

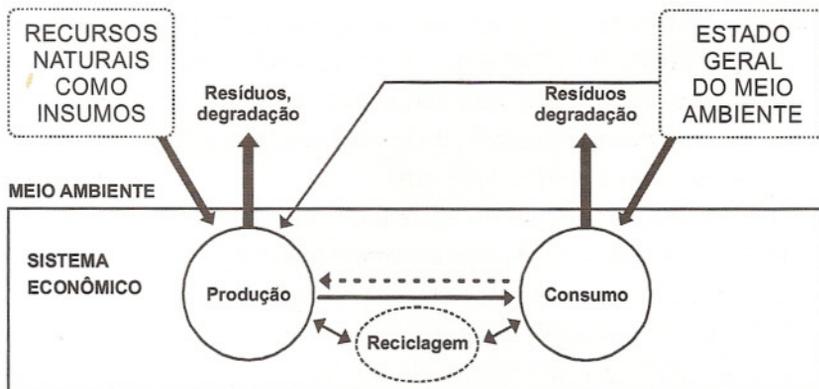
## Capítulo 2

# Elementos básicos da questão ambiental

### 1. Introdução

Vimos no Capítulo 1 que a escala de uma economia – configurada por fatores demográficos e por sua produção material *per capita* –, juntamente com seu estilo de desenvolvimento, estabelece a natureza e a intensidade dos impactos da atividade econômica sobre o meio ambiente. O diagrama a seguir, baseado na Figura 1 daquele capítulo, resume os principais elementos envolvidos. Observam-se aspectos da relação entre o sistema econômico e o meio ambiente. Esta começa com a extração de recursos naturais do meio ambiente, que são transformados em bens e serviços para uso final. Entretanto, esse uso não faz desaparecer os materiais e a energia empregados na transformação. Em boa medida, eles se tornam resíduos e rejeitos. Como a produção também gera resíduos, resultam dos processos de produção e de consumo emissões, para o meio ambiente, de matéria degradada e energia dissipada. Assim, de um lado a extração de recursos naturais (materiais, energia) altera sua disponibilidade; e, do outro lado, o estado do meio ambiente sofre o impacto da deposição de resíduos, de rejeitos do sistema econômico. E isso acontece, em maior ou menor grau, em toda a parte – mesmo nos países que mais se esmeram na promoção da reciclagem e no combate à poluição.

O diagrama e a discussão do parágrafo anterior podem dar a impressão de que as relações entre o sistema econômico e o meio ambiente são relativamente simples. E essa impressão tende a se



consolidar quando examinamos os modelos e os esquemas teóricos da economia do meio ambiente. Esta foi, na verdade, levada a simplificar a realidade no desenvolvimento de teorias que tratam dos fenômenos que focalizam; e até certo ponto esse tipo de abstração se justifica, pois permite que a análise se concentre em relações mais fundamentais entre o sistema econômico e o meio ambiente. Mas, antes de entrarmos nos níveis de abstração consagrados pela economia do meio ambiente – que, aliás, nos acompanharão em boa parte dos demais capítulos –, vamos penetrar um pouco na complexidade dos fenômenos que estão detrás das relações entre esse dois sistemas nas economias industriais de nossos dias.

Para esse fim é importante esboçar inicialmente duas leis da física que constroem as tecnologias adotadas nos processos econômicos básicos e tornam inevitável a geração de resíduos, de rejeitos, de poluição. Essas leis, que são especificadas em maior detalhe na Seção IV são:

- A lei da conservação de matéria e da energia (a primeira lei da termodinâmica). Essa lei nos garante que a matéria e a energia não podem ser criadas do nada e nem podem ser destruídas. Elas estão aí e podem sofrer transformações, inclusive pela ação humana. Uma consequência dessa lei – com importantes impactos sobre a economia do meio ambiente – é que a produção de bens materiais a partir de recursos naturais envolve,

inevitavelmente, a dissipação de energia e a geração de resíduos. O ato de consumir os bens que emanam do processo produtivo e os serviços gerados por uma dada base material não faz a matéria e a energia desaparecerem, e sim as transforma em resíduos de materiais e em energia dissipada.

- A lei da entropia (a segunda lei da termodinâmica). Essa lei regula tais transformações. Ela nos assegura que a energia e até parte da matéria usadas nos processos de produção e consumo perdem, de forma irreversível, a capacidade de ser usadas novamente para a satisfação das necessidades humanas. Esses processos fazem a entropia da energia (e de parte da matéria) aumentar, transformando-as em energia (e matéria) dissipadas. A lei da entropia reflete o fato de que os processos físicos e químicos que estão na essência da produção – e do consumo – transformam de forma irreversível os materiais e a energia empregados nesses processos, eliminando a possibilidade de seu uso outra vez na geração de novos bens e serviços. Podemos dizer, assim, que os processos econômicos geram essencialmente bens e emanações de resíduos e que, em boa medida, estes últimos não podem ser usados de novo para gerar satisfação a consumidores.

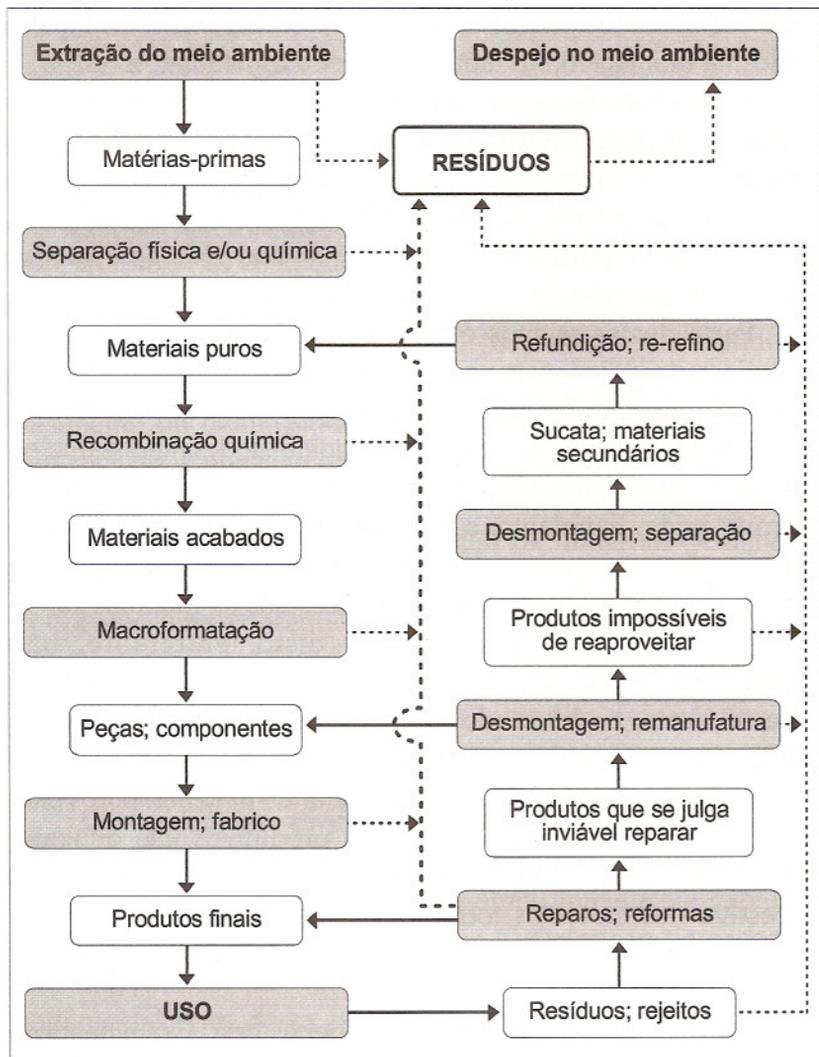
### **Um esboço do ciclo de materiais**

Conforme delineado anteriormente, para que funcione, o sistema econômico precisa retirar materiais e energia do meio ambiente para alimentar os processos de produção e de consumo; e depois de muitas mudanças, os processos econômicos devolvem essa matéria e energia degradadas ao meio ambiente. Isto constitui o ciclo de materiais. Examinamos aqui, em algum detalhe, esse ciclo.<sup>1</sup>

A Figura 1 a seguir indica, em grandes linhas, a maneira pela qual os processos econômicos convertem materiais e energia de baixa entropia em resíduos e emanações de alta entropia. Alimentado por

---

1. Esta parte é baseada em Ayres, 1999; análises mais detalhadas – e altamente elucidativas – são encontradas em Ayres, 1988, e em Ayres e Ayres, 1996.



Fonte: Adaptado de Ayres, 1999, Fig. 60.2

**Figura 1. O ciclo de matérias do sistema econômico**

energia de baixa entropia – sem esta nada acontece –, o ciclo começa com a extração de materiais básicos da natureza e prossegue com a separação a partir deles, por meios físicos e/ou químicos, de materiais puros. Estes, por sua vez, são recombinados, gerando

materiais acabados, originando peças e componentes que são usados na montagem, no fabrico de produtos acabados.

Cedo ou tarde os produtos acabados ou são destinados ao consumo, ou se constituem em adições ao estoque de capital – as máquinas e os equipamentos –, uma categoria fundamental do processo produtivo nas economias modernas. São “usados”; mas, como já indicamos, o uso dos produtos finais não os faz desaparecer; converte-os, ao invés, em resíduos e rejeitos.

Parte desses rejeitos é passível de concerto, de reforma, voltando assim a se incorporar a bens para uso; mas em relação a uma parcela significativa – especialmente nas economias industrializadas dos nossos dias –, considera-se desinteressante ou inviável reparar. Uma parcela desses rejeitos que não se deseja reformar pode, entretanto, ser desmontada, originando peças e componentes a serem reaproveitados, indo se incorporar ao fluxo de peças e componentes usados nos processos de manufatura.

Mesmo o que sobra depois disto, entretanto, não necessariamente são resíduos inaproveitáveis. Uma boa parte o é e, dessa forma, acaba sendo despejada no meio ambiente; mas uma parcela se constitui em sucatas, materiais secundários, que podem ser refundidos ou re-refinados, gerando materiais puros para uso em outros estágios de processos produtivos. De qualquer maneira, nas atuais sociedades industriais, uma parcela muito expressiva dos materiais tornados inservíveis depois do uso se constitui em matéria degradada que, de várias formas, é jogada no meio ambiente.

O problema, entretanto, não é apenas este. Examinando o diagrama vemos que as diferentes etapas dos processos de extração de materiais do meio ambiente e de sua transformação até que sejam gerados produtos finais, prontos para o uso, também produzem resíduos, que acabam devolvidos – com maior ou menor tratamento – ao meio ambiente. E o mesmo acontece com as etapas de reparo e reformas, de desmontagem, remanufatura e separação e de refundição e re-refino. Muitas dessas etapas são desejáveis e consideradas nobres, pois atenuam a degradação do meio ambiente; mas elas envolvem atividades que, inevitavelmente, empregam

energia de baixa entropia e geram resíduos, que cedo ou tarde alcançam o meio ambiente.

Antes de prosseguir, é importante ressaltar que o problema ambiental do uso de materiais nos processos econômicos decorre, em boa medida, do caráter dissipativo de parte importante desse uso. Uma parcela dos materiais empregados nesses processos tem uso estrutural; eles compõem arcabouços, estruturas, de produtos, o que permite, em princípio, seu reaproveitamento – a sua reciclagem – quando esses produtos perdem sua utilidade. Entretanto, uma parte considerável envolve materiais que são fisicamente ou quimicamente transformados em elementos não aproveitáveis, e que com o uso se dispersam na atmosfera, no solo ou em corpos d'água. Ocorre, nesses casos, o uso *dissipativo* de materiais. Além disso, essa dissipação de materiais geralmente ocorre em conjunção – ou mesmo em amálgama – com a dissipação de energia, uma conseqüência da operação da lei da entropia. Temos, com isso, as emanações de matéria-energia tão visíveis nos casos notórios de poluição.

### **Os resíduos das atividades extrativas**

Detalhando um pouco as etapas do ciclo de materiais, começamos com as empresas que retiram materiais e capturam energia do meio ambiente, pondo-os à disposição de processos econômicos. As atuais economias industriais dependem fundamentalmente dessa extração, que começa com atividades de mineração, bombeamento de petróleo, gás, etc., seguidas de processos de concentração, para a obtenção de minérios. E esses processos tendem a gerar enormes quantidades de resíduos, que vão desde a água usada em etapas da mineração ou da extração até resíduos sólidos dos mais variados tipos. Além disso, como as atividades de extração usam muita energia, elas acarretam quantidade expressiva de energia dissipada (de energia de alta entropia) que, em mistura com materiais também dissipados, se constituem em significativa poluição atmosférica.

Os problemas ambientais das atividades extrativas freqüentemente têm a ver com a enorme escala das operações de extração e de processamento primário. Por isso, elas geram emissões de volumes elevados de resíduos, muitos altamente prejudiciais ao meio ambiente. Alguns exemplos de geração de resíduos das atividades de extração de recursos básicos dão uma idéia da magnitude do problema. Segundo Ayres (1999, Tabela 60.1), em 1993 foram extraídos em todo o mundo cerca de 106 milhões de toneladas métricas de bauxita (o minério do qual se produz o alumínio) com apenas 19,8%, em média, de conteúdo do metal alumínio; sobraram 86 milhões de toneladas de resíduos da mineração. No caso do cobre, os segmentos de extração retiraram, no mesmo ano, mais de 2,5 bilhões de toneladas de minério, das quais resultou uma quantidade de metal correspondendo a meros 0,4%, em peso, do total removido; sobraram montanhas de resíduos. No caso do ferro, as mineradoras movimentaram, no ano, por volta de 989 milhões de toneladas de minério, gerando um montante de metal com cerca de 53% desse peso total. Um exemplo extremo é o do urânio, cuja extração envolveu cerca de 1,9 bilhão de toneladas de minério, resultando em apenas 0,002%, em peso, de produto refinado. É enorme, pois, a geração de resíduos na etapa da extração. A questão, porém, é que parte desses resíduos pode ser “tratada” e se tornar inofensiva; mas outra parcela é tóxica e constitui importante ameaça – real ou potencial – ao meio ambiente e à saúde humana.

Mas o problema não para aí. Acontece que a enorme movimentação de materiais e a dissipação de energia de tais atividades geram impactos significativos sobre o espaço, afetando habitats e destruindo a biodiversidade. Muitos países exigem das empresas extratoras que, dentro do possível, recuperem o espaço degradado por suas atividades, mas muitas vezes essa recuperação é meramente paliativa; e alguns desses impactos são irreversíveis. Além disso, em vários casos nada se faz para recompor as áreas que sofreram degradação. A degradação de áreas em que se desenvolvem atividades de garimpo, de mineração, pode ser dramática.

Merecem atenção, nesse sentido, os impactos de uma atividade “extrativa” muito particular – a da agropecuária.

Normalmente, essa atividade depende de forma crucial do espaço, pois este viabiliza a captação da energia solar para a produção, a partir de nutrientes existentes nos solos, de uma massa vegetal que está no cerne da produção de alimentos. Acontece que a agricultura moderna envolve considerável adição de nutrientes aos solos ; ou seja, ela requer materiais e energia em adição ao que a natureza disponibiliza no espaço em que se desenvolve a produção agrícola. Isso faz com que gere quantidades apreciáveis de emanações de resíduos para o solo, para a água e mesmo para a atmosfera. Além disso, para que possa atender a uma crescente demanda, são necessários volumes cada vez maiores de produção; por essa razão, a agricultura comercial moderna vem incorporando áreas crescentes nas regiões de fronteira agrícola, das quais, via de regra, remove completamente a cobertura vegetal original. E promove a simplificação, cultivando nas áreas afetadas uma única lavoura em um dado período de tempo.

Não cabe aqui uma discussão em maior profundidade dos problemas ambientais associados à expansão da agricultura comercial moderna, mas é importante ressaltar um impacto ambiental extremamente preocupante que resulta dessa expansão: o da destruição de *habitats*, de biodiversidade. Ou seja, a agricultura moderna não só extrai nutrientes dos solos, exigindo sua reposição, geralmente à base de insumos industriais, e emprega elementos tóxicos para o adequado desenvolvimento de safras, como vem incorporando mais e mais áreas virgens, das quais remove a cobertura vegetal e afasta ou destrói todas as formas de vida que possam interferir no desenvolvimento de lavouras ou de pastagens. De parceira com a natureza, a agricultura evoluiu para a condição de destruidora de ecossistemas que existiam em extensas porções do espaço sobre as quais vem se expandindo.

### **A degradação ambiental da seqüência de transformações, no processo produtivo, dos materiais extraídos**

Focalizamos aqui as etapas de processamento dos materiais brutos que as atividades extrativas retiram do meio ambiente.

Conforme esboçado na Figura 1, a partir dos minérios e de outros produtos extrativos é feita a separação, fazendo surgir materiais puros a serem recombinados, gerando materiais acabados. Estes, por sua vez, passam por processos de macroformatação dos quais emanam peças e componentes. E, nas etapas de montagem e fabrico, estes são transformados em produtos finais, prontos para o uso.

É importante ter em mente que essas etapas também são responsáveis por consideráveis emanações de resíduos, de poluição. Essa geração de resíduos pode não ser tão espetacular e dramática quanto a dos casos mais extremos das atividades extrativas, mas ela também produz consideráveis impactos negativos. Na verdade, parcelas expressivas dos materiais que resultam dos processos extrativos e que são empregados nos processos produtivos se tornam resíduos. Ademais, parte importante desses resíduos resulta de usos dissipativos da matéria-energia.

A dissipação de matéria-energia é um assunto extenso (ver AYRES e AYRES, 1996; e AYRES, 1999); apenas para ilustrar, seguem alguns exemplos.

- **Petróleo e derivados.** Do petróleo bruto extraído, são inicialmente retiradas impurezas como enxofre e cinzas. Em seguida, mediante destilação, o petróleo é separado em diversos componentes: vários tipos de combustíveis e diversas matérias-primas para a indústria petroquímica. Estes últimos são, adiante, recombinados com elementos de outras origens, para gerar produtos químicos e materiais sintéticos, como os plásticos. Todas essas etapas produzem emanações dissipativas, com apreciáveis impactos negativos sobre o meio ambiente. As refinarias de petróleo do passado são exemplos evidentes disso. É verdade que, com o passar dos anos, foram sendo encontrados usos para subprodutos do processo de refino que antes eram emanações nocivas, bem como foram descobertas formas de filtrar parte das emanações que restam. Mas a ocorrência de reduções mais óbvias e visíveis de emanações não significa que as refinarias não mais degradam o meio ambiente, mas sim que essa degradação se tornou menos visível. As leis da termodinâmica tornam impossível a produção sem dissipação de matéria-energia,

e o melhor que se pode fazer é evitar impactos mais degradadores sobre o meio ambiente da dissipação de matéria-energia.

- **Metais.** Via de regra, os usos destes são estruturais,<sup>2</sup> sendo assim, pelo menos em princípio, passíveis de recuperação e reuso quando os produtos em que são originalmente moldados perdem sua utilidade. Mas, como já indicamos, a obtenção desses metais a partir de minérios vem acompanhada de resíduos sólidos cuja deposição requer cuidados para evitar danos ambientais. E, de forma especial, seu processamento envolve o emprego de grandes quantidades de energia, originando emissões para a atmosfera, algumas potencialmente tóxicas.<sup>3</sup> Outra vez, sem cuidados especiais, os impactos ambientais podem ser consideráveis. Acontece, também, que a produção de metais como o cobre, o zinco, o chumbo e a platina gera subprodutos extremamente tóxicos. Parte destes é usada em inseticidas, herbicidas e fungicidas, preservadores de madeira, catalisadores, estabilizadores de plástico, tintas, dentre outros usos. O problema, aqui, está nos impactos de usos não adequados desses produtos tóxicos.
- **Papel e celulose.** Esses produtos são obtidos a partir da madeira, por processos de digestão química com o auxílio de álcalis e ácidos potentes. Desses processos resultam consideráveis emissões líquidas tóxicas e de gases nocivos. No passado, a produção de celulose era extremamente agressiva ao meio ambiente, mas progressos recentes nas áreas da filtragem e do manejo de resíduos permitiram considerável redução, nas fábricas mais modernas de celulose, dos impactos ambientais mais nocivos.

Como ressaltamos, esses são apenas alguns exemplos. O tema é vasto e complexo e não pretendemos mais que indicar a natureza dos impactos ambientais que resultam das diferentes etapas dos processos de produção e uso de bens. Além disso, o caminho de volta, do uso para a disposição final de resíduos no meio ambiente, também é complexo. Seguem algumas observações a esse respeito.

---

2. Isso acontece particularmente nos casos do ferro e do alumínio.

3. Isso tende a ocorrer no caso da extração, a partir de minérios, do cobre, do zinco, do chumbo e do níquel.

## **O caminho de volta – da perda de utilidade de bens à devolução dos materiais de que são constituídos ao meio ambiente**

Como se pode ver na Figura 1, quando os produtos perdem sua utilidade, seja para o consumidor, seja para empresas ou para o governo, eles se constituem em resíduos, que precisam de tratamento especial para que não gerem maiores danos ao meio ambiente. Há produtos do ciclo de materiais – como os alimentos, por exemplo – cujo uso é eminentemente dissipativo; esse uso origina emanações que requerem tratamento especial visando a neutralizar os danos ambientais que podem causar. São conhecidos métodos e técnicas para tal, mas nas sociedades menos desenvolvidas há problemas econômicos e institucionais que dificultam seu emprego. Nessas sociedades é elevada a incidência de impactos negativos, tanto sobre a saúde pública como sobre o meio ambiente, de emanações dissipativas. Um exemplo clássico é o dos dejetos humanos.

Mas há muitos outros produtos em que o emprego de materiais é estrutural. Nesses casos há, pelo menos potencialmente, a possibilidade de reuso. Muitas vezes, a perda de utilidade desse tipo de produtos decorre de quebra ou de mau funcionamento. Quando isso acontece, pode-se consertar ou reformar o produto, restaurando sua capacidade de ministrar utilidade; se isso ocorre, o bem consertado reingressa à categoria de produtos prontos para uso.

Como se sabe, entretanto, uma boa parte dos resíduos de produtos em que há emprego estrutural de materiais não pode ser recuperada dessa forma; mas uma parcela pode ser desmontada, fazendo com que alguns de seus componentes se tornem disponíveis para reuso em etapas de remontagem e manufatura. De qualquer maneira, ainda sobram resíduos que não são passíveis de recuperação dessa forma. Dentre eles existem, entretanto, materiais que podem ser reaproveitados; são materiais que podem ser refundidos ou re-refinados. Quando isso acontece, eles voltam a ingressar na cadeia do processo produtivo que leva à geração de bens finais.

Por mais que haja reaproveitamentos como os antes indicados, ainda assim todas as etapas anteriores produzem resíduos não

aproveitados, que acabam sendo depositados no meio ambiente. Além disso, como indicado na Figura 1, os diferentes processos de reaproveitamento de resíduos de materiais não só geram resíduos e emissões, como requerem energia de baixa entropia, que se dissipa irrevogavelmente, freqüentemente em amálgama com materiais dissipados. Surgem, assim, emissões prejudiciais à atmosfera, aos corpos d'água, aos solos. Ou seja, embora esses processos permitam o reaproveitamento de materiais contidos em resíduos, eles também empregam materiais e energia e, inevitavelmente, geram a dissipação de energia-matéria comumente denominada de "poluição". Ou seja, essa dissipação não é exclusiva das etapas da produção de bens finais e do consumo dissipativo.

Muitas vezes as deposições de resíduos no meio ambiente trazem problemas cuja solução envolve certo grau de dificuldade. Tratamos desse tema com alguns exemplos ilustrativos:

- No caso dos **resíduos do uso de produtos finais envolvendo metais**, sua reciclagem é, via de regra, tecnicamente viável. Mas, por mais que a sociedade se organize para reciclar, existe o problema da captação de resíduos de uma infinidade de usos em que esses metais aparecem em pequena quantidade – pregos, giletes usadas, molas de colchão, pedaços de arame, aparas de fios elétricos, o metal desgastado pelo atrito em motores, etc. Esses resíduos são freqüentemente depositados em mistura a outros tipos de rejeitos em depósitos de lixo, ou espalhados no meio ambiente, o que dificulta sua separação para reuso. Nesses casos, o reaproveitamento tende a não ser viável em termos econômico; disso resulta, portanto, um uso quase-dissipativo de metais.<sup>4</sup>

Entretanto, nas economias industrializadas dos nossos dias, uma série de fatores vem produzindo exageros. A reciclagem e o reuso são tecnicamente conhecidos – quase triviais –, mas tornaram-se não viáveis em termos econômicos e observam-se enormes desperdícios.

---

4. Segundo Ayres (1999, p. 881), por exemplo, entre a metade e sete-oitavos do consumo anual de cada um dos metais não ferrosos é quase-dissipativo, pois eles acabam sendo dispersos no meio ambiente sem viabilidade econômica de recuperação.

- Vimos que a **indústria petroquímica** origina uma série de produtos sintéticos de amplo uso. E este vem acompanhado da emanção de resíduos, muitos dos quais são de difícil disposição. Os resíduos dos plásticos feitos a partir de insumos da indústria petroquímica, por exemplo, não são biodegradáveis e acabam sendo acomodados em aterros sanitários, lixões ou são incinerados. E em alguns casos, sua queima gera emanções tóxicas ou mesmo carcinogênicas.
- O crescente acúmulo de **pneumáticos usados** vem se constituindo em problema de difícil solução. Até certo ponto eles podem ser reaproveitados depois de recauchutados, mas há limites para isso. Assim, cedo ou tarde, acabam sendo depositados no meio ambiente, onde causam problemas, pois não são biodegradáveis. Podem ser incinerados, mas isso gera emanções nocivas, de difícil controle.
- Há a questão da deposição de **papel e papelão usados**. Em parte, estes podem ser reciclados, mas não só a recuperação desse tipo de resíduos não é perfeita, como requer energia e outros materiais, e também origina resíduos ao meio ambiente.
- Finalmente, um caso que, à primeira vista, parece trivial, mas vem sendo motivo de crescente preocupação: o do **lixo urbano** – ou, na linguagem técnica, os resíduos municipais.<sup>5</sup> Vimos no Capítulo 1 que, se houver a disseminação do desenvolvimento, a expansão da geração de lixo pode vir a se tornar um problema crítico.

Por lixo urbano entendemos os resíduos sólidos de domicílios, de estabelecimentos produtivos e do setor público, coletados, processados e dispostos no meio ambiente por organizações especiais – os **serviços de coleta de lixo**. O fluxo desses resíduos rotineiramente gerados por residências, por entidades empresariais e do setor público envolve três etapas: a da emanção desses resíduos, a da sua coleta por serviços especializados e a do seu tratamento e deposição no meio ambiente.

Barata (2002) mostra que a disposição do lixo é um dos problemas mais antigos de sociedades humanas organizadas e que

---

5. Uma resenha atual e bastante abrangente deste tema é a de Barata (2002).

- Vimos que a **indústria petroquímica** origina uma série de produtos sintéticos de amplo uso. E este vem acompanhado da emissão de resíduos, muitos dos quais são de difícil disposição. Os resíduos dos plásticos feitos a partir de insumos da indústria petroquímica, por exemplo, não são biodegradáveis e acabam sendo acomodados em aterros sanitários, lixões ou são incinerados. E em alguns casos, sua queima gera emissões tóxicas ou mesmo carcinogênicas.
- O crescente acúmulo de **pneumáticos usados** vem se constituindo em problema de difícil solução. Até certo ponto eles podem ser reaproveitados depois de recauchutados, mas há limites para isso. Assim, cedo ou tarde, acabam sendo depositados no meio ambiente, onde causam problemas, pois não são biodegradáveis. Podem ser incinerados, mas isso gera emissões nocivas, de difícil controle.
- Há a questão da deposição de **papel e papelão usados**. Em parte, estes podem ser reciclados, mas não só a recuperação desse tipo de resíduos não é perfeita, como requer energia e outros materiais, e também origina resíduos ao meio ambiente.
- Finalmente, um caso que, à primeira vista, parece trivial, mas vem sendo motivo de crescente preocupação: o do **lixo urbano** – ou, na linguagem técnica, os resíduos municipais.<sup>5</sup> Vimos no Capítulo 1 que, se houver a disseminação do desenvolvimento, a expansão da geração de lixo pode vir a se tornar um problema crítico.

Por lixo urbano entendemos os resíduos sólidos de domicílios, de estabelecimentos produtivos e do setor público, coletados, processados e dispostos no meio ambiente por organizações especiais – os **serviços de coleta de lixo**. O fluxo desses resíduos rotineiramente gerados por residências, por entidades empresariais e do setor público envolve três etapas: a da emissão desses resíduos, a da sua coleta por serviços especializados e a do seu tratamento e deposição no meio ambiente.

Barata (2002) mostra que a disposição do lixo é um dos problemas mais antigos de sociedades humanas organizadas e que

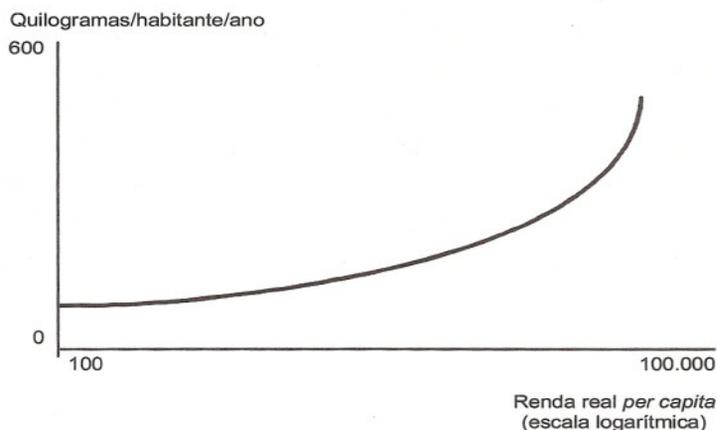
---

5. Uma resenha atual e bastante abrangente deste tema é a de Barata (2002).

tem sido extremamente complexo lidar efetivamente com esse problema, principalmente em grandes aglomerações urbanas. Por muito tempo, a solução – na melhor das circunstâncias – era a de simplesmente depositar longe das residências ou do centro da cidade, enterrar ou queimar o lixo. Nos últimos 25 anos, entretanto, os países ou as regiões mais afetados pelo problema começaram a implementar esquemas de manejo integrado – focalizando as três etapas atrás mencionadas.

Ou seja, idealmente, esse manejo não deve meramente tratar da coleta e da disposição do lixo. Ele deve ir à sua origem: aos domicílios, às entidades emissoras do lixo, tentando induzir que se reduza o uso de matérias que se tornam lixo; depois, envolve formas de reaproveitar parte dos materiais que compõem o lixo, ou seja, de reaproveitar, de reciclar parte desses materiais; e finalmente, envolve o emprego de formas menos destrutivas do meio ambiente, de dispor o que sobra. Sem dúvida, deve-se procurar trilhar esse caminho; mas ele é complexo e, como mostra Barata (2002), não há formas estabelecidas e amplamente aceitas de lidar com o problema, mesmo nos países desenvolvidos com ele mais afinados.

A Figura 2, adiante, esboça a relação estabelecida pelo Relatório de 1992 do Banco Mundial entre a renda *per capita* e a emissão de lixo urbano por habitante.



**Figura 2. Emissão de lixo urbano *per capita***

Tratando da questão do lixo, entretanto, cumpre reconhecer que nos países e nas regiões menos desenvolvidos o problema remonta à coleta – à retirada do lixo de aglomerações urbanas. Embora produzam bem menos lixo por habitante que nos países ricos, as cidades desses países tendem a gerar bem mais lixo do que suas organizações de coleta podem recolher. Além disso, mesmo as parcelas do lixo coletadas tendem a ser dispostas em lixões, quando não são jogadas em rios ou em outros ecossistemas frágeis. E, nas grandes cidades, a coleta deficiente, aliada à disposição inadequada da parte do lixo coletado, além de produzir consideráveis impactos ambientais, acaba se tornando problema de saúde pública. Nos países em desenvolvimento menos atrasados como o Brasil, porém, a remoção do lixo de áreas onde se concentra a população já evoluiu satisfatoriamente; mas estes ainda enfrentam problemas de tratamento do lixo coletado. Esses países deveriam ver a questão do lixo de forma mais abrangente, focalizando todas as etapas antes indicadas.

Muitos dos casos vistos anteriormente são de conhecimento amplo; eles são mencionados para ressaltar a complexidade e a natureza dos problemas em diferentes etapas do caminho de volta ao meio ambiente da matéria que compõe produtos usados.

### **As emissões resultantes de insumos de energia de todo o ciclo de materiais**

Uma parte da energia empregada pelos processos econômicos vem diretamente do sol ou está contida em organismos que capturaram direta ou indiretamente a energia solar. Entretanto, as economias industrializadas de nossos dias empregam muito mais energia que a capturada dessa forma do sol. Os combustíveis fósseis – o petróleo, o gás natural, o carvão – tornam isso possível. Esses combustíveis são empregados em grandes volumes, e sua extração pode gerar consideráveis impactos ambientais – como ocorre, por exemplo, com a mineração do carvão a céu aberto. Entretanto, os

principais problemas ambientais associados ao amplo e crescente emprego de combustíveis fósseis decorrem da sua combustão e, de forma especial, dos resíduos decorrentes desta.

Na verdade, boa parte dos problemas de poluição atmosférica que estamos atualmente experimentando está associada à combustão de combustíveis fósseis. Esta dissipa a energia de alta entropia no meio ambiente, e a energia dissipada geralmente vem em mistura com resíduos de materiais, gerando emissões nocivas. Dentre elas, destacam-se (ver AYRES, 1999, p. 874-5): emissões de dióxidos de carbono ( $\text{CO}_2$ ); de monóxidos de carbono; de partículas de hidrocarbonetos e de compostos voláteis não queimados ou parcialmente queimados; de particulados sólidos (cinzas); de óxidos de nitrogênio e de óxidos de enxofre, dentre outras (ver adiante). Algumas dessas emissões exercem impactos sobre a saúde pública (alguns são carcinogênicos). Outras geram fenômenos como o da chuva ácida.

Entretanto, o efeito mais preocupante das emissões decorrentes do emprego de combustíveis fósseis está no acúmulo de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) na atmosfera. As emissões de gases do “efeito estufa” não só são muito elevadas como está sendo difícil contê-las. E acredita-se que crescente acúmulo na atmosfera de gases resultantes, em boa medida, da combustão de combustíveis fósseis poderá vir a afetar o equilíbrio térmico do nosso globo. Considera-se, ademais, que se o processo não for logo controlado, viremos a experimentar não só elevações de temperatura média, como aumentos de variabilidade climática, mudanças em regimes de chuvas e na localização de correntes oceânicas, deslocamentos no cinturão de desertos e aumentos no nível dos oceanos, entre outros efeitos. E essas mudanças poderão ser catastróficas para parcela considerável da população de nosso globo.

A saída, evidentemente, é a de conter o emprego de combustíveis fósseis, o que envolve a descoberta de fontes mais limpas de energia. Há quem aponte para inovações recentes, por exemplo, a do emprego do hidrogênio como fonte de energia “limpa”. Todavia, embora existam tecnologias para tal, a viabilidade econômica da produção e da distribuição em larga escala do hidrogênio, bem como a de veículos que empreguem esse combustível, longe está de comprovada (AYRES, 1999, p. 877).

### **Será possível “fechar” o ciclo de materiais?**

Robert Ayres (1996; 1999; e 1999a) emprega o termo “ciclo de materiais” numa analogia com ciclos biogeoquímicos que operam na natureza. Como ressalta o autor, o “ciclo de materiais” contrasta com os ciclos naturais; estes são fechados, o que não ocorre com aquele.

Para começar, o que são os “ciclos naturais”? Uma ilustração, quase metafórica, pode ser dada, por exemplo, com o ciclo das águas: é elementar o fato de que, graças à energia solar, a água que cai com as chuvas acaba voltando a constituir nuvens, fechando, por assim dizer, o ciclo das águas. Uma outra ilustração desse tipo é a do ciclo oxigênio-dióxido de carbono em um ecossistema estável: como se sabe, no processo de fotossíntese – também viabilizado pela energia solar – os vegetais absorvem dióxido de carbono e emanam oxigênio; este, por sua vez, é absorvido por organismos aeróbicos, que devolvem ao meio ambiente, como rejeito, o dióxido de carbono requerido pelos vegetais. Outra vez, esse ciclo natural se fecha.<sup>6</sup>

Esses exemplos dão uma idéia do significado de um ciclo natural fechado. De forma mais fundamental, porém, Ayres (1999a) se refere a grandes ciclos de nutrientes: são os ciclos do carbono, do nitrogênio, do enxofre e do fósforo, fundamentais para a existência da vida no nosso globo. O autor mostra que esses ciclos evoluíram ao longo de

---

6. Na verdade, se o ciclo não se fecha é porque o ecossistema não é estável; ele pode estar em expansão ou em declínio.

bilhões de anos e agora conferem ao nosso globo uma certa estabilidade longe do equilíbrio termodinâmico. Mas esses ciclos se “fecharam” apenas recentemente. A situação em que nosso globo agora se encontra é o resultado da evolução desses (e de outros) ciclos naturais ao longo de bilhões de anos. Isso ocorreu graças à energia solar que atinge nosso globo. E nesse processo evolutivo, seres vivos tiveram participação fundamental; na verdade, sem essa participação, os grandes ciclos de nutrientes provavelmente não teriam se “fechado”, e nosso globo não estaria na atual situação de estabilidade longe do equilíbrio.

Nos últimos três séculos, entretanto, uma categoria especial de seres vivos – a dos humanos – vem atuando para solapar as bases do estado de estabilidade que nosso globo atingiu. E faz isso justamente por meio do “ciclo de materiais”. Nas atuais economias industriais, esse ciclo é claramente incompleto; embora os processos de produção e de consumo devolvam ao meio ambiente os materiais que dele extraem, processam e usam, bem como a energia empregada, os resíduos assim devolvidos são de natureza totalmente distinta. Os materiais degradados e a energia dissipada que o “ciclo de materiais” devolve ao meio ambiente não só são muito menos úteis que a matéria e a energia retiradas do meio ambiente, como freqüentemente são tóxicos para quase todas as formas de vida; e mesmo os resíduos não tóxicos muitas vezes são descartados em volumes tão grandes que acabam produzindo fortes danos ao meio ambiente, além de efeitos nocivos sobre a saúde e o bem-estar humanos. Ou seja, ao contrário do que ocorre com os grandes ciclos naturais, os resíduos devolvidos em grandes quantidades ao meio ambiente pelo ciclo de materiais não só não são reaproveitados, como produzem efeitos deletérios.

Ayres argumenta que se isso continuar a acontecer por muito mais tempo e na mesma intensidade o resultado poderá, em princípio, ser uma ruptura na atual estabilidade longe do equilíbrio, com conseqüências potencialmente catastróficas. O autor se preocupa, assim, com a crescente pressão da sociedade humana de nossos dias sobre um recurso natural fundamental e insubstituível que o meio ambiente nos fornece: o da capacidade de regeneração em face das nossas agressões. Conforme ressalta o autor:

A capacidade de assimilação de resíduos do meio ambiente também é um recurso finito. Os materiais que são extraídos cedo ou tarde se tornam emissões, ou de resíduos de processo, ou de resíduos de consumo. Mas o meio ambiente não tolerará indefinidamente tais emissões [...] (AYRES, 1999, p. 886).<sup>7</sup>

É imperativo, portanto, que no longo prazo nos fixemos no objetivo de “fechar” o ciclo de materiais. Mas até que ponto será possível atuar nesse sentido? Evidentemente, se continuarmos a atuar como vimos fazendo, estaremos cada vez mais distantes disso.

Contrariamente às atitudes catastrofistas de muitos dos que denunciam os problemas ambientais decorrentes do atual funcionamento do sistema econômico global, Ayres vem trabalhando obstinadamente para demonstrar que existem formas, se não de “fechar”, ao menos de reduzir significativamente o atual hiato.<sup>8</sup> Esse autor mostra que, para isso, é necessária a adoção de, por assim dizer, uma logística ao reverso; ou seja, é fundamental que se criem e se aperfeiçoem sistemas que facilitem o retorno de resíduos para o reaproveitamento, o reuso, o acondicionamento e a remanufatura de produtos duráveis, a fim de maximizar a vida útil de cada componente e subsistema. Para o autor, nas economias desenvolvidas de hoje há verdadeira obsessão com aumentos de produtividade da mão-de-obra; esta resulta em ganhos de eficiência econômica e de bem-estar, mas também em redução no uso do fator trabalho. E o ciclo “aberto” de materiais é elemento importante nisso, pois parte dos ganhos de produtividade tem sido feita substituindo mão-de-obra justamente por energia e materiais. O “fechamento” do ciclo envolve fundamentalmente uma política de desmaterialização, da perspectiva de todo o ciclo de vida de produtos. E esta requer que se procure com muito empenho aumentar a produtividade de recursos naturais, mesmo que isso signifique algum sacrifício da produtividade da mão-de-obra.

---

7. Esse assunto é discutido em maior detalhe na Parte IV deste livro.

8. Ver, por exemplo, Ayres, 1996.

Ayres (1999, p. 889) reconhece, entretanto, que é bem possível que o ciclo de materiais jamais possa ser totalmente “fechado”. Mas mostra que muito pode ser feito para reduzir substancialmente o atual grau de “abertura” do ciclo. Para tal, entretanto, serão necessárias medidas de profundidade, mudanças organizacionais e de hábitos de consumo; é essencial uma procura obsessiva de formas de reduzir drasticamente os usos dissipativos comuns aos atuais processos econômicos. Só assim será possível obter uma redução simultânea no ritmo da extração de materiais do meio ambiente e da emissão de resíduos, da poluição.

Como se pode ver adiante neste livro, a disciplina *economia do meio ambiente* vem focalizando questões como essas. E, recordando a afirmativa do início do capítulo, escolas de pensamento distintas fazem isso com graus diferentes de abstração. Uma dessas abstrações consiste em tratar separadamente, como se fossem fenômenos distintos – e desligados um do outro –, a extração do meio ambiente de recursos naturais necessários ao funcionamento do sistema econômico e a deposição no meio ambiente de resíduos resultantes de seu funcionamento. Esse tratamento separado é especialmente visível na corrente de pensamento dominante da economia do meio ambiente: a economia ambiental neoclássica. Mas outra corrente de pensamento – a da economia ecológica – vem focalizando simultaneamente esses dois lados do funcionamento do ciclo de materiais.

Tendo em vista a discussão da seção 1, e obedecendo ao encadeamento sugerido pelo ciclo de materiais da Figura 1, segue um esboço dos principais aspectos que as análises da economia do meio ambiente vêm focalizando nas suas teorias e em seus modelos. A seção 2 especifica as categorias do que, de forma compacta, chamamos “recursos naturais”; a seção 3, por sua vez, examina aspectos dos fenômenos que, para abreviar, se incluem na categoria “poluição”.

## **2. Uma classificação de recursos naturais**

O ciclo de materiais começa com a extração, pelo sistema econômico, de recursos naturais do meio ambiente. Além disso, o

meio ambiente desenvolve funções que são fundamentais para a humanidade, dentre as quais talvez a principal seja a de absorver agressões do sistema econômico e de se regenerar. Existem várias alternativas de classificação de recursos naturais, mas, tendo em vista as análises da economia do meio ambiente, a que melhor se adapta distingue entre recursos *não-renováveis* e recursos *condicionalmente renováveis*.

### **Recursos exauríveis, ou não-renováveis**

Esses recursos se caracterizam por terem dotação finita; assim, um maior uso no presente de um recurso desses significa uma disponibilidade menor no futuro. Podem se identificar duas grandes categorias desses recursos:

**Recursos exauríveis, mas recicláveis.** As reservas máximas de tais recursos são fixas, mas há a possibilidade, pelo menos parcial, de reciclagem. Como exemplos, temos:

- Materiais obtidos de minerais, como o cobre e o alumínio.
- Água “fóssil”. Estimativas de 1975 para os Estados Unidos indicavam a existência de cerca de 16 mil trilhões de galões de águas subterrâneas, das quais apenas 400 trilhões eram renováveis. O resto se esgotaria com o uso.

Muitos dos recursos nesta categoria podem ser reaproveitados. Como já indicamos, entretanto, é importante que tenhamos em mente que a reciclagem não é gratuita e que não existe reciclagem perfeita.

**Recursos esgotáveis e não-renováveis.** São recursos naturais que existem em quantidades fixas no nosso globo, ou cujos estoques aumentam muito pouco ao longo do tempo, em comparação com a sua taxa de extração. Como exemplos, temos:

- Recursos energéticos fósseis, como o petróleo, o carvão e o gás natural.
- O urânio.

### **Recursos (condicionalmente) renováveis**

São recursos que apresentam reposição, pelo menos parcial, do que é extraído. Na verdade, em muitos casos, a sustentabilidade da

extração de recursos dessa categoria é condicionada a uma retirada do meio ambiente do recurso que não danifique os seus estoques básicos. Existem três categorias nesse grupo:

### **Recursos renováveis, mas dispersos e de difícil captura**

O melhor exemplo dessa categoria é o da energia solar. O fluxo de energia que o Sol envia à Terra todos os dias é enorme, mas essa energia chega aqui dispersa e boa parte acaba sendo refletida de volta ao espaço. O problema que permanece até o presente é o de como captar grandes quantidades dessa energia para uso nos nossos centros urbano-industriais.

### **Recursos renováveis, mas sujeitos à extinção**

São, essencialmente, os recursos de propriedade comum; ou seja, recursos dos quais geralmente ninguém é dono e que podem ser explorados por qualquer agente que disponha de recursos para custear a atividade de extração. Exemplos:

- Recursos pesqueiros.
- A madeira extraída de florestas nativas.

### **Recursos renováveis, mas sujeitos à degradação por manejo inadequado**

- Solos aráveis, sujeitos à erosão se mal manejados.
- Água renovável, de superfície ou subterrânea. Água renovada pelo ciclo hidrológico.

### **Serviços ambientais essenciais**

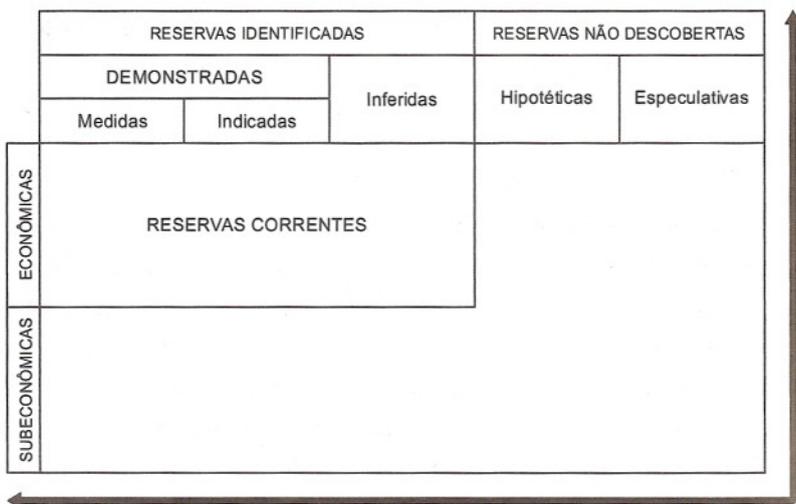
Vimos que o meio ambiente presta serviços essenciais, muitos dos quais não são, nem de forma indireta, transacionados em mercados. São recursos como o ar limpo, as paisagens não degradadas pela ação humana, os grandes ciclos de nutrientes do mundo natural – os do carbono, do oxigênio, do nitrogênio, do enxofre e do fósforo –, a diversidade biológica e a resiliência do meio ambiente – ou seja, sua capacidade de assimilar resíduos e detritos e de se regenerar. Na verdade, esta última é recurso fundamental, mas tende a receber pouca atenção da corrente hegemônica da economia do meio ambiente.

## O que é um recurso natural não-renovável?

Vimos que são não-renováveis os recursos que, em razão da finitude do globo terrestre, se apresentam em quantidades que decrescem com sua extração e uso. Como exemplo, temos o caso do petróleo; suas reservas totais necessariamente diminuem com o uso. Sabemos que a oferta desse recurso ainda vem se ampliando. O que vem influenciando para essa expansão de oferta são os preços do recurso e do desenvolvimento de tecnologias, tanto de exploração como de extração. Com a passagem do tempo, havendo – como vem ocorrendo – elevação de preços e desenvolvimento tecnológico, as reservas de petróleo podem aumentar. Isso ocorreu, por exemplo, após a “crise do petróleo” da década de 1970.

Mas, embora haja flexibilidade, em última instância a disponibilidade do petróleo, bem como a de qualquer recurso mineral, é finita, e uma extração continuada deste levará, cedo ou tarde, ao esgotamento de suas reservas.

Os elementos que interferem na disponibilidade de um determinado recurso mineral em um *dado momento* do tempo podem ser ressaltados com a ajuda da Figura 3, a seguir. Destacam-se, ali, alguns conceitos importantes:



**Figura 3. Fatores na determinação, em um dado momento, da reserva de um mineral**

**Conceito de reservas correntes:** são as quantidades conhecidas do recurso mineral, cuja extração é economicamente viável. Assim, mesmo sem novas descobertas, as reservas de um mineral podem aumentar, desde que aumente seu preço e/ou que diminuam os custos de extração do mineral. Da mesma forma, uma queda no preço do mineral não acompanhada de redução nos custos de extração, pode reduzir as reservas correntes do mesmo. Evidentemente, as reservas correntes aumentam com novas descobertas. Em outras palavras, o montante de reservas correntes de um mineral são determinadas por fatores de ordem geológica e econômica. A área de “RESERVAS CORRENTES” da Figura 3 é, pois, fluida, podendo sofrer mudanças ao longo do tempo.

**Conceito de reservas potenciais:** estas incluem tanto as reservas subeconômicas como a parcela ainda não descoberta das reservas, mas sobre as quais há indícios de existência. Como vimos, a transformação de reservas potenciais em efetivas vai depender de fatores de ordem econômica (preços do mineral, custos de extração e comercialização, etc.), tecnológica (novas tecnologias de exploração e de extração) e geológica (novas descobertas, melhor caracterização de reservas identificadas).

**Papel da tecnologia.** Como vimos, para que haja a expansão das reservas de um mineral, a tecnologia pode ter enorme importância. O desenvolvimento tecnológico pode exercer três tipos de impactos sobre as reservas de um recurso mineral:

*Impactos sobre a extração.* Isso acontece quando se desenvolvem tecnologias que viabilizam a extração do mineral. O aprimoramento da exploração de petróleo em plataformas marinhas, por exemplo, foi fator importante na expansão das reservas de petróleo nos últimos 25 anos. O desenvolvimento tecnológico permitiu aumentar a eficiência e reduzir o custo da extração do petróleo ali.

*Impactos sobre a exploração.* O desenvolvimento tecnológico pode facilitar a exploração, levando a descobertas de novas reservas.

*Impactos sobre a reciclagem.* O desenvolvimento de tecnologias de reciclagem de um dado mineral (ou de materiais feitos com ele) pode ampliar sua oferta sem a necessidade de aumentar a extração. Exemplo: a reciclagem de latas de alumínio.

Em suma, há muita incerteza com relação às reservas de recursos não-renováveis. Ou seja, a dimensão da caixa anterior é variável; e ela pode aumentar, mesmo que haja acentuada extração do recurso. Isso acontece não só em decorrência de novas descobertas, mas também de inovações na tecnologia de extração. Alterações nos preços e nos custos associados à atividade de extração do minério também alteram os elementos da caixa. Aumentos de preços, por exemplo, tendem a aumentar as reservas correntes, mesmo que não ocorram novas descobertas. Outro ponto a ressaltar é que o grau de certeza em relação às reservas de um mineral aumenta no sentido das duas setas representadas na Figura 3. Ou seja, temos alguma certeza em relação às reservas econômicas; mas a delimitação das reservas hipotéticas e especulativas é, na maior parte dos casos, um exercício de adivinhação – mesmo quando baseada em bons dados geológicos e de pesquisa mineral.

Os modelos da teoria neoclássica de recursos naturais, discutidos na Parte III deste livro, se valem, de forma importante, das conceituações e classificações aqui apresentadas.

### 3. O sentido da poluição para a economia do meio ambiente

Focalizamos agora a deposição de resíduos dos processos econômicos no meio ambiente. Como já se indicou, a economia do meio ambiente vem analisando esse lado do funcionamento do ciclo de materiais separadamente do da retirada de matéria e energia do meio ambiente. A economia neoclássica, por exemplo, enfatiza essa parte do ciclo de materiais.

**O que é poluição?** No âmbito da discussão anterior do ciclo de materiais, *poluição* é a denominação genérica dos fluxos de resíduos, de rejeitos materiais despejados pelos processos econômicos no meio ambiente.<sup>9</sup> Vimos que esses fluxos têm o

---

9. Reconhecemos, entretanto, que existem fluxos de poluição não material. É o que acontece com a poluição sonora, que pode ser preocupante em algumas localidades. Os fluxos de ruído não são materiais, mas os fenômenos que causam os ruídos certamente envolvem o uso de matéria e energia.

potencial de gerar efeitos detrimenais tanto sobre a sanidade e a estabilidade de sistemas ecológicos, como sobre o bem-estar humano. As leis da termodinâmica nos asseguram que, numa perspectiva temporal suficientemente longa, a quantidade de resíduos e dejetos emanados pelo sistema econômico é igual, em massa, à quantidade de combustíveis e matérias-primas que ingressam no sistema e que são por ele transformados, deduzidos os materiais que se acumulam na economia, e os por esta reciclados.

É importante frisar a mudança qualitativa determinada por essa passagem da matéria e da energia pelo sistema econômico; nessa passagem elas se transformam em matéria degradada e em energia dissipada. Isso acontece porque o ciclo de materiais é aberto; ou seja, mesmo na melhor das circunstâncias, os processos de produção e de consumo não podem deixar de gerar resíduos e rejeitos inaproveitáveis. Esses resíduos e rejeitos são depositados em partes do que chamamos de meio ambiente – a atmosfera, as águas, o solo e a biota.

A magnitude dos danos causados por esse fenômeno depende da natureza e da intensidade da emissão de resíduos e de rejeitos, bem como da *resiliência* do meio ambiente – da capacidade que este tem de absorver tais emissões e de se regenerar. O meio ambiente não é um espaço neutro, um poço sem fundo para que nele sejam lançados resíduos dos processos econômicos. Em algumas circunstâncias, sua capacidade de absorção e regeneração é suficiente para absorver sem maiores problemas tais emissões. Em outras, porém, as emissões são muito elevadas ou altamente tóxicas; exercem, então, impactos altamente negativos sobre ecossistemas e sobre a sociedade humana – a própria responsável por tais emissões.

A poluição – ou seja, as deposições no meio ambiente de resíduos e rejeitos – tem características e impactos os mais variados. Envolve fenômenos complexos, muitos ainda não totalmente compreendidos até mesmo pela ciência. A economia do meio ambiente requer, entretanto, que se simplifique essa realidade. É o que se faz na Figura 4, adiante, que esboça a origem, a natureza e os impactos da poluição, conforme usualmente focalizada pelos

modelos da economia do meio ambiente. Estão representadas ali as emanções do sistema econômico. Este capta matéria ordenada e energia livre (de baixa entropia) do meio ambiente e transforma-as em produtos, que são consumidos. Os processos de produção e de consumo originam fluxos de energia dissipada e de matéria degradada, devolvidos ao meio ambiente; surgem, assim, *fluxos de poluição*. Uma parte desses fluxos é absorvida e tornada inofensiva pelo meio ambiente. Como já se argumentou, este tem, até certo ponto, a capacidade de regenerar a degradação causada pela poluição. Entretanto, nas economias industriais modernas a poluição tende a exceder essa capacidade, e uma parte significativa e crescente dos fluxos de rejeitos emanados pelo sistema econômico acaba ocasionando preocupante degradação ambiental.

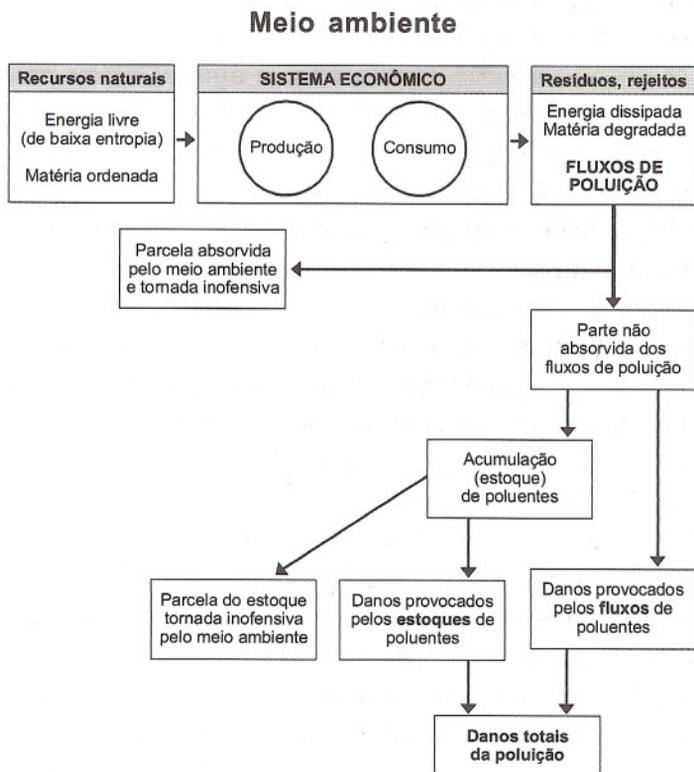
Na Figura 4 os danos totais da poluição em um dado período de tempo decorrem tanto de *fluxos* de poluentes, que afetam negativamente o bem-estar das pessoas e têm impactos perversos sobre ecossistemas, como dos fluxos que se acumularam no passado, constituindo *estoques* de poluentes no meio ambiente. Este tende a absorver parte de tais estoques, tornando-a inofensiva, mas, com os aumentos da poluição, os estoques se acumulam.

Como exemplos de *poluição de fluxo*, temos as emissões de particulados, de dióxido de enxofre, de metano, os resíduos industriais e os dejetos humanos – ver adiante. Alguns destes resíduos e rejeitos têm efeitos locais; outros acabam exercendo impactos sobre localidades diferentes daquelas em que ocorre sua emissão (por exemplo, a chuva ácida, que geralmente cai longe das fontes de emissão de dióxido de enxofre).

São raros os casos puros de poluição de fluxo, pois na maioria dos casos os poluentes apenas mudam de lugar ou se dissipam lentamente. Um exemplo de poluição de fluxo pura é o do ruído. No momento que o barulho cessa, não permanece resíduo algum.

O principal exemplo de *poluição de estoque* é o do dióxido de carbono, que se acumula na atmosfera, gerando o efeito estufa. Dentro de limites, o efeito estufa não é maléfico; na verdade, é graças a esse efeito que as temperaturas próximas à superfície do nosso globo variam dentro de limites que tornam possível a vida como a

conhecemos. Entretanto, há receios fundados de que, com a ampliação do dióxido de carbono acumulado na atmosfera, o calor irradiado pela superfície do nosso globo não se dissipe como deveria, aumentando a temperatura média aqui. Temem-se os efeitos negativos das mudanças climáticas trazidas pelo efeito estufa.



**Figura 4. O sistema econômico e a poluição**

### Uma classificação da poluição

A economia do meio ambiente costuma tratar a poluição como uma variável unidimensional, homogênea. Vimos que, para simplificar a análise, é legítimo proceder dessa forma; mas é importante que se tenha sempre em mente a heterogeneidade dos fluxos e estoques de poluentes. Na presente seção se dá ênfase à natureza complexa do fenômeno da poluição.

Uma classificação de poluição pode se apoiar em diferentes características desta, como, por exemplo, a natureza do agente emissor (fonte móvel ou estacionária), o grau de toxicidade da poluição, o domínio espacial dessa, ou o elemento do meio ambiente sobre a qual exerce seu impacto mais direto – a água, a atmosfera e os solos. Focalizamos aqui esta última característica, mas, na discussão, levantam-se aspectos das demais.

**Meio que recebe a poluição: a água.** Os dois processos básicos que caracterizam o funcionamento do sistema econômico – o de produção e o de consumo – geram consideráveis emanações de poluentes despejadas em corpos d’água. Como exemplos do lado da produção, temos resíduos líquidos de fábricas de papel e celulose; resíduos de matadouros; resíduos de usinas de álcool (o vinhoto); na agricultura, o corrimento de pesticidas, de fósforo e nitrogênio; resíduos do garimpo (principalmente o mercúrio) levados para os rios; vazamentos (geralmente acidentais) de petróleo e derivados para o mar. Do lado do consumo, temos os despejos de esgotos (tratados ou não) em corpos d’água.

O Quadro 1, a seguir, é uma apresentação sumária e simplificada dos principais tipos de emanações para corpos d’água, que ressalta: a natureza do resíduo, os agentes responsáveis (os domicílios, as indústrias e a agropecuária); a predominância dessas emanações em regiões ou países ricos ou pobres; a natureza dos efeitos causados por cada tipo de emanação; e a abrangência espacial dos impactos da poluição – se local, se regional, se global.

**Quadro 1. A emissão de resíduos e rejeitos.  
Meio: a água**

Tipos de resíduos	Principais agentes de agressão	Principais emissores		Efeitos	Manifestação dos impactos		
		Ricos	Pobres		Local	Regional	Global
Desejos humanos	Domicílios		x	S/ saúde; perda de oxigênio	x	x	
Resíduos industriais líquidos (restos orgânicos; tóxicos; metais pesados)	Indústrias; mineração	x	x	Perda de oxigênio; contaminação; envenenamento	x	x	
Lavagem e lixiviação de agrotóxicos e fertilizantes	Agropecuária	x	x	Contaminação; envenenamento	x	x	
Partículas dos solos lavados para dentro de corpos d’água	Agropecuária	x	x	Assoreamento	x	x	

Observe-se que, no caso da poluição do meio água, os principais impactos são locais ou regionais. No médio prazo os impactos globais são menos expressivos. Merece destaque o papel da urbanização nesse tipo de degradação. É nas grandes aglomerações urbanas – especialmente as dos países em desenvolvimento – que se manifestam os problemas associados aos esgotos e às águas servidas não tratados. Mas a produção industrial também tende a se concentrar em grandes aglomerações urbanas. É esta a origem da forte degradação de vários rios que passam próximos de grandes cidades – como acontece com o rio Tietê, no Estado de São Paulo.

**Meio que recebe a poluição: a atmosfera.** Como se pode ver no Quadro 2, são inúmeros os tipos de emissão para a atmosfera originados nos processos de produção e consumo. Compreendem partículas em suspensão (poeira; cinza; detritos minúsculos que flutuam no ar) e várias emissões gasosas de efeitos perniciosos sobre o meio ambiente e sobre a saúde humana. São diversos, também, os agentes responsáveis por esse tipo de agressão, incluindo as indústrias, as usinas termoelétricas, os veículos, a mineração, a agricultura. E seus efeitos são os mais variados: alguns têm impactos diretos sobre a saúde, outros danificam o patrimônio (edifícios; florestas), outros alteram *habitats* e ecossistemas; e ainda outros podem causar sérias mudanças climáticas e nas defesas de nosso planeta contra radiações perigosas do sol.

A abrangência espacial dos impactos das emissões para a atmosfera também varia de caso a caso. O âmbito de ação das emissões de particulados, de monóxido de carbono e de ozônio, por exemplo, tende a ser local; essas emissões têm efeito predominantemente sobre as zonas em que atuam os agentes emissores dos poluentes. Outras – como, por exemplo, as emissões de dióxido de enxofre – tendem a causar impactos regionais. O dióxido de enxofre se combina com a água das nuvens gerando ácido sulfúrico, que se precipita, na forma de chuva ácida, quase sempre longe do local onde atua o agente poluidor. E ainda outras emissões têm impactos globais; isto é, seus efeitos se fazem sentir sobre partes extensas ou sobre a totalidade do globo terrestre. Isso

acontece, por exemplo, com as emissões de dióxido de carbono e de outros gases do efeito estufa, resultantes da queima de combustíveis fósseis nos centros urbano-industriais e da abertura de terras (desmatamento e queima) em zonas de fronteira agrícola. Como vimos, as emissões de dióxido de carbono configuram caso de poluição de estoque. Esse poluente se acumula na atmosfera contendo a dispersão do calor irradiado da superfície do nosso globo, ou seja, causando o efeito estufa. Vimos que, segundo a avaliação de grande parte dos entendidos, este vem elevando a temperatura média do nosso globo, com impactos de longo prazo potencialmente catastróficos.

Quanto aos principais originadores desses tipos de emanações – se regiões ou países ricos, ou se regiões ou países pobres –, conforme indica o Quadro 2, na maioria dos casos são os processos de produção e de consumo de países industrializados

**Quadro 2. Emissão de resíduos e rejeitos  
Meio: a atmosfera**

Tipo de intervenção	Agentes de agressão	Principais emissores		Efeitos	Manifestação dos impactos		
		Ricos	Pobres		Local	Regional	Global
Partículas em suspensão	Indústrias; construção; veículos	x	x	Saúde	x		
Óxido de enxofre	Indústrias; energia termoelétrica	x		Chuva ácida	x	x	
Monóxido de carbono (CO)	Veículos	x		Saúde	x		
Ozônio (O <sub>3</sub> )	Veículos	x		Saúde	x		
Dióxido de nitrogênio (N <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	Veículos	x		Saúde	x		
Hidrocarbonetos	Veículos	x		Saúde	x		
Dióxido de carbono de origem industrial	Indústrias; produção de energia; veículos	x		Efeito estufa			x
Emissões resultantes do uso do clorofluorcarbono	Indústrias; serviços	x		Buraco de ozônio			x
Chumbo (combustível c/ chumbo tetraetila)	Veículos	x		Saúde	x		
Emissões intradomiciliares (ou intraprediais)	Combustível de cozinha; "prédios doentes"	x	x	Saúde	x		
Emissões associadas à abertura de terras-queimadas (principalmente CO <sub>2</sub> )	Agricultura		x	Efeito estufa	x	x	x

e de regiões ricas dos países em desenvolvimento os principais responsáveis pela geração desse tipo de poluentes. Muitos desses países e regiões vêm adotando medidas que resultam na atenuação de emanações para a atmosfera – com a adoção de técnicas de filtragem, com o uso de catalisadores no sistema de escape de veículos, por exemplo. Muitas vezes, entretanto, essas técnicas reduzem as emissões de elementos prejudiciais à atmosfera, mas criam outras formas de emanações problemáticas, como, por exemplo, as de lixo tóxico.

No que diz respeito aos países pobres ou às regiões remotas dos países em desenvolvimento, há casos de participação preocupante de emanações para a atmosfera. É o que ocorre, por exemplo, com as emanações de dióxido de carbono resultantes da abertura de terras em zonas de fronteira agropecuária – por exemplo, o processo de ocupação e abertura da Amazônia brasileira.

Novamente, cumpre ressaltar o papel da urbanização. É das consideráveis aglomerações de pessoas e empreendimentos que resulta a maior parte das emanações à atmosfera. É importante que se tenha em vista, nesse sentido, que atualmente estão nos países em desenvolvimento várias das maiores cidades de nosso planeta. Muitas delas carecem de infra-estrutura adequada e não têm recursos para investir na luta pela proteção do meio ambiente; apresentam, assim, estados preocupantes de degradação ambiental. Em muitas se combinam a degradação da pobreza, resultante da aglomeração nas grandes cidades de elevados contingentes de pobres e miseráveis, e a degradação da riqueza – originária das fábricas e dos veículos.

**Meio que recebe a poluição: a terra, o *habitat*.** Intervenções associadas ao funcionamento do sistema econômico também produzem consideráveis impactos sobre a terra e o *habitat*. O Quadro 3, adiante, resume a natureza das intervenções e os principais desses impactos.

Novamente, são as mais variadas intervenções e os correspondentes impactos ambientais. Incluem-se a falta de coleta de lixo e o tratamento inadequado do lixo que é coletado; a deposição nos solos de lixo tóxico por indústrias; a degradação e a

contaminação dos solos pela agropecuária e a mineração; e o desmatamento em áreas de fronteira agrícola. Esta última categoria de intervenção e a do uso inadequado dos solos não são propriamente emanações de dejetos, mas podem ter impactos ambientais semelhantes à mais perigosa deposição de efluentes nos solos.

**Quadro 3. Emissão de resíduos e rejeitos  
Meio: a Terra, o *habitat***

Principais resíduos	Agentes de agressão	Principais emissores		Efeitos	Manifestação dos impactos		
		Ricos	Pobres		Local	Regional	Global
Falta de coleta de dejetos sólidos (lixo)	Domicílios		x	Saúde	x		
Problemas na disposição do lixo coletado	Domicílios	x	x	Saúde; degradação do ambiente	x	x	
Lixo tóxico; resíduos radioativos	Indústrias	x		Contaminação; envenenamento	x		
Contaminação dos solos	Agropecuária; mineração	x	x	Alteração de características	x		
Uso inadequado dos solos	Agropecuária; mineração	x	x	Perda de fertilidade salinização; erosão; desertificação	x	x	
Desmatamento	Agricultura		x	Degradação e destruição de habitats; perda de biodiversidade	x	x	x

Os agentes de degradação são os domicílios, as indústrias, a agropecuária moderna, a mineração, a agropecuária e a mineração em regiões de fronteira de recursos. Na maior parte dos casos, os efeitos espaciais das degradações geradas são locais e regionais. Mas, segundo alguns cientistas, a destruição de *habitats* e de biodiversidade tem o potencial, num prazo mais longo, de provocar impactos globais negativos, que podem vir a alterar a estabilidade do ecossistema global. Esse ponto será examinado em outras partes deste livro.

Quanto aos principais originadores desses tipos de agressão ao meio ambiente – se regiões ou países ricos ou regiões ou países

pobres –, diferentemente do que acontece no caso das emissões para a atmosfera, resumidas no Quadro 2, são os países e as regiões pobres os principais agressores, como se pode ver no Quadro 3. Deficiências na coleta de lixo e na disposição do lixo coletado, o uso inadequado e a contaminação dos solos pela agropecuária, assim como os impactos da abertura de terras (desmatamento) em zonas de fronteira agrícola são formas de agressão ao meio ambiente nas quais a participação dos países em desenvolvimento é bastante significativa. Entretanto, muitas delas também ocorrem nos países do Primeiro Mundo, embora de forma diferente, e frequentemente menos visível. A coleta e o tratamento de lixo nos países industrializados, por exemplo, são feitos dentro de padrões corretos; todavia, esses países têm sérios problemas com o lixo, simplesmente porque os volumes de lixo gerados são imensos e torna-se cada vez mais difícil dispor deles adequadamente. Semelhantemente, a agricultura moderna nesses países vem agredindo o meio ambiente de uma forma sutil, mas potencialmente devastadora no longo prazo.