

o estado dos solos

O subsolo brasileiro possui importantes recursos naturais, como os minerais, incluindo petróleo, carvão e gás, além da água, os quais contribuem para o desenvolvimento socioeconômico do país. Esses recursos são ainda essenciais à manutenção da vida, cultura e bem estar da Humanidade. Merecem destaque também os patrimônios espeleológico, arqueológico e paleontológico, além dos monumentos naturais (**Figura 1**).

O subsolo brasileiro é constituído por rochas de idades anteriores a 1,8 bilhões de anos, ditas arqueanas, até idades fanerozóicas, sendo divididas em três grupos distintos (Delgado & Pedreira, 1994).

As rochas do **Arqueano - Paleoproterozóico** têm idades anteriores a 1,8 bilhões de anos, e estão representadas por *greenstone belts*, cinturões metavulcanossedimentares e cinturões móveis de alto grau metamórfico. Caracterizam-se por serem rochas de composição heterogênea, fraturadas e portadoras de alta densidade de planos de fraqueza estrutural, que se alteram para solos que variam de argilosos até arenosos. Quando pouco desenvolvidos, esses solos apresentam alta erodibilidade natural, a exemplo das rochas cristalinas que ocorrem no semi-árido da região Nordeste do Brasil. Estes terrenos, quando espessos, apresentam comportamento geomecânico extremamente variado e contrastante, com variações laterais e verticais. Em relação à hidrogeologia, constituem aquíferos fissurais cuja capacidade de armazenamento depende da geometria e do regime hidrológico local. Esses aquíferos apresentam alta vulnerabilidade às cargas contaminantes de superfície. A sua capacidade de exploração depende, fundamentalmente, da eficiência de suas áreas de recarga, bem como da interconectividade das fraturas. Apresentam menor potencial em relação aos aquíferos sedimentares, assim como maior dificuldade para locação de poços artesianos produtivos.

As rochas de idade **Meso a Neoproterozóica** – 1,8 bilhões a 570 milhões de anos – constituem as coberturas mesoproterozóicas, coberturas neoproterozóicas, sistemas de riftes e cinturões móveis. As características geotécnicas dessas rochas são variáveis. As rochas carbonáticas, por exemplo, por serem

altamente solúveis, apresentam alto potencial para ocorrências de colapsos - abatimentos bruscos na superfície, em razão de desmoronamentos subterrâneos. As rochas carbonáticas constituem também aquíferos localmente importantes, embora possuam extrema vulnerabilidade à contaminação. As rochas metassedimentares apresentam o bandamento composicional pouco espaçado e a xistosidade desenvolvida. Essas características favorecem a formação de planos de fraqueza que facilitam percolação de fluidos, bem como movimentos de massas (deslizamentos). As rochas vulcano-sedimentares abrigam aquíferos, predominantemente do tipo fissural por causa da baixa porosidade e da permeabilidade. As rochas sedimentares constituem aquíferos porosos, em geral do tipo confinado, e quando cimentadas ou metamorizadas apresentam comportamento fissural.

As rochas classificadas como **Fanerozóicas** têm idades de 570 milhões de anos até hoje e são representadas por

bacias eopaleozóicas, bacias paleomesozóicas/terciárias e coberturas cenozóicas. São caracterizadas por grandes pacotes de arenitos, siltitos, argilitos e folhelhos, apresentando comportamento geotécnico bastante variável. Nesse contexto, principalmente na bacia



do Paraná, ocorrem espessos derrames de rochas basálticas que, quando alteradas resultam em solos que contêm argilas expansivas. As rochas areníticas, por serem porosas e permeáveis, apresentam alta vulnerabilidade natural à contaminação; por outro lado, boa capacidade de suporte e facilidade de escavação. As rochas argilosas apresentam baixa capacidade de suporte. No subsolo das bacias sedimentares estão associados os melhores aquíferos confinados e livres do Brasil, com destaque para os aquíferos Guarani, Parnaíba e Amazonas. A maior parte desses aquíferos está confinada, e protegida de contaminação, pelo espesso pacote de sedimentos impermeáveis intercalados, e rochas basálticas associadas. Nas bordas das bacias (zonas de recarga), onde os sedimentos porosos afloram, os aquíferos estão sujeitos à contaminação. Os sedimentos cenozóicos constituem

Figura 1 - Unidades geológicas que se destacam pela presença de depósitos e/ou potencialidade dos minerais.

Greenstone belts:
Ouro;
Cinturões Metavulcanosedimentares:
Cromo, Ferro, Manganês, Cobre, Bário, Ouro e Esmeralda;
Cinturões Móveis de Alto Grau:
Cromo, Titânio-Vanádio, Níquel-Cobalto, Ouro-Urânio, Ferro, Manganês, Cobre, Chumbo e Fósforo;
Coberturas Mesoproterozóicas e Plutonismo Associado:
Estanho - Wolfrâmio-Molibidênio - Tântalo - Nióbio - Zircônio - Urânio - Terras-Raras, Ouro, Ferro-Titânio - Vanádio e Diamante;
Cobertura Neoproterozóica:
Fósforo, Chumbo-Zinco - Prata, Flúor e Bário.
Sistema de Riftes:
Cobre-Prata, magnesita e calcário;
Cinturões Móveis:
Chumbo - Zinco - Prata - Ouro, Bário, Flúor e Fósforo;
Bacias Eopaleozóicas:
Cobre, Ouro, Bário, Chumbo, Zinco e Prata;
Bacias Paleomesozóicas:
Sais de Potássio, Magnésio, Sódio, Gipsita, Barita, Fosfato, Calcário, Argila, Petróleo e Gás;
Bacias e Magmatismo Meso-Cenozóico:
Nióbio, Fósforo, Titânio, Zircônio, Bário, Urânio, Petróleo e Gás;
Coberturas Cenozóicas:
Alumínio, Níquel, Manganês, Ferro, Ouro e Caulim.

Fonte: Delgado & Pedreira - 1994

os principais aquíferos costeiros, sendo responsáveis pela maior parte do abastecimento doméstico e industrial das cidades do litoral nordestino brasileiro. Na região do semi-árido brasileiro o abastecimento das comunidades e de diversas cidades é feito por água dos aluviões.

1. Contexto sócio econômico

Os diversos modelos de política econômica adotados no Brasil, desde a década de 1970, proporcionaram o aumento dos núcleos urbanos, motivado pelo crescimento do parque industrial. Dentro desse contexto, a pressão por exploração de bens minerais experimentou um avanço exponencial, tanto de recursos para emprego na indústria, como de materiais para construção civil. Outro fator de pressão, na apropriação de bens do subsolo, reside no elevado índice de desemprego da população brasileira, que proporcionou uma verdadeira corrida para a garimpagem, principalmente para o ouro e gemas. Nesse cenário político e socioeconômico, a sociedade, em muitos casos, vem explorando os recursos naturais (renováveis e não renováveis) sem considerar as suas fragilidades, o que acarreta o comprometimento do meio ambiente, por vezes de forma irreversível.

Parte desses recursos compõem as reservas minerais consideradas expressivas quando relacionadas mundialmente. Tal patrimônio mineral tem contribuído para a manutenção e expansão do parque industrial do país, considerando-se não só a indústria extrativa mineral, como também as indústrias siderúrgicas, metalúrgicas, fertilizantes, cerâmicas, de cimento e outras, em que o insumo mineral é matéria-prima básica na elaboração de bens e produtos para a sociedade. Com base nesse patrimônio mineral o Brasil produz cerca de setenta substâncias, sendo vinte e uma do grupo de minerais metálicos, quarenta e cinco dos não-metálicos e quatro dos energéticos. Em termos de participação no mercado mundial em 2000, ressalta-se a posição do nióbio (92%), minério de ferro (20% - segundo maior produtor mundial), tantalita (22%), manganês (19%), alumínio e amianto (11%), grafita (19%), magnesita (9%), caulim (8%) e, ainda, rochas ornamentais, talco e vermiculita, com cerca de 5% (Barreto, 2001).

O perfil do setor mineral brasileiro é composto por 70% de pequenas minas, 25% de minas médias e 5% de minas grandes. Segundo Minérios & Minerale, 1999 (*apud* Barreto, 2001), os dados obtidos nas concessões de lavra demonstram que as minas no Brasil estão distribuídas regionalmente com 4% no Norte, 8% no Centro-Oeste, 13% no Nordeste, 21% no Sul e 54% no Sudeste. Estima-se que, em 1992, existiam em torno de 16.528 pequenas empresas, com produção mineral de US\$ 1,98 bilhões, em geral atuando em regiões metropolitanas na extração de material para construção civil. Entretanto, o cálculo do número de empreendimentos de pequeno porte é uma empreitada complexa devido à ilegalidade, dificuldade de

controle e fiscalização, e por fatores aleatórios, como a paralisação das atividades, que podem distorcer as estatísticas. A mineração no Brasil contribuiu, em 1995, com 75,3 mil empregos diretos e 3,2 milhões de empregos indiretos. Observa-se que nos últimos 20 anos ocorreu perda de empregabilidade do setor com a migração para a área de serviços (Barreto, 2001).

No início da década de 1990, segundo BRASIL, 1993 (*apud* Barreto, 2001), a população garimpeira no país era de 400.000, distribuídos em 61% na Amazônia (Pará e Mato Grosso), 20% no Centro-Oeste, 8% no Sudeste, 7% no Nordeste e 4% no Sul. A maioria dedicando-se à produção de ouro 72%, gemas 11%, diamante 10%, cassiterita 1% e 6% outros minerais.

A indústria extrativa mineral tem apresentado, nos últimos anos, significativa taxa de crescimento, com média de 8,2% ao ano, observado o período de 1996–2000; e, em 2000, representou cerca de 8,5% do PIB (Barreto, 2001). O setor de extração de petróleo apresentou taxa de crescimento da ordem de 28,3% ao ano, no período de 1997 a 2000, sendo responsável por 5,4% do PIB em 2000 (Machado, 2002). Pode-se concluir que todo o setor mineral e energético contribui com a significativa percentagem de 13,9% do PIB brasileiro.



2. Degradação do subsolo

Existe uma grande diversificação de problemas no uso do subsolo decorrentes da urbanização desordenada, atividades garimpeiras, mineração, passivo ambiental, agricultura, pecuária, falta de tecnologia, poluição dos recursos hídricos, uso não controlado de água subterrânea, necessidade de aperfeiçoamento da legislação, dentre outros.

Diversas ações antrópicas também são responsáveis por problemas de ordem geotécnica (subsidência, deslizamentos e erosão acelerada), que resultam na degradação do solo e do subsolo. No litoral, existem problemas relacionados à erosão da linha de costa.

Em regiões montanhosas urbanizadas, caso de São Paulo, Rio de Janeiro, Vitória, Belo Horizonte e Salvador, é comum a ocorrência de deslizamentos gerando perdas humanas, materiais e financeiras.

Existem problemas de subsidências (colapso), relacionados a cavidades subterrâneas naturais em zonas cársticas e a cavidades artificiais em áreas de mineração subterrânea, a exemplo do que acontece na região carbonífera do Sul do país. A exploração não planejada em áreas carbonáticas induz ao rebaixamento excessivo do lençol freático com alteração no regime hidrológico.

A mineração em áreas urbanas e periurbanas é outro fator responsável pela degradação do subsolo. Atualmente, junto às grandes metrópoles brasileiras, é comum a existência de enormes áreas degradadas, resultantes das atividades de extração de argila, areia, saibro e brita.

As atividades mineiras desenvolvidas a céu aberto, se não obedecem a um plano de lavra adequado, com um projeto de recuperação ambiental,

propiciam a ação dos processos erosivos. Geralmente, as aberturas efetuadas para decapagem, e/ou retirada da camada a ser minerada, geram grandes estragos na superfície do terreno.

Os principais impactos ambientais da produção mineral durante os estágios de pesquisa, lavra, beneficiamento, estocagem e transporte estão descritos na **Tabela 1**.

2.1. Impactos ambientais das atividades de mineração

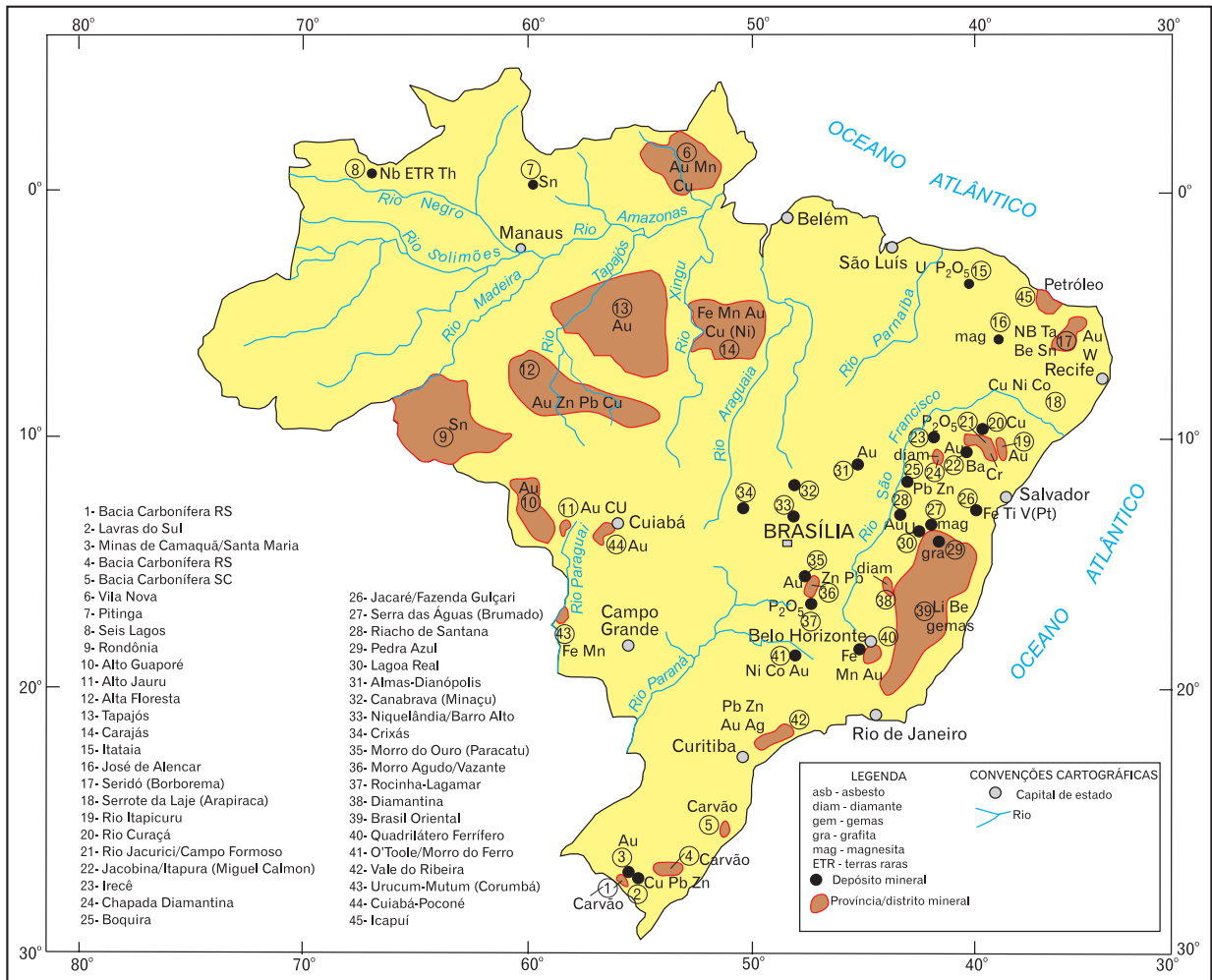
Carvão - a poluição hídrica, causada pela drenagem ácida, é provavelmente o impacto mais significativo das operações de mineração e beneficiamento do carvão mineral. Essa poluição decorre da infiltração da água de chuva sobre os rejeitos gerados nas atividades de lavra e beneficiamento, que alcançam os corpos hídricos superficiais e/ou subterrâneos.

Tabela 1 - Impactos ambientais da produção mineral.

Atividades	Problemas	Efeitos
Seres Humanos		
Pesquisa mineral		
Lavra	Subterrânea: umidade, poeira, ruído, gases de exaustão de máquina e equipamentos.	Contribui para a rotatividade da mão-de-obra. Possível doença respiratória, especialmente para asbesto, fluorita e outros. Stress e outros problemas físicos.
Beneficiamento e estocagem	Poeira, ruído. Não-ferrosos: gases nocivos, problema com manuseio de alguns reagentes tóxicos. Amianto: poeira, fibra.	Contribui para a rotatividade da mão-de-obra. Possível doença respiratória e cancerígena, especialmente para asbesto e outros minerais beneficiados a seco.
Transporte	Ruído, poeira, gases de exaustão de veículos pesados, poeira de correia transportadora.	Para o consumidor: veículos pesados causam irritação e são perigosos em áreas povoadas (Ex.: agregados e materiais de construção)
Solo		
Pesquisa mineral	Trincheiras, sondagens, vias de acesso, picadas, equipamento abandonado.	Erosão, vooorocas. Prejuízo à vegetação. Alteração da drenagem natural.
Lavra	Cavas e pedreiras, subsidência; Desmatamento desnecessário do capeamento. Contaminação da água da mina. Estradas e vias de acesso. Pilhas de estéril. Impacto de vias mal projetadas.	Possibilidades limitadas de uso sequencial do solo. Afeta a estética da paisagem.
Beneficiamento e estocagem	Barragens e bacias de rejeito, contaminação devido a vazamento e transbordamento. Pilhas disformes (Ex.: enxofre), Depósitos de rejeito, Lama vermelha (produção de alumina).	Terras inúteis criadas pelas áreas de rejeitos finos. Contaminação por lixiviação e enxurradas em depósitos de finos e de rejeitos.
Transporte	Estradas largas para veículos pesados (áreas de material de empréstimo associadas). Poeira. Desmatamento desnecessário. Transbordamento em descarriamentos e acidentes rodoviários.	Abre áreas virgens a uma possível degradação. Tráfego pesado pode destruir rodovias.
Água		
Pesquisa mineral	Sólidos em suspensão (erosão). Salmoura de sondagem passando para aquíferos (pesquisa de evaporitos).	Contaminação de cursos de água subterrânea.
Lavra	Sólidos em suspensão de água da mina, metais pesados, pH de minas de metálicos. Alteração do lençol freático, degradação da qualidade da água.	Prejudicial à vida aquática.
Beneficiamento e estocagem	Sólidos em suspensão, metais pesados, pH, toxidez de descarga direta e transbordamento de sistemas de finos. Grande consumo de água.	Prejudicial à vida aquática. Produz desequilíbrio ecológico.
Transporte	Transporte fluvial, lacustre e marítimo: coloração devida a sólidos em suspensão (minério de ferro) em terminais de embarque. Transbordamento em descarriamentos e acidentes rodoviários. Problemas possíveis com mineroelutos.	Possível prejuízo à vida aquática.
Ar		
Pesquisa mineral		
Lavra	Poeira levada pelo vento. Gases de motores de combustão. Poeira de detonação e perfuração. Poeira e fibras de asbesto.	Pouco importante.
Beneficiamento e estocagem	Poeira, partículas aéreas (fibras de asbesto), gases, odores, evaporação de bacias de finos. SO ₂ do processo de secagem (pelotização de minério de ferro). Secagem de concentrado (SO ₂ , metais pesados). Geração de energia térmica (hidrocarbonetos, SO ₂ , NO ₂).	Possíveis efeitos respiratórios. Chuva atando sobre partículas ateta vegetação e solo. Elevação de custos devido à corrosão. Próximo à áreas urbanas, efeitos sobre a saúde decorrentes da inalação de fibras de asbesto.
Transporte	Partículas aéreas provenientes de material sendo transportado e da superfície da estrada.	Pouco importante.

Fonte: Souza - 2001 (adaptada de Brooks - 1976 e Machado - 1989)

Figura 2 - Principais províncias minerais susceptíveis à degradação



Fonte: parcialmente baseado em Dardenne & Schobbenhaus - 2001

Mineração de Ouro - Na província aurífera do Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais (Figura 2, área 40), a presença do elemento tóxico – arsênio, merece destaque no que se refere aos efeitos da mineração no meio ambiente. Em Nova Lima e Passagem de Mariana, funcionaram, por várias décadas, fábricas de óxido de arsênio, aproveitado como subproduto do minério. Os rejeitos de minério, ricos em arsênio, foram estocados às margens de riachos ou lançados diretamente nas drenagens, provocando grande comprometimento ambiental do solo e da água.

Minas de Chumbo, Zinco e Prata - As minas de chumbo, zinco e prata do vale do Ribeira (Figura 2 - área 42) estiveram ativas durante longo período do século XX, especialmente nas décadas de 1970 e 1980. Os materiais resultantes dos processos de metalurgia e refino do minério de chumbo foram estocados nas margens do rio Ribeira. As últimas

minas e a refinaria encerraram suas atividades em novembro de 1995. Cunha *et al.* (2000) realizaram estudos na população infantil, nos municípios de Adrianópolis e Cerro Azul no Paraná, e Ribeira e Iporanga em São Paulo, envolvendo análises de chumbo total em sangue e arsênio em urina. As concentrações de chumbo no sangue foram superiores aos limites aceitos pelo Centers for Disease Control - CDC (1991). A presença de uma metalurgia de chumbo, no período de 1960 a 1993, nas margens do rio Subaé, no município de Santo Amaro da Purificação, Bahia, contaminou e vem contaminando, através da deposição aleatória de 490.000 toneladas de rejeitos/escórias, por metais pesados, sobretudo chumbo e cádmio: manguezais e pescadores do estuário do rio Subaé, animais, vegetais, solos e crianças, em um raio de 900 metros da chaminé da metalurgia, bem como, parte da população da cidade de Santo Amaro, por utilizar os rejeitos/escórias para pavimentar ruas, aterros, jardins,

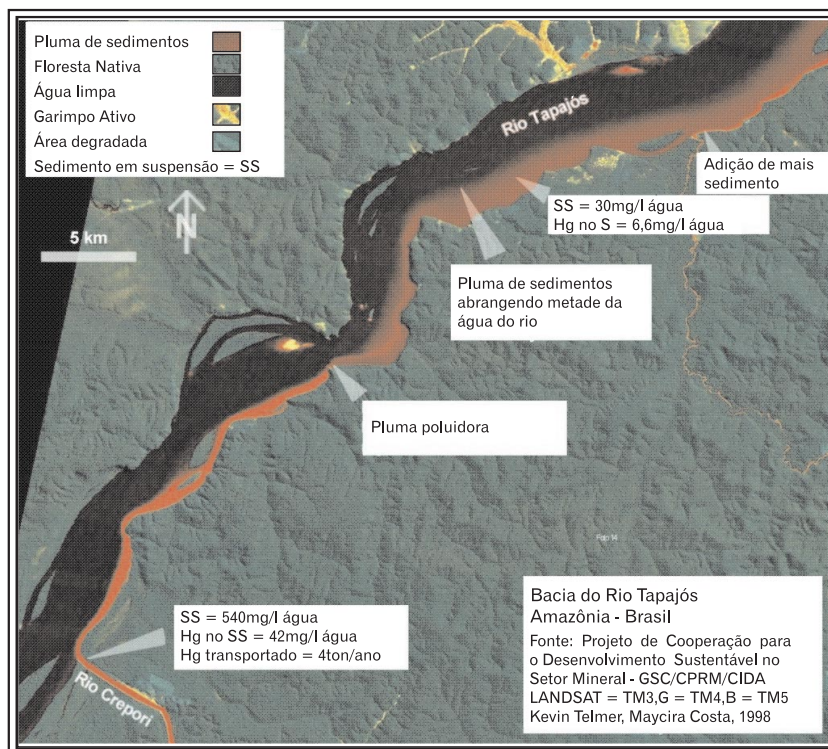
pátios de casas, praças e áreas escolares (Anjos, 1998).

Agregados para Construção Civil - O índice de clandestinidade dessa atividade é significativo e preocupante. A produção desses minerais, por fatores mercadológicos, impõe sua atuação próxima dos centros consumidores, caracterizando-se como uma atividade típica das regiões metropolitanas e urbanas. Os impactos ambientais provocados são grandes e descontrolados, degradando ambientes de delicado equilíbrio ecológico (dunas e manguezais), alterando canais naturais de rios e os aspectos paisagísticos. No geral, as cavas são utilizadas como bota-fora da construção civil e até mesmo como lixões (Brasil, 1998).

Garimpo - O garimpo, pela informalidade das suas atividades de produção e comercialização, à margem dos compromissos legais, fiscais e trabalhistas, tem recebido do governo uma atenção e tratamento diferenciados, visto mais sob a ótica de uma questão social, distinto, portanto, da mineração legalmente organizada.

A garimpagem provoca impactos ambientais, comuns a todas as áreas submetidas a esse tipo de extração rudimentar e predatória, principalmente a contaminação dos recursos hídricos. Como exemplo, cita-se o trabalho de Telmer *et al.* (1999), na província aurífera do Tapajós, Pará (Figura 2, área 13), onde a carga de sedimentos em suspensão na foz do rio Crepori (extensas cavas nos afluentes, margens e no leito do referido rio), transporta cerca de quatro toneladas de mercúrio. A pluma poluidora percorre ainda uma distância mínima de 30km ao longo do rio Tapajós (Figura 3 - imagem).

Figura 3 - Impacto da garimpagem de ouro no rio Tapajós



No Brasil, existem diversas áreas, localizadas nos estados de Minas Gerais e Bahia, que historicamente possuem atividade garimpeira (**Figura 2**). Recentemente, com a descoberta de novos jazimentos de ouro e cassiterita, ocorreu um incremento dessas atividades nos rios Madeira, Rondônia (**ouro no rio e cassiterita na área 9**), Tapajós-Parauari-Cumarú (**150.000km² - área 13**), Pitinga, Amazonas (**área 7**) e nas regiões de Alta Floresta, Peixoto de Azevedo, Mato Grosso (**área 12**) e Cuiabá-Poconé, Mato Grosso (**área 44**), e Serra Pelada, Pará (**área 14**), Xingu-Araguaia (Tocantins), Gurupi (Maranhão), Tepequém (Roraima), Mara Rosa-Crixás-Pilar (Goiás), Caciporé-Lourenço (Amapá) (Barboza & Gurmendi, 1995).

Os principais impactos ambientais decorrentes da atividade garimpeira estão relacionados a seguir:

- Desmatamentos e queimadas;
- Alteração nos aspectos qualitativos e no regime hidrológico dos cursos de água;
- Queima de mercúrio metálico ao ar livre;
- Desencadeamento dos processos erosivos;



o estado dos solos

- Turbidez das águas;
- Mortalidade da ictiofauna;
- Fuga de animais silvestres;
- Poluição química provocada pelo mercúrio metálico na biosfera e na atmosfera (IPT, 1992).

2.2. Impactos ambientais nos recursos hídricos subterrâneos

Avanço da cunha salina - As grandes cidades brasileiras, situadas na faixa costeira, utilizam recursos hídricos subterrâneos para complementação do abastecimento humano, industrial e agrícola, como nas cidades de Fortaleza (Cavalcante, 1986), Recife (França *et al.*, 1988), São Luís, Florianópolis e Maceió. Quando ocorre a sobreexploração do aquífero costeiro, o bombeamento contínuo reduz a pressão da água doce e, conseqüentemente sua descarga para o mar (Cabral, 2000). Este procedimento ocasiona o avanço da cunha salina que, com o passar do tempo, salinizará o aquífero.

Sobreexploração de aquíferos - Como não há legislação específica que discipline o uso das águas subterrâneas e coíba a abertura de novos poços, essa franquia de ordem legal tem contribuído para problemas de sobreexploração. Em várias situações, a exemplo dos aquíferos Açu (Feitosa, 1996), Beberibe (Região Metropolitana de Recife – França & Capucci, 1978) e Guarani, está havendo uma gradativa diminuição na vazão dos poços em atividade e, em alguns casos mais graves, a sobreexploração está conduzindo à exaustão do aquífero.

Outro fator que está provocando o comprometimento da qualidade e disponibilidade hídrica dos aquíferos reside na ocupação inadequada de suas áreas de recarga (Cavalcante & Sabadia, 1992).

Nas áreas com grande concentração de indústrias ou densamente ocupadas sem saneamento básico, ocorre instalação de poços tubulares, inicialmente com água de boa qualidade, e que começam a apresentar problemas de contaminação. As cargas contaminantes atingem o aquífero através de poços mal construídos ou abandonados, que servem de conduto para as cargas poluentes. O prolongado bombeamento de poços é capaz de deslocar a pluma de poluição para locais do aquífero que ainda não estavam contaminados (Melo, *et al.*, 1996).

2.3. Impactos ambientais da disposição de resíduos industriais e domésticos

O lixo enterrado gera um líquido denominado chorume, que possui alto potencial de poluição para o solo, subsolo e para os recursos hídricos (IPT, 2000; Krebs *et al.*, 1999).

O lançamento de efluentes industriais e domésticos nos cursos de água sem o tratamento prévio resulta na formação de fontes de poluição difusa, que contaminam os recursos hídricos em extensas áreas (Foster & Hirata, 1993).

No caso de resíduos industriais, as ações dos órgãos fiscalizadores normalmente apresentam resultados satisfatórios em termos de redução da poluição por efluentes líquidos, seja em função das ações preventivas ou corretivas previstas no licenciamento ambiental, ou através do atendimento a denúncias e reclamações da população prejudicada por determinada atividade.

Entretanto, o mesmo não acontece em relação aos resíduos domésticos, onde, muitas vezes a falta de investimento do setor público em sistemas de tratamento faz com que os despejos de esgotos cheguem aos cursos de água sem tratamento.

2.4. Derramamento e/ou vazamento de produtos derivados do petróleo

Atualmente é cada vez mais freqüente a ocorrência de acidentes envolvendo derramamento de petróleo ou de seus produtos derivados (Manoel Filho, 2000). Nas grandes cidades existem inúmeros postos de combustível que possuem tanques de aço enterrados, armazenando derivados de hidrocarbonetos. São comuns os problemas de vazamentos de combustíveis através de tanques velhos. Na maior parte das vezes, esses acidentes demoram a ser identificados, o que resulta na contaminação do lençol freático (Cavalcante & Sabadia, 1992).

No Brasil, existem vários oleodutos e gasodutos que conduzem derivados do petróleo. Esses dutos requerem obras de engenharia complexas para transporem rios ou para que sejam enterrados em área de riscos geológicos e ou geotécnicos. Além disso, são comuns os acidentes envolvendo navios petroleiros com limpeza dos tanques, ou vazamentos na plataforma brasileira, comprometendo a faixa costeira.



2.5. Disposição final e/ou vazamento de produtos radioativos

Na produção de combustíveis nucleares são envolvidos vários estágios, nos quais são gerados resíduos radioativos. Esses estágios incluem mineração, trituração, refinamento e enriquecimento de urânio, fabricação de combustível, consumo de combustível em reatores, reprocessamento de combustível, solidificação de resíduos e armazenagem de resíduos em repositórios geológicos profundos (Manoel Filho, 2000 *apud* Feitosa & Manoel, 2000).

Os serviços de saúde também constituem importantes fontes de geração de resíduos radioativos. Em vários des-

ses estabelecimentos são realizados despejos biológicos que contêm elementos radioativos e, por vezes, o descarte de equipamentos radioativos. Como exemplo de acidente com material radioativo, um dos casos mais conhecidos no Brasil foi aquele ocorrido em setembro de 1987, em Goiânia, quando um aparelho de radioterapia contendo uma cápsula de célio 137, encontrado em um depósito de lixo, foi rompido. Como consequência disso, morreram 4 pessoas; 55, foram contaminadas com altas doses de radiação; 51, foram contaminadas com doses médias, e 600 foram contaminadas com doses baixas, necessitando, no entanto, serem monitoradas por um longo período de tempo. Além disso, esse acidente, gerou 6.000 toneladas de lixo radioativo. (www.fisica.net/denis/rad4.htm).

Quadro 1 - Principais fontes de poluição das águas subterrâneas e parâmetros de controle

Atividade poluente	Principais Parâmetros de Poluição para Efluentes Líquidos																			
	pH	Cor	Sol. dissolvidos	Coliformes Fecais	DBO ₅	DQO	O.G.	S ²⁻	CN	Hidrocarbonetos	ABS	Fósforo e Nitrogênio	Outros Poluentes	Metais						
														Fe	Cu	B	Pb	Zn	Mn	Cr
Beneficiamento de Minério (1)	X	X	X				X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	
Drenagem de áreas de Lavra (1)	X	X	X				X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	
Metalurgia	X	X	X				X	X	X					X	X		X	X	X	
Siderurgia	X	X	X				X	X	X	X				X	X		X	X	X	
Indústria Química	X	X			X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Lavanderias e Tinturarias	X	X	X	X	X	X					X		X							
Alimentícias		X	X		X	X	X				X	X								
Hospitais e Congêneres				X	X	X	X				X	X								
Postos de Combustível					X		X			X	X									
Aterro Resíduo Urbano	X	X	X	X	X	X		X				X		X	X	X	X	X	X	
Aterro Resíduo Industrial	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Agroindustrias	X	X	X	X	X	X						X								
Frigoríficos e abatedouros		X	X	X	X	X	X				X	X								
Oleodutos e gasodutos (2)					X	X	X			X			X							
Esgotos domésticos		X	X	X	X	X	X				X	X	X							

(1) Para minérios radioativos deverão ser monitorados, além dos parâmetros clássicos utilizados como indicadores de poluição na mineração, os níveis de radioatividade na área de influência (principalmente em barragens de rejeito de minas de urânio).

(2) Em caso de infiltrações ou rompimento da rede.

Fonte: Alexandre & Krebs, 1995 Modificado



2.6. Impactos da atividade industrial

Segundo Krebs & Nosse (1998) e Alexandre & Krebs (1995), as indústrias de produtos químicos inorgânicos em seus processos industriais ocasionam despejos de elementos no ar e na terra. Esses elementos químicos – compostos, gases etc - contêm teores variáveis de sólidos em suspensão, na forma de ácidos, álcalis, sais tóxicos, ou que podem causar problemas ambientais por causa da presença de fluoretos, fosfatos, sulfatos, solventes orgânicos, graxas, óleos, metais e água quente ou vapor (ex: Metal Mecânica de Joinville-SC, Indústrias Têxteis de Blumenau-SC, Indústrias de Calçados do Vale dos Sinos-RS, Indústrias Químicas de Cubatão-SP).

As indústrias siderúrgica e metalúrgica têm como objetivo final a produção de peças em aço, metais ligas, em suas múltiplas variedades. Os aços-liga e os metais possuem propriedades especiais, as quais se devem à inclusão de um ou mais elementos, como o manganês, níquel, cromo, molibdênio, vanádio, silício, tungstênio, cobalto etc. (Alexandre & Krebs, 1995).

As fundições são altamente poluidoras. Além dos gases poluidores SO_2 , NO_2 , CO_3 e outros, lançam na atmosfera quantidades apreciáveis de material particulado (constituídos de óxidos metálicos), CO , SO_2 , SO_3 , e NO_x (Alexandre & Krebs, 1995).

A indústria petroquímica tem gerado passivos ambientais como os dos bairros da Vila Carioca e Parque da Mooca, na cidade de São Paulo, motivo de audiência pública, atualmente promovida pela Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. No bairro Recanto dos Pássaros, em Paulínia-SP, encontram-se também poluídos o solo e o subsolo, inclusive as águas subterrâneas, por compostos organoclorados da família dos drins: eldrin, aldrin e diel-drin. Este assunto encontra-se sob investigação do Ministério Público.

As principais fontes de poluição das águas subterrâneas e do subsolo, bem como os parâmetros de controle a elas associadas, encontram-se sintetizados no **Quadro 1**.