



# ENGENHARIA ECOLÓGICA E AMBIENTAL

Ataulpho Coutinho

O tema ambiental é fascinante e atual. De fato, o caráter multidisciplinar, abrangendo ciências físicas, biológicas e sociais, empresta-lhe, a um só tempo, complexidade e interesse sem limite, enquanto que as agressões ao meio ambiente, observadas em toda parte, o tornam motivo de discussão da hora presente, requerendo atenção especial e medidas que não admitem delongas. A sua natureza exige, para perfeito equacionamento e estímulo a medidas de proteção, intenso preparo de pessoal, porque na base de qualquer atividade humana, em toda parte, está a instrução e o pleno desenvolvimento educacional dos povos. Nós não fugimos à regra elementar, universalmente consagrada. Por isso, os esforços nesse sentido, em todos os níveis, são indiscutivelmente meritórios e prioritários.

## NATUREZA DO PROBLEMA

O homem é produto da hereditariedade e do meio ambiente; a hereditariedade,

sobre a qual vêm sendo feitas importantes investigações científicas, representa o fator ou a dádiva do passado, enquanto o meio ambiente é a oportunidade do presente para desenvolvimento da dádiva do passado, a herança. Relacionando-se, assim, a hereditariedade ao meio ambiente, diz-se que não há uma boa herança que não possa ser desperdiçada por um meio ambiente adverso, como também não há má herança que não possa ser, de modo algum, recuperada.

A vida, presentes os fatores hereditários, é uma contínua adaptação do homem ao meio ambiente, isto é, da sua estrutura orgânica interna aos fatores externos, que podem apresentar condições extremas e condições ótimas. De onde se conclui ser necessário aprender e determinar as condições ótimas para a vida humana, por meio de adaptação e tolerância. A adaptação é a resposta do organismo às condições e variações do meio ambiente, enquanto que a tolerância, sendo fenômeno da mesma natureza

que a adaptação, indica os limites aceitáveis para valores fixados ou desejados. A adaptação a condições adversas pode aumentar a faixa de tolerância ou prolongar o fator tempo, de que a última é função. Costuma-se lembrar, como exemplo, o caso da vida de nórdicos nos trópicos, considerada uma limitada tolerância por um largo período, ao fim do qual a volta à região de origem seria necessária. Em consequência deste fato, há uma corrente de pensadores que diz ser o desenvolvimento de civilizações humanas como um todo favorecido pelas condições ótimas do meio ambiente. O fenômeno da adaptação do homem ao meio ambiente também se pode notar em seu comportamento quando, por exemplo, se desloca de sua terra de origem e se manifestam síndromes diversas. Sintetizando este estado de espírito, como é comum a ele nos referirmos, disse um astronauta: "Eu sabia que ao deixar a pátria o homem é acometido de certa nostalgia. Sei agora que sentimos coisa parecida quando deixamos a Terra, mas não sei como deveria chamar este sentimento...".

A resultante da inadaptação ou do desajustamento do homem ao meio ambiente é a doença, cujas causas podem ser de diversas naturezas, isto é, mecânicas, como no caso de pancadas; físicas, como na insolação pelo calor; químicas, como na intoxicação alcoólica; biológicas, como nas viroses e, finalmente, sociais, como nas psicoses de qualquer origem.

Ocorre-nos então, que a saúde — não obstante ser mais fácil senti-la do que defini-la — não é um estado somente livre de doença, mas de bem-estar físico, mental e social, tal como a definiu a Organização Mundial de Saúde. As condições de saúde ou de doença poderão ser

bem caracterizadas pela apreciação dos chamados contatos do homem com o meio ambiente, que são de duas categorias: favoráveis e desfavoráveis. Os primeiros dizem respeito aos requisitos fundamentais da vida animal, cuja reação principal é a oxidação. As condições necessárias a essa reação são o suprimento de oxigênio, um meio aquoso para manter os reagentes em solução e matéria orgânica passível de oxidação, dentro de certas limitações. Assim sendo, a água, o ar e os alimentos são, em realidade, os três principais veículos de comunicação entre o homem e o meio ambiente. (A propósito, há 400 anos, Hipócrates, pai da Medicina, redigiu o seu Tratado, Ares, Águas e Lugares.) As relações fisiológicas e sociais do homem com esses três requisitos resumem-se em:

*Ar:* pequena reserva humana (capacidade pulmonar limitada); suprimento natural ilimitado (20% de O<sub>2</sub> na composição do ar atmosférico); tolerância de minutos à falta; consequências sociais localizadas e restritas a demandas de caráter judicial.

*Água:* média reserva humana (70% do corpo em peso); suprimento natural limitado (a água é, hoje, um bem escasso em termos econômicos); tolerância de horas à falta; consequências sociais graves, que vão até a magnas disputas judiciais.

*Alimentos:* reserva representada pela matéria orgânica própria do corpo humano; suprimento natural difícil, porque resulta basicamente do cultivo da terra; tolerância de dias à falta; consequências sociais que chegam à guerra entre os povos.

Já os contatos desfavoráveis ao homem são de duas naturezas principais: os naturais, como o clima, e os resultan-

tes da atividade humana, como o calor, o CO<sub>2</sub>, o vapor d'água, os resíduos (sólidos, líquidos ou gasosos) e, as relações, genericamente, das células sociais, e, particularmente, das agressões do homem aos meios ambientes físico, químico, biológico e social. O estudo dessas agressões é, como disse acima, abrangente, pois penetra no campo da Ecologia, que vê o homem como simples parcela de um universo inter-relacionado de seres vivos, animais e vegetais. A engenharia ecológica e ambiental interessa, particularmente, o estudo dos agentes que alteram a constituição do ar, da água e dos alimentos, para que, utilizando os instrumentos próprios da engenharia, encontre as soluções adequadas para adaptar ou ajustar as condições externas, do meio ambiente, às internas, do organismo humano, e permitir a conservação dos recursos naturais.

## ESTADO ATUAL DO PROBLEMA

Estamos em presença de um círculo vicioso e, quiçá, fatal: o homem em seus desígnios de conservação da espécie, tem provocado uma explosão demográfica e luta, conseqüentemente, por um modelo de desenvolvimento que lhe assegure equilíbrio sócio-econômico. Em todo este processo, o que se tem verificado é uma agressão constante ao meio ambiente, cujas conseqüências malélicas se procura corrigir à custa de novos sacrifícios econômicos por ele próprio formulados. Assim, pode-se resumir que as atividades do homem para proteção do meio ambiente são decorrentes de agressões por ele mesmo causadas, o "boomerang" ecológico, tanto nas áreas rurais, onde executa empreendimentos ou cultiva a terra que lhe assegurem meios de subsistência, ou nas

áreas urbanas, onde se aglomera de forma assustadora.

Os problemas decorrentes dessas agressões, que mais preocupam cientistas e técnicos em toda a parte, podem ser agrupados, tentativa e resumidamente, como se segue:

### 1. Relacionados com o meio ambiente físico

- Poluição atmosférica urbana provocada especialmente pela emissão de gases ou partículas oriundas da queima de combustíveis fósseis ou derivados da biomassa, liberando monóxido de carbono, hidrocarbonos e óxidos de nitrogênio e outros compostos orgânicos, usados pelos veículos e pelas indústrias em seus mais variados processos.

- Alterações na composição atmosférica, com elevação do teor de CO<sub>2</sub>. "O principal motivo de preocupação do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera é que pode ocorrer elevação da temperatura das camadas inferiores pelo chamado *efeito estufa*. Porém, não se pode concluir disso quais serão os efeitos sobre todo o estado climático, pois o clima resulta de ações inter-relacionadas que podem ampliar ou aplacar perturbações atmosféricas".

- Chuvas ácidas, decorrentes das concentrações de gases ou compostos químicos na atmosfera.

- Diminuição da camada de ozona, provocada pela liberação no ar de óxidos de nitrogênio, oriundos de solos fertilizados com nitrogênio, intensificando as radiações ultravioletas que atingem a superfície da terra e causando queda das colheitas agrícolas.

- Poluição dos recursos hídricos: rios, lagos e oceanos com resíduos oriundos de agentes contaminantes da

moderna urbanização, industrialização e, sobretudo, do transporte marítimo do petróleo e seus derivados. Dentre esses resíduos, ressaltam os chamados contaminantes metálicos, provenientes dos processos industriais e a que o homem vem sendo largamente exposto. Alguns metais pesados são essenciais à vida e ocorrem em traços nos tecidos do corpo, mas, também, podem ser tóxicos como, por exemplo, o chumbo, o cádmio e o mercúrio. Nenhum desses poluentes, entretanto, atinge um determinado alvo do organismo isoladamente, ou, igualmente, em qualquer faixa etária. Com efeito, a absorção e toxidez do chumbo parece maior nas crianças do que nos adultos; as deficiências de ferro aumentam a absorção de cádmio, bem como acredita-se que o selênio protege contra compostos inorgânicos de mercúrio. Tais fatos demonstram a necessidade de adoção de critérios rigorosos de análises, face à suscetibilidade orgânica, para avaliar-se a verdadeira medida da agressão ou dos efeitos da poluição no meio ambiente aquático, quer se trate de águas interiores ou marítimas.

● Poluição do solo causada por lançamentos de resíduos químicos e orgânicos, que estão provocando a sua deterioração e conseqüente extinção da vida vegetal e animal. Ressalta o exemplo dos defensivos agrícolas, cuja aplicação desorientada e desordenada, vem ocasionando consideráveis prejuízos ao meio ambiente e à vida humana. As práticas agrícolas inadequadas, por sua vez, com desmatamentos e plantios imprópriamente feitos, têm contribuído para perdas irreparáveis de solos férteis das áreas rurais e graves problemas de erosão — voçoroca (Tupi: ibi + soroc = terra fendida) — quer nas zonas rurais, quer nas periferias urbanas.

## 2. Relacionados com o meio ambiente biológico

● Desmatamento e devastação e extinção de espécies vegetais, das florestas, com todas as suas conseqüências sobre as condições do solo, da água e do ar atmosférico, além das implicações econômicas e sociais. Calcula-se que os países em desenvolvimento já terão perdido cerca de 40% de suas florestas, e, no caso de florestas tropicais, de sua derrubada podem resultar solos pobres, impróprios para qualquer cultivo.

● Extinção pelo homem de espécies animais no exercício cotidiano de seus desígnios predatórios e sanguinários que se manifestam em larga faixa de interesses. Os exemplos divulgados revelam os crimes que se estão praticando, em toda parte, contra a fauna remanescente na face da terra, cujas espécies têm diminuído em função do crescimento demográfico. Lembrem-se os casos de nossas emas e dos rinocerontes africanos, que vêm, ambos, sendo exterminados, a partir de quando passaram a atribuir, respectivamente, aos ovos das primeiras e ao chifre dos últimos (estes vendidos a US\$300,00/onçal) poderes afrodisíacos! Para conseguir a preservação dos rinocerontes em seu *habitat* natural, está sendo necessária uma campanha mundial, onerosa e de lentos resultados. Em nosso país, à parte o caso das emas, o que vimos presenciando é a matança irresponsável e mercenária a diversas espécies, cujos resultados todos temos tipo oportunidade de tomar conhecimento ou testemunhar, perplexos. De fato, o processo se inicia pelas autorizações dadas em certas épocas do ano, maio a setembro, para a caça de certas espécies de animais, exceto algumas em perigo de extinção ou de interesse comercial. Po-

bres exceções, que também não serão poupadas, a não ser que o Curupira, criatura lendária de nossas matas e florestas, os projeta... A propósito, ocorrem as palavras do poeta: "Você, que me lê neste minuto, guarde na memória a figura do Curupira e ligue-a a esta idéia: usar a terra em proveito do homem, sem assassiná-la; respeitar o que é vivo, belo, inocente, e nos rodeia como uma felicidade; amar a natureza até por interesse e egoísmo pessoal, se não soubermos amá-la gratuitamente. Curupira ensina isto. E se alguém esquecer, já sabe: Curupira vem aí e castiga. Atenção, Curupira, precisamos cada vez mais de você".

Esta sábia e singela mensagem que é uma lição para desenvolvermos a "humilde atitude franciscana para com a irmã água e o irmão lobo, e de malícia para com ninguém e caridade para com todos", deveria estar sempre presente na memória de todos, como bandeira em favor da proteção dos bens naturais da nação.

### 3. Relacionados ao sócio-econômico

"A cultura hodierna traz em seu bojo um complexo de efeitos colaterais que são prejudiciais à saúde, tanto nutricionalmente como psicologicamente", assim diz uma especialista em ciências sociais e antropológicas. Em trabalho intitulado "Saúde e Estilo de Vida", Evelyn Hong diz que as quatro maiores causas de morte, hoje, são o câncer, os ataques cardíacos, os acidentes de estradas e ruas e a hipertensão, todos associados com a chamada vida moderna, e há uma forte relação entre elas e o meio ambiente social. No que se refere ao câncer, por exemplo, dizem os pesquisadores que a maioria, provavelmente de 70 a 90%, de todos os cânceres humanos são induzidos por fatores ambientais, e,

nestas condições, teoricamente evitáveis.

Na atualidade, a qualidade de vida das grandes aglomerações humanas, cujo crescimento se deu explosivamente nestes últimos 30 anos, com inversão das tendências demográficas, apresenta problemas preocupantes. As carências de habitação, alimentação, instrução, trabalho, lazer, serviços urbanos e de saúde pública, se constituem em constante ameaça ao equilíbrio e à paz social. A tudo isto se acrescentam no Terceiro Mundo em particular, os modismos da sociedade de consumo, de desperdício e de prazer, para nós transplantados por interesse do próprio sistema, abarrotando a todos os seus componentes, desnecessariamente, de artificialismos de toda ordem. Dentre os problemas citados, o da má qualidade de habitação, representada pela favelização das áreas periféricas das cidades, parece não apresentar solução viável, a ponto de um destacado economista dizer que "o equilíbrio econômico da população rural deve ser rompido com a emigração das populações para as cidades", o que equivale a dizer, melancolicamente, "as favelas estão a um passo diante da pobreza rural". Em réplica, outro cientista político afirma que "em muitas cidades latino-americanas, durante a década de 1960, 15% a 30% da população vivia nas condições terríveis que prevaleciam nas favelas, ranchos e barriadas, produzidas pelo afluxo dos pobres rurais e onde se encontram os elementos de cultura da revolta, da violência e da criminalidade". E concluía, citando uma advertência: "A cidade poderá ser tão mortífera quanto a bomba".

Enquanto isso, o mundo se debate em gastos militares superiores a US\$ 400 bilhões por ano, US\$ 1 milhão por mi-

nuto, e como a tendência atual prossegue, serão atingidos US\$ 1 trilhão no ano 2000. Para se ter uma idéia da natureza destes gastos, basta lembrar que, de 1945 a 1978, ocorreram 1.165 explosões nucleares, na maioria dos casos para testar armas, dentre as quais 595 em pelo menos cinco dos grandes desertos e 130 acima do solo. E mais: de 1957 a 1978, foram lançados 1.601 satélites militares, 75% dos quais só em 1978, isto é, um em cada três dias. Quanto aos países em desenvolvimento, o valor dos principais armamentos a eles destinados, cresceu, de 1970 a 1978, de US\$ 3 bilhões para US\$ 14 bilhões, e os gastos desses países têm sido 4 vezes maiores em armamentos do que recebem em auxílio para desenvolvimento! Tudo isto em nome da paz e da segurança entre os homens, quando Einstein, em 1950, já dizia que "a crença de que é possível alcançar a segurança pelos armamentos em uma escala de nações, é, no estado atual da tecnologia militar, uma ilusão desastrosa". De acordo com aquele sábio, havendo o terceiro conflito mundial, o quarto seria disputado a paus, pedras, arcos e flexas. Em verdade, "desde que inventou a linguagem articulada e dominou o fogo — segundo Darwin, as duas maiores descobertas da humanidade — o homem, a partir de 1945 passou a dispor de poderes que lhe permitirão destruir, totalmente, o ambiente compatível com a sua existência", o verdadeiro *ecocídio*.

Em relação à guerra, que é um dos mais trágicos impactos sociais, não nos esqueçamos de que no Vietnã do Sul os herbicidas químicos destruíram completamente 1.500 km<sup>2</sup> de vegetação tropical (rizoforaceas) e causaram danos a cerca de 15.000 km<sup>2</sup> mais, e a reposição natural se vem fazendo de modo surpre-

endentemente lento. Com o desenvolvimento das pesquisas militares que absorvem US\$ 25 bilhões, 2/3 do total e duas vezes o que é disponível para pesquisas científicas em todos os países em desenvolvimento juntos, especula-se sobre a possibilidade de causar danos econômicos ou de outra natureza a um inimigo, através de modificações ambientais, como é o caso da formação deliberada de nuvens ou chuva, para criar danos à agricultura em extensos alvos preestabelecidos.

Os efeitos ambientais das guerras não cessam com o advento da paz. Um levantamento feito recentemente pela UNEP revelou que, após a II Guerra Mundial, um determinado país já se havia livrado de cerca de 15 milhões de minas terrestres e o trabalho continuava à base de 400 mil por ano. O país mais seriamente afetado informou que os remanescentes da guerra tinham matado 3.834 pessoas e ferido outras 8.384, das quais, a maioria, crianças; nos últimos cinco anos, 30 a 40 pessoas foram mortas e 50 a 80 feridas, por ano.

Por fim, devem ser destacados, ainda em relação aos problemas sócio-ambientais, os resultantes dos grandes programas governamentais de desenvolvimento, que conduzem ao desalojamento de enraizadas comunidades humanas, causando sérios desequilíbrios aos seus componentes denominados, genericamente, "síndrome dos deslocamentos". As grandes obras de engenharia, principalmente barragens para irrigação, regularização de rios e produção de energia elétrica etc., têm sido, em diversos países em desenvolvimento, responsáveis por aqueles efeitos. Assuan, Kariba, Volta, na África e Boa Esperança, Sobradinho, aqui, entre nós, são exemplos importantes.

## DIRETRIZES

As diretrizes para os trabalhos de proteção ao meio ambiente podem ser preservacionistas ou conservacionistas, dependendo dos objetivos a serem atingidos. Os primeiros visam a colocar os recursos naturais a salvo de dano ou perigo, e os segundos, o de mantê-los em bom estado, cuidando para que sejam utilizados pelo maior número de pessoas pelo maior espaço de tempo possível (na literatura inglesa existe uma frase clássica: "Conservation is the use of natural resources for the greatest good of the greatest number for the longest time").

A natureza pàrticular da atividade da engenharia ambiental é, fundamentalmente, conservacionista e, com este sentido, devem ser estabelecidas as especificações e métodos de reconhecimento e investigação, avaliação e planejamento para situações existentes — como é o caso dos centros urbanos e áreas rurais cultivadas — ou novas — como são as dos grandes empreendimentos desenvolvimentistas do interior do país.

Os reconhecimentos e avaliações ambientais requerem a participação de equipes técnicas, compostas de profissionais aptos a tratar de disciplinas tais como:

Meteorologia, para estudos do clima.

Geomorfologia, para estudos morfológicos e sedimentológicos.

Geologia, para estudos da formação de rochas.

Hidrogeologia, para estudos dos lençóis subterrâneos e infiltrações de água nos solos.

Hidrologia, para estudo do escoamento e circulação da água.

Ecologia, para estudos da biocenose e do biótipo dos ecossistemas, que são as unidades básicas da ecologia.

Físico-química e biologia aquática, para estudos da qualidade das águas.

Fitogeografia e fitossociologia, para estudos da distribuição geográfica das plantas e de suas áreas e composição, estrutura e classificação da vegetação.

Botânica, para estudo dos vegetais.

Zoologia, para estudo dos animais, seus *habitat* e nichos ecológicos.

Antropologia, para estudo do homem e a classificação dos caracteres físicos dos grupos humanos.

Arqueologia, para estudo das atividades culturais da antiguidade.

Epidemiologia — saúde pública e saneamento, para estudo das doenças epidêmicas e seus agentes, bem como os métodos de organização e técnicas para a sua prevenção e combate.

Sociologia, para estudo dos fenômenos sociais.

Economia, para estudo da produção, distribuição e consumo das riquezas.

Agricultura, para estudo das atividades agrícolas, de cultivo da terra e das lavouras.

Aquicultura, para estudo da cultura e multiplicação de animais e plantas aquáticas.

Turismo, para estudo dos meios e modos de estímulo às atividades de recreação e lazer.

Processamento de dados e sistema de informações, inclusive com recurso à tecnologia dos satélites, como atividades auxiliares básicas para diversos dos estudos mencionados.

Estas disciplinas, que em suas aplicações apresentam interfaces, também podem ser agrupadas nas três grandes categorias já referidas, isto é, as relacionadas com o meio ambiente físico, com o meio ambiente biológico e com o meio ambiente sócio-cultural e econômico.

O reconhecimento e a avaliação são utilizados na previsão de efeitos. A avaliação deve atender às seguintes condições: ser abrangente, concisa, compreensível, versátil, precisa e finalmente econômica. Não é recomendável que os trabalhos de reconhecimento e investigação atinjam um limite que torne a avaliação inviável.

Os métodos atualmente recomendados para as avaliações e comparações de efeitos das alternativas técnicas, que oferecem resultados com certo grau de precisão e são úteis instrumentos para estudo da relação custo-benefício nos planejamentos dos empreendimentos industriais ou obras de engenharia em geral, se enquadram em duas categorias principais, o numérico e o subjetivo.

O Método Numérico leva em conta duas condições básicas, isto é, magnitude e importância e se caracteriza por:

- Uniformidade de aplicação e de procedimento analítico.
- Consideração de todos os parâmetros ambientais identificados.
- Custo elevado.
- Possível duplicidade na apuração de valores.

- Dificuldade de compreensão dos procedimentos e resultados (pelo público).

- Falta de uniformidade em análises subjetivas.

Pelo Método Subjetivo, a comparação de efeitos ambientais consiste em:

- Determinar o verdadeiro efeito de cada alternativa.
- Converter os efeitos em medidas comuns, quando os procedimentos de conversão são disponíveis.

- Comparar subjetivamente os efeitos globais de várias alternativas para determinar a sua relativa hierarquização. As características deste método são:

- Simplicidade.
- Fácil compreensão de resultados e procedimentos.
- Flexibilidade de procedimento, permitindo fácil adaptação a qualquer grandeza de avaliação.
- Falta de uniformidade da análise.
- Possíveis considerações desuniformes dos vários tipos de efeitos ambientais.

No planejamento de obras de engenharia, o procedimento para definir alternativas é, de um modo geral, o da Fig. 1.

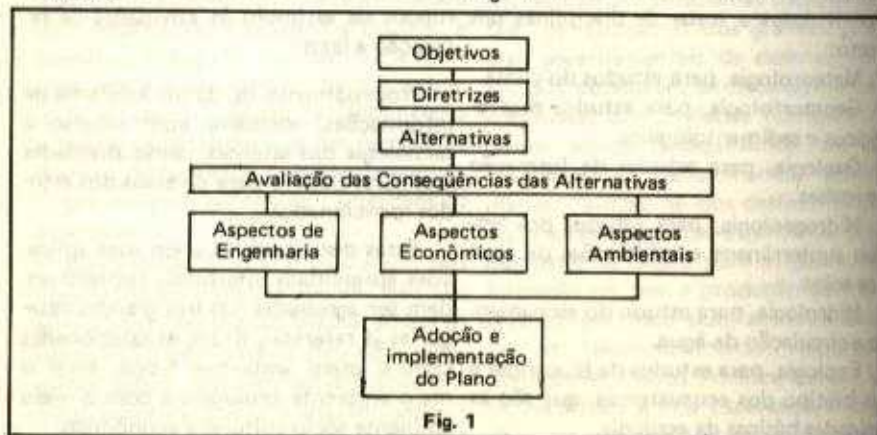


Fig. 1



Em relação aos Aspectos Ambientais, tem sido recomendado para sua análise, observar as etapas indicadas na Fig. 2.

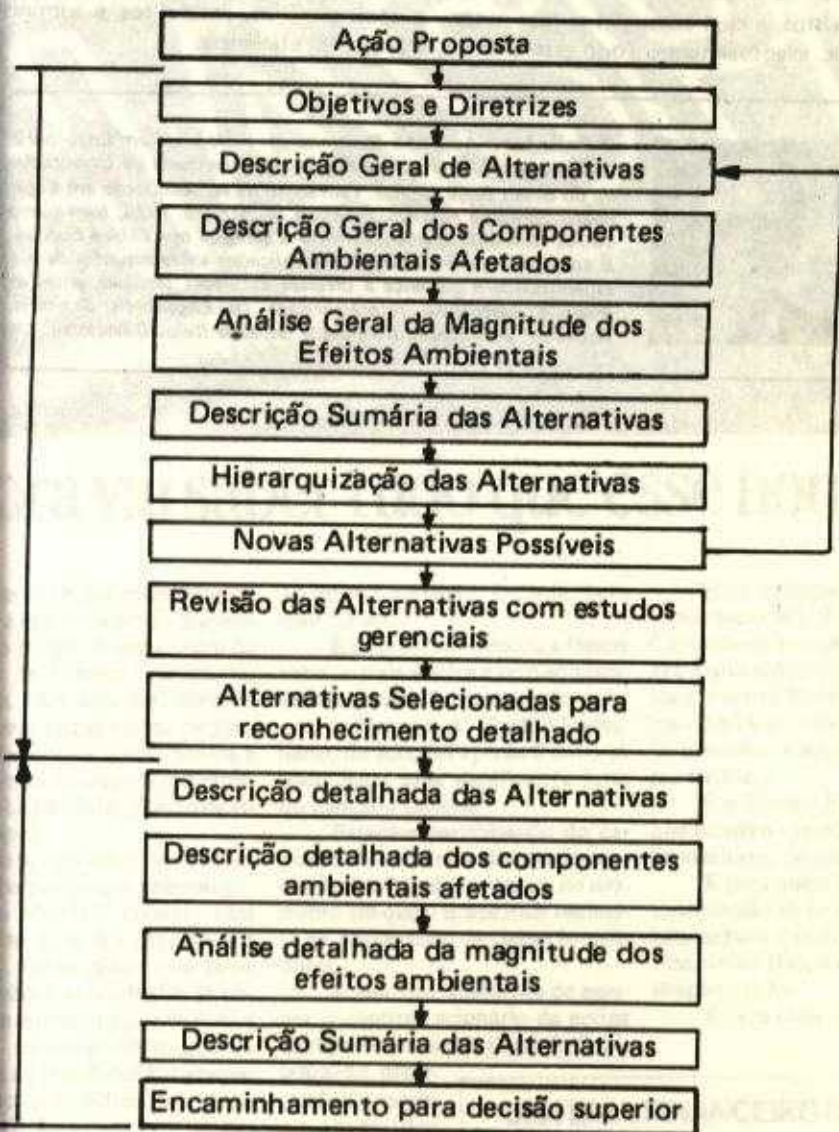


Fig. 2.

O trabalho para proteção ambiental deve ser completado com a enumeração de medidas mitigadoras dos efeitos adversos ao meio ambiente, avaliados e previstos, e cuja execução se faça necessária, eventualmente. Todo este alcance

de atividades, aqui esboçadas, deverão estar embasados em mecanismos governamentais seriamente preocupados com os problemas ambientais e determinados a encaminhá-los, resolvê-los e administrá-los com eficiência.



O Engenheiro Ataulpho Coutinho foi diplomado em Engenharia Civil em 1941 pela antiga Escola de Engenharia da Universidade do Brasil (hoje UFRJ). Tem curso de especialização em Engenharia Sanitária pela Universidade de Harvard, EUA, bem como outros cursos de aperfeiçoamento e estágios nos EUA e Europa. É autor de inúmeros trabalhos publicados sobre assuntos de sua especialidade e pertence a diversas entidades técnicas, entre as quais a Associação Interamericana de Engenharia Sanitária. Atualmente é Assessor do Diretor Geral do Itaipu Binacional.

