

IMPACTOS ECOLÓGICOS DO USO DE HERBICIDAS AO MEIO AMBIENTE

GUILHERME LUIZ GUIMARÃES

ROHM AND HAAS BRASIL LTDA
Caixa Postal – 39 – 06400 – Barueri-SP

Embora os fatores ambientais já tenham sido levados em conta no controle de desenvolvimento do planejamento de uso da terra, em vários países, por várias décadas, a avaliação de impacto ambiental em sua forma moderna é uma criação dos anos 70. Pode ser definido como um processo através do qual uma ação, que requer a aprovação de uma autoridade pública e que pode dar origem a efeitos ambientais significantes, é submetida a uma avaliação ambiental sistemática cujos resultados são então analisados pela autoridade pública que decide ou não a aprovação do projeto.

A avaliação de impacto ambiental (AIA) teve origem nos Estados Unidos da América em 1969 através do National Environmental Policy Act (NEPA), entrando em operação em janeiro de 1970; ao final dos anos 70, mais de 10.000 avaliações já haviam sido realizadas naquele país. Nessa mesma década vários outros países iniciaram seus processos, como a França (1976), Alemanha Ocidental (1971), Irlanda (1976), mais recentemente, outros países tem adotado a avaliação de impacto ambiental no sistema de planejamento: Argentina, Brasil, Bangladesh, Fiji, Índia, Indonésia, Coréia, Malásia, México, Filipinas, Kenia, Tailândia.

Apesar de muitos países terem adotado esse sistema, não existe uma definição geral por AIA. Transcrevemos a seguir, algumas definições formuladas por técnicos no assunto:

- "AIA é uma atividade designada a identificar e predizer o impacto sobre o ambiente biogeofísico e sobre a saúde e bem-estar do homem, gerado por leis, políticas, programas, projetos e procedimentos operacionais e interpretar e comunicar a informação acerca dos impactos" (MUNN,1979).
- "AIA consiste em identificar, predizer e descrever, em termos apropriados, os prós e os contras (penalidades e benefícios) de um desenvolvimento proposto. Para ser útil, a avaliação deve ser divulgada em termos compreensíveis para a comunidade e os elementos de decisão. Os prós e os contras devem ser identificados com bases em critérios relevantes aos países afetados" (PNUMA, 1978).
- "AIA é uma avaliação de todos os efeitos ambientais e sociais relevantes, resultantes da implementação de um projeto" (INSTITUTO BATTELLE, 1978).
- "AIA consiste em estabelecer valores quantitativos para parâmetros selecionados, que indicariam a qualidade do ambiente antes, durante e após a ação" (HEER & HAGERTY, 1977).
- "AIA é uma atividade que visa a identificar, organizar e avaliar os efeitos físicos, ecológicos, estéticos, sociais e culturais de um empreendimento ou de decisões (técnica econômica ou política). Os efeitos diretos ou indiretos devem ser considerados em suas conseqüências a curto, médio e longo prazos" (MAX FALQUE, 1976).
- "AIA é o exame sistemático das conseqüências de projetos, políticas e planos, com o principal objetivo de fornecer a quem decide, a soma de implicações de ações alternativas, antes que a decisão se faça" (CLARK, 1980).

Todavia, apesar de não haver uma definição geral AIA abrange quatro análises bastante definidas: uma avaliação econômica, uma social, uma sobre a saúde pública e uma ecológica ou ambiental propriamente dita; a junção dessas 4 avaliações dão a soma de implicações que posteriormente serão avaliadas pelos elementos de decisão.

Para projetos industriais (construção de barragens, hidroelétricas, formação de polos petroquímicos, instalações de fábricas e outros) a AIA já está bem estabelecida, mas ainda não há uma forma concreta e definida para se avaliar o impacto causado pelo uso de produtos químicos na agricultura.

Duas análises são mais importantes quando se procura identificar os prováveis efeitos de produtos químicos no meio ambiente; a avaliação sobre a saúde pública e a avaliação ecológica.

Em relação à saúde humana, a avaliação de um produto pode ser feita através de uma bateria de testes toxicológicos agudos, subcrônicos e crônicos, além de alguns estudos especiais que visam determinar, em última análise a dose diária aceitável (quantidade máxima de um produto químico que, ingerida diariamente, durante toda a vida, parece não oferecer risco à saúde, à luz dos conhecimentos atuais) e margens de segurança que indicam os riscos decorrentes do uso de um produto químico.

Relativamente à ação dos produtos químicos e mais propriamente dos herbicidas sobre o ambiente, vários fatores são conhecidos por influenciar o comportamento desses produtos sobre o meio que atuam; o destino de um herbicida é decidido através dos efeitos de vários processos físico-químicos e biológicos, que causam a degradação e o movimento do produto.

Esses processos podem transformar o produto de molécula inicial em uma série de produtos de degradação, definindo seu comportamento no ambiente.

A análise desse comportamento, através da avaliação risco/benefício é que definirá se um determinado herbicida provocará dano ao ambiente em que atua, dano este que pode ser medido avaliando-se o ambiente antes, durante e após a utilização do produto.

Na prática, os herbicidas podem, de várias maneiras entrar em contato com o meio ambiente; desde uma aplicação controlada, em um determinado estágio de desenvolvimento de uma cultura; mas, uma vez presente no ambiente, e principalmente no solo, vários fatores determinarão seu destino.

Dentre esses fatores, muitos dos quais são interdependentes, citamos: a decomposição, seja ela química, foto química ou biológica, a volatilização, a lixiviação, o arrastamento lateral, a solubilidade e o coeficiente de participação do produto, os processos de adsorção/desorção, a retirada pelas plantas e microorganismos; esses processos nos indicam a persistência, a degradação, a mobilidade e a bioacumulação desses produtos; também devem ser observadas a formulação do produto, a forma de aplicação e a dose a ser utilizada.

Rapidamente vamos discutir alguns aspectos desses fatores.

- Decomposição

A rápida degradação de um produto químico e seus metabólicos podem indicar que problemas resultantes da persistência são improváveis de ocorrer.

Três métodos de degradação, a fotoquímica, química e biológica, necessitam ser consideradas quando consideramos as possibilidades de acumulação, a frequência de aplicação e os fatores ambientais, como a temperatura; o conhecimento dos principais

metabólicos é desejável uma vez que os mesmos podem ser mais ou menos tóxicos que os compostos iniciais.

Estudos sobre a degradação de compostos químicos na água, dão informações sobre a taxa e os produtos de transformação oriundos da hidrólise, fotólise e biodegradação; ao serem estudados os sistemas aquáticos, deve ser reconhecido que os sedimentos suspensos e o lodo de lagoas, rios, córregos, etc. são importantes na determinação do destino de um produto.

Desde que é impossível manter a qualidade ambiental de água naturais sob condições de laboratório, as considerações dos sistemas água/sedimento são bastante úteis.

Podemos definir persistência como a habilidade que um composto tem para reter a integridade de sua molécula e conseqüentemente suas características físicas, químicas e funcionais no ambiente através do qual ele é transportado e distribuído após sua liberação no ambiente; o inverso da persistência química é a degradabilidade ou transformação química que pode ocorrer através de mecanismos físicos, biológicos, químicos e fotoquímicos.

A susceptibilidade ou a resistência de um produto químico à degradação determinará, em última análise, seu tempo de permanência em um determinado meio, ou em um compartimento ambiental ou em um ecossistema.

Em relação ao tempo de permanência de herbicidas no solo, exemplificamos abaixo, de forma geral a ação de alguns grandes grupos.

Herbicidas de ação prolongada:

Metoxi/clorotriazinas

Uréias

Uracilos

Picloran

Herbicidas de ação rápida:

Metioltiotriazinas

Uréias (Linuron)

Herbicidas de ação curta:

Carbamatos

Tiocarbamatos

α -Cloroacetamidas

Ácidos fenoxiacéticos

Dalapon

- Volatilidade

Afeta a distribuição de um produto entre o solo, a água e o ar; a pressão do vapor, a principal forma para verificar se a volatilidade de um composto pode ser medida sob condições padrões e informações adicionais podem ser obtidas pela medida da volatilização do solo ou sistemas de água, em laboratório. O tamanho da partícula, fatores ambientais como a temperatura e a umidade e interações com substratos ambientais são também importantes e devem ser considerados ao avaliar-se os efeitos potenciais.

Por exemplo, um composto volátil que é altamente absorvido ou utilizado em clima seco, pode não produzir efeitos; a interpretação dos dados de volatilidade depende muito do uso proposto para um produto, isto é, um herbicida volátil, incorporado ao solo pode persistir muito mais tempo do que se fosse aplicado na superfície.

De forma geral, um composto com alta pressão de vapor tem menor possibilidade de causar contaminação ambiental que um composto com menor pressão de vapor; os agroquímicos dissipam-se mais por volatilização em áreas tropicais do que em regiões temperadas. Alguns exemplos;

Herbicidas altamente voláteis:

EPTC

Trifluralina

Vernolate

Herbicidas medianamente voláteis:

2,4 D

CIPC

IPC

Herbicidas de baixa volatilidade:

uréias

Triazinas

- Solubilidade em água

Influencia a mobilidade de um produto através de um sistema ecológico; os produtos com alta solubilidade em água tem uma maior tendência para alcançar os sistemas de água do que aqueles menos solúveis ou que não são adsorvidos pelos colóides do solo e não se lixiviam rapidamente; tais compostos podem provocar problemas em ambientes aquáticos.

É um importante parâmetro para determinar o transporte e a distribuição de um produto no meio ambiente; a solubilidade em água pode afetar a adsorção, a desorção e a volatilidade de um produto em sistemas aquáticos, bem como possíveis transformações por hidrólise, fotólise, oxidação, redução e biodegradação em água.

Solubilidade de alguns herbicidas em água:

Baixa solubilidade	ppm
Simazina	5
Lenacil	6

Média solubilidade	ppm
Atrazinha	33
Trifluralina	40
Diuron	42
Prometrina	48
Cotoran	90
Ametrina	185

Alta solubilidade	ppm
Picloran	430
Propaclor	700
Terbacil	710
Prometon	750
Bromacil	815
Dalapon	500000

- Coefficiente de participação octanol/água

É importante quando avaliamos a probabilidade de retirada e distribuição de um produto dentro da biota. Um alto coeficiente já é indicado pela solubilidade e é uma presunção evidente que um composto poderá se acumular em organismos vivos.

O coeficiente de participação octanol/água é usado como um indicador do potencial de bioacumulação em organismos vivos.

A acumulação e o transporte de uma substância química em organismos vivos são governados pela polaridade, solubilidade em água, afinidade por tecidos graxos e a natureza da ligação potencial para com os receptores biológicos. Este coeficiente é a medida da distribuição de uma substância entre as fases lipofílica e a água do sistema teste, servindo, portanto, como um indicador do potencial de bioacumulação em tecidos graxos.

O potencial de acumulação é um fator importante na avaliação de risco; em conjunto com dados de degradação, o potencial de acumulação pode ser utilizado para identificar produtos químicos que podem ser transportados através da cadeia alimentar.

Tem-se sugerido que se o valor do coeficiente de partição é $< 10^3$, o que corresponde a um fator de bioacumula (FB) de 100, um produto não é esperado por bioacumular-se; isto tem sido determinada empiricamente como resultado de experiências práticas e é considerado como sendo uma margem de segurança adequada. Produtos químicos que são conhecidos por bioacumular-se significativamente tem $FB > 1000$, como o DDT cujo FB é ~ 100.000 , o Dieldrin ~ 50.000 , Hexaclorobenzeno 10.000 , cujos coeficientes de partição correspondem a valores maiores que 10^4 .

Os termos bioacumulação, bioconcentração e biomagnificação têm diferentes significados para diferentes autores. A OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) considera os termos bioacumulação e bioconcentração por serem sinônimos, mas reconhecem dois processos através dos quais eles podem ocorrer.

a) Bioacumulação/bioconcentração direta: é o processo através do qual uma substância química acumula-se pela retirada direta do meio ambiente através das vias oral, percutânea e respiratória.

b) Bioacumulação/bioconcentração indireta: é o processo através do qual um produto químico acumula-se em organismos vivos através da cadeia alimentar.

No ambiente aquático há oportunidade para a ocorrência dos dois mecanismos e no ambiente terrestre a bioacumulação indireta é o mecanismo predominante.

c) Biomagnificação: é processo através do qual um produto químico acumula-se numa extensão maior do que cada nível trófico na cadeia alimentar.

No contexto da avaliação de risco aquático a importância da bioacumulação está relacionada em sua influência sobre a concentração de um produto químico para os organismos predadores incluindo o homem.

Os valores do coeficiente de partição octanol/água, para alguns padrões são:

Produto	C.P.
Leptofós	20.833
Fentoato	781
Carbaril	197
Quintozene	16.552
Thiobencarb	2.650
Molinate	1.628
Trifluralina	9.328

- Adsorção/desorção

É um dos fatores mais importantes que condicionam a disponibilidade de um produto quando aplicado ao solo; resulta da atração física ou química de uma substância a uma superfície.

Pode ser considerado como um processo de equilíbrio entre a substância adsorvida pelas partículas do solo e a disponibilidade na solução do mesmo; uma parte das substâncias é atraída pelas partículas coloidais e outra parte integra a solução do solo, diretamente disponível para as plantas; a adsorção pode ter lugar na superfície das partículas do solo, ou pode ser interlaminar; quando a adsorção é interlaminar como ocorre com os herbicidas dipiridílicos (Diquat, Paraquat), sua liberação é muito mais difícil que quando a retenção é na superfície.

Adsorção forte reduz a disponibilidade biológica, lixiviação e o movimento do produto na água, mas pode aumentar a resistência à degradação. A adsorção é influenciada pelas propriedades químicas da molécula do produto e pelas propriedades do solo como o tipo e a quantidade de argila e matéria orgânica, superfície do solo, estrutura e pH do solo, temperatura, umidade e concentração salina.

A matéria orgânica é provavelmente o fator individual mais importante.

A adsorção pelos colóides do solo (matéria orgânica e argila) pode levar a sérios problemas ambientais no uso contínuo de herbicidas.

Por exemplo, herbicidas adsorvidos podem ser transportados durante a erosão do solo para lagos e reservas de água, onde as condições podem não ser favoráveis para a degradação microbiológica.

A dose de um herbicida, capaz de ser adsorvido, pode ser até 20 vezes maior, para produzir o mesmo efeito, dependendo da natureza do solo e da quantidade de humus presente; informações de como os diferentes herbicidas reagem com o humus podem providenciar uma base mais racional para seu uso efetivo, reduzindo possíveis efeitos colaterais devido a problemas de arrastamento latera e contaminação.

A desorção implicitamente influencia a lixiviação de um produto através do solo; tanto a adsorção como a desorção podem ser preditas por testes de laboratório.

- Lixiviação

Refere-se ao movimento do produto químico com a água do solo ou aplicado ao solo, intimamente relacionado com o conteúdo de matéria orgânica ou argila, solubilidade do herbicida e a quantidade de água que se move através do perfil do solo; em geral, há maior lixiviação quando os compostos têm maior solubilidade em água.

Os herbicidas são transportados dentro do solo principalmente através da difusão do ar nos espaços do solo (poros), difusão na água do solo, fluxo descendente da água do solo e movimento ascendente da água do solo.

O movimento de produtos químicos no solo é também influenciado pela quantidade total de água de chuva ou de irrigação recebida e a intensidade e a frequência de toda essa água.

O coeficiente de lixiviação de um herbicida constitui uma de suas importantes características, podendo ser estudado com métodos relativamente simples:

Herbicida	Índice de lixiviação
Trifluralina	1
Diuron	2
Simazina	5
Atrazina	10
Picloran	25

- Tipo de formulação

As formas nas quais os produtos são formulados influenciam sua persistência. As formulações solúveis em água são mais rapidamente lavadas das plantas pela chuva quanto que os pós molháveis persistem por tempo maior demoram mais para serem absorvidos pelas plantas, são sujeitos à fotodecomposição e se volatilizam menos. Os grânulos e as micro-cápsulas são especificamente feitos para retardar a liberação e a quebra dos produtos. No solo, a taxa de adsorção nas várias frações do solo, é inversamente proporcional ao tamanho da partícula do produto.

Os microencapsulados podem aumentar a persistência de um produto, mas podem localizar seus efeitos biológicos.

- Forma de aplicação

A persistência de um determinado composto depende da forma pelo qual ele é aplicado. No curso do tempo, o aumento gradual na eficiência do equipamento para aplicação tem levado a um decréscimo correspondente na dose utilizada por unidade de área.

Na aplicação de produtos no solo, os tratamentos tem gradualmente progredido, de aplicações em área total, para aplicações localizadas; nas aplicações aéreas, arranjos mais eficientes têm possibilitado o uso de doses menores.

- Dose de aplicação

Influencia os efeitos ambientais; todavia, a relação entre a dose e o efeito não é linear. Por exemplo, para que o efeito ambiental seja dobrado, um aumento na dose do produto de até uma ordem de magnitude pode ser necessário.

As características morfológicas e fisiológicas das plantas têm grande influência na distribuição, retenção e retirada dos produtos em seus tecidos.

- Estrutura da planta

As plantas diferem grandemente em seu habitat, tamanho e características morfológicas; as estruturas que influenciam a distribuição, retenção e retirada dos produtos são: 1) forma da planta; 2) aspecto foliar; 3) posição e densidade das folhas; 4) superfície foliar e margens.

- Natureza da cultura

As culturas crescem não somente na parte aérea, que providencia alimento para o homem e animais, mas também produz frutos, sementes e em muitos casos bulbos, rizomas e tubérculos. Há translocação de nutrientes da área foliar para a maioria desses órgãos e estudos com produtos radioativos têm mostrado que junto com o movimento de nutrientes há translocação de produtos químicos e que os órgãos de armazenamento podem conter mais resíduos de um produto que outras partes da planta. Todavia, a quantidade e o local de armazenamento de produtos variam de cultura para cultura.

- Facilidade de penetração

Os pesticidas que permanecem sobre a superfície dos órgãos da planta, podem desaparecer muito rapidamente através das diversas formas de ação dos agentes atmosféricos e a velocidade de penetração dentro das plantas afetando consideravelmente sua persistência; para muitos produtos a facilidade de entrada nas plantas depende da molhabilidade da cutícula que modifica-se com a idade da planta e difere-se nas diferentes partes da mesma; normalmente as monocotiledôneas são menos "molháveis" que as dicotiledôneas.

No caso dos herbicidas, os mesmos podem penetrar na planta por via aquosa ou via lipofílica; a cutina é parcialmente lipofílica e parcialmente hidrofílica. Por outro lado, a pectina e a celulose são hidrofílicas; essas características são de grande importância na absorção dos herbicidas.

Os herbicidas polares seguem a via aquisa e penetram na camada cerosa através dos vãos ou ferimentos que as plantas apresentam, para logo passa aos discos cerosos da cutina e difundir-se na pectina e celulose.

Os herbicidas podem penetrar nas folhas, tanto na parte inferior como superior das folhas, sendo que a parte inferior é mais permeável.

Apesar da penetração ser feita através das cutículas e dos estômatos, novos estudos devem ser realizados para a elucidação completa deste fenômeno. Sabe-se, todavia, que a penetração do produto depende da planta em estudo, das condições ambientais (luz, umidade, estado dos estômatos), tipo de molécula do produto (polar e apolar) tipo de formulação e volume de água.

- Taxa de retirada

Está correlacionada com a facilidade com que os produtos penetram na planta e é influenciada por fatores ambientais como luz, temperatura e umidade.

Para produtos aplicados no solo, o tipo de solo tem grande influência na retirada do produto pelas plantas; por exemplo, a quantidade de dieldrin retirada pelas raízes de milho é inversamente proporcional à quantidade de matéria orgânica no solo.

- Translocação

Alguns herbicidas foliares são considerados produtos de contacto, afetando somente os tecidos com os quais entram em contacto. Todavia, há produtos capazes de se movimentarem do local de aplicação para outras partes da planta; esse grupo inclui herbicidas tais como: Amitrole, Glifosate, Dalapon, 2,4D, 2,4,S-T e outros.

Os herbicidas podem ser translocados pelo simplasto ou pelo apoplasto.

O simplasto consiste das partes vivas da planta, que incluem o floema, as células vivas e o plasmodesma ou fibras do protoplasma.

O apoplasto consiste dos tecidos mortos e a água ao redor do simplasto, o qual inclui o xilema e as paredes celulares.

Em geral, os herbicidas percorrem distâncias curtas por difusão, mas para que sejam verdadeiramente sistêmicos, devem mover-se no xilema ou no floema da planta.

Alguns se translocam somente em um ou outro sistema, mas outros podem mover-se tanto no apoplasto como no simplasto. O 2,4D, Dalapon, Amitrole, Dicamba e Picloram movem-se na folhagem pelo simplasto junto com os açúcares.

- Armazenamento

Não há muita informação sobre o armazenamento de produtos químicos pelas plantas; verifica-se contudo, que culturas como batata, beterraba, cenoura e outras, tem considerável afinidade por produtos químicos e retêm maior quantidade de resíduos nos órgãos armazenadores do que em outras partes da planta.

- Excreção

Os produtos químicos podem ser excretados dos vários órgãos da planta através da gutação das folhas e pelo exudatos das raízes.

A persistência de produtos químicos no solo é grandemente influenciada pelo tipo de solo no qual eles são aplicados e particularmente pelas características do solo como tamanho de partículas, conteúdo mineral e de matéria orgânica e concentração de íons hidrogênicos.

O tempo residual de um composto depende, também, da atividade biológica do solo, uma vez que a degradação de muitos produtos é mediada por enzimas.

- Tipo e estrutura do solo

Os solos podem ser classificados de acordo com a proporção de partículas minerais de diferentes tamanhos presentes. Os produtos químicos são rapidamente absorvidos pelas partículas do solo, o que aumenta a sua persistência.

A forma através da qual o tamanho da partícula e estrutura influenciam a persistência no solo é complexa, porque a estrutura está intimamente ligada com a concentração de íons hidrogênio, matéria orgânica e conteúdo de argila.

A estrutura do solo afeta também a lixiviação dos compostos, porque o tamanho dos poros e a sua distribuição afetam o movimento da água através do solo; a umidade também afeta o grau de adsorção nas diversas frações do solo.

O efeito residual e a fitotoxicidade de herbicidas é influenciado pela compactação do solo; verifica-se que a residualidade da Trifluralina e da Atrazina foram aumentadas como resultado de uma compactação moderada e pesada de um solo arenoso.

- Conteúdo de argila

Muitos pesquisadores têm obtido dados mostrando forte correlação entre a quantidade de argila nos solos e sua habilidade em prender e reter produtos químicos. A relação é complexa porque boa parte da argila está associada com a matéria orgânica nos colóides do solo; os vários mecanismos de adsorção dependem de inúmeros fatores como: configuração físico-química dos colóides, configuração físico-química do produto, constante de dissociação do produto, solubilidade em água do produto, também da molécula do produto, pH do solo, temperatura, potencial elétrico da superfície da argila, teor de umidade do solo, tipo de formulação do produto químico.

Exemplos:

Argila	CTC (capacidade de troca catiônica)
Kaolinita	15 meq.
Clorita	30 meq.
Ilita	30 meq.
Montmorilonita	100 meq.
Vermiculita	150 meq.
Matéria orgânica	200 meq.
Superfície do húmus	500 – 800 m ² /g

A elasticidade das camadas de argila, assim como a distância entre elas, também influem na adsorção.

- Conteúdo de matéria orgânica

A quantidade de matéria orgânica em solos varia de menos de 1% a mais de 50%; e da é extremamente importante na absorção de produtos químicos pelo solo e pesquisas têm mostrado forte correlação entre a persistência de compostos nos solos e a quantidade de matéria orgânica presente neles; da mesma forma há relação inversa entre a retirada de produtos pelas plantas e a quantidade de matéria orgânica do solo.

A maior parte da matéria orgânica consiste de compostos húmicos, os quais possuem alta capacidade de troca catiônica.

Os compostos húmicos têm grupos funcionais como carboxil, amino e fenólico-hidroxil, que constituem locais para a formação de pontes de hidrogênio com moléculas do produto químico; a matéria orgânica, de forma geral, tem maior superfície de contacto que as argilas e conseqüentemente, sua capacidade adsorviva é muito maior.

As triazinas são mais fortemente adsorvidas que as uréias substituídas por diferentes tipos de ácido húmico; o tipo de ligação herbicida-ácido húmico também varia ocorrendo ligações mais fortes e duradouras na presença dos herbicidas triazínicos.

- pH

O pH tem efeitos complexos sobre a molécula dos compostos; ele pode afetar a estabilidade dos minerais de argila, a capacidade de troca iônica e a degradação química e microbiológica; a maioria das pesquisas indicam que os produtos químicos são menos adsorvidos e mais rapidamente degradados em solos alcalinos.

Em relação aos herbicidas, de modo geral, os Fenoxis, Picloran, Arnibem, Glifosate, Dalapon, TCA, são acidificantes, enquanto que o paraquat e as Triazinas são básicos e, conseqüentemente, mais adsorvidos.

- Conteúdo de íons minerais

O tipo de mineral presente no solo está intimamente ligado com o tipo e a estrutura do solo e a estrutura dos minerais de argila depende de íons como alumínio, ferro, manganês, cromo, zinco e silício; os minerais podem agir cataliticamente e acelerar a decomposição de um determinado produto. A adsorção de paraquat e Diquat pelo ácido húmico aumenta conforme o cátion que satura o ácido; a ordem dos cátions é $Al^{3+} < Fe^{3+} < Cu^{2+} < Ni^{2+} < Zn^{2+} < Co^{2+} < Mn^{2+} < H^+ < Ca^{2+} < Mg^{2+}$.

- População microbiana

Embora os compostos químicos possam ser decompostos no solo por ação puramente química, a degradação microbiológica tem importância muito grande.

Embora existam casos específicos, onde um determinado microorganismo age somente sobre um determinado substrato, a ação é não-específica, e uma grande variedade de bactérias, fungos, actinomicetos e outros são capazes de degradar qualquer produto químico.

A população de algumas espécies de microorganismos aumenta após aplicações repetidas de um mesmo produto no solo, mas ainda não se sabe claramente se esse aumento

ocorre porque o produto representa urna fonte de alimento para eles, ou porque o produto elimina certas espécies competidoras.

De forma geral, depois de aplicações sucessivas, de um herbicida, a população microbiana que utiliza o produto como alimento, aumenta, degradando-o cada vez com maior rapidez e encurtando sua permanência.

- Fatores ambientais

A influência de fatores climáticos como temperatura, precipitação, radiação e ventos na degradação dos produtos químicos é bastante complexa, porque eles não somente afetam a maioria desses produtos e os fatores da planta e do solo, mas também, porque eles interagem um com os outros.

- Temperatura

De forma geral, tem-se constatado na literatura aumentos na temperatura resultam na perda mais rápida da efetividade do produto; tais perdas podem ser devidas à perda física do produto pelas plantas e solo ou ao aceleração do processo de degradação.

Altas temperaturas aumentam a taxa de volatilização de um produto na superfície do solo ou nas plantas, bem como sua solubilidade em água, tanto a atividade microbiana como animal, no solo, são dependentes da temperatura e assim em solos muito frios elas cessam.

O aumento da temperatura é normalmente causado pelo aumento da radiação e alteração na temperatura influencia grandemente outros fatores climáticos com os ventos e a precipitação.

- Precipitação/Umidade

A influência das chuvas pode ser direta, devido aos efeitos mecânicos da precipitação sobre as plantas e pela lixiviação do produto através do solo ou indireta devido aos seus efeitos sobre o solo e a umidade do ar.

A umidade favorece a atividade microbiana no solo em solos secos, muitos microorganismos passam ao estágio de repouso e tornam-se inativos, praticamente paralisando a degradação do produto, em solos encharcados, a atividade microbiana é principalmente anaeróbica e favorece a decomposição da substância.

A água é uma molécula bastante polar e pode competir com os produtos químicos por sítios de adsorção nos colóides do solo. Em solos secos os compostos são firmemente absorvidos, enquanto que, em solos úmidos eles são liberados e mais rapidamente lixiviados e degradados, isto indica ser o processo reversível para muitos compostos.

A umidade alterada, resultante da precipitação, afeta a perda do produto de várias maneiras; ocorre menor volatilização na superfície das plantas, onde a umidade é alta, mas há maior abertura dos estômatos, ocasionando maior transporte dentro da planta, sendo que urna quantidade menor é perdida através de excreção foliar e gutação.

A umidade do ar afeta a volatilização de um produto químico e também influencia a difusão desses produtos no solo.

- Radiação

A radiação aumenta a volatilização de grande número de produtos na superfície foliar. A retirada do produto da superfície da planta diminui a taxa de retirada dele por parte da planta, mas aumenta a translocação do composto. A luz ultra-violeta afeta uma série de produtos, como as piretrinas, que se decompõe ante sua presença.

- Ventos

O maior efeito dos ventos é sobre a volatilização na superfície da planta, causando contração dos estômatos e difusão através da superfície foliar.

- Conclusões

Verifica-se, portanto, que é extremamente complexo analisar-se todos os fatores e suas interdependências, assim como é difícil fazer generalizações acerca da importância relativa dos diferentes fatores. Por outro lado, a análise de alguns desses parâmetros nos indica, de modo bastante claro o efeito residual de um produto, seu movimento no solo, ar e água, os riscos à vida silvestre e a acumulação na cadeia alimentar. Em uma avaliação de impacto ecológico de produtos químicos no meio ambiente, devido a complexidade dos fatores envolvidos, a principal responsabilidade é saber selecionar quais os parâmetros mais sensíveis para se estimar os possíveis efeitos de um produto sobre o ecossistema em estudo.

No complexo esquematizado na Figura 1, estamos supondo que houve contaminação de urna coleção de água qualquer, através da deriva de um herbicida aplicado por via aérea. Para avaliarmos os possíveis danos ocasionados pelo produto, os seguintes parâmetros devem ser analisados:

- Toxicidade do produto para peixes, animais não-alvos e microorganismos aquáticos.
- Decomposição do produto em meio aquoso (fotólise, hidrólise).
- Solubilidade em água.
- Bioconcentração (coeficiente de partição).
- Dose do produto aplicada.
- Adsorção/desorção no sedimento aquático e no solo marginal.

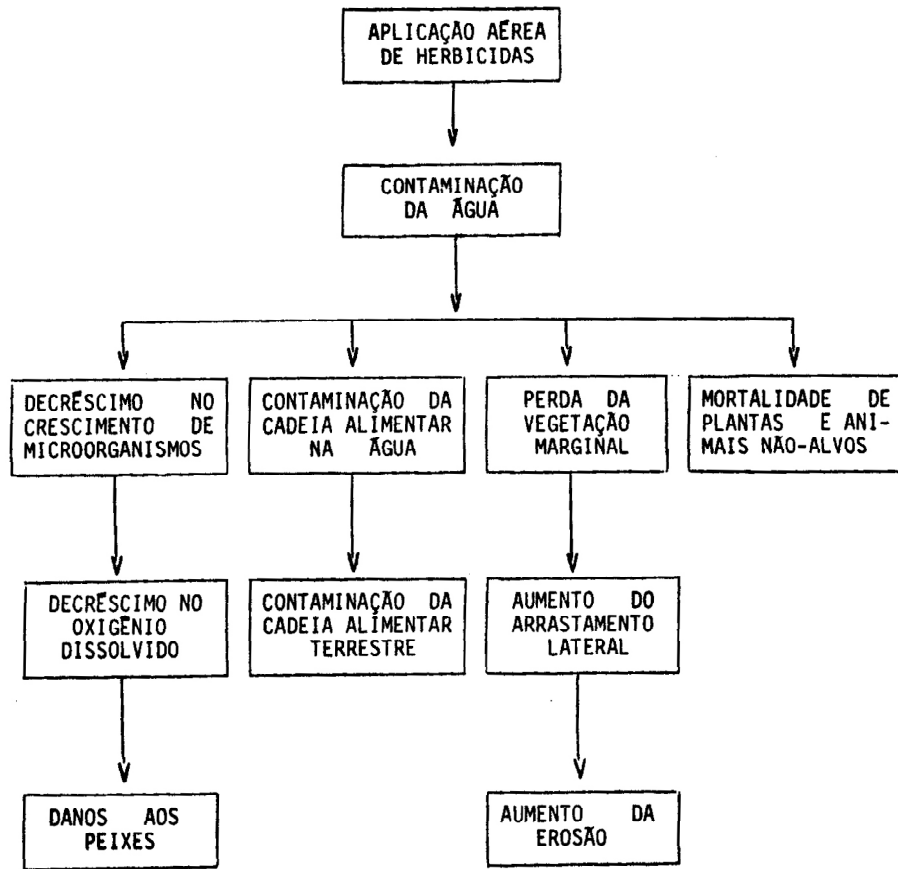


FIGURA 1. Parâmetros a serem analisados para avaliar danos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARDOSO, R.C.I. Curso sobre metodologia de avaliação de impacto ambiental. SLP, 1986. 20p.
- CIBA-GEIGY. A dinâmica dos herbicidas no solo. São Paulo, 1982. 19p.
- CYNAMID. Conceitos básicos do controle de ervas daninhas. São Paulo, 1979. 65p. (Boletim).
- DONKERS, R. Na overview of EIA procedures in North América/European countries. INTERNATIONAL SEMINAR ON ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESMENT (EIA). SLP, 1984.
- EDWARDS, C.A. Factors that affect the persistence of pesticides in plants and soils. Pure and Applied Chemistry, 42(1/2): 39-56, 1975.
- FAO. Guidelines on environmental criteria for the registration of pesticides. Roma, 1985. 39p.
- GOELLNER, C.I. Impacto ambiental dos herbicidas. SLP, 1986. 27p.
- GUIMARÃES, G.L. et alii. O uso de produtos químicos e a fertilidade do solo. SLP, 1985. 46p.
- KANAZAWA, J. A method of predicting the bioconcentration potencial of pesticides by usin fish. JARQ, 17(3): 173-9, 1983.
- KHAN, S.U. Adsorption of Bipyridylum herbicides by humic acid. J. Environ. Quality, 3(3): 202-6, 1974.
- LEE, C.M. Aquatic Toxicity Seminar. São Paulo, CETESB, 1980. 420p.
- LEE, N. Environmental impact assessment; a review. CURSO SOBRE METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL. SLP, 1983. 27p.
- MENINN, A.L. et alii The fate pesticide in soils. Span, 26(1) 38-40, 1983.
- RAHMAN, A. et alii Effect of soil compaction on phytotoxicity and persistence of soil – applied herbicides. Weed Research, 18: 93-7, 1978.
- SENESI, N. et alii Adsorption of some nitrogenated herbicides by soil humic acids. Soil Science, 130(6): 314-20, 1980.