronizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e organizações internacionais similares.

Em alguns casos, pode-se usar espécies que não tenham protocolos padronizados, mas que

representem melhor os receptores ecológicos, desde que o laboratório ou instituição responsável comprove o uso de procedimentos de controle de qualidade.

5.2.2.2 Efeitos Ecológicos

A Linha de Evidência Ecológica envolve a realização de trabalhos de campo, para avaliar aspectos estruturais e/ou funcionais do ecossistema em que a área de interesse está inserida, de forma a identificar alterações potencialmente causadas pelo estressor.

Na seleção das variáveis a serem mensuradas, quando possível, deve-se utilizar o nível de organização biológico do receptor, para diminuir as incertezas. O nível imediato superior ao receptor pode ser utilizado para definição do contexto espacial do estudo e o inferior para avaliar os mecanismos de ação do estressor. Por exemplo, se o Objeto de Proteção for a manutenção da diversidade da comunidade de peixes (receptor) de um lago, o nível imediato superior é o ecossistema aquático e o inferior a população de uma ou mais espécies de peixes de interesse.

Nesta etapa deverá ser realizada uma análise das respostas ecológicas aos estressores que terá como produto uma avaliação dos efeitos adversos que estão ocorrendo ou podem ocorrer na área de estudo.

5.2.2.3 Outros Efeitos

Outros efeitos, como, por exemplo, o potencial mutagênico de substâncias químicas, podem gerar novas linhas de evidência.

5.2.2.3 Relação Causal

O estudo deve procurar identificar se os efeitos observados estão relacionados ao estressor. Para tanto, devem ser considerados os efeitos esperados, conforme as hipóteses definidas na formulação do problema, além de outros efeitos observados e não previstos naquela etapa, e sua associação com os estressores. Os seguintes critérios podem ser considerados:

- a) robustez da associação: quando o valor mensurado no ambiente contaminado é significativamente diferente do valor de referência, de acordo com o critério de decisão definido.
- b) analogia: quando a relação entre o efeito observado e o estressor for encontrada em outros estudos.
- c) especificidade da associação: quando a variável selecionada indica efeito específico ao estressor; por exemplo, uso de biomarcadores específicos.
- d) consistência da associação: repetição do resultado obtido na mesma área de interesse, na série temporal de dados ou em outros receptores.
- e) gradiente biológico: quando for possível estabelecer um gradiente espacial dos efeitos com as concentrações dos estressores (dose-resposta).
- f) aceitabilidade biológica: quando um mecanismo de ação do estressor sobre o receptor, ou de outro organismo do mesmo grupo taxonômico, for descrito na literatura.
- g) investigação da toxicidade: por meio de experimentação em campo ou em laboratório (manipulação da amostra) visando tornar não biodisponível o agente estressor, reduzindo ou eliminando seu potencial tóxico, para verificar a manutenção, ou não, do efeito aos organismos.

5.3 Caracterização de Risco

A caracterização do risco engloba a integração das avaliações de exposição e efeito (estimativa do

risco) e sua contextualização com a área de influência (descrição do risco), sempre considerando as incertezas levantadas na etapa de análise.

Na análise prospectiva, levanta-se, do ponto de vista teórico, os efeitos prováveis de um determinado estressor. Avalia-se a exposição como sendo a probabilidade de um estressor provocar um efeito adverso sobre receptores ecológicos e em qual dimensão.

Em uma análise retrospectiva, a avaliação dos efeitos, no local em investigação, deve basear-se em análise de campo e laboratório. Não havendo risco atual, por não biodisponibilidade da substância de interesse, deverá ser avaliada a probabilidade de ocorrer efeito no futuro e sob quais condições. A caracterização do risco finaliza com uma síntese e deve concluir sobre a ocorrência ou não de risco aceitável, dando subsídios para o processo de decisão para o gerenciamento.

Se os estudos forem inconclusivos e forem necessários estudos complementares, estes devem ser devidamente justificados e apresentados para aprovação da CETESB, juntamente com um novo cronograma de atividades.

Caso a ARE indique um risco aceitável, considerando o nível de incerteza do estudo realizado, deverá ser apresentado o Relatório Conclusivo II, para avaliação da CETESB. Esse Relatório deve apresentar propostas de cronograma de atividades que, pode incluir o monitoramento da área, ou outras medidas cabíveis.

Caso a ARE conclua que há risco inaceitável, deve ser apresentado para avaliação da CETESB o Relatório Final da ARE (**Apêndice A**), indicando a sua extensão, objetos de proteção afetados e metas de recuperação. Esse Relatório deve apresentar propostas de medidas a serem adotadas para gerenciamento do risco, conforme **5.3.3**.

5.3.1 Estimativa do Risco

A estimativa de risco pode ter caráter qualitativo, semi-quantitativo ou quantitativo. Nessa estimativa, devem ser consideradas todas as informações obtidas e todos os resultados dos ensaios realizados, apresentados de forma clara e integrada.

Os critérios (qualitativos ou quantitativos) para o estabelecimento da aceitabilidade do risco devem ser definidos, caso a caso, em cada nível de avaliação e devem ter sido pré-definidos na Proposta de Continuidade da Avaliação de Risco Ecológico, considerando os usos atuais e futuros propostos para a área de influência direta e, em alguns casos, para a área de influência indireta. Eventuais alterações posteriores nos critérios de avaliação de risco devem ser tecnicamente justificadas pelo requerente para a devida avaliação e aprovação da CETESB, considerando eventuais contribuições dos envolvidos.

Em um primeiro momento, os dados devem ser agrupados por objeto de proteção e por linha de evidência. Dentro de cada linha de evidência os resultados de exposição e efeito devem ser interpretados e apresentados na forma de índices qualitativos ou quantitativos, de acordo com o melhor conhecimento disponível na literatura ou com os especialistas consultados.

A princípio podem ser atribuídos os mesmos pesos para análises e linhas de evidência, no entanto, pesos diferentes podem ser justificados no Plano de Trabalho, dependendo de fatores como: considerações ecológicas, com especial atenção para os grupos de interesse (grupos funcionais, espécies sensíveis, ameaçadas e/ou carismáticas); incertezas e na correção de tendências dos

efeitos medidos e calculados.

Em seguida deve-se realizar a integração das diferentes linhas de evidência. Neste momento é avaliado em que medida as linhas de evidência indicam risco de forma quantitativa ou qualitativa. Alguns exemplos de como integrar as diversas linhas de evidência são apresentados no **Anexo B** e no **Apêndice D**. Quando couber o cálculo de um índice quantitativo final a partir da fusão das três ou mais linhas de evidência, é essencial que os seguintes procedimentos sejam seguidos:

- a) calcular a razão entre o valor obtido de cada variável e o seu valor na área ou condição de referência;
- b) escalonar os dados de forma que todas as variáveis tenham uma classificação comum e unificada (p.ex. 0 a 1 ou 0 a 100), transformando, quando necessário, o valor da variável para garantir que tenham o mesmo direcionamento com relação ao efeito/impacto;
- c) calcular os índices parciais relativos a cada linha de evidência; e
- d) calcular o risco integrado final a partir da fusão dos índices parciais.

Para estressores físicos e químicos, a ARE Retrospectiva deve apresentar, na sua conclusão, um valor máximo que caracterize um risco aceitável e, conseqüentemente, ambientalmente seguro, de forma a orientar, quando necessário, a definição de metas de remediação para o gerenciamento do risco.

5.3.2 Descrição do Risco

Na descrição do risco, deverá ser apresentada a síntese da estimativa de risco por estressor, compartimento ambiental e suas subunidades, informando quais apresentaram risco inaceitável e quais risco aceitável, incluindo a justificativa dessas classificações. A síntese dos riscos poderá ser apresentada na forma de quadros sínteses, gráficos e a contextualização espacial do risco, no formato de mapas de risco, por estressor e objeto de proteção.

Deverá ser realizada uma análise crítica dos resultados, incluindo uma avaliação das incertezas, e uma interpretação da significância ecológica dos efeitos adversos apontados pelos parâmetros de avaliação.

Na Avaliação de Risco Ecológico Retrospectiva, envolvendo ambientes terrestres, na análise crítica devem ser discutidas as eventuais discordâncias entre as linhas de evidência.

A contextualização temporal do risco deve ser apresentada considerando o ciclo de vida dos receptores afetados e outros aspectos do ambiente. Se o risco atual for considerado aceitável, avaliar qual a probabilidade de ocorrer alterações ambientais na área, no futuro, sob quais condições, que tornem o risco inaceitável.

Com base na análise crítica, poderá ser justificada a necessidade da realização de investigação complementar.

5.3.3 Proposta de Gerenciamento do Risco

Os resultados da caracterização do risco devem subsidiar de forma clara e objetiva as decisões para o gerenciamento do risco considerado inaceitável, assim como esclarecer as ações propostas. O gerenciamento do risco consiste em avaliar e determinar as opções possíveis de manejo do risco e os seus efeitos, sob perspectiva técnica, ambiental, econômica e social. Na escolha das opções deve-se considerar o resultado da ARE, a importância do ecossistema, categorias de conservação/proteção e elementos socioculturais.

As opções de gerenciamento do risco podem consistir:

- a) na eliminação de sua origem (p. ex., controle da(s) fonte(s)),
- b) na mitigação de seus efeitos por intervenções (p. ex. uso de melhorias tecnológicas),
- c) em medidas de compensação de seus efeitos (p. ex. proporcionar melhorias sociais), ou
- d) na atenuação/recuperação natural, acompanhando os efeitos potenciais.

Em avaliações prospectivas, ações de mitigação poderão envolver alteração locacionais e/ou tecnológicas do projeto, ou ainda, o resultado da ARE indicar a inviabilidade do projeto. Um programa de monitoramento, com a definição das variáveis a serem acompanhadas, deve orientar avaliação da eficácia das medidas de mitigação. Medidas de compensação também podem ser aplicadas.

Em avaliações retrospectivas, o gerenciamento poderá envolver a eliminação do risco, a sua mitigação, ou ainda a atenuação/recuperação natural, acompanhadas de monitoramento para avaliação de sua eficácia, com base em metas de recuperação. Para estressores químicos e físicos, poderão ser estabelecidas metas de remediação para orientar as medidas de intervenção, considerando os valores máximos aceitáveis obtidos pelo estudo.

Tanto na avaliação prospectiva como na retrospectiva, a seleção das variáveis a serem monitoradas deve, sempre que possível, contemplar aquelas já utilizadas na avaliação de risco.

Ao se concluir por medidas de gerenciamento, estas deverão ser apresentadas no Relatório Final da ARE, avaliando as opções existentes, quanto aos critérios já mencionados, justificando as escolhas, para a análise e aprovação da CETESB.

Nos casos em que foram realizadas avaliações de risco ecológico e à saúde humana, os resultados de ambas deverão ser levados em consideração, para nortear, de maneira conservadora, a definição das medidas a serem adotadas para o gerenciamento do risco, visando garantir a proteção dos receptores de interesse identificados.

5.4 Avaliação das Incertezas

A avaliação de incertezas permeia toda a análise de risco ecológico, da formulação do problema ao relatório final. É base para a discussão de incertezas, a avaliação da representatividade, da acurácia, da precisão, da integridade e da comparabilidade dos dados. O resultado dessa avaliação deve identificar o impacto das incertezas acumuladas na ARE e a descrição de eventuais medidas que possam resultar em sua redução. Deve se diferenciar premissas e conclusões que podem ser assumidas com baixa incerteza de outras com maior incerteza.

As incertezas encontradas ao longo do processo da ARE podem ser expressas de forma quantitativa ou qualitativa. Essas incertezas devem ser apresentadas, incluindo a sua forma de expressão e de cálculo. Incertezas quantificáveis podem, por exemplo, ser apresentadas por representação gráfica (ex., boxplots) ou estatísticas descritivas (ex., mínimo, máximo, mediana, média, variância). Se for qualitativa, deverá ser apresentado o critério para estabelecer as classes de alta, média, baixa incerteza.

As incertezas na etapa da formulação do problema estão especialmente relacionadas a quantidade e qualidade dos dados disponíveis, bem como aos critérios para a seleção dos objetos de proteção com base nas suas relevâncias ecológicas para o caso em questão. Na etapa da análise, as incertezas estão embutidas principalmente na execução do planejamento amostral, bem como dos ensaios laboratoriais. Na etapa de caracterização do risco, as incertezas ocorrem em função de muitos fatores, incluindo a qualidade dos dados e a habilidade das linhas de evidência em detectarem a magnitude do efeito (sensibilidade), sua especificidade para o estressor de interesse, bem como sua representatividade espacial e temporal.

No **Anexo C** é apresentada uma proposta de tipologia de incertezas que pode auxiliar na sua identificação. Algumas incertezas podem ser quantificadas, outras não, mas sempre deverá ser atribuído um nível de incerteza ao resultado. O nível de incerteza, por sua vez, está relacionado ao grau de confiança associado à probabilidade de um evento acontecer e, este ocorrendo, ao grau de confiança associado à sua severidade. As incertezas devem ser apontadas na documentação a ser entregue, assim como as técnicas eventualmente empregadas em sua minimização ou eliminação. Algumas dessas técnicas são análises estatísticas, revisão dos dados, coleta adicional de dados, réplicas de campo e laboratório, uso de métodos padronizados e de procedimentos de controle de qualidade, participação de especialistas, revisão do texto, revisão bibliográfica, uso do princípio da precaução, análise de decisão multicritérios e gerenciamento adaptativo. Uma escolha equivocada de técnicas empregadas pode gerar ainda mais incertezas.

Na caracterização do risco, o nível das incertezas deverá estar contemplado, pois determina o alcance dos resultados obtidos. Se for considerado que o nível de incerteza é inaceitável, estudos complementares poderão ser necessários.

5.5 Fluxograma Administrativo e Documentação

O fluxograma do processo administrativo da ARE na CETESB consta do **Apêndice A**. Os documentos a serem apresentados para a CETESB, citados no referido fluxograma, são descritos sucintamente a seguir e devem considerar e apresentar o detalhamento dos itens já especificados na norma. Todos os documentos deverão relatar, de forma clara e sucinta, os resultados obtidos, incluir as Equipes Técnicas, bem como as declarações de responsabilidade técnica e ARTs.

5.5.1 Relatório Conclusivo I

Quando não forem identificados receptores ecológicos suscetíveis, atuais ou futuros, na Formulação do Problema, deve ser apresentado um relatório contendo o histórico do problema, as informações levantadas na formulação do problema, incluindo os itens caracterização da área, dos estressores e dos receptores, as incertezas relacionadas a estes levantamentos, o Modelo Conceitual, as referências bibliográficas e uma proposta de monitoramento, quando julgado necessário.

5.5.2 Proposta de Continuidade da Avaliação de Risco Ecológico

Quando forem identificados, na Formulação do Problema, receptores ecológicos suscetíveis, atuais ou futuros, deve ser apresentada uma Proposta de Avaliação de Risco Ecológico para avaliar as hipóteses selecionadas. O relatório deve conter o histórico do problema, as informações levantadas na Formulação do Problema, incluindo os itens caracterização da área, dos estressores e dos receptores, o Modelo Conceitual, o(s) objeto(s) de proteção selecionado(s), as hipóteses levantadas, o Plano de Trabalho, as respectivas incertezas e as referências bibliográficas. O Plano de Trabalho deve apresentar o detalhamento da metodologia a ser adotada nas amostragens e nas análises para as avaliações da exposição e dos efeitos ecológicos, considerando a relação causal, na caracterização do risco e na mensuração das incertezas. Deve constar um cronograma detalhado das atividades. Quando pertinente, devem ainda ser apresentadas as devidas autorizações de amostragem e transporte de material biológico.

5.5.3 Justificativa de Estudos Complementares

No caso em que os resultados da ARE forem considerados inconclusivos, devem ser discutidas as lacunas do estudo e apresentada uma justificativa técnica para estudos complementares, com base na caracterização do risco e nas estimativas de incerteza, ou uma reavaliação da Formulação do Problema à luz de novas informações, acompanhada de um cronograma de execução das atividades.

5.5.4 Relatório Conclusivo II

Quando a ARE indicar que não há risco ou que os riscos são aceitáveis, deve ser apresentado um relatório contendo o histórico do problema, as informações levantadas na Formulação do Problema, incluindo os itens de caracterização da área, dos estressores, dos receptores e do(s) objeto(s) de

proteção selecionados, o Modelo Conceitual, as hipóteses levantadas, as metodologias de amostragem e análise, os resultados obtidos nas avaliações de exposição e efeito, a caracterização do risco, a discussão e a conclusão, com as estimativas da magnitude das incertezas, além das referências bibliográficas. Deve apresentar e justificar, se pertinente, a proposta de monitoramento, contendo um novo cronograma de atividades.

5.5.5 Relatório Final da ARE

Quando a ARE indicar que há riscos inaceitáveis, deve ser apresentado um relatório contendo o histórico do problema, as informações levantadas na Formulação do Problema, incluindo os itens caracterização da área, dos estressores e dos receptores, o(s) objeto(s) de proteção selecionado, o Modelo Conceitual final e as hipóteses levantadas, as metodologias de amostragem e análises, os resultados obtidos nas avaliações de exposição e efeito, incluindo a avaliação da relação causal, a caracterização do risco, uma discussão que aborde a extensão do risco, aspectos temporais envolvidos, os objetos de proteção afetados e as metas de recuperação, considerando as estimativas da magnitude das incertezas, a conclusão e as referências bibliográficas. Deve apresentar e justificar a proposta de gerenciamento, contendo um novo cronograma de atividades.

Observação: Em todos os Relatórios, quando pertinente, devem ser apresentadas:

- as fichas de campo e as cadeias de custódia;
- os relatórios de ensaio originais;
- coordenadas em Universal Transversa de Mercator (UTM), datum SIRGAS 2000;
- resultados em planilhas editáveis em Excel; e
- mapas em pdf e kmz/kml.

REFERÊNCIAS

ARTHUR, J.R. *et al.* Understanding and applying risk analysis in aquaculture: a manual for decision-makers. Rome: FAO, 2009. 128 p. (FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, nº 519/1). Disponível em: <http://www.fao.org/3/i1136e/i1136e00.htm>. Acesso em: ago. 2020.

BATLEY, G.E.; BURTON, G.A.; CHAPMAN, P.M.; FORBES, V.E. Uncertainties in sediment quality Weight-of-Evidence (WOE) assessments. **Hum. Ecol. Risk Assess.**: an international journal, United Kingdom, v. 8, n. 7, p. 1517-1547, Dec. 2002. DOI: 10.1080/20028091057466.

BRASIL. **Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000.** Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2000. Com alterações posteriores. Publicada originalmente no DOU, 19 jul. 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm. Acesso em: ago. 2020.

BRASIL. MMA. CONAMA. **Resolução n. 420, de 28 de dezembro de 2009.** Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo [...]. Brasília, DF: MMA, 2009. Com alterações posteriores. Publicada originalmente no DOU, n. 249, 30 dez. 2009. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>. Acesso em: ago. 2020.

CCME. Canadian Council of Ministers of the Environment. . **Federal Contaminated Sites Action Plan (FCSAP): ecological risk assessment guidance.** Gatineau QC: Environment Canada, 2012. 219 p. ISBN no. 978-1-100-22282-0. Disponível em: https://www.canada.ca/content/dam/eccc/migration/fcs-scf/B15E990A-C0A8-4780-9124-07650F3A68EA/ERA-20Guidance-2030-20March-202012_FINAL_En.pdf. Acesso em: ago. 2020.

CETESB. Decisão de Diretoria n. 038/2017/C, de 7 fevereiro de 2017. Dispõe sobre a aprovação do "Procedimento para a Proteção da Qualidade do Solo e das Águas Subterrâneas", da revisão do

“Procedimento para o Gerenciamento de Áreas Contaminadas” e estabelece “[...]. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**: seção 1: Poder Executivo, São Paulo, v. 127, n. 28, p. 47-52, 10 fev. 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2014/12/DD-038-2017-C.pdf>. Acesso em: ago. 2020.

CHAPMAN, P.M.; HOLLERT, H. Should the sediment quality triad become a tetrad, a pentad, or possibly even a hexad? **JSS - J. Soils & Sediments**, New York, v. 6, n. 1, p. 4-8, Feb. 2006. <https://doi.org/10.1065/jss2006.01.152>.

CHAPMAN, P.M.; MCDONALD, B.G. Using the sediment quality triad (SQT) in ecological risk assessment. *In*: BLAISE, C.; FÉRARD, J.-F. (ed.). **Small-scale freshwater toxicity investigations: hazard assessment schemes**. 1st ed. The Netherlands: Springer, 2005. v. 2, chap. 10, p. 305-329. DOI 10.1007/1-4020-3553-5.

CHILE. Ministerio del Medio Ambiente; CENMA **Lineamientos metodológicos para la evaluación de riesgo ecológico**. Santiago: Ministerio del Medio Ambiente, 2014. 90 p. Disponível em: <https://sqi.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/07/g2-Guia-Methodologica-Evaluacion-Riesgo-Ambiental.pdf>. Acesso em: ago. 2020.

DALE, V.H. *et al.* Enhancing the ecological risk assessment process. **Int. Environ. Assess. Manag.**, Medford, MA, v. 4, n. 3, p. 306–313, 2008. https://doi.org/10.1897/IEAM_2007-066.1.

INSTITUTO HÓRUS DE DESENVOLVIMENTO E CONSERVAÇÃO AMBIENTAL. **Análise de risco para espécies exóticas**. Florianópolis: Instituto Hórus, c2019. Disponível em: <https://institutohorus.org.br/analise-de-risco-para-especies-exoticas/>. Acesso em: ago. 2020.
ISO. **ISO 19204**: soil quality: procedure for site-specific ecological risk assessment of soil contamination (soil quality TRIAD approach). 1st ed. Geneva: ISO, 2017. 27 p.

JENSEN J.; MESMAN M. (eds) Ecological risk assessment of contaminated land. Decision support for site specific investigations. Part of EU-funded ‘Liberation’ project. 2006. Report 711701047, RIVM, Bilthoven, the Netherlands. 136p.

KAPUSTKA, L.A. Ecological risk assessment toward a landscape perspective. *In*: KAPUSTKA, L.A.; LANDIS, W.G. (ed.). **Environmental risk assessment and management from a landscape perspective**. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2010. Chap. 2, p. 11-31. DOI: 10.1002/9780470593028. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470593028>. Acesso em: ago. 2020.

KAUFMANN, P.R. *et al.* **Quantifying physical habitat in wadeable streams**. Washington, DC: USEPA. 1999. 150 p. EPA/620/R-99/003. Disponível em: <https://archive.epa.gov/emap/archive-emap/web/html/phyhab.html>. Acesso em: ago. 2020

LATINI, A.O.; RESENDE, D. C. (ed.). **Espécies exóticas invasoras de águas continentais no Brasil**. Brasília, DF: MMA, 2016. 793 p. (Série Biodiversidade, n. 39). Disponível: <https://www.mma.gov.br/publicacoes/biodiversidade/category/56-especies-exoticas-invasoras.html>. Acesso em: ago. 2020.

LOPES, R.M. (ed.) **Informe sobre as espécies exóticas invasoras marinhas no Brasil**. Brasília: MMA, 2009. 441 p. (Série Biodiversidade, 33). Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/sbf2008_dcbio/_publicacao/147_publicacao07072011012531.pdf. Acesso em: ago. 2020.

MESMAN, M.; SCHOUTEN A.J.; RUTGERS, M.; DIRVEN-VAN BREEMEN, E.M. Guideline Triad: sitespecific ecological risk assessment in the remediation criterion (in Dutch with English summary). 2007. Report 711701068, RIVM, Bilthoven, the Netherlands

MORAES, R. *et al.* Establishing causality between exposure to metals and effects on fish. **Hum. Ecol.**

Risk Assess.: an international journal, United Kingdom, v. 9, n. 1, p. 149-169, 2003.
DOI:10.1080/713609857.

NIEMEYER, J. C. A tríade na avaliação de risco ecológico (ARE). *In*: SEMINÁRIO SUL-BRASILEIRO DE GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS, 3., 2015, Porto Alegre. **Materiais palestrantes [...]**. Porto Alegre: ABES-RS, 2015. 65 slides (1 arquivo PDF), color. Disponível em: https://www.abes-rs.org.br/novo/_materiais/materiais_6ho6n76o7jsc.pdf. Acesso em: ago. 2020.

PEREIRA, R.; RIBEIRO, R.; GONÇALVES, F. Plan for na integrated human and environmental risk assessment in the S. Domingos mine area (Portugal). **Hum. Ecol. Risk Assess.:** an international journal, United Kingdom, v. 10, n. 3, p. 543-578, June 2004. DOI: 10.1080/10807030490452197.

RODRIGUES, A.P. *et al.* **Avaliação de risco ecológico:** conceitos básicos, metodologia e estudo de caso. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2011. 127 p. (Série Estudos e Documentos, SED 78). Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/238>. Acesso em: ago. 2020.

RUTGERS, M.; JENSEN, J. Site-Specific Ecological Risk Assessment. In SWARTJES, F.A. (ed). Dealing with contaminated sites. From Theory towards Practical Application. Springer, Dordrecht, 2011, chap. 15. pp. 693–720.

SÃO PAULO. [Constituição (1989)]. **Constituição Estadual de 05 de outubro de 1989**. São Paulo: Assembléia Legislativa do Estado, 1989. Atualizada até a Emenda Constitucional n. 49, de 6 mar. 2020. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/constituicao/1989/compilacao-constituicao-0-05.10.1989.html>. Acesso em: ago. 2020.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto n. 59.263, de 5 de junho de 2013**. Regulamenta a Lei n. 13.577, de 8 de julho de 2009, que dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá providências correlatas. São Paulo: Assembléia Legislativa do Estado, 2013. Com retificação posterior. Publicado originalmente no DOE, 5 jun. 2013. Retificação no DOE, 6 jun. 2013. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2013/decreto-59263-05.06.2013.html>. Acesso em: ago. 2020.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Resolução SMA – 33, de 22-5-2009**. Dispõe sobre a criação de grupo de Trabalho para o Desenvolvimento de Proposta para “Estratégia Estadual sobre Espécies Exóticas Invasoras”. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo:** seção 1: Poder Executivo, São Paulo, v. 119, n. 95, p. 33, 23 maio 2009. Processo SMA 7.602-2009. Disponível em: https://www.imprensaoficial.com.br/DO/BuscaDO2001Documento_11_4.aspx?link=%2f2009%2fexecutivo%2520secao%2520i%2fmaio%2f23%2fpag_0011_9T67UD97K15S0eFV8ESKB0V3CTK.pdf&pagina=11&data=23/05/2009&caderno=Executivo%20i&paginaordenacao=100011. Acesso em: ago. 2020.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Resolução SMA-100, de 17-10-2013**. Regulamenta as exigências para os resultados analíticos, incluindo-se a amostragem, objeto de apreciação pelos órgãos integrantes do Sistema Estadual de Administração da Qualidade Ambiental, Proteção, Controle e Desenvolvimento do Meio Ambiente e Uso Adequado dos Recursos Naturais – SEAQUA. São Paulo: SMA, 2013. Com retificação posterior. Publicada originalmente no DOE, v. 123, n. 198, p. 36, 18 out. 2013. Retificação no DOE, p. 41, 22 out. 2013. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/legislacao/2013/10/resolucao-sma-100-2013-2/>. Acesso em: ago. 2020.

SKINNER, D.J.C. *et al.* Identifying uncertainty in environmental risk assessments: the development of a novel typology and its implications for risk characterization. **Hum. Ecol. Risk Assess.:** an international journal, United Kingdom, v. 20, n. 3, p. 607-640, 2014.
DOI:10.1080/10807039.2013.779899.

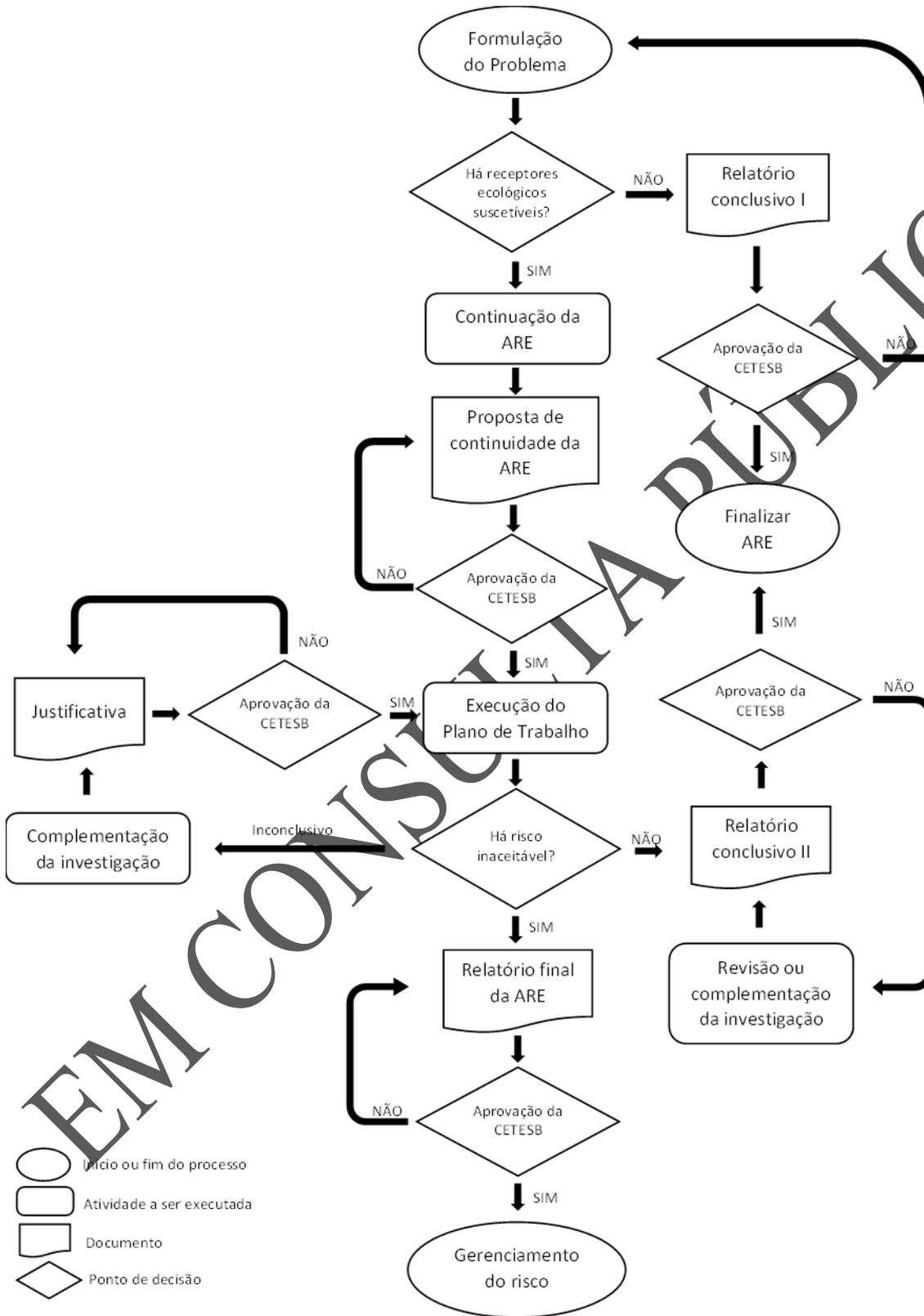
USEPA. **Guidelines for ecological risk assessment**. Washington, DC: EPA, 1998. EPA/630/R-

95/002F. 188 p. Published on May 14, 1998, Federal Register 63(93):26846-26924). Disponível em: https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-11/documents/eco_risk_assessment1998.pdf. Acesso em: ago. 2020.

EM CONSULTA PÚBLICA

APÊNDICE A

FLUXOGRAMA ADMINISTRATIVO DA ARE NA CETESB



Fonte: CETESB (2020)

APÊNDICE-B

EXEMPLOS DE QUADROS SÍNTESE DA ETAPA DE FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A) Ecossistema Aquático

RECEPTOR ECOLÓGICO	OBJETO DE PROTEÇÃO	LINHA DE EVIDÊNCIA	MEDIDA DE AVALIAÇÃO
Macroinvertebrados aquáticos	Estrutura e função desta comunidade	Química	<ul style="list-style-type: none"> • Medição das concentrações totais do estressor em sedimento e comparação dos resultados com valores de referência. • Avaliação da biodisponibilidade pela medida de SEM:AVS e das concentrações na biomassa de grupos importantes da comunidade.
		Ecológica	<ul style="list-style-type: none"> • Medição de densidades e índices de estrutura com aplicação de testes estatísticos para comparação com as condições de referência e regressão com as concentrações biodisponíveis. • Avaliação da taxa de decomposição nos sedimentos e comparação com as condições de referência.
		Ecotoxicológica	<ul style="list-style-type: none"> • Pelo menos 3 ensaios com diferentes espécies de organismos bentônicos que tenham similares no ambiente e com diferentes endpoints.
Aves, mamíferos e anfíbios	Estrutura e viabilidade das populações	Química	<ul style="list-style-type: none"> • Uso do modelo da cadeia trófica que compara a exposição estimada com valores tóxicos de referência relevantes.
		Ecológica	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliação quantitativa e qualitativa das populações locais e comparação com o ambiente de referência.

Fonte: Adaptado de CCME, (2012)

B) Ecossistema Terrestre

RECEPTOR ECOLÓGICO	RELEVÂNCIA	OBJETO DE PROTEÇÃO	LINHA DE EVIDÊNCIA	MEDIDA DE AVALIAÇÃO
Plantas	Biodiversidade Habitat Produtores	Sustentar germinação e crescimento de plantas	Ecotoxicológica	Ensaio laboratorial com plantas
			Ecológica	Porcentagem de cobertura vegetal
Invertebrados do solo	Teia alimentar Fertilidade do solo	Diversidade e atividade de invertebrados	Ecotoxicológica	Ensaio agudo com minhocas
			Ecológica	Ensaio crônico com colêmbolos
Comunidade microbiana	Ciclagem de Nutrientes	Sustentar populações microbianas e processos	Ecotoxicológica	Bal. lâmina
			Ecológica	Ensaio de atividade enzimática
Aves que comem sementes	Biodiversidade	Fornecer sementes de plantas apropriadas	Química	Biomassa microbiana
				Bolsas de decomposição
Pequenos mamíferos vegetarianos	Teia alimentar Espécies protegidas	Fornecer plantas para alimentação	Química	Concentração das SQIs em plantas
Aves insetívoras	Espécies protegidas	Fornecer insetos como presas	Química	Bioacumulação nos tecidos de minhoca
Predadores de topo	Teia alimentar (p. ex. águia, urubus, onça)	Fornecer presas	Química	Modelagem da teia trófica

Fonte: Adaptado de J. C. Niemeyer (2015)

APÊNDICE C

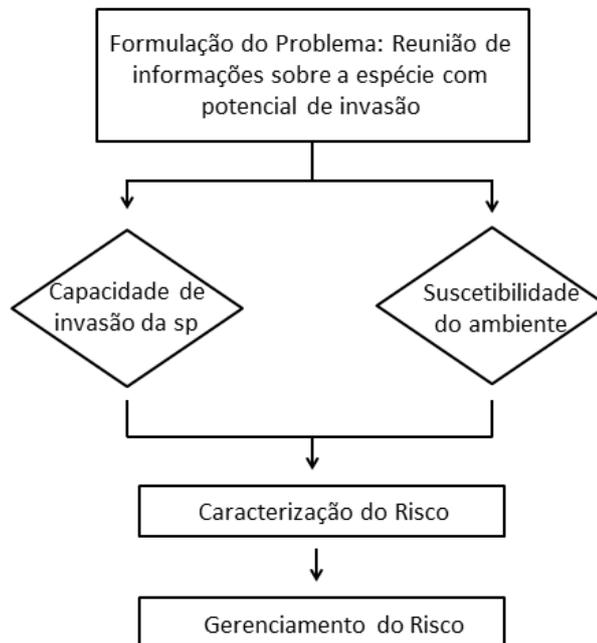
ANÁLISE DE RISCO ECOLÓGICO PARA A BIOINVASÃO

A principal ARE com estressor biológico diz respeito à bioinvasão, importante fator de perda de biodiversidade e que pode ser evitado preventivamente por medidas de gestão adotadas a partir dos resultados de uma ARE prospectiva. Embora nestes casos uma ARE retrospectiva também possa ser realizada, o controle e a erradicação de um bioinvasor não é apenas mais difícil, como mais oneroso.

No âmbito da CETESB, uma ARE prospectiva para avaliar o risco de uma bioinvasão caberá a todos os processos em que o emprego de uma espécie exótica tenha sido proposto por um empreendedor, ou quando o empreendimento pode facilitar sua dispersão.

A ARE para a bioinvasão segue passos um pouco distintos daquelas em que o estressor é químico ou físico. São linhas essenciais de investigação, além da Formulação do Problema que não exige obrigatoriamente a elaboração de um Modelo Conceitual esquematizado, a capacidade de invasão da espécie sob investigação, a suscetibilidade do ambiente à invasão por esta espécie, a caracterização e o gerenciamento do risco (Fluxograma).

Fluxograma de ARE para a bioinvasão.



Fonte: CETESB (2020)

Na **Formulação do Problema** devem ser levantadas as seguintes informações:

- identificação de rotas e de vetores
- características biológicas e ecológicas da espécie invasora (estressor)
- histórico de invasão em outros locais/países
- histórico de efeitos nestes locais anteriormente invadidos
- definição da etapa de bioinvasão na área de estudo e entorno: 1) introdução, 2) estabelecimento ou 3) dispersão.

A Análise envolve dois componentes chave:

A) Capacidade de invasão:

- características biológicas e ecológicas que habilitam a espécie a invadir um ambiente;
- associação com algum tipo de atividade humana;
- densidade no local de origem;
- interação com espécies nativas e o habitat;
- impactos ecológicos, econômicos e sociais potenciais.

B) Vulnerabilidade ou suscetibilidade do ambiente:

- distância da fonte;
- vetores (identificação e probabilidade de transporte);
- quantidade e qualidade de recursos;
- diversidade biológica;
- características abióticas do ambiente (semelhança com ambiente de origem);
- levantar efeitos negativos potenciais, baseados no histórico de outras invasões pela espécie, ou similares, e nas características físicas, químicas e biológicas do ambiente que poderá receber a espécie exótica;
- quando for o caso, levantar as características do projeto de introdução, como: uso pretendido do organismo exótico, número de indivíduos, fases do ciclo de vida, distribuição das espécies nativas e exóticas, probabilidade de escape, ações de mitigação.

Alguns exemplos de possíveis efeitos a serem avaliados:

- alteração ou destruição dos habitats;
- mortalidade de espécies;
- competição;
- predação;
- hibridação;
- alterações na estrutura das comunidades;
- alterações funcionais no ecossistema (ciclagem de nutrientes – produção e decomposição e transferência de energia);
- introdução de patógenos ou de espécies associadas;
- impactos econômicos.

A **Caracterização do risco** deve seguir um esquema padronizado de classificação, concluindo se o risco existe e qual sua intensidade (p. ex. alto, médio ou baixo), já que influenciará as medidas a serem adotadas.

Na bioinvasão, a medida de **Gerenciamento** mais eficaz é a **prevenção**. Medidas de prevenção para que uma espécie invasora não atinja um ecossistema que se quer proteger envolvem o **monitoramento** de sua dispersão e sua **mitigação** pela inibição e até coibição dos vetores. Uma vez que determinada espécie seja classificada com alto risco de bioinvasão sua instalação em ecossistemas naturais deverá ser evitada. Caso não seja possível, medidas para **mitigação** de seu escape/dispersão devem ser adotadas, acompanhadas de **monitoramento**. Se a espécie já estiver instalada em algum ecossistema natural que se quer proteger, deve-se avaliar a possibilidade de sua **erradicação**, cujas ações deverão também ser acompanhadas por um **monitoramento**.

APÊNDICE D

EXEMPLOS DE QUADROS DE INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS

A) Ecossistema Aquático

Receptor ecológico	Objeto de proteção	Linha de evidência	Medida de avaliação	Magnitude da medida de avaliação	Incerteza da magnitude	Escala espacial	Relação causal	Incerteza da Relação Causal	Relevância Ecológica	Avaliação
Macrófitas	Função ecológica	Química	Concentração em sedimento e água superficial	Acima dos valores de referência	Moderada	100m ²	Nenhuma	Moderada	Baixa	Os valores de referência para o estressor não foram desenvolvidos para macrófitas e, portanto, a incerteza na comparação é alta. A análise de comunidade indica que não há efeito, mas a incerteza é alta.
	Análise da comunidade	Ecológica	Métricas de estrutura da comunidade	Negligenciável	Alta	na	na	na	Alta	
Bentos	Estrutura da comunidade	Química	Concentração em sedimento e água superficial	Acima dos valores de referência	Moderada	100m ²	Fraca	Alta	Baixa	Efeitos e incertezas moderados. Três medidas de efeito mostram efeito moderado, com evidência variável de relação causal.
		Ecotoxicológica	Teste de sobrevivência	Moderada	Alta	100m ²	Forte	Baixa	Moderada	
			Teste de crescimento	Baixa	Alta	30m ²	Fraca	Baixa	Moderada	
		Ecológica	Densidade total	Moderada	Moderada	30m ²	Nenhuma	Moderada	Alta	
Riqueza	Moderada		Moderada	30m ²	Fraca	Moderada	Alta			
Peixes	Abundância e viabilidade das populações	Química	Concentração em água superficial	Acima dos valores de referência	Moderada	na	Fraca	Alta	Moderada	Efeito negligenciável a moderado, com incertezas moderadas. Os dados não indicam efeito direto sobre a ictiofauna, mas a incerteza é alta. Algum efeito sobre a fonte de alimento pode ocorrer, mas a escala espacial é limitada e impactos sobre o nível populacional são improváveis.
		Ecológica	Abundância relativa	Negligenciável	Alta	na	na	na	Alta	
			Abundância e diversidade de itens alimentares	Moderada	Moderada	30m ²	Nenhuma	na	Alta	
Aves, mamíferos e anfíbios	Abundância e viabilidade das populações	Química	Modelo de cadeia alimentar	Negligenciável	Moderada	na	na	na	Moderada	Efeito negligenciável com incerteza moderada. HQ < 1 em todos os casos. Alguma incerteza relacionada aos TRVs.

* As regras de decisão para a definição dos escores (Alto, moderado, baixo) devem ser definidos para cada medida de avaliação na formulação do problema.

* na – não aplicável, uma vez que não foi observado efeito.

Fonte: Adaptado de CCME (2012)

B) Ecossistema Terrestre

RECEPTOR ECOLÓGICO	OBJETO DE PROTEÇÃO	LINHA DE EVIDÊNCIA	MEDIDA DE AVALIAÇÃO	MAGNITUDE	INCERTEZA DA MAGNITUDE	ESCALA ESPACIAL	RELAÇÃO CAUSAL	INCERTEZA DA RELAÇÃO CAUSAL	RELEVANCIA ECOLÓGICA	AVALIAÇÃO
Plantas	Função ecológica como alimento e Habitat para vida silvestre	Química	Concentração no solo das SQIs	Acima dos valores de referência	Moderada	1000 m ²	Nenhuma pois são valores derivados para invertebrados	Alta	Baixa	Efeito baixo com incerteza alta – os valores de referência não são baseados em plantas. A análise da comunidade indica efeito baixo, a causa pode estar mais relacionada a infecção com fungo do que com as SQIs. A incerteza é alta.
		Ecológica	Levantamento da Comunidade	Baixa	Alta	na	Nenhuma Sem relação da biomassa e riqueza com química do solo	Alta	Alta	
Invertebrados do solo	Diversidade e abundância da comunidade de invertebrados e sua função como alimento para vida selvagem.	Química	Concentração no solo das SQIs	Acima dos valores de referência	Moderada	1000 m ²	Evidência fraca de relação entre os valores de referência invertebrados (literatura) devido à variação dos fatores de toxicidades	Alta	Alta	Efeito baixo com incerteza de moderada a alta. Embora as concentrações das SQIs sejam elevadas nos tecidos da minhoca e tenham sido observados alguns locais com toxicidade, os resultados dos ensaios de toxicidade não são correlacionados com as SQIs. A linha ecológica mais relevante (riqueza e abundância de invertebrados) não indica efeitos.
		Química	Bioacumulação nos tecidos de minhocas	Moderado	Alta	300 m ²	Evidência fraca (literatura) que as concentrações das SQIs possam causar toxicidade	Moderada	Moderada	
		Ecotoxicológica	Ensaio de toxicidade com minhocas - sobrevivência	Baixa	Moderada	30 m ²	Nenhuma evidência de relação entre concentração e reposta. Um resultado de toxicidade elevada, mas não em elevada concentração do contaminante.	Moderada	Moderada	
		Ecológica	Abundância e riqueza – amostragem em quadrantes	Negligenciável	Alta	na	na	na	Alta	

(continua)

RECEPTOR ECOLÓGICO	OBJETO DE PROTEÇÃO	LINHA DE EVIDÊNCIA	MEDIDA DE AVALIAÇÃO	MAGNITUDE	INCERTEZA DA MAGNITUDE	ESCALA ESPACIAL	RELAÇÃO CAUSAL	INCERTEZA DA RELAÇÃO CAUSAL	RELEVÂNCIA ECOLÓGICA	AVALIAÇÃO
Aves	Saúde da população local e capacidade de se reproduzir	Ecológica	Levantamento da Comunidade	Negligenciável	Alta	na	na	na	Alta	Efeito baixo com incerteza moderada – quociente de risco baseado em espécies (galinha e codorna) sem relevância conhecida para aves silvestres, e com cenário de exposição altamente conservativo. Efeitos previstos são baixos, mesmo com pequenas respostas individuais (se presentes) é improvável que se traduza em efeitos populacionais.
		Química	Modelo de Cadeia Alimentar (quantidade de alimentos para fêmeas em época de reprodução)	Baixo	Moderada	1000 m ²	Relação dose-resposta baseada em literatura bem estabelecida, mas com grande variação entre as espécies	Moderada	Moderada	
Mamíferos	Saúde da população local e capacidade de se reproduzir	Química	Modelo de Cadeia Alimentar	Negligenciável	Moderada	1000 m ²	na	na	Moderada	Efeito negligenciável com incerteza moderada, principalmente incerteza relacionada aos Valores de referência de Toxicidade (TRVs) que são baseados em espécies domésticas e espécies de laboratório. Nenhuma medida de campo disponível para confirmação.

* As regras de decisão para a definição dos escores (Alto, moderado, baixo) devem ser definidos para cada medida de avaliação na formulação do problema.

* na – não aplicável, uma vez que não foi observado efeito.

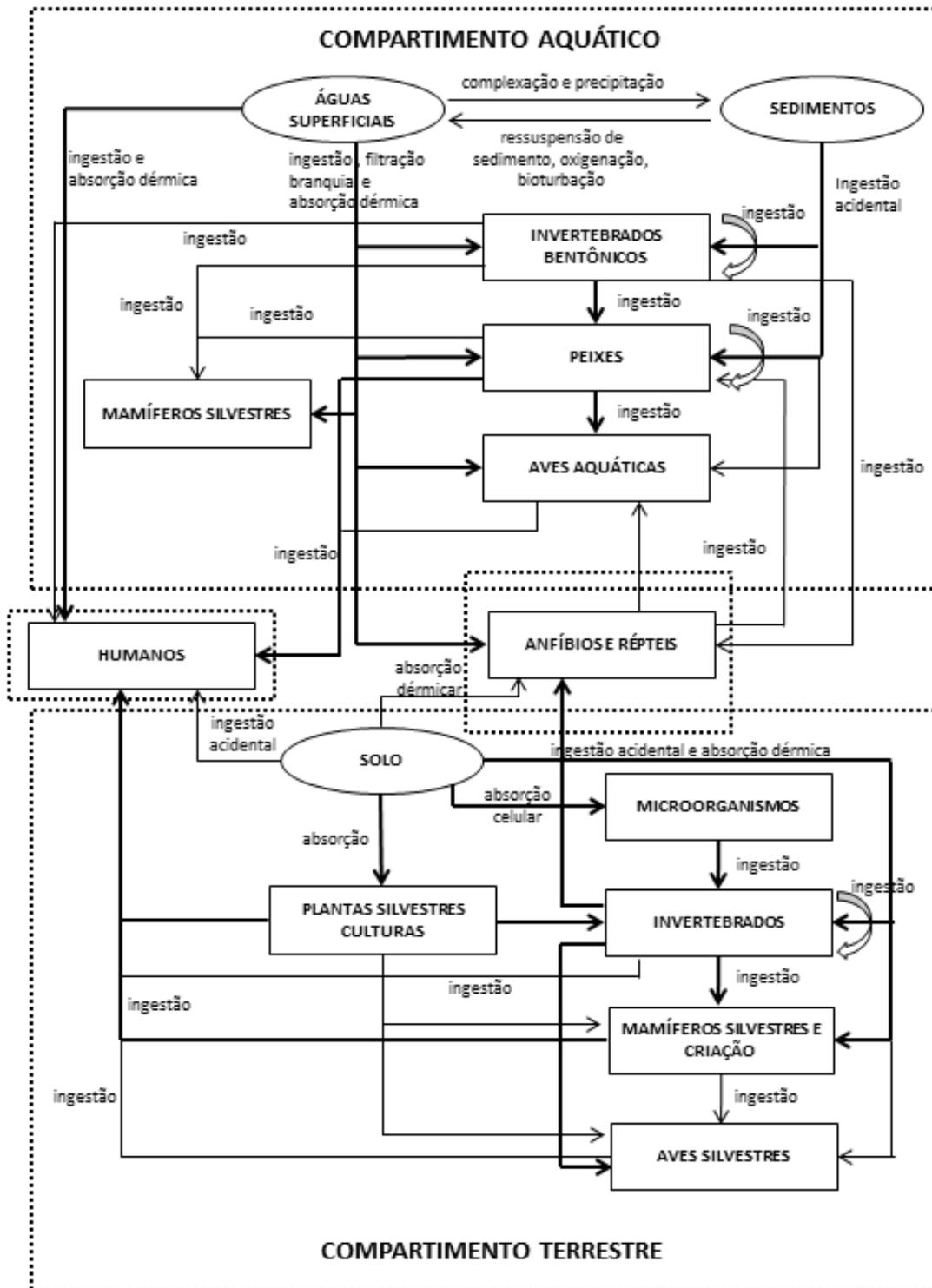
(conclusão)

Fonte: Adaptado de CCME (2012)

...//Anexo A

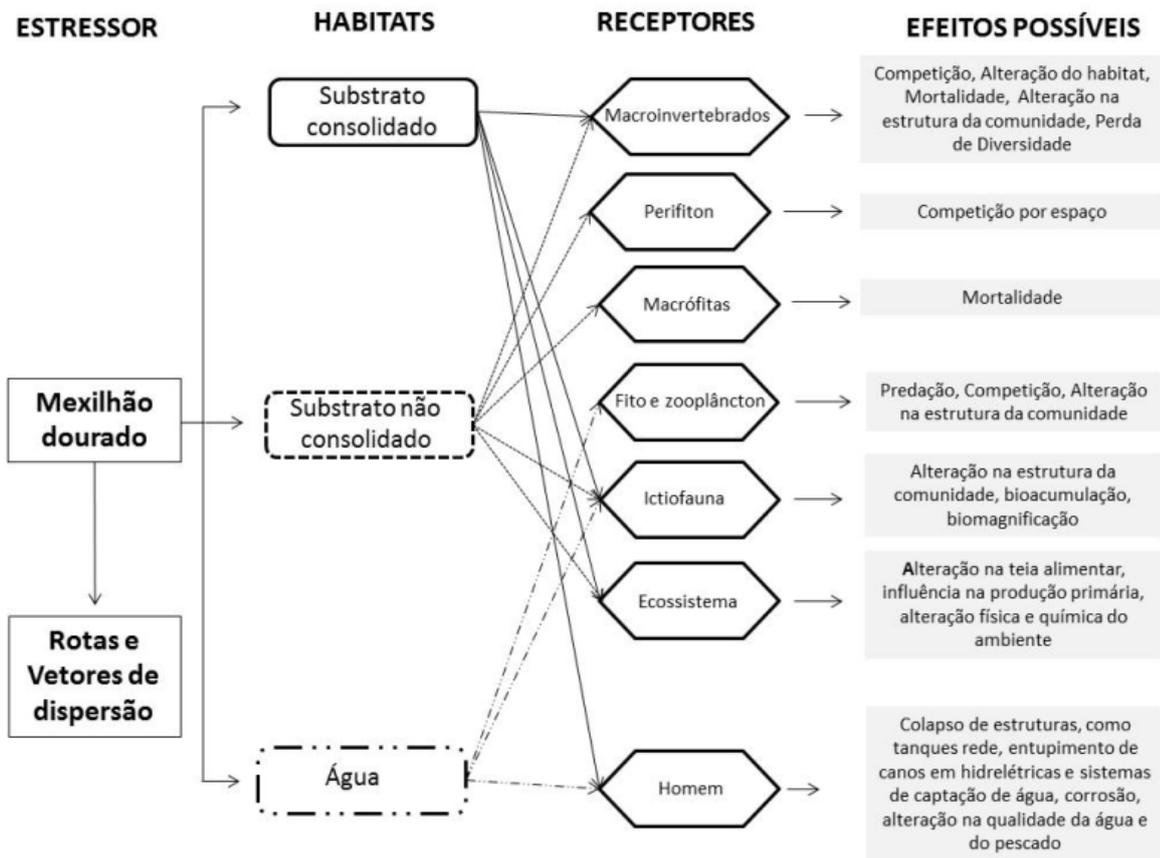
ANEXO A - Exemplos de Modelos Conceituais

A) Exemplo de Modelo Conceitual envolvendo estressor químico e/ou físico.



Fonte: Pereira et al.(2004, p. 558)

B) Exemplo de Modelo Conceitual envolvendo estressor biológico (Bioinvasão).



Fonte: CETESB. 2020

...//Anexo B

EM CONSUL

ANEXO B - Integração dos Resultados

A) Exemplo de matriz de decisão retirado de trabalho para avaliação de ambientes aquáticos

Q	T	B	Bio	CONCLUSÕES POSSÍVEIS	AÇÕES/DECISÕES POSSÍVEIS
1	-	-	-	-	NENHUMA
2	+	-	-	-	NENHUMA
3*	-	-	-	+	DETERMINAR FONTE(S) DA BIOMAGNIFICAÇÃO
4	-	+	-	-	CONTAMINANTES MEDIDOS AUSENTES OU NÃO BIODISPONÍVEIS DETERMINAR CAUSA(S) PARA TOXICIDADE
5	-	-	+	-	DETERMINAR CAUSA(S) PARA ALTERAÇÃO NA BIOTA
6	+	-	+	-	DETERMINAR CAUSA(S) PARA ALTERAÇÃO NA BIOTA E BIOMAGNIFICAÇÃO
7	-	-	+	+	CONTAMINANTES TÓXICOS PRESENTES, MAS NÃO ESTÃO CAUSANDO EFEITOS <i>IN SITU</i> DETERMINAR CAUSA(S) PARA TOXICIDADE MAS NÃO EFEITOS <i>IN SITU</i>
8	+	+	-	-	DETERMINAR CAUSA(S) PARA TOXICIDADE MAS NÃO EFEITOS <i>IN SITU</i>
9*	-	+	+	-	EFEITOS BIOLÓGICOS ADVERSOS <i>IN SITU</i> NÃO RELACIONADOS COM OS CONTAMINANTES MEDIDOS AVALIAR OUTRO ESTRESSOR(ES)/FONTE(S) QUE POSSAM ESTAR CAUSANDO AS RESPOSTAS OBSERVADAS
10*	-	+	+	+	AVALIAR OUTRO ESTRESSOR(ES)/FONTE(S) QUE POSSAM ESTAR CAUSANDO AS RESPOSTAS OBSERVADAS
11*	-	+	-	+	BIOMAGNIFICAÇÃO PODE ESTAR RELACIONADA COM OS CONTAMINANTES MEDIDOS
12*	+	-	-	+	BIOMAGNIFICAÇÃO E ALTERAÇÃO NA BIOTA PODEM ESTAR RELACIONADAS COM OS CONTAMINANTES MEDIDOS
13*	+	-	+	+	BIOMAGNIFICAÇÃO E ALTERAÇÃO NA BIOTA PODEM ESTAR RELACIONADAS COM OS CONTAMINANTES MEDIDOS
14*	+	+	-	+	CONTAMINANTES TÓXICOS, EMBORA NÃO ESTEJAM CAUSANDO ALTERAÇÃO NA BIOTA; PODEM ESTAR BIOMAGNIFICANDO AVALIAÇÃO DE RISCO (PODE ENVOLVER INVESTIGAÇÕES ADICIONAIS)
15*	+	+	+	-	EFEITO BIOLÓGICO ADVERSO APARENTEMENTE RELACIONADO COM OS CONTAMINANTES MEDIDOS
16*	+	+	+	+	EFEITO BIOLÓGICO ADVERSO APARENTEMENTE RELACIONADO COM OS CONTAMINANTES MEDIDOS

LEGENDA:

Q = química; T = ecotoxicidade; B = biota; Bio = biomagnificação; + = efeito significativo; - ausência de efeito significativo; * risco inaceitável, embora nem sempre relacionado à contaminação.

Fonte: Chapman e McDonald (2005, p.308).

B) Exemplo de matriz de integração dos resultados para avaliação de ambientes terrestres

Integração dos dados de um ARE para ecossistema terrestre pela tríade, conforme definido na Holanda (RUTGERS e JENSEN, 2011).

Linha de Evidência	Parâmetro	Peso	Amostra	Amostra	Amostra
		Fator	A	B	C
Química	Soma da Pressão Tóxica - concentrações totais	1	0,00	0,76	0,92
	Soma da Pressão Tóxica - concentrações na água intersticial	1	0,00	0,62	0,75
	Média	efeito (químico)	0,00	0,70	0,86
Toxicológico	Microtox	1	0,36	0,21	0,70
	Teste com minhocas	1	0,00	0,00	0,52
	Teste de germinação	1	0,00	0,05	0,20
	efeito (toxicológico)		0,14	0,09	0,51
Ecológica	Análise da comunidade de nematóides	1	0,00	0,50	0,55
	Parâmetros microbianos	1	0,00	0,25	0,45
	Análise da comunidade de micro-artrópodes	1	0,00	0,15	0,32
	Análise da comunidade de plantas	1	0,00	0,00	0,60
	Presença de Minhocas	1	0,00	0,45	0,24
	efeito (ecológico)		0,00	0,29	0,45
	Efeito da avaliação química	1	0,00	0,70	0,86
	Efeito da avaliação toxicológica	1	0,14	0,09	0,51
	Efeito da avaliação ecológica	1	0,00	0,29	0,45
	Avaliação integrada (risco)		0,05	0,42	0,67
	Desvio		0,14	0,55	0,38

Em uma primeira etapa, os dados são agrupados por linha de evidência, ou seja, química, bioensaios e pesquisas de campo/ecológica. Os fatores de ponderação são definidos como 1 por padrão (primeira coluna). Após o cálculo de um valor de efeito por linha de evidência, os dados são coletados em um conjunto final de dados da Tríade, a fim de julgar o nível de (des)concordância entre as linhas de evidência (quadrado tabular mais baixo). Quando o fator de desvio ($D = 1,73 \times$ desvio padrão) entre as linhas de evidência é baixo o suficiente (inferior a 0,4), um valor de risco integrado pode ser usado para sustentar a decisão de gerenciamento do local. Na Holanda, este layout da tabela é proposto para apresentar os resultados de uma tríade como parte de uma ARE (MESMAN et al. 2007).

Obs 1: Pressão tóxica – razão entre a concentração do contaminante e o valor orientador de qualidade no solo. Quando presente vários contaminantes é a combinação dos valores calculados para cada contaminante. Esse conceito encontra-se descrito em Mesman e Jensen-(2006).

Obs. 2: Existem várias maneiras de calcular o risco integrado e escalonar os parâmetros utilizados, algumas dessas possibilidades podem ser encontradas em Jensen e Mesman (2006). No exemplo utilizado, o cálculo do risco integrado foi realizado da seguinte maneira:

Em cada amostra das diferentes linhas de evidência, utilizou-se a seguinte equação $\log(1-X)$. Assim, no quadro da linha de evidência química por exemplo, temos para a amostra B: $\log(1-0,76) = -0,61978$; para a amostra C: $\log(1-0,92) = -1,09691$. Assim se procedeu para todos os parâmetros das demais linhas de evidência. Em seguida foram calculadas as médias para cada amostra, no caso da linha de evidência química as médias são: Amostra B = $-0,520003$ e amostra C = $-0,849485$. Após o cálculo das médias foi utilizada a seguinte equação $1-(10^x)$. Assim temos: amostra B $1-(10^{-0,520003}) = 0,70$; amostra C $1-(10^{-0,849485}) = 0,86$.

Fonte: Rutgers e Jensen (2011)

...//Anexo-C

EM CONSULTA PÚBLICA

ANEXO C - Tabela de Incertezas

Natureza	Localização	Sub-localização	Definição
Epistêmica	Dados	Disponibilidade	Dados incompletos, escassos ou ausentes
		Precisão	Falta de acurácia ou precisão na obtenção de dados
		Confiabilidade	Dado errôneo por alguma razão específica
	Linguagem	Ambiguidade	Vários significados possíveis
		Subespecificidade	Significados não exatos
		Imprecisão	Significado não é claro e compreensível
	Sistema	Causa	Dúvidas sobre a fonte de perigo
		Efeito	Dúvidas quanto a influência de um estressor (fonte) particular sobre o(s) receptor(es)
		Processo	Dúvidas sobre o risco ou não identificação de algo vital para o sucesso da avaliação
Aleatória	Variabilidade	Humana	Resultante de ações enviesadas e subjetivas
		Natural	Relacionada às características estocásticas dos sistemas naturais
	Extrapolação	Intraespecífica	Informação de alguns membros de uma espécie é usada para outros membros da mesma espécie
		Interespecífica	Informação de uma espécie é usada para outra espécie
		Laboratório	Informação obtida em condições laboratoriais é usada para representar cenários reais
		Quantidade	Informação específica de uma quantidade é usada para representar outra
		Espacial	Informação específica de uma escala espacial é usada para representar outra
		Temporal	Informação específica de período é usada para representar outro
Combinada	Modelo	Estrutura	Relacionada com a representação de processos do mundo real na forma de modelo
		Saída	Reflete o nível de confiança nos resultados produzidos
	Decisão	Decisão	Dúvidas em torno da ação ideal, geralmente por causa de diferentes objetivos

Fonte: Skinner et al. (2014, p. 614).