GUIA DE PREVENÇÃO DE ACIDENTES GEOLÓGICOS URBANOS

624.13
048 g

MINERAIS DO PARANÁ S/A - MINEROPAR

1998

MINEROPAR
BIBLIOTECA

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ
Jaime Lerner
Governador

SECRETARIA DE ESTADO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO E DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO
Eduardo Sciarra
Secretário

MINERAIS DO PARANÁ S/A – MINEROPAR
Omar Akel
Diretor Presidente

Marcos Vitor Fabro Dias
Diretor Técnico

Heloísa Monte Serrat de Almeida Bindo
Diretora Administrativo-Financeira

Registro n. 3085
Biblioteca/Mineropar

MINEROPAR
BIBLIOTECA
Reg. 3085 Data 03 06. 98

MINERAIS DO PARANÁ S/A - MINEROPAR

GUIA DE PREVENÇÃO DE ACIDENTES GEOLÓGICOS URBANOS

CURITIBA
1998

624.13
O48g

ELABORAÇÃO

GEÓLOGO LUÍS MARCELO DE OLIVEIRA

PERMITIDA A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL, DESDE QUE CITADA A FONTE
MINERAIS DO PARANÁ S/A – MINEROPAR
AUTOR: GEÓLOGO LUÍS MARCELO DE OLIVEIRA
RUA CONSTANTINO MAROCHI, 800 - JUVEVÊ
TELEFONE : (041) 352 – 3038 – FAX :(041) 252 – 7048
CEP 80.030 – 360 CURITIBA – PAR

MINEROPAR
BIBLIOTEC

SUMÁRIO

Apresentação 1

1. Introdução 2

2. Acidentes geológicos urbanos 3

3. Inundações 4

4. Afundamentos cársticos 10

5. Movimentos de massa 17

5.1 Rastejos 17

5.2 Escorregamentos 18

5.3 Queda de blocos e tombamentos 20

5.4 Corridas de massa 22

6. Erosão 24

7. Expansão e contração de solo 30

8. Colapso de solo 35

9. Poluição das águas 39

9.1 Poluição das águas superficiais 39

9.2 Poluição das águas subterrâneas 44

10. Acidentes costeiros 47

10.1 Erosão marinha 47

10.2 Adensamentos de solo 52

10.3 Assoreamentos e dragagens 55

11. A prevenção de acidentes geológicos urbanos 59

Referências bibliográficas 61

Apresentação

Este trabalho traz uma síntese sobre os principais processos responsáveis pela deflagração de acidentes geológicos em áreas urbanas, cuja origem se relaciona ao mau uso do solo pela falta de informações básicas do meio físico no processo de planejamento urbano.

Busca-se com isto, alcançar os seguintes objetivos:

- Levar ao conhecimento dos administradores públicos, planejadores e gestores urbanos, a importância da informação geológica e a caracterização do meio físico no processo de planejamento urbano;
- Identificar as causas e mecanismos que operam os principais acidentes geológicos urbanos, dando ênfase aos enormes custos sociais e econômicos gerados a partir do mau uso do solo pela não observação da informação geológica básica;
- Recomendar e propor medidas de caráter preventivo e corretivo para subsidiar ações de gestão e planejamento urbano, visando otimizar a ocupação dos espaços, minimizando os custos e riscos da ação do homem sobre o meio físico e, principalmente, orientar a ação administrativa e territorial sobre problemas já instalados, em sua grande maioria pela falta de planejamento prévio adequado.

Com estes objetivos, e tomando-se como base a experiência dos trabalhos que a Mineropar vem desenvolvendo no Estado do Paraná, na área de planejamento urbano, somado a informações colhidas na bibliografia (livros técnicos especializados, trabalhos publicados por outras entidades: IPT, ABGE, ABMS, CPRM, UFPR, e outros), elaborou-se este guia, que se espera contribua de forma prática e objetiva para a melhoria e aperfeiçoamento da administração pública voltada ao planejamento e a ocupação territorial e urbana.

1. Introdução

O processo de ocupação do solo nas cidades brasileiras, influenciado pelo crescimento explosivo da população urbana, vem se caracterizando por não obedecer a qualquer critério de planejamento em relação aos recursos naturais existentes e ao interesse maior de bem estar da coletividade. Esta ocupação tem levado em conta interesses financeiros e imediatistas e muito pouco se tem preocupado com a qualidade de vida que deve desfrutar a população. Deste modo, a ocupação do solo tem se processado de modo desordenado, levando muitas vezes, a usos inadequados. Estes, por sua vez, são responsáveis pela instalação de processos de alteração do meio físico, que podem culminar com a deflagração de acidentes geológicos nas áreas urbanas, trazendo enormes prejuízos à população e ao poder público, além do risco da perda de vidas humanas.

Boçorocas, erosão, afundamentos cársticos, colapsos e adensamentos de solo, assoreamentos, erosão marinha, inundações, escorregamentos e poluição das águas, são alguns exemplos, quase sempre relacionados ao uso inadequado do solo, em função do desconhecimento das características físicas dos terrenos.

A utilização das informações básicas, geológicas e geotécnicas, voltadas à caracterização do meio físico, bem como o entendimento das relações entre ocupação desordenada do solo e os riscos associados, tornam-se fundamentais para subsidiar ações de planejamento e administração pública. Fornecem as indicações necessárias para se racionalizar o crescimento das áreas urbanizadas, dando o suporte necessário à definição da adequabilidade dos terrenos para os diferentes fins, minimizando os riscos da deflagração dos acidentes geológicos.

2. Acidentes geológicos urbanos

Um acidente geológico urbano é o resultado da deflagração e evolução de processos de alteração do meio físico, induzidos, potencializados ou acelerados pelo uso e ocupação do solo, e que trazem como conseqüências, prejuízos sociais, econômicos ou ambientais, e até mesmo a perda de vidas humanas.

Sua ocorrência está intimamente relacionada à ocupação indevida de áreas consideradas de *"risco"*, pela falta de prévio planejamento ou desconhecimento total das características geológicas dos terrenos.

Os processos geológicos causadores de acidentes mais freqüentes no Brasil, e que serão abordados neste trabalho, se referem a:

- Inundações
- Afundamentos cársticos
- Movimentos de massa
  - Rastejos
  - Escorregamentos
  - Queda de blocos e tombamentos
  - Corridas de massa
- Erosão
- Expansão e contração de solos
- Colapso de solo
- Poluição das águas
- Acidentes costeiros
  - Erosão marinha
  - Adensamento de solos
  - Assoreamentos e dragagens

Acidentes geológicos relacionados à dinâmica interna da Terra, a exemplo dos terremotos e erupções vulcânicas ou fenômenos do tipo "tsunamis", maremotos, tufões, tornados e outros, fogem do escopo deste trabalho e serão abordados numa outra oportunidade. Cabe aqui apenas referenciá-los como acidentes que ao longo do tempo tem causado enormes prejuízos em áreas urbanas e vitimado milhares de pessoas.

3. Inundações

As inundações são fenômenos que fazem parte da dinâmica fluvial, atingindo periodicamente as várzeas, também denominadas planícies de inundação.

Correspondem ao extravasamento das águas de um curso d'água para as áreas marginais, quando a vazão é superior à capacidade de descarga da calha. A planície de inundação funciona como um regulador hidrológico, absorvendo o excesso de água nos períodos de intensas chuvas e cheias.

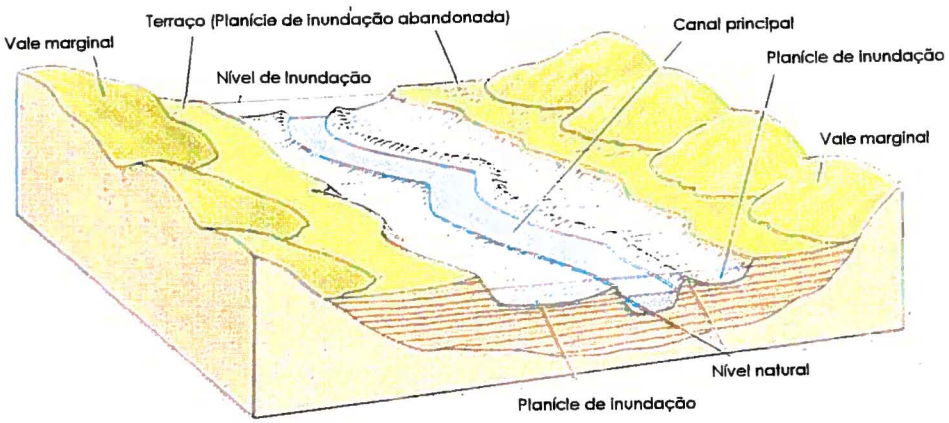


Fig.1 - Configuração da planície de inundação de um rio.
(Fonte: Murck, Skinner e Porter, 1996)

Todo e qualquer rio tem sua área natural de inundação. As inundações passam a ser um problema para o homem quando ele deixa de respeitar esses limites naturais dos rios e passa a ocupar estas áreas de maneira inadequada.

Como o homem altera as características do rio?

De diversas formas. A principal é quando ele retira a cobertura vegetal e introduz obras com características de impermeabilização do solo, como a construção de casas, telhados, pavimentação de ruas, quintais, rodovias e estradas barrando ou alterando os fluxos da água. Perde-se com isso a capacidade de retenção da água através da vegetação e a capacidade de infiltração dessa água no solo. Por conseguinte, os volumes de água que atingirão os rios serão maiores, e os prejuízos das inundações também serão maiores. A ocupação urbana desordenada é o uso que, com maior

frequência, avança sobre as áreas inundáveis, sem a adoção de medidas preventivas contra as cheias.

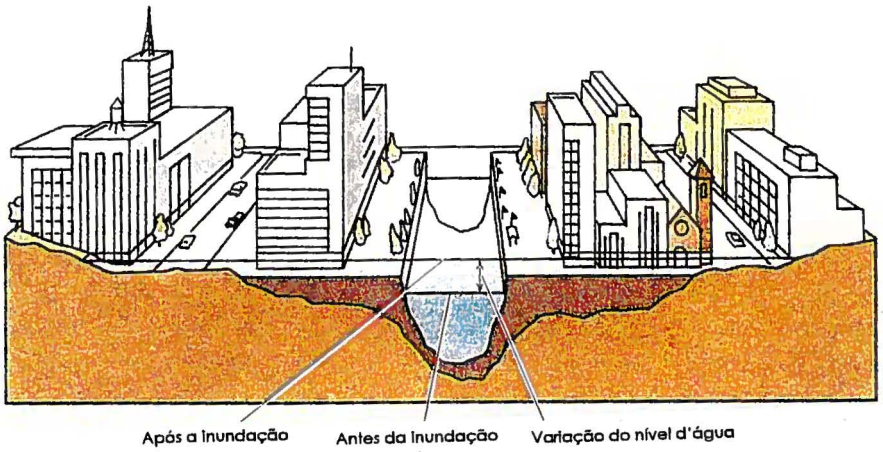


Fig.2 - Ocupação urbana em áreas de inundação.
(Fonte: Murck, Skinner e Porter, 1996)

A urbanização, acompanhada da retirada da mata ciliar, remoção da vegetação e impermeabilização do solo, altera o escoamento natural das águas de superfície com a redução no tempo de concentração das águas pluviais, em virtude dos sistemas de drenagem urbana, cuja função é captar o mais rapidamente possível as águas para jusante, em direção aos cursos d'água, acrescentando consideravelmente os volumes de água nos rios, potencializando as inundações.

Há outros motivos que agravam as inundações, principalmente nas cidades, dentre os quais se destacam:

- despejo de resíduos sólidos urbanos (lixo), provocando o entulhamento dos vales e quaisquer tipos de drenagem;
- eliminação da mata ciliar, provocando erosão contínua e assoreamento dos cursos d'água;
- lançamento de esgotos domésticos e industriais;
- desmatamentos de extensas áreas, por meios de cortes e queimadas;
- execução de cortes e aterros nas planícies de inundação;
- retificação, aprofundamentos, desvios e canalização dos córregos;

- mineração descontrolada junto ao fundo de vale, carreando sólidos para os córregos (assoreamento e entulhamento);
- aterramento de várzeas marginais ao fundo de vale, causando aumento do escoamento superficial e retenção das águas de superfície;
- ocupação urbana indevida nas margens dos fundos de vale;
- ausência de saneamento básico, permitindo o escoamento de pequenas drenagens, águas pluviais e até mesmo esgoto sanitário, através de valas negras;
- barramentos artificiais provocados pelas estradas que funcionam como diques bastante elevados, em relação aos terrenos adjacentes, dificultando o escoamento da rede de drenagem;

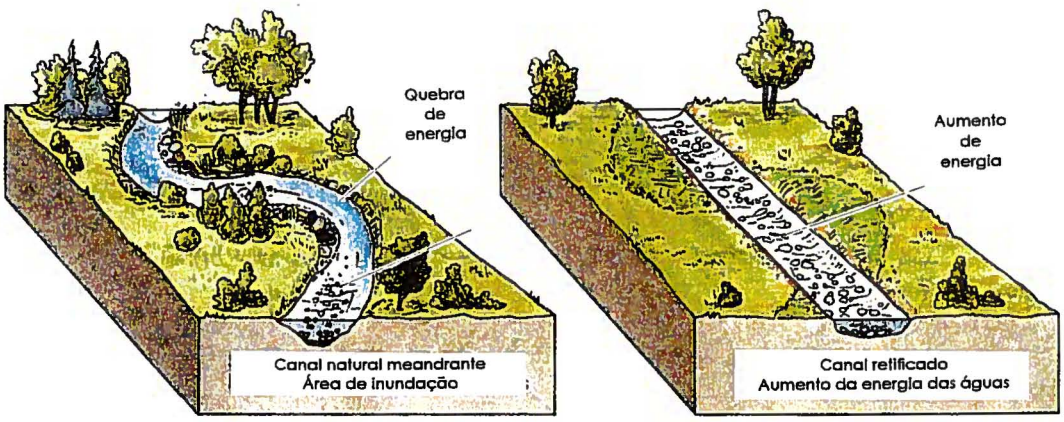


Fig.3 - Retificação do canal de um rio, aumentando a vazão que pode gerar focos de erosão e represamento à jusante. (Fonte: Murck, Skinner e Porter, 1996)

A ocupação dos baixios, além de causar o desequilíbrio ambiental de uma região, traz consigo sérios problemas de natureza sócio-econômica, principalmente no setor de saúde pública e infra-estrutura, afetando principalmente a população de mais baixa renda.

As áreas de inundação estão geralmente ocupadas por sedimentos aluvionares e/ou solos hidromórficos, que mostram o seguinte perfil:

- camada superficial orgânica escura / solo turfoso ou turfa;
- argilas plásticas, moles;
- areias e cascalhos basais;

Estes sedimentos, dado o seu péssimo comportamento mecânico, são considerados problemáticos para a engenharia e merecem por esta razão, atenção especial no processo de planejamento urbano. Na porção superior do perfil, constituem-se de solos extremamente compressíveis, moles, com baixa capacidade de suporte de carga, o que pode inviabilizar tecnicamente qualquer obra de engenharia sobre os mesmos (fundações, aterros e outros). As redes de abastecimento de água, esgotos e outras que compõem a infra-estrutura enterrada das cidades, podem sofrer rompimentos devido a fenômenos de adensamento de solo, típicos destes sedimentos de baixios. Acredita-se que grande parte das águas perdidas em vazamentos de redes de abastecimento, esteja relacionada à rupturas das tubulações nas áreas de planícies de inundações. Soma-se a isto a existência do nível freático raso ou aflorante, sujeito à constantes oscilações.

Com relação às doenças associadas aos eventos de enchentes e inundações em áreas urbanas, em virtude do contato da população com águas contaminadas, destacam-se: infecções intestinais, cutâneas e conjuntivais; hepatites virais, febre tifóide e cólera; leptospirose, causada pela urina dos ratos, além de doenças respiratórias crônicas como bronquite, asma, enfisema pulmonar, gripes, resfriados e pneumonia.

Como enfrentar os problemas decorrentes das inundações?

Segundo Bombonatto C. (1997), existem basicamente três formas de enfrentar tais problemas: a primeira é não ocupar as áreas de inundação; a segunda é não alterar - ou alterar o menos possível - as características da bacia hidrográfica. E, por último, através da implantação de obras de contenção de cheias, como a construção de barragens, reservatórios, construção de diques para a proteção de áreas de riscos altos de inundação, enfim, outras obras de engenharia, do tipo desassoreamento de rios e ampliação de seus leitos. Todas essas obras têm uma característica em comum: são extremamente caras e onerosas para a sociedade. Embora apresentem um certo grau de eficiência, pode-se dizer que elas não são absolutamente eficazes porque, mesmo contando com essas obras, sempre haverá um evento de chuva, um evento de cheia que provocará uma inundação maior do que aquelas as quais essas obras foram projetadas".

Araújo M.L.M.(1992), sugere as seguintes ações de caráter preventivo para minimizar os efeitos das inundações e preservar os fundos de vale:

- relocação de moradores situados em áreas impróprias ou realização de estudos de alternativas técnicas para a proteção da população contra as inundações. Nas áreas

não ocupadas prever usos possíveis como lazer e recreação através de parques lineares, garantindo a manutenção da flora e da fauna;

- no caso de aprovação de novos loteamentos em que não houver interesse das prefeituras em executar parques lineares, permitir que os fundos de vale sejam incorporados aos lotes, desde que respeitadas as faixas de drenagem, de forma a evitar invasões e favelas nas margens dos córregos;
- elaboração de zoneamento das áreas das várzeas, definindo os usos compatíveis, considerando os aspectos geológicos, geotécnicos, geomorfológicos e hidrológicos;
- nos casos críticos de inundação, efetuar desapropriações de áreas e implantar parques municipais com lagoas de contenção de cheias;
- implantação de redes de drenagem prioritariamente em áreas com problemas de escoamento;
- evitar canalizações e retificações de córregos, pois aumentam o gradiente dos mesmos, estourando focos de erosão à jusante das obras;
- implantação de alternativas economicamente viáveis que auxiliem no tratamento de esgotos domésticos;
- minimização da geração de efluentes industriais e redução do consumo de água, com emprego da técnica de recirculação de água;
- melhoria dos serviços de limpeza pública municipal e destinação adequada com tratamento de efluentes;
- implantação de programas de pré-reciclagem ou reciclagem de resíduos sólidos;
- recomposição das matas ciliares;
- introdução de práticas de produção florestal alternativa;
- controle e orientação na utilização de defensivos agrícolas;
- divulgação de práticas de manejo de solo adequadas;
- controle das atividades ligadas à mineração para que sejam realizadas de maneira adequada, tecnológica e ambientalmente;
- proibição de atividades minerárias em áreas de mananciais de abastecimento, quando não atendidas as exigências que o meio requer;
- educação ambiental em todos os níveis;
- promoção de uma maior integração entre Instituições Públicas;

- melhoria operacional das condições de fiscalização,
- reavaliação dos atuais sistemas de gestão;

Sugere-se também uma boa preparação da comunidade no sentido de se organizar e aprimorar a qualidade do auxílio externo nos casos de severas inundações, prestando rápida e eficiente assistência às populações atingidas.

O estudo das áreas de inundação e sua viabilização no processo de uso e ocupação do solo tem caráter multidisciplinar, devendo envolver profissionais de diversas áreas (geólogos, geomorfólogos, hidrólogos, arquitetos e outros). Deve buscar principalmente, a caracterização das condicionantes geológicas, geomorfológicas e hidráulicas da bacia em sua totalidade; as condicionantes antrópicas relacionadas, bem como as intervenções construtivas, minimizando ou eliminando os riscos oferecidos para a população.

4. Afundamentos cársticos

São os afundamentos do terreno que ocorrem nas áreas constituídas por rochas carbonáticas, submetidas à dissolução pela percolação de águas superficiais e subterrâneas. Esta dissolução é comandada pela ação do ácido carbônico (água da chuva + CO_2 da atmosfera) e ácidos da decomposição da matéria orgânica (húmicos, fúlvicos e tânicos). Em profundidade as águas ácidas dissolvem as rochas carbonáticas ao longo de contatos litológicos, fendas, fissuras, falhas e fraturas, abrindo uma rede de condutos e grutas que podem formar grandes cavernas, quando os tetos desabam.

Esse processo, denominado de **carstificação**, é responsável pela formação de uma paisagem com aspecto ruiniforme e esburacado, onde predomina a drenagem vertical e subterrânea, com a formação de rios subterrâneos (sumidouros e ressurgências), cavernas, dolinas, uvalas, poljés, lápias e diversas outras estruturas, típicas das áreas de carste.[1]

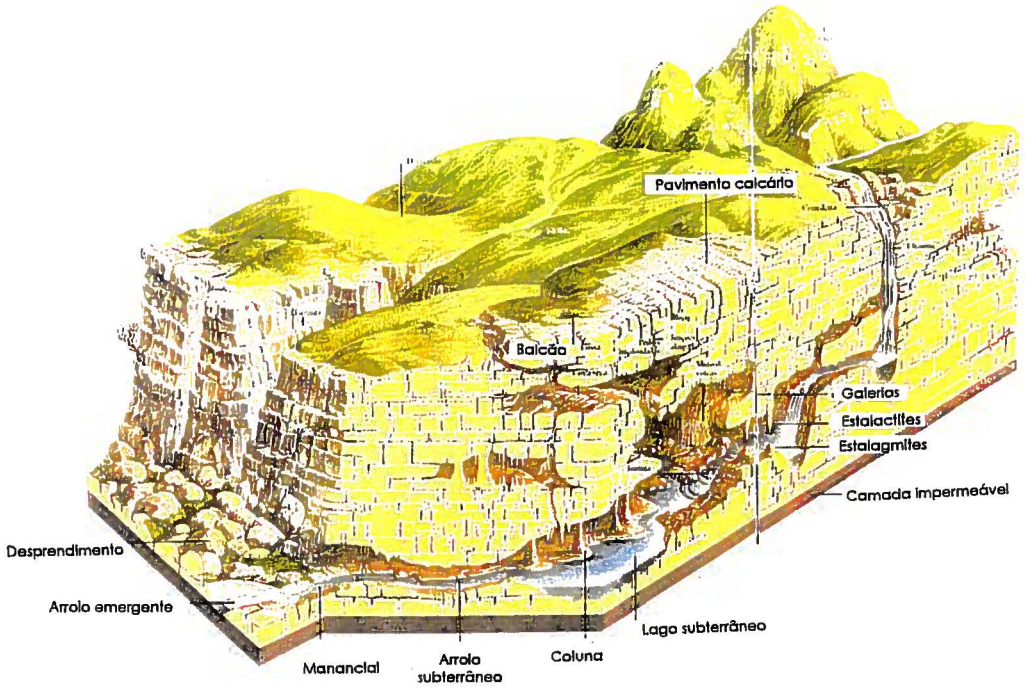


Fig. 4 - Morfologia das áreas cársticas.
(Fonte: Atlas do Extraordinário – A Formação da Terra, Vol II, 1996)

[1] carste: o termo karste de origem servo-croata significa campo de pedras calcárias e foi inicialmente empregado para designar a morfologia das formações calcárias encontradas na região de Rjeka (Iugoslávia).

Os principais tipos de rochas susceptíveis aos processos de dissolução são as rochas calcárias ou carbonáticas (calcários, mármores e dolomitos), além de evaporitos (halita, gipsita e anidrita), embora estas últimas sejam menos difundidas na superfície terrestre.

Nos terrenos de rochas carbonáticas os afundamentos cársticos se manifestam na forma de colapsos de solo e subsidências , e podem se desenvolver de maneira natural ou ser deflagrados ou acelerados por ações próprias do uso inadequado do solo, principalmente aquelas que resultam em alterações na dinâmica e nas características de circulação das águas subterrâneas.

A presença de cobertura de materiais inconsolidados (aluviões, colúvios e solos de alteração) sobre as rochas carbonáticas em dissolução tende a aumentar o significado geotécnico deste processo, quer seja pela ampliação física das áreas de afundamento, quer pelo próprio mascaramento de corpos carbonáticos, produzindo até mesmo terrenos de topografia mais suave em relação ao entorno e, consequentemente, podendo atrair usos mais intensos.

Os colapsos de solo se caracterizam por desabamentos bruscos, circulares em forma de cratera, com seção lateral de tronco invertido. Podem ocorrer mesmo sem sinais prévios denunciadores, e são apontados como os principais causadores de acidentes graves em áreas de carste. O principal acidente relacionado a colapsos de solo no Brasil, foi verificado em 1986, na cidade de Cajamar (SP), e outros de menores proporções nas cidades de Sete Lagoas (MG) e Almirante Tamandaré (PR).

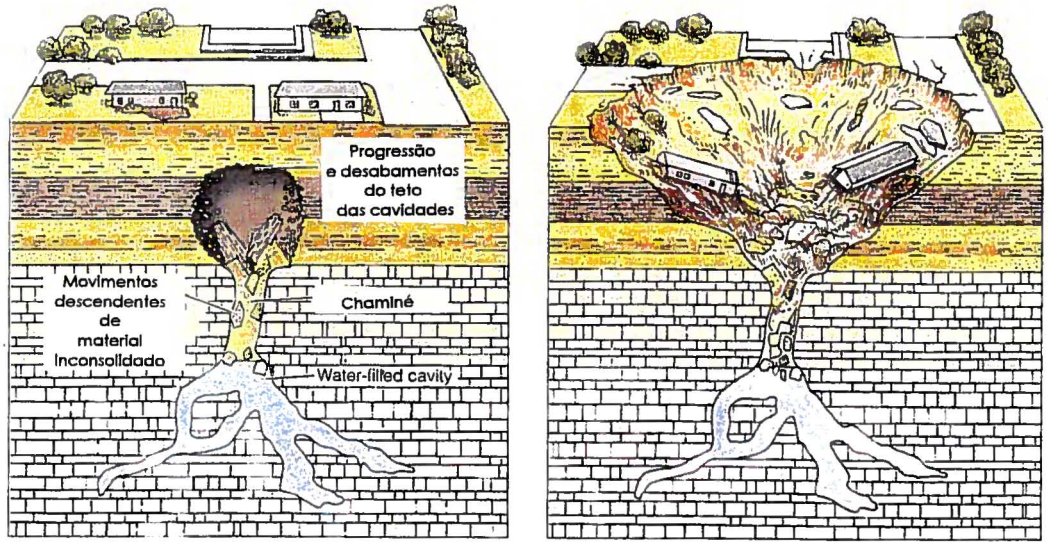
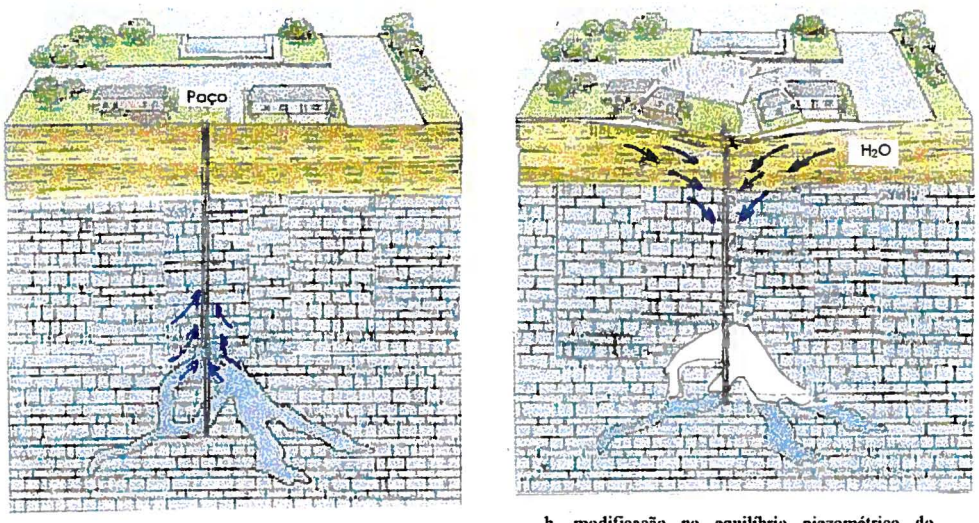


Fig.5 - Desenvolvimento de colapsos de solo em áreas urbanas.
(Fonte: Murck, Skinner e Porter, 1996)

As subsidências de terreno se caracterizam por processos de adensamento ou rebaixamento do solo, em função de modificações nas condições de saturação das camadas superficiais. Consistem de movimentos mais lentos em relação aos colapsos, podendo provocar recalques nas fundações e ruína parcial de edificações (trincas, rachaduras e desabamentos de pequenas proporções).



a. bombeamento através de poço tubular, com rebaixamento do nível do aquífero subterrâneo.

b. modificação no equilíbrio piezométrico do sistema, com aporte de água do lençól freático livre, provocando adensamento da camada superficial.

Fig. 6 -Subsidências em terrenos cársticos, provocando recalques em fundações. (Fonte: Modificado de Murck, Skinner e Porter, 1996)

Segundo autores, nos países onde são observados fenômenos de colapsos de solo e subsidências, já há alguns anos, é considerado extremamente difícil estabelecer previamente o local, as dimensões e o momento exato da ocorrência desse fenômeno.

Quais os fatores causadores dos afundamentos cársticos?

Nas áreas cársticas cobertas por materiais inconsolidados, observa-se uma tendência natural dos materiais de recobrimento em preencherem as cavidades do substrato rochoso. Este preenchimento, faz-se pela migração dos materiais para o interior das cavidades, como também pelo desabamento do teto de cavernas. Os efeitos em superfície, podem ser detectados através dos afundamentos do terreno.

Estes processos podem ser deflagrados ou acelerados pela ação do homem, quando ele promove o uso inadequado do solo, principalmente através da ocupação urbana indevida, a exploração de águas subterrâneas sem critérios técnicos adequados e a mineração descontrolada de calcário.

A Urbanização

Normalmente, nas áreas cársticas, a ocupação urbana desconsidera as características físicas, geológicas e hidrogeólogicas do ambiente. São assim ocupados, equivocadamente, terrenos que podem apresentar comportamentos geotécnicos indesejáveis, trazendo riscos as comunidades assentadas na região e comprometimento dos recursos públicos destinados a urbanização e/ou expansão urbana. Muitas vezes, áreas com características topográficas favoráveis, a exemplo das planícies cársticas (poljés), tornam-se convidativas e atraentes para a ocupação urbana indiscriminada, com grandes e pesadas edificações, encobrindo porém a complexidade do ambiente cárstico, suas estruturas subterrâneas (cavidades, cavernas...) e zonas de extrema sensibilidade.

A ocupação desordenada potencializa também os riscos de contaminação dos aqüíferos subterrâneos, a partir do lançamento de esgotos domésticos e industriais, produtos da percolação de resíduos sólidos e outros, que rapidamente percolam os condutos cársticos e atingem os lençóis subterrâneos.

A Mineração

As rochas calcárias aflorantes nos terrenos cársticos constituem a matéria-prima para a indústria do cimento, cal e corretivo de solo. A mineração torna-se assim uma das principais atividades econômicas desenvolvidas nestas regiões, visando atender às demandas de mercado, principalmente na indústria da construção civil. Feita de maneira intensiva, a mineração de calcário sempre convive muito de perto com núcleos urbanos, onde se processa a transformação do recurso mineral em insumo básico para os setores industriais. Muitas áreas de mineração, inicialmente localizadas a distâncias relativamente grandes de centros urbanos, mesmo que desativadas, são alcançadas pela ocupação urbana, trazendo uma série de problemas e inconvenientes.

A mineração de calcário, quando sem planejamento prévio, promove a degradação ambiental, além de causar efeitos indesejáveis como a poluição visual, sonora e do ar. As contínuas explosões efetuadas nas frentes de lavra para o desmonte da rocha, produzem ondas que tendem a se propagar em subsuperfície. Estas vibrações podem contribuir para a desestabilização de materiais de cobertura, favorecendo sua migração para o interior de cavidades, ou provocar o desabamento das porções superiores destas cavidades, culminando com o abatimento do terreno em superfície.

As vibrações quando atingem edificações localizadas nas áreas vizinhas, podem provocar danos e avarias nas estruturas e fundações.

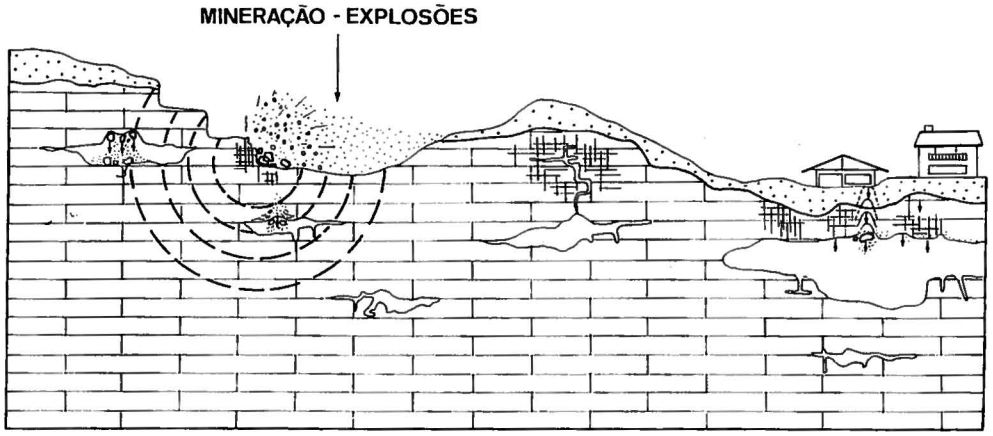


Fig.7 - Afundamentos associados a vibrações pelo uso de explosivos em pedreiras.
(Fonte: Oliveira, L.M , 1997)

A Extração de águas subterrâneas

Do ponto de vista da exploração das águas subterrâneas, o carste é tido como privilegiada estrutura armazenadora de água, assimilando enormes reservas.

A água contida nos condutos e cavidades da rocha calcária, pode encontrar-se em condições de confinamento ou semi-confinamento, exercendo uma força dirigida de baixo para cima, auxiliando no equilíbrio do peso das camadas sobrepostas.

Em condições de brusco rebaixamento ou oscilações do nível hidrostático, quer por variações sazonais ou por operações de bombeamento de água subterrânea em poços tubulares, pode ocorrer a diminuição desta pressão, aumentando a pressão intergranular dos materiais inconsolidados sobrepostos, propiciando a instabilização e a migração dos solos para as cavidades do substrato carbonático com consequente afundamento do terreno, por colapso ou subsidência.

O brusco rebaixamento do nível de água subterrânea por bombeamento contínuo, tem sido considerado o principal agente da deflagração e evolução dos mecanismos de migração de solo em subsuperfície.

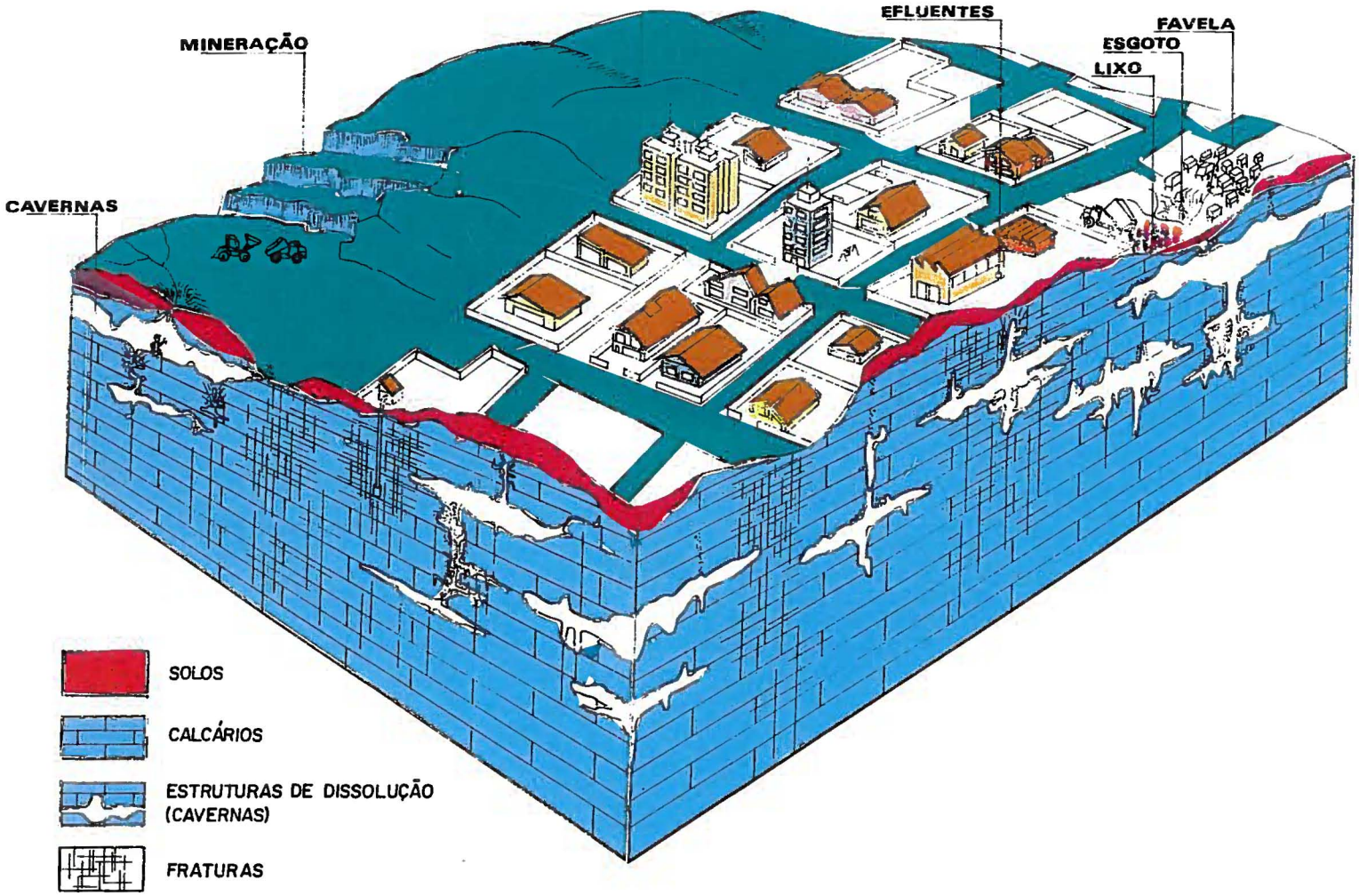


Fig.8 – Aspecto da ocupação urbana em áreas de carste e a exploração de seus recursos naturais (mineração de calcário, extração de água subterrânea e exploração de grutas e cavernas). Fonte: Oliveira, L.M (1997).

Como efetuar o diagnóstico, prevenção e controle de subsidências e colapsos em áreas de carste?

As medidas preventivas e corretivas compreendem:

- cartografia geotécnica: reconhecimento e mapeamento das características de ocorrência da áreas cársticas para subsidiar planos de uso e ocupação do solo e pré-dimensionamento de medidas e obras para viabilizar a ocupação, compreendendo aqui o zoneamento do risco em áreas já ocupadas;
- procedimentos de campo da hidrogeologia e geotecnia: incluem a diminuição ou cessação de bombeamento de água no subsolo e, ainda, o disciplinamento das águas de superfície;
- práticas e obras dos campos da engenharia de fundação e geologia de engenharia: obras e medidas para proporcionar suporte duradouro às cargas das estruturas, incluindo estaqueamentos, compactação do terreno, escavação e tratamento do topo rochoso, obturação e preenchimento das cavidades no solo e na rocha por injeção de caldas, argamassas e agregados;
- disciplinamento das atividades de mineração;
- implantação de campanhas de educação e informação à população, a qual deverá detectar e informar imediatamente para a prefeitura local a ocorrência de fatos que denunciem a evolução de mecanismos de afundamentos, tais como: surgimento de trincas em paredes, muros e pisos; dificuldades no fechamento de portas, janelas e portões; rompimentos freqüentes nas redes públicas de água e esgoto; abaulamentos de calçadas e pisos; ruídos semelhantes a explosões ou trovoadas distantes, e outros;
- implantação de programas integrados de desenvolvimento de áreas de carste, viabilizando a ocupação urbana e a exploração de seus recursos naturais, sem oferecer riscos a economia e comunidades urbanas.

5. Movimentos de massa

Compreendem os movimentos gravitacionais responsáveis pela mobilização de partículas, sedimentos, solo ou rocha, pela encosta abaixo. Entre os fatores condicionantes naturais destacam-se: as características dos solos e rochas, o relevo, a vegetação, o clima, o nível d'água (lençol freático) e, obviamente a gravidade.

O processo pode ser natural ou induzido pelas interferências do homem no ambiente. O avanço das diversas formas de ocupação do solo em áreas naturalmente susceptíveis aos movimentos de massa, acelera e amplia os processos de instabilização. As principais modificações oriundas das interferências antrópicas indutoras dos movimentos de massa, dizem respeito a: remoção de cobertura vegetal, execução de cortes e aterros inadequados, saturação do solo através do lançamento e concentração de águas pluviais e servidas, vazamentos na rede de abastecimento, esgoto, presença de fossas, lançamento de lixo nas encostas e taludes e cultivo inadequado do solo, entre outros.,

Os movimentos de massa são classificados de diferentes formas, em função da geometria e tipo de material envolvido. Podem ser subdivididos em quatro categorias:

- Rastejos
- Escorregamentos
- Queda de blocos e tombamentos
- Corridas de massa

5.1 Rastejos

Correspondem a movimentos lentos e contínuos de uma massa de solo ao longo de um talude, sem o desenvolvimento de uma superfície de ruptura. Podem se originar a partir da instabilização da encosta pela abertura de cortes, como também pelo pisoteio do gado, crescimento de raízes ou escavação de buracos pelos animais que podem gerar uma série de movimentos de minúsculas partículas terrosas.

O rastejo afeta grandes áreas e atua tanto nos horizontes superficiais das encostas (solo superficial), quanto nos estratos mais profundos, deslocando e abrindo fendas e trincas no terreno.

Pode ser evidenciado pelos seguintes indícios:

A. deslocamento de blocos

B. presença de árvores com troncos recurvados;

C. acamação para jusante de blocos intemperizados e fraturados;

D. deslocamento de postes, cercas e marcos;

E. deslocamento ou rupturas de muros e muretas de proteção;

F. existência de rodovias e ferrovias fora do alinhamento;

G. presença de matacões rolados;

H. ocorrência de cascalheiras ou linhas de fragmentos de rocha (" stone line"), na base do regolito (solo de alteração).

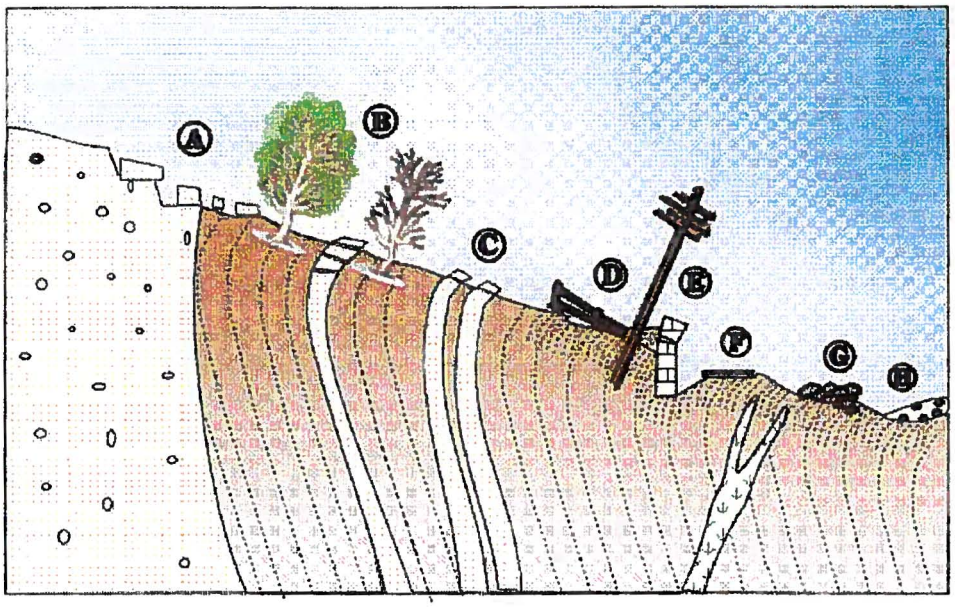


Fig. 9 - Perfil esquemático de encosta submetida a processo de rastejo.
(Fonte: Modificado de Chistofoletti, 1974)

O fenômeno do rastejo pode afetar desde pequenas obras (casas, edificações, rede de abastecimento...) até grandes construções (pontes, viadutos, etc), podendo preceder movimentações mais rápidas, como os escorregamentos.

5.2 Escorregamentos

Os escorregamentos se constituem nos acidentes geológicos que mais tem provocado a perda de vidas humanas. Se caracterizam por movimentos rápidos, bruscos, com limites laterais e profundidades bem definidos. Podem envolver solo, solo e rocha ou apenas rocha. Sua geometria pode ser circular, planar ou em cunha,

em função da existência ou não de estruturas ou planos de fraqueza nos materiais envolvidos, que condicionam a formação das superfícies de ruptura.

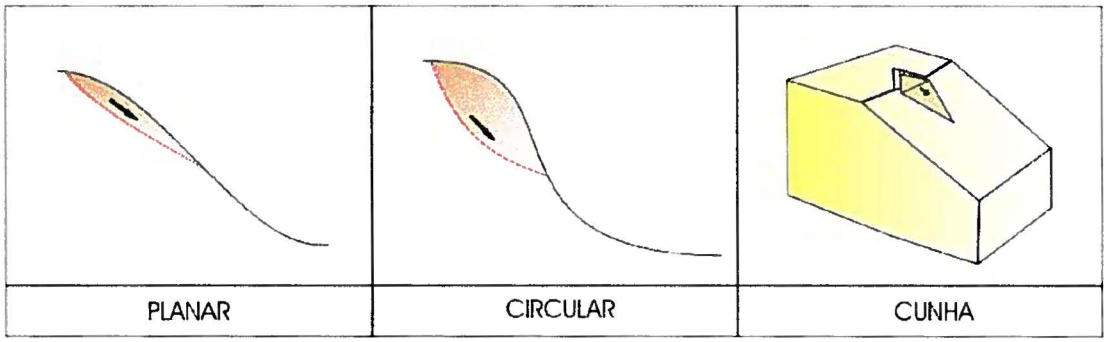


Fig. 10 - Geometria dos movimentos de massa associados a escorregamentos.
(Fonte: Modificado do Manual de Ocupação de Encostas – IPT, 1991)

O principal agente deflagrador do processo é a água da chuva, muitas vezes associado a desmatamentos, erosão, variações de temperatura, oscilações do nível freático e fontes. As chuvas contribuem diretamente para a instabilização de encostas, através da infiltração e encharcamento do solo; formação de fendas, trincas e juntas, com a geração de superfícies de ruptura; atuação de pressões hidrostáticas; saturação do solo com aumento do peso específico; redução da resistência dos solos pela perda de coesão e escorregamento.

As principais causas antrópicas dos escorregamentos são as seguintes:

- concentração de águas pluviais;
- lançamento de águas servidas;
- vazamentos na rede de abastecimento de água
- existência de fossas sanitárias;
- declividade e altura excessivas de cortes;
- execução inadequada de aterros;
- deposição de lixo ou existência deste englobado junto a aterros;
- remoção indiscriminada da cobertura vegetal.

Fig. 11 - Principais atividades antrópicas indutoras de escorregamentos em encostas.
(Fonte: Oliveira, L.M)

5.3 Queda de blocos e tombamentos.

Compreendem movimentos rápidos, em queda livre ou rolamento, envolvendo blocos e lascas de rocha. O processo se desenvolve em encostas íngremes, constituídas por afloramentos de rocha, com presença de blocos isolados ou campo de matacões.

A instabilização do bloco se dá pela perda da resistência mecânica de apoio, que pode ser uma superfície rochosa ou elementos como árvores e raízes. Pode se desenvolver ainda a partir da erosão ou ação das águas das chuvas que lavam e escavam as camadas superficiais do solo, liberando os blocos e matacões encosta abaixo.

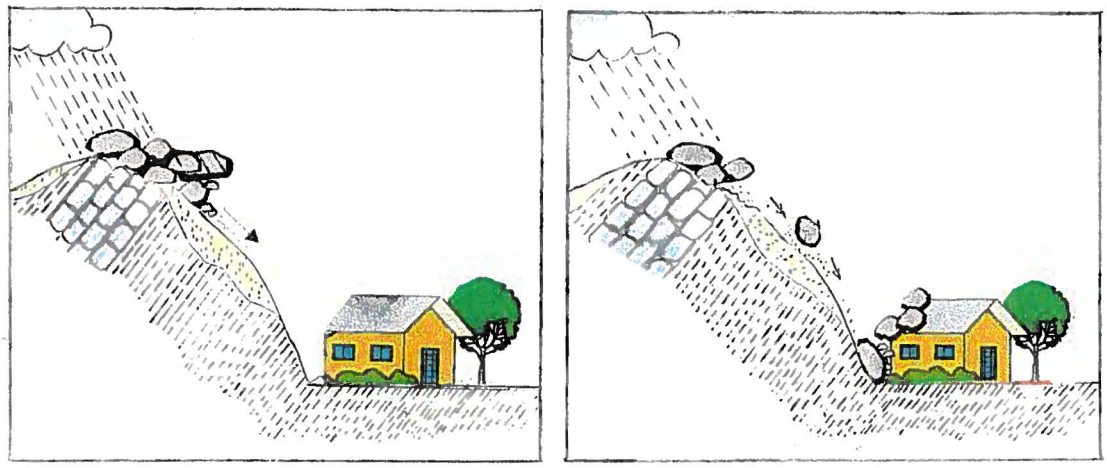


Fig. 12 - Modelo evolutivo do processo de queda de bloco.
(Fonte: Oliveira, L.M)

Os tombamentos, com desprendimento de lascas ou placas de rocha, formam-se a partir das descontinuidades do maciço rochoso (acamamento, xistosidade, planos de falhas e fraturas e outros). O processo pode se originar devido à variações térmicas (contração e dilatação), erosão ou ainda por pressões exercidas a partir do crescimento de raízes ao longo das descontinuidades. A ocupação inadequada das áreas de pedreiras desativadas, onde são comuns lascas e blocos instáveis, pode provocar acidentes relacionados a este processo.

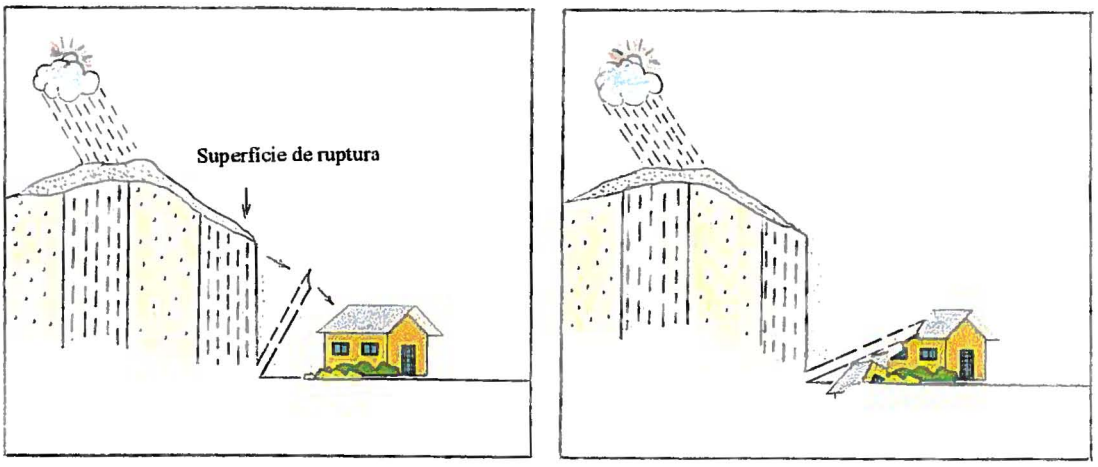


Fig. 13 - Processo de tombamento de lascas de rocha em encostas e taludes.
(Fonte: Oliveira, L.M)

5.4 Corridas de massa

Constitui o processo mais rápido de escoamento de uma massa de solo ou solo e rocha ao longo de uma vertente. A massa , de aspecto viscoso, é formada por uma matriz composta por água, argila e silte, e uma porção granular de material grosseiro (areia, grânulos, seixos e matacões). A origem da corrida de massa está diretamente relacionadas as águas das chuvas e sua ocorrência faz parte da dinâmica de evolução de uma vertente, podendo mostrar recorrência ao longo do tempo.

Geralmente envolve grandes volumes de massa com alto poder destrutivo e de transporte, atingindo grandes distâncias ao longo das drenagens, podendo atingir mesmo as áreas mais planas.

A ocupação desordenada das encostas, sem critérios técnicos adequados pode antecipar e ampliar o processo.

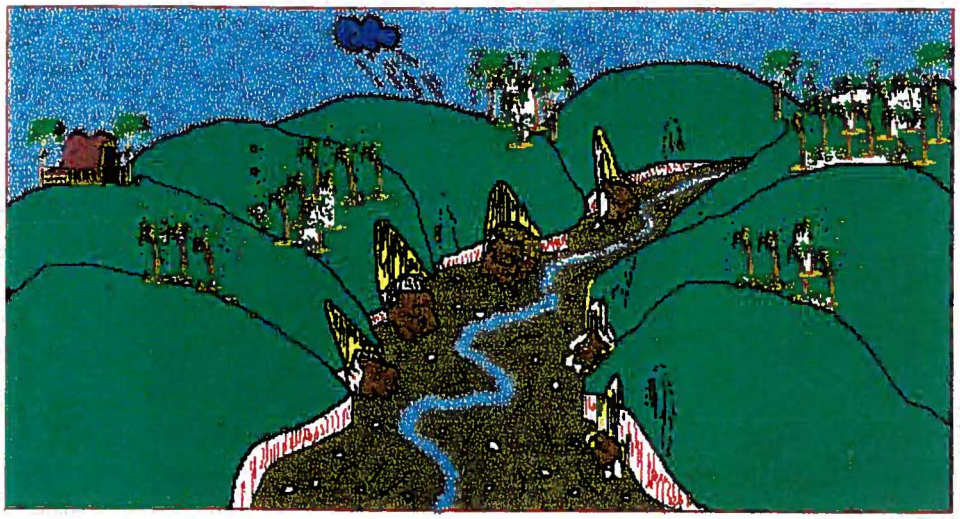


Fig.14 - Aspecto geral das corridas de lama ao longo das vertentes.
(Fonte: Modificado do Manual de Ocupação de Encostas – IPT, 1991)

Como enfrentar os problemas decorrentes da ocupação das encostas e os riscos geológicos relacionados?

As principais medidas de caráter preventivo e corretivo, dizem respeito a:

- cartografia geológica e geotécnica para caracterização dos materiais de superfície associados à encosta (solo, rocha, blocos, etc), determinação dos processos de instabilização através da identificação dos seus agentes/causas e a definição das áreas de risco, com a delimitação de zonas quanto a susceptibilidade e raio de alcance dos movimentos de massa (carta de zoneamento geotécnico);

- disciplinamento do uso do solo, dando prioridade à preservação das encostas ou ocupação segundo critérios técnicos adequados, adotando-se planos de ocupação, projetos de urbanização com implantação e manutenção de sistemas de drenagem e captação das águas pluviais e servidas, coleta de lixo, entulhos e dejetos, desativação e aterro de fossas sanitárias, manutenção da rede de abastecimento de água e outros, levando em conta a legislação vigente (lei do parcelamento do solo, áreas de preservação, etc);
- recuperação de pontos críticos da encosta ocupada com a execução de obras convencionais de estabilização e contenção, tais como: retaludamentos , obras de drenagem superficial e subterrânea, muros de contenção, atirantamentos, muros de espera, barreiras vegetais e outras, próprias do campo da engenharia e geotecnia;
- remoção de moradias e relocação de famílias, quando constatadas situações críticas de extremo risco de acidentes;
- reurbanização de núcleos habitacionais, caso as remoções não possam ser efetivadas, levando em consideração os riscos envolvidos;
- campanhas de conscientização popular, esclarecendo quanto aos riscos envolvidos na ocupação de encostas sujeitas aos movimentos de massa;
- fiscalização e monitoramento das intervenções antrópicas no meio físico, para que estas sejam feitas de maneira adequada.

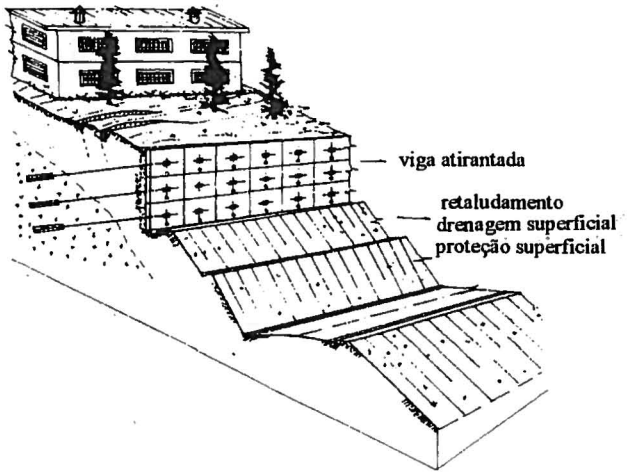


Fig. 15 – Exemplo de obras de contenção e estabilização de encostas.
(Fonte: Manual de Ocupação de Encostas – IPT, 1991)

6. Erosão

O fenômeno da erosão consiste na ação combinada de um conjunto de fatores que provoca a desagregação e transporte de partículas do solo ou fragmentos e partículas de rocha sobre a superfície terrestre. Os principais agentes são, a águas das chuvas, rios, mares, geleiras e ventos. Dentre estes, as águas pluviais tem grande importância, por propiciarem o escoamento superficial e o transporte de material inconsolidado, principalmente em países de clima tropical.

A erosão causada pelo escoamento superficial pode ser natural ou acelerada (antrópica). A erosão é classificada como natural quando a atuação dos processos erosivos se faz em um ambiente onde é controlada somente pelos fatores naturais. A erosão acelerada, provocada pela ação da água em conseqüência da ocupação urbana, está relacionada a interferência do homem no ambiente natural, provocando o seu desequilíbrio.

A erosão acelerada quando afeta as áreas urbanas tem efeitos devastadores, trazendo como conseqüência grandes prejuízos nas instalações urbanas, assoreamento nos cursos d'água com significativo aumento das enchentes, e as vezes perda de vidas humanas com a recorrência cada vez maior de catástrofes provocadas por estes fenômenos.

Como se dá a erosão pela ação antrópica?

As atividades humanas constituem o principal fator na deflagração dos processos erosivos, podendo ser citados os desmatamentos, o cultivo inadequado de terras, a urbanização com a impermeabilização do solo, concentração de drenagem através do lançamento de águas pluviais e servidas, lançamento de efluentes, redução de percursos, implantação de estradas e rodovias, entre outros.

Uma vez deflagrados, pelo uso inadequado do solo, os processos erosivos passam a ser comandados por diversos fatores naturais, destacando-se a chuva, a geomorfologia e as características dos materiais inconsolidados. A influência da chuva diz respeito à sua capacidade erosiva, através da ação das gotas de chuva e escoamento superficial. Os fatores ligados a geomorfologia dizem respeito a declividade do terreno e comprimento da encosta. Quanto aos materiais inconsolidados, os principais atributos são a textura, a estrutura do solo, a composição e a espessura. Solos profundos ou sedimentos friáveis de textura arenosa a média

mostram maior susceptibilidade aos processos erosivos, a exemplo dos sedimentos derivados dos arenitos da Formação Caiuá, na região noroeste do Paraná.

A erosão por escoamento superficial pode ocorrer na forma de erosão por splash, erosão laminar e erosão linear (sulcos, ravinas e boçorocas).

Erosão por **splash** ou salpico é a porção de solo desagregada pela ação das gotas de chuva e expelida a uma certa distância. Segundo autores, a energia de impacto, ou energia cinética das gotas de chuva que caem em um ano sobre um hectare de terra, corresponde à energia liberada por cinqüenta toneladas de dinamite. Essa energia de impacto fragmenta os agregados do solo em partícula diminutas que rapidamente entopem os macroporos do solo, selando-os e, consequentemente, impedindo a infiltração da águas da chuva. Os fatores que afetam a direção e a distância do salpico de solo, são a declividade, vento e condições da superfície do solo. Quanto mais alta for a erosão por splash, maior será a susceptibilidade da superfície do solo aos processos de selamento.

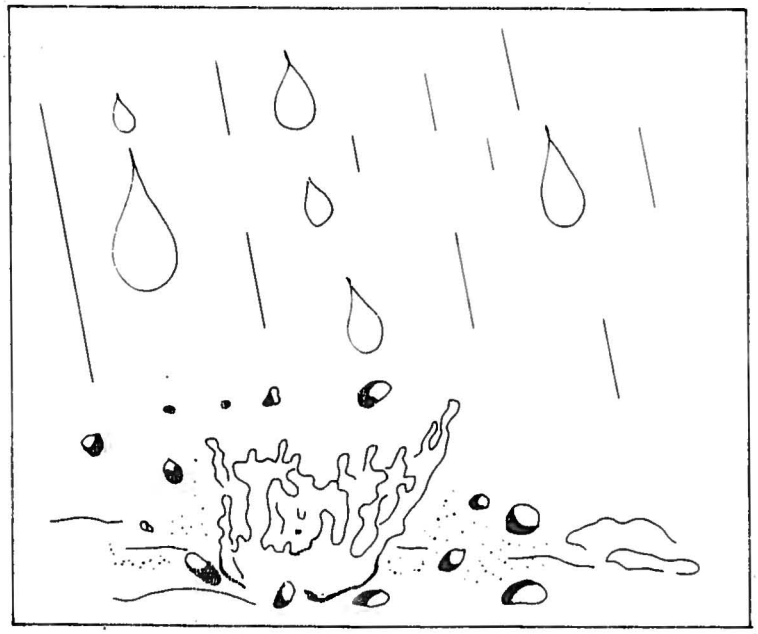


Fig.16 – Impacto da água de chuva sobre o solo.
(Fonte: Controle de Erosão, 1990)

A proteção da superfície do solo contra o efeito selador é decisiva para o impedimento do escoamento superficial e da erosão.

A erosão **laminar** afeta a superfície do solo como um todo, removendo finas camadas de solo de maneira mais ou menos uniforme. A formação de um fluxo superficial homogêneo é a causa do transporte das partículas previamente desagregadas e susceptíveis de serem arrastadas ou colocadas em suspensão. Desse

modo, o conjunto água/solo escoa como uma lâmina no sentido da declividade do solo, o qual vai se degradando em camadas sucessivas. A erosão laminar é prejudicial, pois carrega a camada superficial do solo que é a mais intemperizada e causa grande aporte de sedimentos para os cursos d'água. Essa forma de erosão é pouco perceptível e ocorre principalmente em solos pouco coesos.

A erosão **linear** ou erosão concentrada, consiste no arraste de partículas do solo, ocasionando sulcos orientados perpendicularmente às curvas de nível. A formação destes sulcos ocorre quando a água não escoa de maneira uniforme sobre toda a superfície, mas sim concentrada em lâminas que possuem uma potência erosiva capaz de abrir pequenos sulcos no solo.

Os fenômenos de erosão concentrada podem apresentar proporções diferentes, desde pequenos sulcos ou ravinas que apresentam dimensões relativamente pequenas, até processos que atingem grandes áreas, com o aprofundamento dos canais até dezenas de metros, interceptando muitas vezes o nível freático. Nestas condições, em que a erosão se desenvolve por influência, não somente das águas superficiais, mas também dos fluxos d'água subsuperficiais, em que se inclui o lençól freático, configura-se o processo conhecido por boçoroca ou voçoroca, com o desenvolvimento de "piping" (erosão interna ou tubular).

O fenômeno de "piping" provoca a remoção de partículas do interior do solo, formando canais que evoluem em sentido contrário ao fluxo d'água, podendo dar origem a colapsos do terreno, com desabamentos que alargam a boçoroca ou criam novos ramos. Assim, a evolução das voçorocas se faz mediante o desenvolvimento de processos combinados de erosão superficial, erosão interna, solapamentos, desabamentos e escorregamentos, que se conjugam para dotar esta forma de erosão de elevado poder destrutivo.

A formação de boçorocas pode ser precedida por intensa erosão laminar e formação de sulcos e linhas de concentração do escoamento superficial.

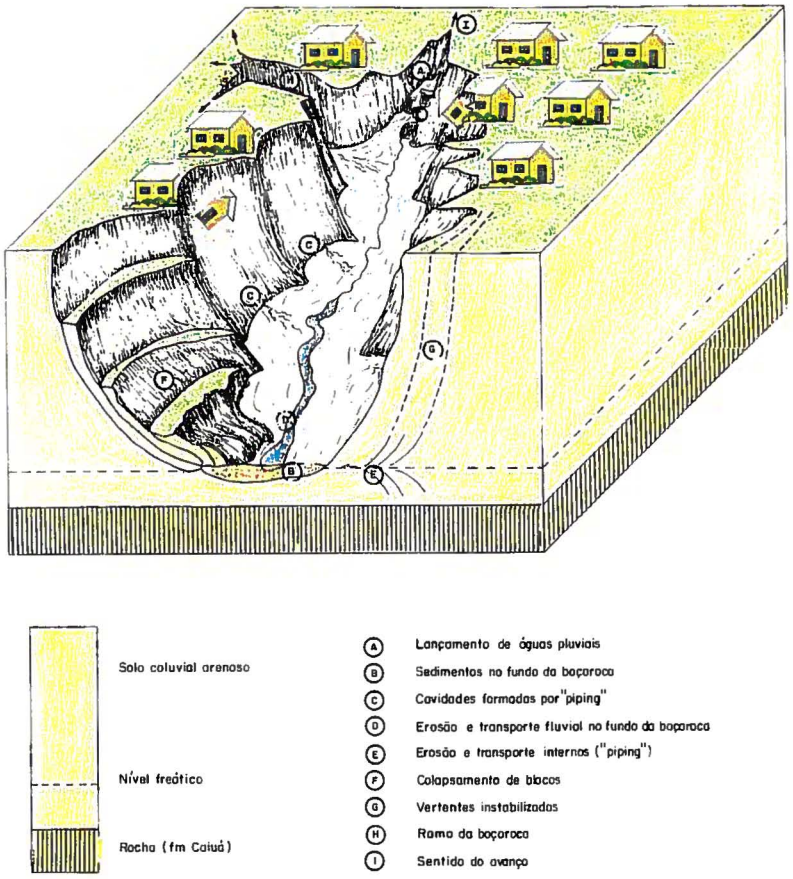


Fig.17 – Modelo evolutivo da formação de boçorocas
(Fonte: Picanço, 1994)

Quais as conseqüências da erosão?

Além dos efeitos extremamente negativos decorrentes da erosão e degradação dos solos das áreas agrícolas, os prejuízos sócio-ecomômicos decorrentes da erosão acelerada, causados pela atividade humana referem-se a:

- destruição de habitações;
- destruição de instalações públicas, tais como ruas pavimentadas, redes de abastecimento de água, galerias de águas pluviais, redes elétricas, etc;
- assoreamento de cursos d'água e reservatórios;
- aumento da ocorrência de enxurradas e enchentes;
- escorregamentos de encostas;

- desapropriações;
- desvalorização imobiliária;
- redução das áreas disponíveis para a agricultura e urbanização;
- desestímulo de novos investimentos em regiões afetadas;
- diminuição da produtividade
- decréscimo da arrecadação;
- intranqüilidade da população;
- migração dos núcleos urbanos de apoio rural para as grandes cidades, e destas, para metrópoles;
- investimentos em obras de contenção, onerando sobremaneira os cofres públicos.
- gastos com a remoção contínua de sedimentos das zonas atingidas pelas inundações;
- manutenção periódica de sistemas de irrigação e drenagem;

A utilização indevida das erosões para disposição de lixo é uma tentativa desesperada de resolver os problemas da erosão e destinação final do lixo urbano, que traz consigo uma série de inconvenientes, entre eles: contaminação do solo e águas superficiais e subterrâneas, incômodos à população (proliferação de vetores de doenças, odores), ocorrência de catação, criação de animais, descontrole no tipo de resíduos lançados no local, carreamento de material disposto para rios adjacentes, prejuízos à imagem do município (degradador do meio ambiente), entre outros.

Como promover o controle e prevenção da erosão?

As medidas de combate à erosão devem contemplar ações de caráter preventivo e corretivo para seu controle, dentre as quais destacam-se:

- cartografia geológica e geotécnica com a caracterização dos terrenos em função de suas propriedades físicas, destacando sua vocação para distintos tipos de ocupação, suas restrições e potencialidades. Estes elementos devem subsidiar planos de uso e ocupação do solo e orientar a implantação de obras de correção das erosões já instaladas;
- caracterização das condições de uso e ocupação do solo, definindo as atividades antrópicas deflagradoras dos processos erosivos, para seu controle e disciplinamento;

- aplicação de técnicas adequadas de conservação e manejo do solo, como o plantio em curva de nível, com apropriado sistema de captação e escoamento das águas pluviais;
- revegetação, para proteção do solo contra o impacto das gotas de chuva e o escoamento superficial concentrado;
- implantação de obras de estabilização e drenagem, adequadas e adaptadas para cada caso específico de erosão, dentro dos parâmetros estabelecidos pela engenharia e geotecnia (muros, barramentos, estruturas em gabião, revestimentos, retaludamentos, escadas hidráulicas, dissipadores de energia, drenagens e outros);
- disciplinamento das águas superficiais: estruturas de captação e condução de águas superficiais (rede de galerias e emissários, dimensionados a partir do cálculo de vazão de águas pluviais), controle e dissipação das águas nos pontos de lançamento;
- disciplinamento das águas subterrâneas (drenos profundos);
- estabilização de taludes resultantes do movimento de massa (aterro , retaludamento);
- conservação de obras implantadas.

O combate à erosão exige medidas de caráter multidisciplinar e sistêmico, voltadas não somente à solução de problemas pontuais em áreas de focos erosivos, mas também medidas voltadas a solução de outros problemas urbanos, igualmente graves, de reflexos tanto ambientais quanto econômicos.

7. Expansão e contração de solos

Solos expansíveis são aqueles que tem a capacidade de se expandir quando saturados de água e contrair quando secos, característica esta dada em função da presença de argilominerais expansíveis em sua composição. Este tipo de comportamento, reflexo do uso inadequado do solo, se dá pela influência de ciclos de umedecimento e ressecamento, afetando superfícies expostas e desprotegidas em cortes, taludes e áreas aplainadas.

A evolução do processo de inchação e retração, com significativas variações volumétricas, dá origem ao fenômeno denominado de empastilhamento, que torna o solo desestruturado e desagregado, susceptível a erosão, colapsos por compactação e instabilização em taludes, podendo movimentar grandes massas de material, mesmo em áreas aplainadas. O empastilhamento de solo pode afetar também fundações e outras obras de engenharia, promovendo sua ruína parcial ou total, com a geração de trincas rachaduras e desabamentos nas edificações.

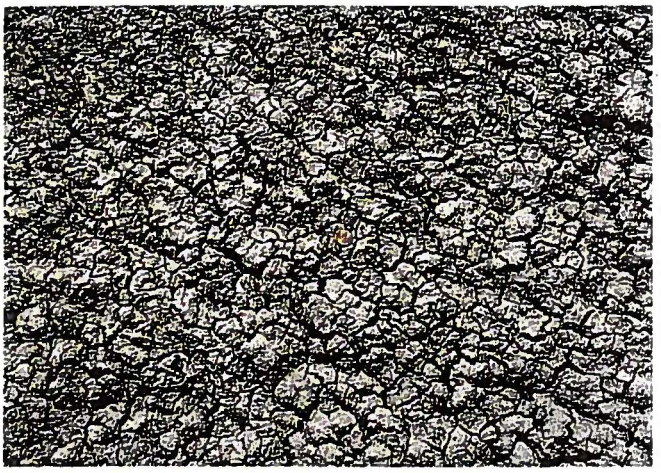


Fig.18 – Aspecto do empastilhamento em sedimentos constituídos por argilominerais do grupo das esmectitas.

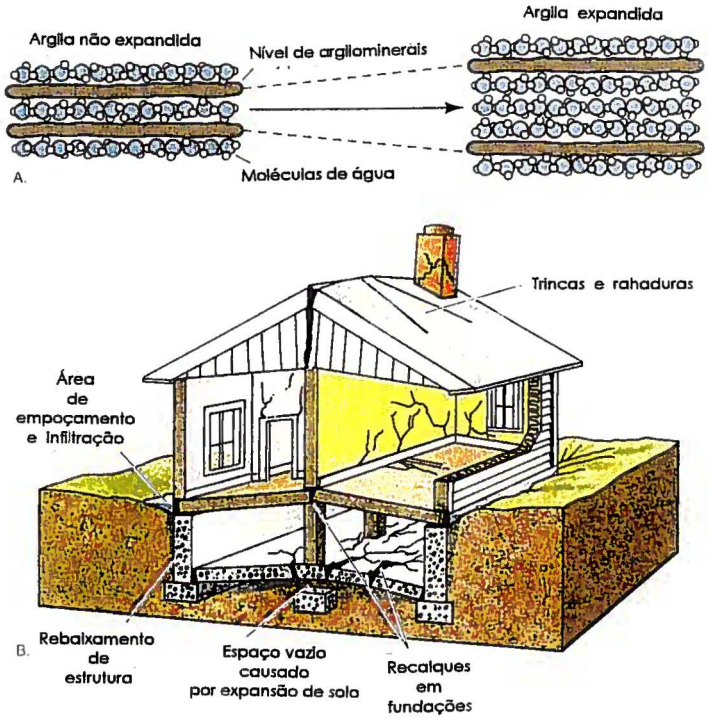
O que são os argilominerais?

Os argilominerais são silicatos hidratados de alumínio, podendo conter quantidades variáveis de ferro, magnésio, potássio, sódio, lítio, etc. Sua estrutura geralmente é lamelar e seu grau de cristalinidade bastante variável. Devido a essa estrutura lamelar e à fragilidade das partículas, estes minerais raramente apresentam-se em grandes cristais, ocorrendo geralmente agregados de pequenos cristais.

Os argilominerais tem grande capacidade de adsorver água em seu retículo cristalino, permitindo que a água penetre nos espaços interlamelares, sem a interação química com a estrutura básica. Isto permite que este grupo de minerais apresente

apresente propriedades de expansibilidade, retração e plasticidade, introduzindo nos solos comportamentos inteiramente diferentes dos que são devidos aos demais minerais.

Dentre os argilominerais, os mais importantes pertencem aos grupos da caolinita, da esmectita e da ilita. Os primeiros, face a sua estrutura de camadas duplas (uma de tetraédros de silício e uma de octaédros de alumina / 1:1), são os mais estáveis em presença de água, de menor plasticidade, e portanto apresentam propriedades mecânicas melhores. Os minerais do grupo da esmectita, geralmente apresentam as piores propriedades mecânicas, uma vez que possuem uma estrutura expansível, onde as moléculas de água podem se introduzir entre as camadas triplas (duas de tetraédros de silício e uma de octaédros de alumina / 2:1), originando alta plasticidade, características de expansibilidade/retração e baixo coeficiente de atrito interno. Propriedades deste tipo afetam a maior parte das variedades deste grupo, como as bentonitas, as nontronitas e as montmorillonitas. Estas últimas constituem os principais minerais do grupo.



A.Expansão de esmectitas como resultado da adição de água entre camadas de argila.
B.Tipo de estrutura danosa que pode resultar da expansão de solo abaixo de construções

Fig. 19 – Representação esquemática da estrutura interna dos argilominerais e os danos causados em fundações pelos efeitos da expansão dos mesmos. (Fonte: Murck, Skinner e Porter, 1996)

Quais os principais problemas derivados da expansão e retração de solos?

A ação antrópica nas obras de construção de estradas, implantação de loteamentos, corte para construção de casas, terraplenagem, e outras, onde normalmente é retirada a camada vegetal protetora e o solo superficial estável, pode expor sedimentos constituídos de argilominerais expansíveis. Nestas condições, estes sedimentos perdem a umidade natural em função das suas características físico-químicas, se retraem (empastilhamento) e com a água das chuvas se re-hidratam e se expandem, formando uma lama que é facilmente transportada pelas águas do escoamento superficial, mesmo em pequenos gradientes, dando origem a erosão laminar ou erosão linear concentrada. Além desta característica do material, quanto maior a declividade mais acelerado será o processo de formação de ravinas que atingem grandes proporções se não forem tomadas medidas mitigadoras, cuja evolução causa grandes danos tanto em áreas rurais como em áreas urbanas. Em declividades acentuadas há possibilidade de deslizamentos de grandes proporções.

Fig.20 – Riscos de erosão e movimentos de massa em áreas de solos expansíveis, susceptíveis ao empastilhamento. (Fonte: Oliveira, L.M , 1997)

Dentre outros problemas causados pelos argilominerais expansíveis, destacam-se:

- instabilização de taludes;
- instabilização de subleitos de estradas;
- avarias e recalques nas fundações de pequenas e grandes obras;
- rompimento nas redes de abastecimento de águas pluviais e servidas;
- desabamentos de túneis, etc.

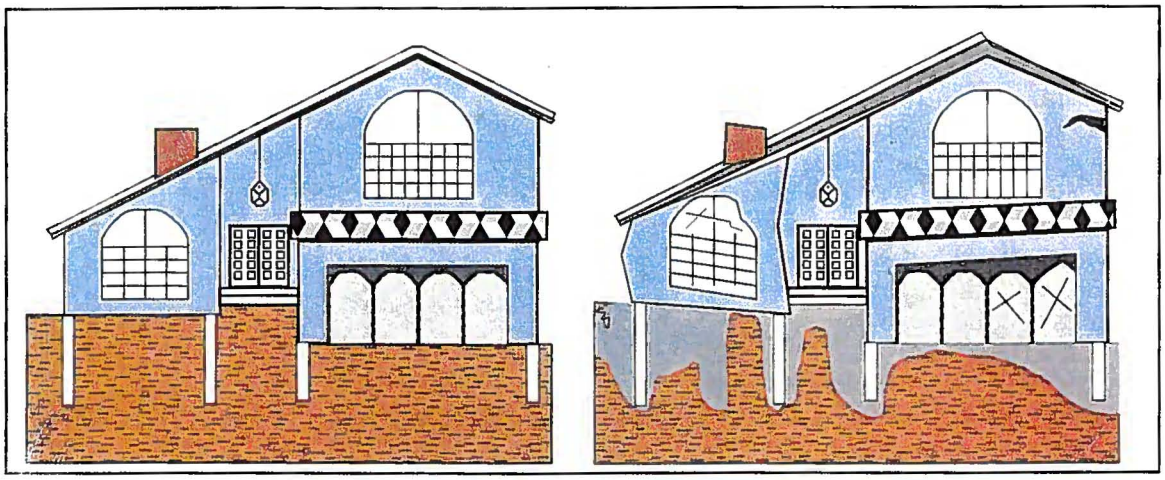


Fig. 21 – Recalques em fundações por compactação de solos susceptíveis a expansão e retração. (Fonte: Murck, Skinner e Porter, 1996)

Como se prevenir dos efeitos da expansão e contração de solos?

As medidas necessárias para o enfrentamento dos problemas derivados da presença de materiais ou solos expansivos , incluem:

- cartografia geológica e geotécnica para caracterização dos materiais de cobertura e suas propriedades , com o objetivo de orientar a ocupação do solo, principalmente para fins urbanos (áreas para loteamentos, áreas industriais, áreas para disposição de rejeitos sódidos, etc);
- realização de ensaios geotécnicos para o dimensionamento e definição do tipo de estruturas e fundações apropriadas para os terrenos potencialmente problemáticos. Os ensaios devem ser acompanhados da caracterização dos argilominerais, incluindo estudos mineralógicos específicos, tais como: difração de Raios X , microscopia eletrônica, análise térmico-diferencial, medidas da capacidade de trôca iônica e outros;

- instalação de obras de proteção em terrenos expostos, com a recuperação da cobertura vegetal e implantação de obras de proteção e estabilização de cortes e taludes, evitando a instalação de processos erosivos e escorregamentos;
- implantação de sistemas eficientes de drenagem em áreas susceptíveis à fenômenos de empastilhamento, evitando o escoamento superficial concentrado.

Estas medidas mostram melhores resultados se aplicadas antecipadamente à implantação de qualquer empreendimento, seja ele relacionado à expansão urbana, implantacão de loteamentos, áreas residencias, comerciais ou industriais, ou mesmo a implantação de obras civis de pequeno ou grande porte. As medidas de caráter preventivo tem um custo econômico e ambiental muitas vêzes inferior se comparadas aos elevados custos de ações de caráter corretivo.

8. Colapso de solos

Corresponde ao fenômeno caracterizado pela súbita redução de volume do solo, devido ao ganho de umidade com presença ou não de sobrecarga. Os solos susceptíveis a este processo são denominados solos colapsíveis.

Os solos colapsíveis ou porosos, se caracterizam por apresentarem altos índices de vazios, estrutura macroporosa, baixo grau de saturação, não lixiviados, compostos basicamente por areia e silte, com ligações entre os grãos formadas por argilas, colóides, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, e que, quando submetidos ao acréscimo de umidade, sofrem um rearranjo brusco na estrutura, com conseqüente redução de volume. Esta redução pode ser rápida ou gradual e está associada a perda estrutural dos vínculos de cimentação entre as partículas, devido à saturação, que permite as partículas deslizarem umas sobre as outras, deslocando-as para os espaços vazios.

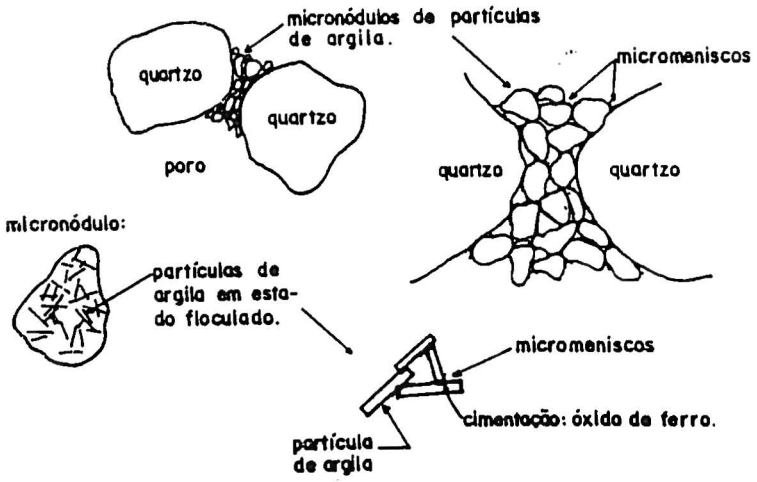


Fig.22 – Modelo de arranjo estrutural de solos colapsíveis.
(Fonte: Mendonça e Mahler, 1994)

O resultado do processo é o abatimento do terreno por adensamento do solo, em conseqüência do colapso de sua estrutura, o que lhe dá o nome de solo colapsível.

O fenômeno do colapso pode ocorrer em diferentes depósitos de solo, tais como : eólicos, coluvionais, aluviais, residuais, fluxos de lama e aterros compactados, sendo também constatados em solos argilosos.

Em solos colapsíveis arenosos a interligação entre grãos de areia pode se dar através de verdadeiras pontes formadas pelas partículas de siltes e argilas, com elevado índice de vazios, sendo instáveis perante o umedecimento, situação na qual essa estrutura "desmancha-se", dando origem a um arranjo mais compacto (adensamento).

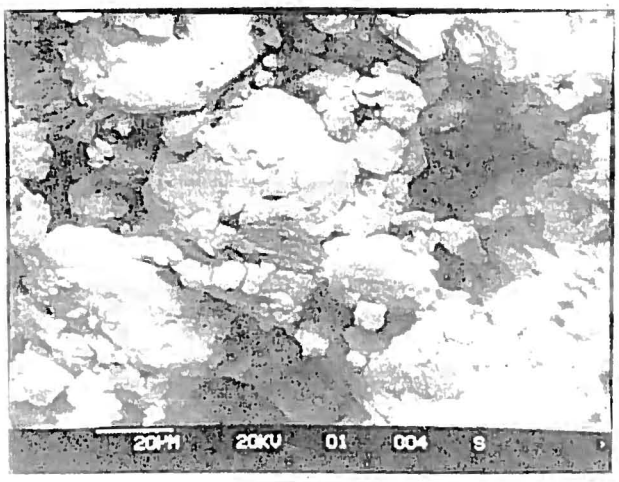


Fig. 23 – Microfotografia da estrutura de solo poroso, mostrando uma estrutura cujas partículas maiores não se conectam diretamente, mas por meio de partículas menores de silte e argila, com alto índice de vazios. (Fonte: Mendonça e Mahler, 1994)

Para que se atinjam as condições de saturação dos solos colapsíveis em áreas secas ou em terrenos altos ou de topo, é necessário o fornecimento de água, muitas vezes incrementado por condições de uso e ocupação indesejáveis, como o vazamento de redes de água e esgoto.

Como é deflagrado o fenômeno de colapso de solo?

Além da característica natural de colapsividade do solo, um importante fator deflagrador do processo em áreas urbanas, diz respeito à saturação do solo provocada pelo vazamento de redes de água, de esgoto doméstico e industrial, galerias e canais de águas pluviais, reservatórios de água, estações de tratamento, etc.

A presença de água pode ainda ser agravada quando contém efluentes industriais capazes de contaminar e alterar as condições naturais dos solos, como no caso de dispersantes que quebram a estrutura microagregada das argilas, favorecendo o arraste dos finos ("piping"), a formação de cavidades e, consequentemente, aumentando a proporção dos recalques da superfície.

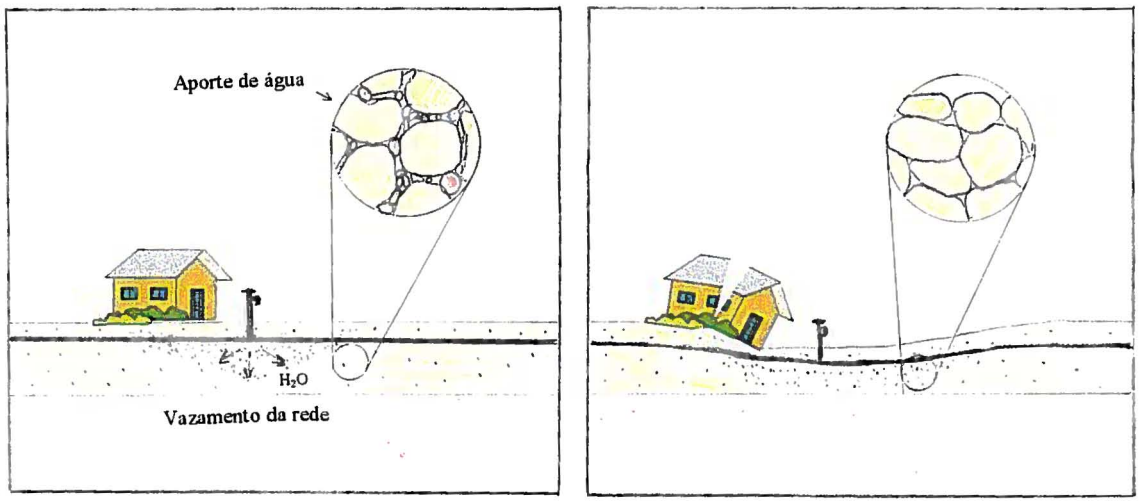
Alguns autores consideram a natureza do líquido de saturação como um fator de grande importância para a deflagração do processo, com a constatação de danos mais severos em fundações de edificações nos solos saturados por água de esgoto, do que

por água pura. Quando efluentes lançados na rede de esgoto são corrosivos ao material da própria tubulação, o processo tende a intensificar-se. É o caso da soda cáustica, efluente comum para diversas industrias e normalmente lançado na rede de esgoto doméstico. A soda cáustica, constituída por hidróxido de sódio, dissolvida na água auxilia a quebra de estrutura do solo, a partir das dispersão da argila, favorecendo o adensamento do solo.

Quais os problemas relacionados à ocupação de terrenos de solos colapsíveis?

Os recalques de fundações associados ao processo de colapsos de solo tem como conseqüências mais comuns a danificação de edificações (trincas, rachaduras e desabamentos), danificações na rede de infra-estrutura enterrada (saneamento básico, rede de água e esgoto), rede elétrica, sistema viário, etc.

A implantação de usinas hidroelétrica em áreas de solos colapsíveis, pode provocar uma série de impactos ambientais pelo enchimento de grandes reservatórios próximo à regiões densamente urbanizadas.



a. Saturação de solo susceptível a colapso, provocado por vazamentos na rede de abastecimento de água.

b. Adensamento de solo pela perda estrutural dos vínculos de cimentação entre os grãos.

Fig.24 - Esquema demonstrativo do adensamento de solos colapsíveis, pelo acréscimo de água. (Fonte: Oliveira, L.M)

Quais as ações para enfrentar os problemas relacionados à colapsividade de solos?

As medidas preventivas e corretivas para o problema de colapsividade de solos em áreas urbanas incluem:

- caracterização geológica e geotécnica das áreas urbanas e de expansão com a finalidade de caracterizar os materiais de cobertura susceptíveis ao colapsamento, para posterior planejamento do uso e ocupação e dimensionamento de equipamentos urbanos;
- dimensionamento adequado das redes de infra-estrutura enterrada, principalmente de abastecimento de água e de coleta de esgoto, com o objetivo de evitar fugas e vazamentos. Isso impõem a necessidade da implantação de projetos especiais nas áreas potencialmente problemáticas, com a utilização de materiais mais duráveis e resistentes;
- dimensionamento adequado de fundações rasas ou profundas, com investigações locais de detalhe e caracterização geotécnica dos materiais de cobertura associados. Nas áreas urbanas consolidadas, afetadas pela colapsividade de solos, há necessidade de reforço de fundações e reimplantação das redes de abastecimento;
- disciplinamento no tratamento de efluentes industriais, antes de seu lançamento nas redes de esgoto, neutralizando sua ação corrosiva;
- tratamento do solo poroso ou contaminado, utilizando de escavação, retirada e substituição de solo e compactação, principalmente em áreas de vazamentos;
- colaboração da população no sentido de comunicar imediatamente aos orgãos responsáveis fatos como: indícios de vazamentos nas redes, ocorrência de trincas ou rachaduras nas peredes das edificações e indícios de rebaixamentos do terreno;
- na implantação de reservatórios de água de pequeno ou grande porte, efetuar estudos geotécnicos de detalhe, visando caracterizar a presença de solos colapsíveis e evitar ou minimizar os impactos associados.

9. Poluição das águas

O termo poluição se refere a todo processo de alteração das características físicas, químicas e biológicas das águas naturais, decorrente de atividades antrópicas. Quando o homem contamina diretamente a água, usando-a e devolvendo-a à natureza com suas características totalmente alteradas, é o responsável pela produção de substâncias nocivas, que os fenômenos naturais se encarregam de incorporar aos cursos dos rios e aos sistemas de armazenamento subterrâneo.

Por conseguinte, considera-se a atividade humana como a principal fonte de poluição das águas superficiais e/ou subterrâneas .

O conhecimento dos diferentes agentes que podem ocasionar a poluição dos recursos hídricos tem destacada importância no processo de planejamento urbano. Estes processos precisam ser detectados para que suas atuações possam ser controladas.

Apresenta-se a seguir, as principais fontes de poluição que têm assumido importância significativa nos dias atuais:

9.1 Poluição das águas superficiais

Os cursos d'água podem ser poluídos pelos seguintes agentes:

a) Esgotos domésticos

Provocam contaminação tanto bacteriológica por meio de dejetos humanos, como química, pela presença de produtos químicos de uso doméstico.

Os esgotos domésticos compreendem as águas servidas, utilizadas para higiene pessoal, cocção de alimentos e lavagem de utensílios. Originam-se em prédios residenciais, comerciais, administrativos, hospitalares e industriais. Os esgotos sanitários apresentam uma composição praticamente uniforme, constituída por matéria orgânica biodegradável, microorganismos (bactérias, vírus, etc), nutrientes (nitrogênio, fósforo), óleos, graxas e detergentes.

b) Esgotos industriais

As águas de origem industrial constituem a principal fonte de contaminação das águas naturais. A maioria das industrias utiliza a água em quantidades variáveis e em diferentes processos de fabricação. Os esgotos industriais geram poluentes

essencialmente químicos, sendo os setores de maior contaminação referidos às industrias químicas, do petróleo e as derivadas da celulose.

As águas residuais industriais, apresentam uma variação muito grande na sua composição. Na tabela a seguir apresenta-se uma caracterização de águas residuais industriais de alguns ramos da indústria.

RAMOS INDUSTRIAIS	POLUENTES MAIS SIGNIFICATIVOS
Curtumes	Material em suspensão, matéria orgânica, sulfetos e cromo.
Têxtil	Ácidos e álcalis, corantes, material em suspensão, óleos e graxas.
Óleos vegetais	Matéria orgânica, nutrientes, material em suspensão, óleos e graxas.
Matadouros/Frigoríficos	Material em suspensão, nutrientes, matéria orgânica, cor e microorganismos.
Galvanoplastia	Metais pesados, cianetos, acidez, material em suspensão e dissolvido.
Siderurgia	Acidez, metais pesados, fenóis, óleos e graxas.

Fonte: TUCCI E..E. M (1993)

c) Resíduos sólidos

Os resíduos sólidos são os rejeitos de atividades domésticas, industriais, comerciais, hospitalares e agrícolas. Enquanto nos resíduos domésticos predominam os poluentes bacteriológicos, nos resíduos industriais são mais comuns os químicos. A composição do lixo depende de fatores como nível educacional, poder aquisitivo, hábitos e costumes da população.

A tabela que segue, mostra a classificação dos resíduos sólidos quanto à sua origem e formas de disposição:

TIPO DE RESÍDUO	CARACTERÍSTICAS	DISPOSIÇÃO FINAL
Domiciliar	São aqueles originados nas residências, comércio e eventualmente, lixo de pequenas industrias. Incluem: os seguintes componentes: matéria orgânica, papel, papelão, vidro, terra, pedra, plástico fino e grosso, trapo, couro, borracha, madeira, metal não-ferroso e outros.	-disposição em aterro sanitário (coleta pelo poder público).
Público	São aqueles originados nas operações de limpeza pública, tais como varrição, poda, limpeza de praias, etc.	-disposição em aterro sanitário (coleta pelo poder público).
Industrial	São aqueles originados nas indústrias (metalurgia, química, etc), tendo destinação determinada pela sua periculosidade.	-disposição em aterro de resíduos industriais.

Hospitalar	Constituem os resíduos sépticos produzidos em serviços de saúde (hospitais, clínicas, etc), geralmente contendo vetores patogênicos. Cabe lembrar que resíduos não-sépticos destes locais são classificados como domésticos, devendo, portanto, ser coletados em separado e dispostos adequadamente.	-disposição em aterro de resíduos perigosos (preferencialmente devem sofrer tratamento e incineração).
Entulho	Constituem os resíduos da construção civil: demolições e restos de obras, solos de escavações diversas, etc, geralmente materiais inertes passíveis de reaproveitamento.	-disposição em aterros de inertes.
Sedimentos dragados	Constituem os resíduos de desassoreamento de córregos e rios	-disposição provisória em botaforas; - disposição em aterros inertes; -disposição em aterros de resíduos industriais;. - disposição em corpos d'água
Rejeitos de mineração	Constituem os resíduos resultantes dos processos de mineração em geral (lavra, processamento, etc)	- disposição em aterros de inertes -disposição em aterros de resíduos industriais.

Fonte:IPT/ABGE (CURSO DE GEOLOGIA APLICADA AO MEIO AMBIENTE)

A decomposição do lixo produz um líquido altamente poluído e contaminado, contendo concentração de matéria orgânica equivalente a 30 a 100 vezes o esgoto sanitário, além de organismos patogênicos e metais pesados. Esse líquido, denominado ***chorume,*** pode atingir mananciais subterrâneos e superficiais em caso de má disposição dos rejeitos.

d) Produtos químicos agrícolas

São os adubos, corretivos de solos e pesticidas, freqüentemente usados na lavoura e que as águas de escoamento podem carrear para os leitos dos rios provocando a poluição química dos mesmos.

Os pesticidas são utilizados principalmente na agricultura, sendo fonte de poluição e toxidez à vida aquática. São elementos químicos empregados no combate às pragas e podem ser classificados segundo seu uso biológico em inseticidas, larvicidas, ovicidas, formicidas, bermicidas, carrapaticidas e herbicidas, entre outros.

e) Produtos de atividades pecuárias e granjeiras

Compreendem um tipo de poluição essencialmente orgânica e biológica. Os poluentes, muito semelhantes ao das atividades domésticas são levados pelas águas superficiais dos rios. As purinas (águas que percolam a urina e fezes da criação de porcos), constituem os contaminantes mais expressivos, enquanto que os produtos de granjas avícolas, de modo geral, são menos poluentes.

f) Fontes acidentais

Abrangem as situações em que não há um despejo contínuo de poluentes no ambiente. Incluem-se aí, acidentes ocorridos em depósitos de produtos perigosos, derramamento de óleo por petroleiros e explosões de caráter radioativo. Apresentam um efeito catastrófico para o ambiente, já que são lançados sem controle, em grande quantidade e de maneira concentrada. A recuperação do ambiente pode levar muitos anos.

O transporte de material tóxico por navegação, rodovias e ferrovias é também um exemplo típico de risco potencial ao meio ambiente.

g) Fontes atmosféricas

A queima de combustíveis fósseis emite para a atmosfera óxidos de enxofre e nitrogênio, onde são oxidados para ácidos sulfúrico e nítrico e/ou convertidos em aerossóis de sulfato e nitrato. Esses compostos retornam ao solo/água sob a forma de ***chuvas ácidas***. Há evidencias de acidificação de águas superficiais em decorrência desse fenômeno, com possibilidades de solubilização de metais pesados presentes nos solos e sedimentos de lago.

Outros efeitos decorrentes da poluição do ar pela emissão, por exemplo, dos aerossóis, têm sido pesquisados. Decorrem dessas emissões as aberturas na camada de ozônio e efeito estufa, este com implicações no regime hidrológico das águas continentais e marinhas.

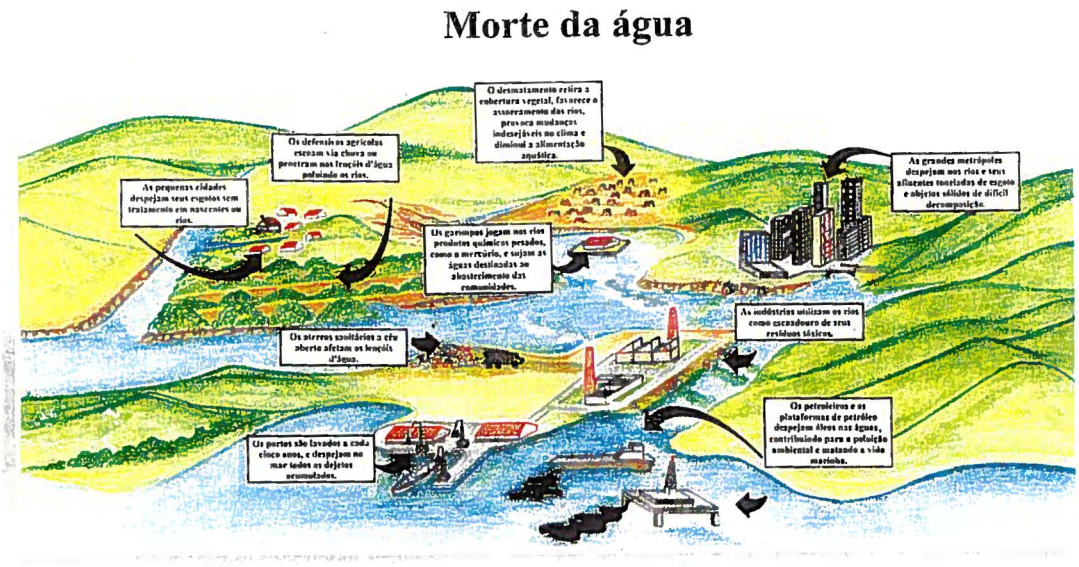


Fig.25 – Principais fontes de poluição das águas superficiais.
(Fonte: Atlas do Meio Ambiente do Brasil, 1994)

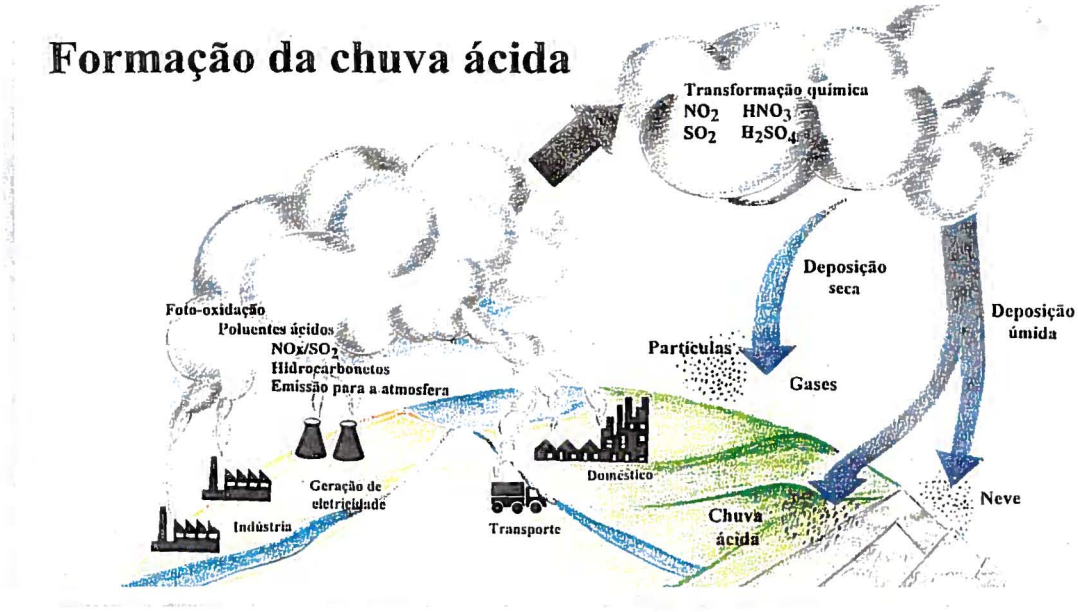


Fig.26 – Modelo da formação da chuva ácida.
(Fonte: Atlas do Meio Ambiente do Brasil, 1994)

9.2 Poluição das águas subterrâneas

No que diz respeito à poluição das águas subterrâneas, devem ser consideradas as mesmas fontes que poluem as águas superficiais, desde que ocorra a infiltração daqueles poluentes nas zonas de recarga. Para as águas subterrâneas, no entanto, mais três tipos de agentes poluidores merecem citação:

a. Poluição por águas superficiais: se processa quando os aquíferos são recarregados por águas superficiais contaminadas.

b. Poluição por poços mal construídos ou abandonados: é o caso de poços que colocam em comunicação diferentes aquíferos contaminados. Enquadram-se aqui as perfurações em regiões costeiras, onde as águas salgadas podem poluir aquíferos de água doce. Por outro lado, poços abandonados que permitem a fácil penetração de águas superficiais são também considerados fontes de poluição.

c. Poluição por poços de injeção de resíduos: a introdução de resíduos líquidos, por meio de injeção de poços, é uma forma prática de se desfazer destes resíduos. No entanto, quando tais poços são mal localizados, mal construídos ou mal utilizados, tornam-se expressivos agentes poluidores de águas subterrâneas.

Quais as principais substâncias tóxicas para o organismo (humano e animal) e que podem estar presentes nas águas poluídas?

As principais substâncias, produtos ou radicais químicos tóxicos que podem aparecer nas águas de origens diversas, são enumerados a seguir:

SUBSTANCIA	EFEITOS
Arsênio	Ingestão de 100mg envenena seriamente o organismo. É carcinogênico.
Bário	Doses entre 550 a 600mg são fatais para o homem. Causa bloqueio nervoso ou aumento da pressão sangüínea por vasoconstrição.
Cádmio	Altamente tóxico, pode determinar a hipertensão arterial, anemia, retardamento de crescimento e morte.
Cromo	Quando inspirado causa câncer. Na água o cromo trivalente parece não ter significado sanitário. O hexavalente, em concentrações de até 11 mg/l, pode ser tolerado pelo homem por vários anos.
Cianetos	Até 4,7 mg por dia não são prejudiciais. Na água potável, o limite aceitável não deve exceder 0,2 mg/l.
Fluoretos	Até 1,0 mg/l, protege os dentes. Entre 8-20mg/l, causa a fluorose dental e deformação dos ossos. Doses excessivas levam à morte em uma só dose.
Chumbo	De efeito cumulativo, pode ser letal se ingerido por muito tempo. A águas naturais apresentam 0,01 mg/l ou menos desse elemento.
Selênio	Tôxico para homens e animais em concentrações acima de 0,01 mg/l. Aumenta a incidência de cárie dentária e é carcinogênico.
Prata	Efeito sistêmico ocasional e alterações fisiológicas (coloração azulada da pele e das mucosas).
Mercúrio	Lesões renais, tremores musculares, irritabilidade, distúrbios da fala, fraqueza da memória, paralização dos orgãos do sentido, pertubações do sono.

Fonte: TUCCI E.E.M (1993)

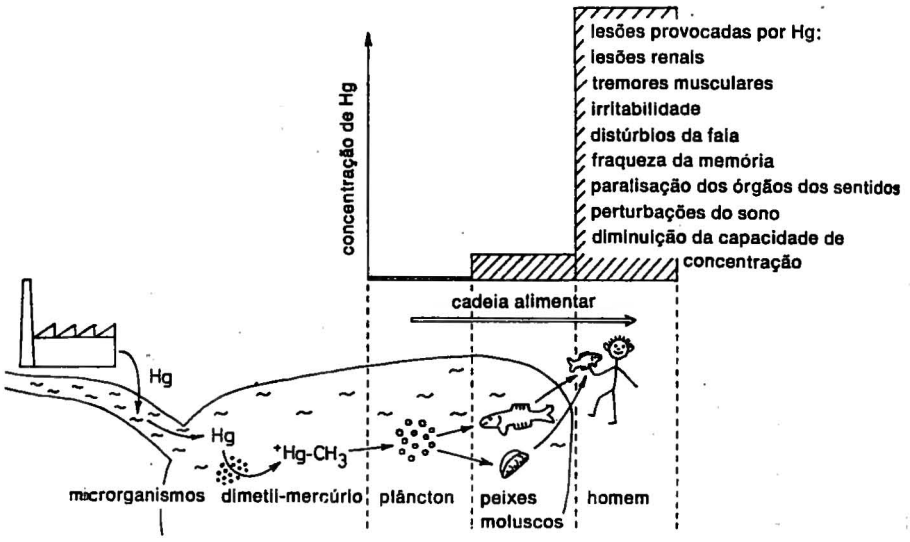


Fig.27 – Esquema do percurso do mercúrio até a cadeia alimentar. Nos membros finais da cadeia, o teor de mercúrio pode ultrapassar o limite de toxidade tolerável, e provocar uma série de distúrbios característicos. (Fonte: Introdução aos Problemas da Poluição Ambiental, 1980)

Existe ainda a possibilidade da contaminação das águas superficiais e subterrâneas, a partir de concentrações naturais de substâncias minerais presentes no solo ou na rocha. Estas concentrações naturais, que podem constituir reservas minerais economicamente exploráveis (jazidas), podem também favorecer a liberação de substâncias químicas nocivas ao homem, incorporadas ao organismo após o consumo da água contaminada. É o caso, por exemplo, do fluor e chumbo, cujo acúmulo no organismo provoca doenças como a fluorose e o saturnismo, respectivamente.

As concentrações naturais de substâncias minerais ("anomalias"), podem ser detectadas através de estudos específicos, denominados levantamentos geoquímicos.

Quais as medidas para preservar os recursos hídricos e evitar a poluição das águas?

A qualidade da água de um manancial que compõem uma bacia hidrográfica está relacionada com o uso do solo na bacia e com o grau de controle sobre as fontes de poluição. A partir disso, as principais medidas para promover a preservação dos recursos hídricos, evitando a poluição, dizem respeito a:

- planejamento territorial : implantação de zoneamento adequado de usos do solo na bacia hidrográfica, com a caracterização de áreas de preservação de manancias, reservas florestais, áreas agrícolas, distritos industriais, áreas de expansão urbana, obedecendo as características naturais da bacia hidrográfica, principalmente as geológicas, com a definição das características de escoamento superficial e infiltração no subsolo;
- controle sobre as fontes de poluição, através do tratamento de águas residuárias, sanitárias e industriais, com a utilização de tecnologias adequadas para a implantação de obras de engenharia (estações de tratamento, tanques de decantação, filtros, etc);
- disciplinamento e racionalização do uso de agrotóxicos, fertilizantes e pesticidas, geralmente aplicados em uma quantidade muito maior que a necessária;
- reutilização do lixo urbano, para diminuir a utilização de recursos naturais e a poluição das águas. Papéis, metais, plásticos são reaproveitáveis e um composto orgânico pode ser obtido para aplicação agrícola;
- adequada disposição final de resíduos, em locais geologicamente favoráveis, com condições de impermeabilização para evitar a contaminação de aquíferos superficiais e subterrâneos;
- crescimento urbano ordenado, evitando a ocupação de áreas potencialmente problemáticas. A expansão urbana desordenada pode causar a impermeabilização progressiva do solo, resultando em aumentos do escoamento superficial e transborbamentos de riachos e córregos urbanos, normalmente bastante poluídos. A utilização de pavimentos, materiais porosos, construção de bacias de retenção e implantação de áreas de proteção, são medidas preventivas;
- implantação de campanhas educativas junto a comunidade, que deve ser esclarecida com relação a importância da conservação da água e os prejuízos que a poluição provoca.

A preservação dos recursos hídricos depende também de uma série de leis e regulamentos que as autoridades devem implantar. É necessário que haja administração racional, que não vise apenas aumentar a oferta de água com grandes investimentos em obras, mas se preocupe principalmente, em conservar, preservar e reaproveitar a água que temos.

10. Acidentes Costeiros

São aqui considerados acidentes costeiros aqueles que decorrem da ocupação indevida dos terrenos litorâneos e cuja deflagração advém da interferência antrópica nos processos da dinâmica costeira. Se referem, principalmente, à fenômenos de erosão marinha, adensamentos do terreno, assoreamentos e dragagens, gerando enormes prejuízos aos cofres públicos e riscos às comunidades locais.

10.1 Erosão marinha

Compreende o conjunto de processos responsáveis pelo desgaste, transporte e deposição de sedimentos junto à linha de costa, a partir da ação de ondas, marés e correntes marinhas. Este fenômeno natural passa a oferecer riscos ao homem quando ele ocupa de maneira inadequada as áreas susceptíveis a estes processos costeiros, potencializando os efeitos destrutivos da erosão, principalmente nos eventos das "ressacas".

Os fenômenos de erosão marinha vem ocorrendo com maior frequência em diversas regiões do mundo, trazendo como consequências a destruição de edificações, obras de engenharia e de infra-estrutura, notadamente nas regiões densamente urbanizadas.

Para a compreensão do problema, deve-se considerar os seguintes aspectos:

a) O nível médio do mar tem aumentado no mundo inteiro, em média, 0,30m em 100 anos. Este fenômeno tem como causas naturais o deslocamento do eixo de rotação da terra, e outras, como o efeito estufa: o buraco na camada de ozônio, provocado pelo uso de produtos não biodegradáveis, libera a ação dos raios solares sobre as calotas polares, derretendo o gelo e, consequentemente, aumentando o nível dos oceanos.

Nas regiões costeiras, caracterizadas por uma topografia aplainada, com um litoral constituído por praias arenosas e de baixa declividade, este aumento no nível do mar propicia uma ação mais efetiva das ondas e marés junto a linha de costa, culminando com alagamentos e erosão. A interferência antrópica tende a agravar a situação à medida que a ocupação intensificada nas áreas litorâneas desconsidera os fatores naturais que mantém o equilíbrio das regiões costeiras (movimento das ondas, marés, direção de correntes, ventos, estuários de rios que desembocam na costa, etc).

Cabe ressaltar que 60% da população do mundo vive nesta faixa de terra, que representa apenas 1,6% das terras emersas do planeta.

b) A ocupação urbana desordenada e a especulação imobiliária levam o homem a ocupar áreas de extrema sensibilidade ambiental, afetando o equilíbrio natural e a hidrodinâmica litorânea. Isto se verifica principalmente na implantação de loteamentos, edificações, ruas, avenidas e obras de infra-estrutura muito próximo à linha de costa, por vezes se valendo do aterramento de áreas sujeitas às oscilações de nível das marés e a ação das ondas. Esta tentativa de criar novos espaços para a ocupação, pode trazer consequências catastróficas. Como as ondas têm uma ação erosiva muito forte e tendem a buscar o espaço que lhes foi roubado, causam grandes danos e destruição, multiplicando os investimentos na busca de soluções para a contenção do processo.

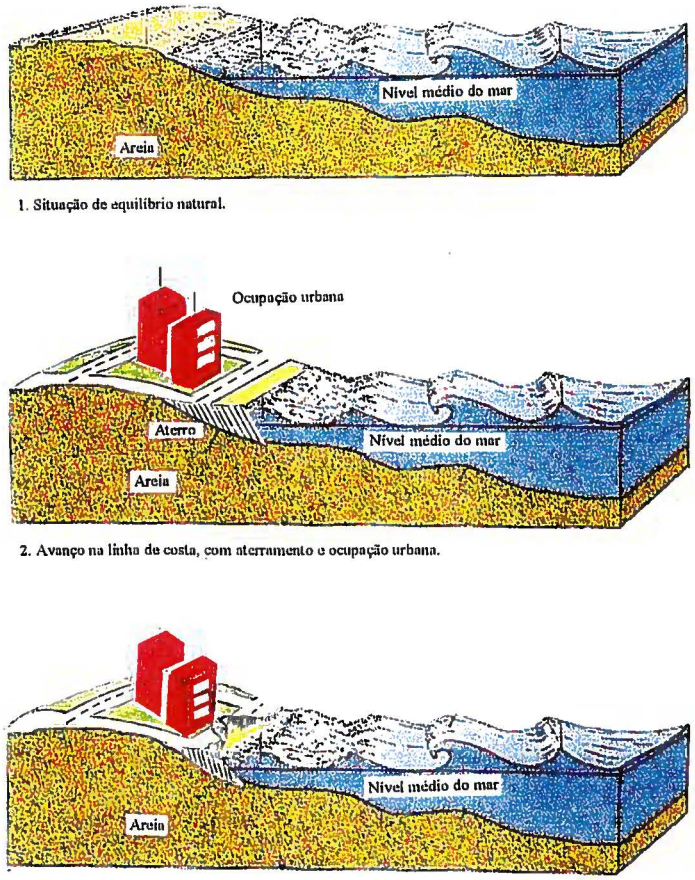


Fig.28 – Ocupação urbana inadequada sobre aterros na linha de costa.
(Fonte: Modificado de Murck, Skineer e Porter, 1996)

Outras alterações antrópicas que interferem diretamente na dinâmica costeira, e potencializam os fenômenos erosivos, dizem respeito a :

- descarga concentrada de águas pluviais na praia;
- retirada da vegetação costeira, que fornece proteção à praia;
- construção ou ampliação de portos;
- barragens nos rios, reduzindo o aporte fluvial de sedimentos disponíveis para manter o equilíbrio sedimentar nas desembocaduras dos rios litorâneos;
- desmatamentos ao longo dos córregos, contribuindo para o aumento na taxa de erosão e carga de sedimentos nas zonas de desembocadura;
- enrocamentos;
- construção de obras de engenharia (molhes, muros, etc), que alteram o transprote litorâneo de sedimentos. Muitas vezes a implatação de obras de contenção são suficientes para a solução de problemas localizados, transferindo-os, porém, para outros locais.

Quais as medidas para minimizar os efeitos da erosão marinha em áreas urbanizadas?

A erosão marinha, como um risco geológico para o homem, tende a se agravar nos próximos anos, em função do aparecimento, nas últimas décadas, de uma filosofia de lazer e turismo voltada para a zona costeira e que resultou na incorporação imobiliária de extensos trechos da linha de costa de muitas regiões do Brasil.

A abertura de novas estradas bordejando a linha da costa e facilitando o acesso às áreas litorâneas, a difusão da filosofia de lazer voltada ao mar, os planos de turismo contemplando vultuosos empreendimentos na zona costeira, associados à ausência de um planejamento adequado que respeite as limitações impostas pelos fenômenos geológicos, contribuem para exacerbar o problema de erosão que afeta a linha de costa de muitas regiões brasileiras, entre as quais podemos citar: praias Mansa e Brava de Caiobá, litoral do Paraná, Ilha do Mel (Paraná), praia de Boa Viagem, Recife (PE), praia do Pecém, Fortaleza (CE), Ilha Comprida (SP). Nesta última, a erosão já derrubou quarteirões inteiros de loteamentos de veraneio e as casas em ruínas permanecem abandonadas até que o mar avance e as cubra completamente.

Fig.29 – Efeitos da "ressaca" de fevereiro de 1998, causando a destruição parcial da Avenida Beira-mar (trecho Matinhos – Praia de Leste, litoral do Paraná).
Foto cedida pelo geólogo Carlos Roberto Soares (Centro de Estudos do Mar –-UFPR, Balneário de Pontal do Sul – PR).

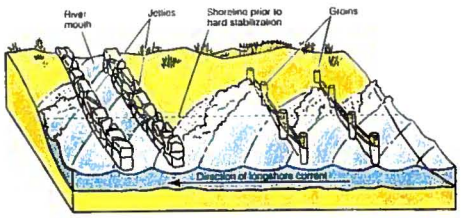
As principais ações para a prevenção e minimização dos processos de erosão costeira devem contemplar:

- Implantação de planos de uso e ocupação dos solos nas regiões litorâneas, apoiados em estudos detalhados do comportamento morfodinâmico da área litorânea, com controle sobre regimes de ondas, marés e correntes litorâneas e perfis de praia para estudos do balanço sedimentológico da mesma.
- Implantação de obras com caráter corretivo, incluindo três grandes categorias (Pilkey, 1991 in Soares, C. R et al, 1998):

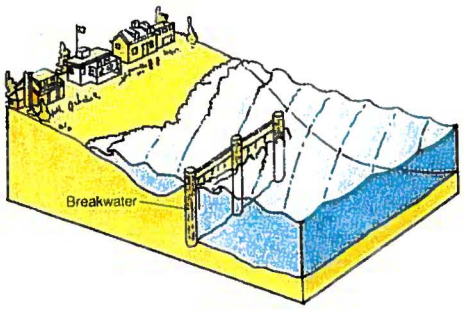
Estabilização pesada: são as obras de engenharia que empregam concreto, madeira, rochas ou qualquer outro tipo similar. Incluem muros e revestimentos (construídos paralelamente à linha de costa, procurando bloquear a energia das ondas), espigões ou diques (construídos transversalmente à linha de praia, com o objetivo de captar as areias transportadas pela deriva litorânea, aumentando a área útil da praia) e enrocamentos. O uso deste tipo de obra tem sido a mais comum para proteger e salvar as propriedades adjacentes à costa, apresentando como desvantagens a degradação da área recreativa da praia, um custo elevado, pouca esteticidade, além de tornar difícil o acesso à praia.

Estabilização leve: Inclui as ações para a estabilização da linha de costa que não envolvam obras complexas de engenharia, tais como o enchimento artificial de uma praia, também chamado de engordamento (despejo de grandes quantidade de areia para preencher a praia que sofreu recuo, na tentativa de construir seu perfil de equilíbrio), e a fixação artificial de dunas. A engorda artificial tem como principal vantagem o aumento da área útil da praia.

Relocação e desapropriação: constituem atitudes politicamente difíceis, causando a perda de áreas nobres, podendo muitas vezes ser economicamente inviáveis.



Muros



Diques

Fig.30 - Exemplos de obras de contenção em áreas litorâneas sujeitas à erosão.
(Fonte: Murck, Skinner e Porter, 1996)

- Modificação na concepção e filosofia de urbanização em áreas litorâneas.

Segundo Soares, C.R (1998), a idéia da preservação de faixas maiores na linha de costa e a verticalização das edificações em direção ao continente, poderiam constituir ações efetivas para prevenir a ação destrutiva do mar sobre as obras antrópicas. Estas medidas dependem de ampla discussão envolvendo o poder público, empreendedores do ramo da construção e a comunidade, para posterior legislação.

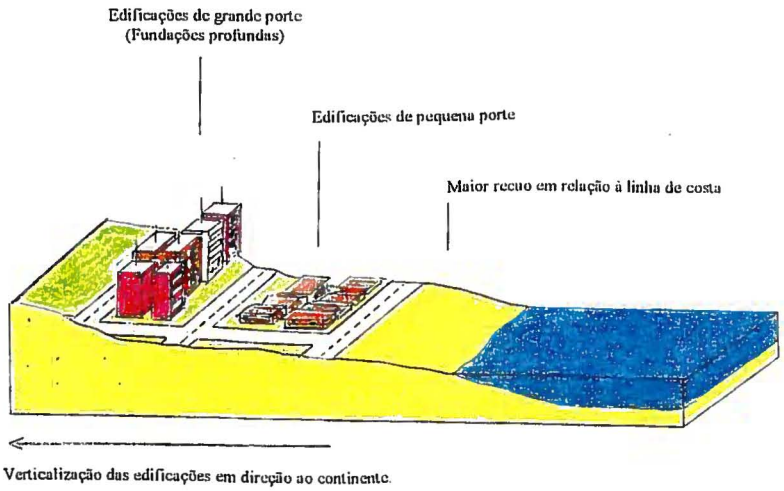


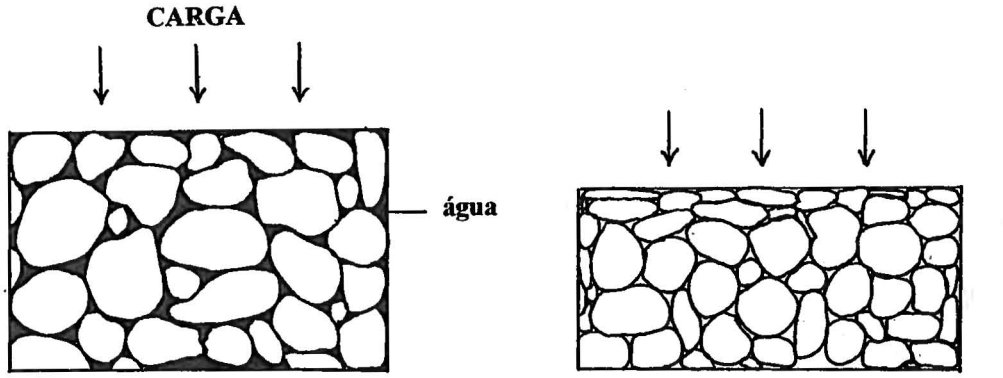
Fig.31 – Modelo de ocupação urbana com a verticalização das edificações em direção ao continente, com maior recuo em relação à linha de costa.(Fonte: Oliveira, L.M)

Vale salientar que todas as obras concebidas para a contenção e estabilização dos processos de erosão marinha devem fazer parte de um plano global e integrado, levando em conta os fatores que atuam na dinâmica costeira. Soluções pontuais quase sempre tem efeito potencializador, transferindo o problema para outro lugar.

10.2 Adensamentos de solo

O processo de adensamento de solo, nas áreas litorâneas, tem como condicionante principal a ocorrência de sedimentos argilosos compressíveis (argilas e argilas orgânicas moles), em subsuperfície.

Estes sedimentos, quando submetidos à sobrecarga, podem gerar deformações a partir da perda de água intergranular com consequente modificação na estrutura sólida do sedimento. A água ao ser expulsa, quer por processos naturais de consolidação (peso das camadas sobrejacentes), quer por indução (drenagem, sobrecarga), leva ao adensamento, reduzindo o volume dos sedimentos e, consequentemente, refletindo em recalques na superfície e nas estruturas fundadas nestes materiais, sejam aterros, pavimentos ou fundações de edificações (Nakazawa, V.A et alii, 1994).



a. Sobrecarga sobre sedimentos.

b. Expulsão de água intergranular e adensamento do solo.

Fig.32 – Modelo do desenvolvimento de adensamentos de solo em sedimentos argilosos compreesíveis.

Casos notáveis de adensamentos de solo em áreas litorâneas tem sido registrados na Baixada Santista, litoral de São Paulo, produzindo recalques de grande monta devido à existência de camadas profundas e espessas de argilas marinhas compressíveis, intercaladas a pacotes de areias.

O fenômeno se agravou com a densificação das construções de edificações de grande porte, contíguas e próximas, apoiadas em fundações diretas rasas, ocasionando intensos desaprumos das estruturas.

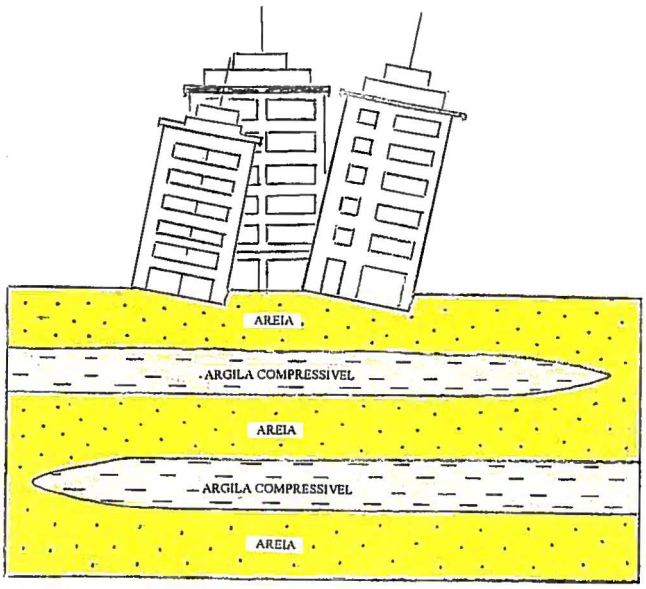


Fig.33 – Desaprumos em edificações com fundações rasas em áreas litorâneas, causado pela presença de argilas compressíveis em subsuperfície (Baixada Santista – SP). (Fonte: Oliveira, L.M)

Segundo Teixeira A. H (1994), o desaprumo das estruturas de edificações traz como consequências: o desnivelamento de pisos nos pavimentos com dificuldades no escoamento interior das águas para os ralos (quer seja de banheiras, pisos de cozinhas ou terraços); o refluxo de esgotos; a perda das prumadas das guias dos elevadores causando dificuldades na operacionalização dos mesmos; a deformação nas paredes de alvenaria, nos caixilhos das janelas e batentes das portas; o fissuramento nas alvenarias e nos revestimentos; o esmagamentos ou rupturas por compressão da base dos pilares dos pavimentos térreos, com o aparecimento das ferragens longitudinais na forma de alças; danos e desnivelamentos acentuados em apêndices, edículas e coberturas térreas, entre outras.

Tais problemas tem sido corrigidos de forma paliativa, com a execução frequente de obras do tipo: reconstrução de pisos para adequar o caimento das águas, obturações de fissuras, reajuste em portas e caixilhos, encamisamento estrutural de pilares, etc.

Como evitar e prevenir os problemas derivados dos adensamentos de solo?

Para a previsão e prevenção de recalques, resultantes do adensamento de solos em áreas litorâneas, recomenda-se:

- realização de estudos geotécnicos específicos, com investigações de subsuperfície para a caracterização de sedimentos susceptíveis a processos de adensamento. Estas informações deverão dar suporte para a elaboração de projetos estruturais das edificações (cálculo de recalques, número máximo de pavimentos por edificação, suas dimensões , distanciamento entre pédios e tipo de fundações);
- realização de mapeamento geológico de detalhe com o estudo da origem e evolução geológica dos depósitos litorâneos associados. A caracterização ou individualização de camadas específicas permite uma melhor compreensão do comportamento geotécnico dos sedimentos, a exemplo dos estudos realizados por Suguio, K e Martin L (1994), no litoral Santista. Estes estudos foram decisivos para a área da engenharia de fundações;
- aplicação dos conhecimentos e informações geológicas na elaboração ou alterações no código de obras junto às prefeituras locais, respeitando as limitações impostas pelo meio físico.

Nas áreas litorâneas, os problemas de recalque por adensamento de solo ocorrem também associados às áreas de mangues.

Situados na faixa intermediária entre a terra firme e o mar, os manguezais ocupam regiões que são inundadas na maré cheia e emergem na maré baixa, quebrando a força da arrebentação e dos ventos. Criam assim um ambiente propício para a desova e reprodução de muitas espécies de alto mar. Contém uma complexa cadeia alimentar que inclui algas, caranguejos, siris, mexilhões, camarões e peixes. Os mangues são também uma espécie de filtro através do qual nutrientes carregados pelos rios, marés e chuvas são distribuídos sobre o solo e incorporados aos sedimentos ou absorvidos pelo metabolismo vegetal.

As áreas de mangues são constituídas predominantemente por sedimentos finos (argilas, siltes e matéria orgânica), saturados, lodosos, com baixa consistência e com a propriedade de sofrer adensamento quando submetidos à carga. Mostram, assim, recalques expressivos, que podem provocar rupturas em aterros e outras obras assentadas nestes terrenos. Constituem áreas de preservação permanente e sua

ocupação deve sofrer severas restrições. No caso de ocupação inevitável, se faz necessário a adoção de técnicas adequadas de fundações e drenagem, embasadas em caracterização geotécnica prévia.

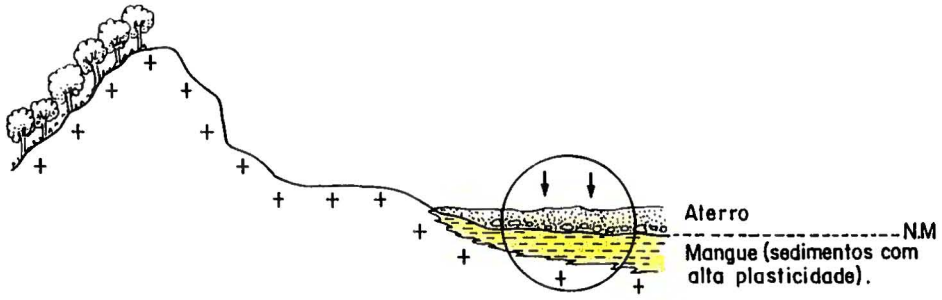


Fig. 34 – Aterro sobre área de mangue , potencializando os riscos de adensamento de solo e recalque nas fundações.
(Fonte: Oliveira, L.M)

10.3 Assoreamentos e Dragagens.

A implantação ou ampliação de áreas portuárias traz consigo a necessidade de viabilizar acessos para a navegação, traduzido por áreas com profundidades compatíveis com as embarcações.

Na região costeira, muitas vezes estas áreas não oferecem condições naturais satisfatórias, quer pela pouca profundidade, quer por constantes assoreamentos no fundo das baías e estuários.

Quando em zonas de sedimentos móveis, o acesso é viabilizado através de dragagens, que retiram a quantidade de sedimentos necessária ao estabelecimento das batimetrias exigidas para a circulação. Se o fundo for rochoso, esta remoção se faz somente com o uso de explosivos..

Nas áreas litorâneas, à medida que a urbanização se expandiu, pequenos rios e córregos foram tomados ou incorporados ao perímetro urbano, dando origem a processos de erosão com conseqüente aumento da carga de sedimentos, que incorporados às águas costeiras, contribuiram para o assoreamento do fundo das baías e estuários, onde geralmente instalam-se os portos.

Para compensar o acréscimo de sedimentos de fundo, prejudicial à navegação, são freqüentemente realizadas dragagens.

As dragagens em ambientes continentais ou marinhos constituem uma atividade necessária ao desenvolvimento. Em determinadas circunstâncias, podem ser uma importante ferramenta para remediar interferências ambientais. Por outro lado, pela própria natureza, o ato de dragar e relocar materiais dragados é ambientalmente impactante. No seu aspecto mais simples, a dragagem consiste da escavação de material do fundo do mar, baías, rios e lagos e sua remoção para outro lugar, visando tornar as profundidades aceitáveis para o acesso de embarcações de grande porte a portos, atracadouros e canais (Soares C. R et al, 1997 a).

Três opções tem sido tradicionalmente adotadas no que se refere à disposição de materiais dragados, em áreas portuárias:

- deposição subaquática;
- deposição na linha de costa;
- deposição em terrenos continentais.

De acordo com Soares C. R et alii (1997 a), as atividades de dragagem quando não devidamente caracterizadas e dimensionadas, podem trazer como conseqüências:

- alterações na morfologia da costa ou de rios, que podem levar à degradação da qualidade ambiental ou de potencial de lazer das áreas abrangidas pelas obras propostas, com a adição ou redução de habitats para espécies animais e vegetais;
- transformações no padrão de circulação local, fazendo com que muitas vezes o material dragado retorne para os locais mais próximos da costa, propiciando uma intensa sedimentação ou desestabilização de praias, através da erosão, afetando o sistema de defesa costeira, além de outras estruturas já edificadas.
- redução ou aumento da qualidade de água costeira, que por sua vez afetam a fauna bêntica, o plâncton, a alimentação e reprodução de peixes e outras espécies animais e vegetais de importância ecológica ou econômica;
- remoção de sedimentos de fundo contaminados e sua relocação e deposição em áreas mais seguras.

Alguns destes problemas têm ocorrido no litoral do Paraná, especificamente no Canal da Galheta, via de acesso ao Porto de Paranaguá e no Canal Sueste, antigo canal de acesso ao porto. Este canal começou a operar entre 1975 e 1976, com um calado máximo de – 12m. Em 1996 o canal foi aprofundado para – 13m, tendo sido determinado como seu calado máximo 39 pés.

Desde a sua abertura definitiva, o Canal da Galheta necessita de dragagens quase que anualmente para a manutenção de seu calado. Na última dragagem efetuada, em 1996, foi retirado um total de 2.162.075 m^3 de material (Soares, C. R et al, 1997 b).

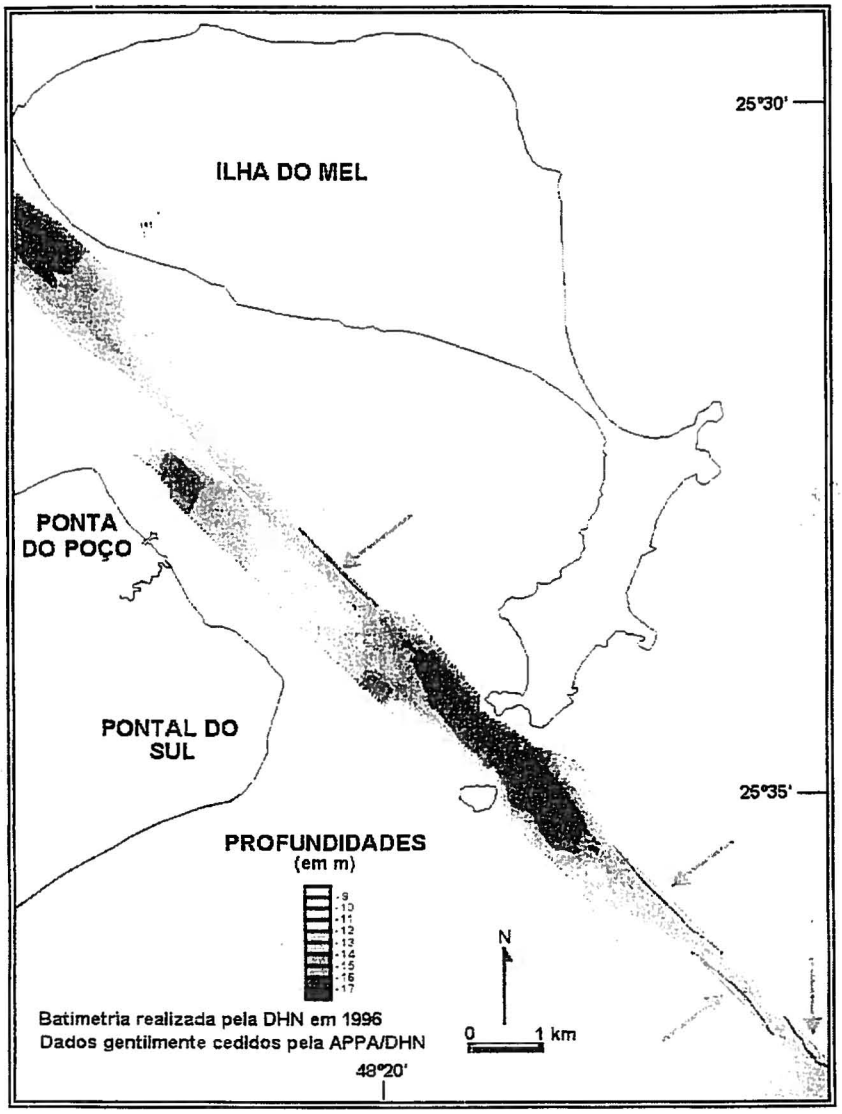


Fig.35 – Áreas críticas de assoreamento do Canal da Galheta, via de acesso ao Porto de Paranaguá, litoral do Paraná (Fonte: Soares C. R et al, 1997).

Como se prevenir dos problemas relacionados ao assoreamento e dragagem em áreas litorâneas?

O número de projetos envolvendo obras marítimas, vem sofrendo nos últimos anos um aumento notável orientando-se não apenas para a implantação de novos

portos e ampliação de instalações, como também no sentido de solucionar problemas de proteção sanitária da orla e prevenção contra processos de erosão e assoreamento.

Qualquer destes projetos exige para a sua otimização e, posteriormente para a sua execução, levantamentos hidrográficos de detalhe (estudos da conformação topográfica do fundo oceânico, conformação das margens, velocidade e natureza das correntes atuantes, influência dos ventos, natureza e amplitude das marés, caracterização das ondas), e levantamentos geológicos referentes aos processos da dinâmica costeira e sedimentação.

A correlação entre todos estes elementos e fatores, é necessária para fins de interpretação do sistema atuante e dimensionamento de obras.

No que se refere ao problema das dragagens e sua destinação final, se fazem necessárias avaliações sistemáticas e adequadas dos impactos ambientais decorrentes, evitando a degradação ambiental das áreas litorâneas.

Soares C. R et al (1997), fazem referência à possibilidade do aproveitamento dos materiais dragados no litoral para utilização em obras de aterro e urbanização ou para a restauração de áreas degradadas. Este aproveitamento poderia se feito pelas administradoras municipais regionais e por empresas privadas.

11. A Prevenção de acidentes geológicos urbanos

A ocupação urbana, no Brasil, tem ocorrido desordenadamente e sem o mínimo conhecimento sobre as características do meio físico, colocando a população, freqüentemente, em situações de risco que podem evoluir até a deflagração de acidentes geológicos propriamente ditos. Esta situação não se restringe apenas aos grandes núcleos urbanos, mas também afeta as comunidades urbanas de menor porte e mesmo as áreas rurais.

A prevenção de acidentes geológicos urbanos é possível a partir da identificação e análise das áreas de "***risco***". Estas, por sua vez, são enfocadas em trabalhos prévios de análise do meio físico, comumente denominados mapeamentos geotécnicos.

O mapeamento geotécnico aplicado ao planejamento territorial e urbano, utiliza bases do meio físico com a finalidade de orientar o uso da terra, a análise ambiental e as obras civis. A geotecnia classifica e analisa os recursos naturais do meio físico quanto às suas limitações e potencialidades, representando este processo cartograficamente através do mapeamento geotécnico. Além disto, avalia esse recursos quanto à adequabilidade segundo critérios que visem o equilíbrio e desenvolvimento para estudos de viabilidade, projeto, construção, manejo e monitoramento. Neste contexto é de fundamental importância a caracterização das áreas de riscos geológicos e a proposição de medidas de prevenção dos acidentes correlatos, com a indicação dos locais ameaçados, sua quantificação e prioridades, expressos em cartas de zoneamento de riscos geológicos.

Segundo Cerri, e Amaral (1998), as medidas de prevenção de acidentes geológicos podem ser dirigidas para evitar a ocorrência ou reduzir a magnitude do(s) processo(s) geológico(s), para eliminar ou reduzir as conseqüências sociais e/ou econômicas decorrentes, ou para ambas, simultaneamente. Os autores consideram ainda que além da possibilidade de remoção definitiva dos moradores das áreas sujeitas a risco (procedimento raramente colocado em prática devido às dificuldades inerentes a esta ação), a prevenção de acidentes geológicos urbanos deve considerar os seguintes objetivos:

- Eliminar e/ou reduzir os riscos já instalados;
- Evitar a instalação de novas áreas de risco;
- Conviver com os riscos atuais.

Em razão das características de cada situação de risco em particular e com base nestes objetivos, estabelecidos, Cerri e Amaral, consideram que podem ser adotadas diferentes medidas de prevenção de acidentes geológicos, cada qual associado a uma ação técnica específica, conforme resumido na tabela a seguir:

Objetivo	Medida de Prevenção	Ação técnica
Eliminar e/ou reduzir os riscos já instalados	Recuperação das áreas de risco	Perenização da ocupação (quando possível), por meio de projetos de urbanização e da implantação de obras de engenharia, que se destinam a evitar a ocorrência do(s) processo(s) geológico(s) e/ou reduzir a magnitude destes processos, com diminuição da área a ser atingida. A definição da concepção mais adequada de cada obra de engenharia depende, fundamentalmente, do entendimento do(s) processo(s) geológico(s) considerado(s).
Evitar a instalação de novas áreas de risco	Controle da expansão e do adensamento da ocupação	Estabelecimento de diretrizes técnicas que permitam adequada ocupação do meio físico, expressas em cartas geotécnicas, que se constituem em instrumentos básicos, dado que reúnem informações do meio físico-geológico, indispensáveis ao planejamento de uma ocupação segura.
Conviver com os riscos naturais	Remoção preventiva e temporária da população instalada nas áreas de risco eminente	Elaboração e operação de Planos de Defesa Civil, visando reduzir a possibilidade de registro de perda de vidas humanas, após ser constatada a iminente possibilidade de ocorrência de acidentes geológicos.

Fonte: Cerri (1993) in Cerri e Amaral (1998)

Cabe finalmente ressaltar que a desconsideração do meio físico no processo de ocupação urbana é decorrente da falta de integração e participação de equipes multidisciplinares no planejamento territorial e urbano. Além do poder público, os técnicos de maneira geral (engenheiros, geólogos, arquitetos, sanitaristas e outros), têm sido os responsáveis pelos desastres ocorridos, por não considerarem todas as variáveis necessárias para cada forma de ocupação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUIAR, V. L. A. **Conservação da água.** Disponível na Internet. www.tvcultura.com.br. 19 mar. 1998.

2. ALBRECH, K. J.; ZUQUETTE, L. V. Mapeamento geotécnico de áreas carbonáticas : sua importância frente aos problemas do meio físico. In : SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA (2 : 1996 : São Carlos). **Anais...** São Carlos : ABGE, 1996. p. 175-184.

3. ALBRECHT, K. J. **Avaliação dos problemas geológico-geotécnicos em terrenos cársticos. - Base para o mapeamento geotécnico.** São Carlos : Escola de Engenharia, 1996.

4. ALMEIDA, J. P. **Erosão hídrica.** Disponível na Internet. http://mozart.ulbra.tche.br/.20 mar. 1998.

5. ALMEIDA, M. C. J.; DINIZ, N.C. A expansão urbana no entorno metropolitano de São Paulo e os problemas decorrentes: o caso das regiões de Campinas e Vale do Paraíba. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA (38 : 1994 : Balneário Camboriú). **Boletim de resumos expandidos.** Balneário Camboriú : SBG, 1994. p 519-520.

6. ALMEIDA, M.C.J; FREITAS, C.G.L. Uso do solo urbano: suas relações com o meio físico e problemas decorrentes. In : SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA (2 : 1996 : São Carlos). **Anais...** São Carlos : ABGE, 1996. p. 195-197.

7. ANGULO, R. J. **Geologia da planície costeira do Estado do Paraná**. São Paulo: USP, 1992. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

8. AOKI, N.; ANGELINO NETO, C. Fundações profundas na Baixada Santista. In : FALCONI, F. F.; NEGRO JR., A. (Ed.). **Solos no Litoral de São Paulo.** São Paulo : ABMS, 1994. p. 155-178.

9. ARAÚJO, D. E. Considerações sobre as obras de controle de erosão do solo urbano no Estado de São Paulo. In : SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO (5 : 1995 : Bauru). **Anais...** Bauru : ABGE, 1995. p. 63-68.

10. ARAÚJO, M. L. M. **Preservação de fundos de vale.** Curitiba : PUC/PR, 1992. 50p. Monografia apresentada para obtenção do grau de especialista em Gestão Técnica do Meio Urbano.

11. ATLAS DO EXTRAORDINÁRIO. **A formação da terra.** Madrid : Ediciones del Prado, 1996. v.1.

12. BIGARELLA, J. J.; MAZUCHOWSKI, J. Z. **Visão integrada da problemática da erosão**. Curitiba : ABGE/ADEA, 1985.

13. BITAR, O. Y. (Coord.) **Curso de Geologia aplicada ao meio ambiente.** São Paulo : IPT/ABGE, 1995.

14. BOMBONATO, C. **Enchentes :** fenômeno natural e interferência humana. Disponível Internet. www.tvcultura.com.br/resguia/cienci/agua1/enchente.htm. 20 mar. 1998.

15. BONACIM, E. A. **Dinâmica do sistema hidrogeológico cárstico na área de Tranqueira – Região Metropolitana de Curitiba.** Curitiba : UFPR, 1996. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

16. CAPUTO, H. P. **Mecânica de solos e suas aplicações**. 3 ed. Rio de Janeiro : Livros Técnicos e Científicos Ed., 1977.

17. CARVALHO, E. T. Erosão nos meios urbanos: prevenção e controle. In : SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO (5 : 1995 : Bauru). **Anais...** Bauru : ABGE, 1995. p.33-35.

18. CASTRO, J. W. A.; ALHEIROS, M. M. Diagnóstico de risco de erosão costeira na Praia de Boa Viagem, Recife, PE. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA (38 : 1994 : Balneário Camboriú). **Boletim de Resumos Expandidos.** Balneário Camboriú : SBG, 1994. p. 505-508.

19. CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo : Edgard Blücher/EDUSP, 1974.

20. CONSONI, A. J. et al. Como não resolver dois problemas de uma só vez : erosão e lixo urbano. In : SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO (5 : 1995 : Bauru). **Anais...** Bauru : ABGE, 1995. p. 423-425.

21. COSTA, J. **A vingança do mar.** Disponível na Internet. www.di.ufpe.br/~mundi/numero1/ziencia/ziencia.html. 20 mar. 1998.

22. COTTAS, L. R. Estudos geológicos-geotécnicos aplicados ao planejamento urbano de Rio Claro – SP. São Paulo : USP, 1983. v.1, 171 p. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo.

23. CUNHA, M. A. (Coord.) **Ocupação de encostas**. São Paulo : IPT, 1991.

24. DOMINGUEZ, J. M. L. **Avaliação regional do problema da erosão na Região nordeste do Brasil.** Disponível na Internet. www.pppg.ufba.br/~pgeol/lab-costa/eros.htm. 19 mar. 1998.

51. PRANDINI, F. L.; NAKAZAWA, V. A. A erosão urbana, algumas considerações. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO (5 : 1995 ; Bauru). **Anais...** Bauru : ABGE, 1995. p.95.

52. REPETTO, F. L. et al. **Aspectos geológicos de proteccion ambiental.** Campinas: UNICAMP, 1995.

53. SALAZAR JR., O. et al. **Mapeamento geológico-geotécnico nas Folhas COMEC A137, A138, A139 a A140.** Curitiba : MINEROPAR, 1996.

54. SANTOS, A. M.; OLIVEIRA, S. N. A. B. (Coord.) **Geologia de Engenharia**. São Paulo : ABGE, 1998.

55. SÃO PAULO. Secretaria de Energia e Saneamento. **Controle de erosão**. Bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional. 2 ed. São Paulo : DAEE/IPT, 1989.

56. SOARES, C. R. et al. **Parecer sobre a engorda de praia a ser realizada pelo Governo do Estado do Paraná no Município de Matinhos**. Pontal do Sul : Centro de Estudos do Mar, 1998.

57. SOARES, C. R. et al. **Parecer técnico sobre as possíveis áreas de despejo de material a ser dragado para o aprofundamento do canal de acesso à região de Antonina (Baía de Paranaguá – PR)**. Pontal do Sul : Centro de Estudos do Mar, 1997 a.

58. SOARES, C. R.; ANGULO, R. J.; LESSA, G. C. **Morfodinâmica de ambientes atuais, evolução da planície durante o quaternário e problemas de erosão costeira.** Curitiba: ABEQUA, 1997 b.

59. SOUZA, C. R. G. Cartografia de risco a inundação no Litoral Paulista : o exemplo do Município de São Sebastião. In : SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA (2 : 1996 : São Carlos). **Anais...** São Carlos : ABGE, 1996. p.139-145.

60. STEIN, D. P. Diagnóstico de erosão. In : SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO (5 : 1995 : Bauru). **Anais...** Bauru : ABGE, 1995. p.55-57.

61. SUGUIO, K.; MARTIN, L. Geologia do quaternário. In : FALCONI, F. F.; NEGRO JR., A. (Ed.). **Solos no Litoral de São Paulo.** São Paulo : ABMS, 1994. p. 69-98.

62. TEIXEIRA, A. H. Fundações rasas na Baixada Santista. In : FALCONI, F. F.; NEGRO, JR., A. (Ed.). **Solos no Litoral de São Paulo.** São Paulo : ABMS, 1994. p.137-154.

63. THE AMERICAN INSTITUTE OF PROFESSIONAL GEOLOGIST. **The citizen's guide to geological hazards.** Arvada : AIPG, 1993.

64. TOMMASI, L. R. **Estudo de impacto ambiental**. São Paulo : CETESB, 1993.

65. TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia** : ciência e aplicação. Porto Alegre : Ed. Da Universidade, 1993.

66. ZUQUETTE, L. V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico** : fundamentos e guia para elaboração. São Paulo : Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos, 1993. Não paginada, v.2. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo.