**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA**

**AVALIAÇÃO DOS POSSÍVEIS IMPACTOS AMBIENTAIS
NEGATIVOS DECORRENTES DA INSTALAÇÃO DO ATERRO
SANITÁRIO INDUSTRIAL E DOS LAGOS DE RESÍDUOS DE
BAUXITA: PARQUE INDUSTRIAL –ALUMAR/ALCOA
SÃO LUÍS-MA**

VOLUME I

Ana Valéria Rabelo Vieira

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: 21 / 06 / 06

Ass.: *Guilherme*

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de São Paulo,
como parte dos requisitos para obtenção do título
de Mestre em Geotecnia.

ORIENTADOR: Lázaro Valentin Zuquette

São Carlos

2001

DEDALUS - Acervo - EESC

31100035750

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidata: Engenheira **ANA VALÉRIA RABELO VIEIRA**

Dissertação defendida e aprovada em 24-04-2001
pela Comissão Julgadora:

Prof. Associado **LÁZARO VALENTIN ZUQUETTE (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Prof. Doutor **OSNI JOSÉ PEJON**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Prof. Doutor **REINALDO LORANDI**
(UFSCar - Universidade Federal de São Carlos)

JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

“Aos meus pais, Antônio e Jacira, pelo amor, incentivo e apoio em todos os momentos da minha vida e in memoriam a Felipe Rabelo (avó), exemplo de coragem e dedicação.”

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo a Deus, pelo eterno amor e infinita misericórdia.

Ao prof. Lázaro V. Zuquette, pela amizade e efetiva orientação durante todo decorrer deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Consórcio de Alumínio do Maranhão-ALUMAR/ALCOA, em especial ao Departamento de Segurança, Meio Ambiente e Higiene – EHS e seus profissionais, pelas valiosas informações prestadas, que foram a base para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores, funcionários e colegas do Departamento de Geotecnia da EESC-USP pelo auxílio durante a elaboração deste trabalho.

Às minhas irmãs Ana Gláucia, Ana Márcia e Ana Andréia e às sobrinhas Ana Carolina e Vitória pelo amor e compreensão durante a minha ausência em tantos momentos importantes.

Aos amigos Paulo Lopes, Sandra Fernandes, Marta Sousa pela amizade, discussões, sugestões e incentivos para o desenvolvimento e finalização deste trabalho.

E a todos os que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta etapa, em especial a José Janio e às minhas amigas de *República*.

VOLUME I

SUMÁRIO

Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	xiii
Lista de abreviaturas, siglas e símbolos	xv
Resumo	xvii
Abstract	xviii
 <i>Capítulo 1. INTRODUÇÃO</i>	 1
 <i>Capítulo 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</i>	 4
2.1 ASPECTOS SOBRE AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS (AIA) NO BRASIL	4
2.2 CONCEITOS	6
<i>2.2.1 Meio Ambiente</i>	7
<i>2.2.2 Contaminação e Poluição</i>	8
<i>2.2.3 Impacto Ambiental</i>	9
<i>2.2.4 Avaliação de Impacto Ambiental</i>	15
<i>2.2.5 Estudo de Impacto Ambiental (EIA)</i>	16
<i>2.2.5.1 Área de Influência</i>	16
<i>2.2.5.2 Diagnóstico Ambiental</i>	17
<i>2.2.5.3 Prognóstico</i>	17
<i>2.2.5.4 Medidas Mitigadoras</i>	18
<i>2.2.6 Relatório de Impacto Ambiental (RIMA)</i>	18
<i>2.2.7 Gestão Ambiental</i>	19
<i>2.2.8 Técnica, Modelo, Método, Sistemática e Metodologia</i>	20
2.3 IMPACTO AMBIENTAL X ATIVIDADES MODIFICADORAS DO MEIO AMBIENTE	21

2.3.1 Atividades Modificadoras do Meio Ambiente	26
2.3.1.1 Mineração	26
2.3.1.2 Disposição de Resíduos Sólidos	30
2.3.1.3 Atividades Agropecuárias e Agroindústrias	39
2.4 AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL	41
2.4.1 Metodologias para Avaliação de Impacto Ambiental	43
2.4.1.1 Principais Métodos de Avaliação de Impactos Ambientais	47
2.4.1.1.1 Métodos <i>Ad hoc</i>	47
2.4.1.1.2 Listagens de Controle (checklist)	49
2.4.1.1.3 Matrizes de Interação	54
2.4.1.1.4 Redes de Interação	57
2.4.1.1.5 Sobreposição de Cartas	59
2.4.1.1.6 Métodos dos Modelos de Simulação	61
2.4.1.1.7 Combinação de Métodos	63
 Capítulo 3. METODOLOGIA	66
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	66
3.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	66
3.3 LEVANTAMENTO DOS DADOS	68
3.4 EQUACIONAMENTO DO PROBLEMA	68
3.5 ELABORAÇÃO DOS DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS	77
3.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS	77
3.7 AVALIAÇÃO DOS PROBLEMAS DE POLUIÇÃO	77
 Capítulo 4 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA PESQUISADA	79
4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	79
4.2 CARACTERIZAÇÃO GERAL DO PARQUE INDUSTRIAL DA ALUMAR	80
4.3 CARGAS POTENCIALMENTE POLUIDORAS	83
4.4 PRINCIPAIS FONTES POTENCIAIS DE POLUIÇÃO	84
4.5 O QUE PODE SER ATINGIDO	86

4.6 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO MEIO FÍSICO	86
4.6.1 <i>Elaboração dos Documentos Cartográficos Específicos</i>	87
4.6.1.1 <i>Mapa Topográfico</i>	88
4.6.1.2 <i>Mapa de Localização do Parque Industrial ALUMAR</i>	88
4.6.1.3 <i>Carta de Declividade</i>	89
4.6.1.4 <i>Mapa de Localização de Furos de Sondagens</i>	89
4.6.1.5 <i>Mapa de Materiais Inconsolidados</i>	90
4.6.1.6 <i>Mapa de Fluxo de Água Superficial</i>	95
4.6.1.7 <i>Mapa de Registro da Posição (cota) do Nível D'água</i>	96
4.6.1.8 <i>Mapa de Fluxo de Água Subsuperficial</i>	96
 Capítulo 5. RESULTADOS	97
5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS FONTES POTENCIAIS DE POLUENTES DECORRENTES DA INSTALAÇÃO DO PARQUE INDUSTRIAL ALUMAR	97
5.1.1 <i>Aterro Sanitário Industrial</i>	97
5.1.1.1 <i>Características Gerais do Aterro Sanitário Industrial da ALUMAR</i>	97
5.1.1.2 <i>Caracterização dos Resíduos</i>	99
5.1.1.3 <i>Características do Meio Físico da Área do Aterro Sanitário Industrial</i>	99
5.1.1.3.1 Relevô	99
5.1.1.3.2 Águas	103
5.1.1.3.3 Geologia Local	105
5.1.1.3.4 Climáticos	106
5.1.1.4 <i>Estabilidade do Maciço da Área de Estudo – Aterro Sanitário Industrial/ALUMAR</i>	107
5.1.2 <i>Lagos de Resíduos de Bauxita</i>	108
5.1.2.1 <i>Características Gerais dos Lagos de Resíduos de Bauxita - ALUMAR</i>	109
5.1.2.2 <i>Caracterização dos Resíduos de Bauxita</i>	111

5.1.2.3 <i>Características do Meio Físico</i>	113
5.1.2.3.1 Relevo	113
5.1.2.3.2 Águas	114
5.1.2.3.3 Geologia Local	115
5.1.2.3.4 Climáticos	116
5.1.2.4 <i>Estabilidade do Maciço da Área de Estudo – Lagos de Disposição de Resíduos de Bauxita/ALUMAR</i>	117
 Capítulo 6. ANÁLISE DOS RESULTADOS	119
6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	119
6.2 INTERAÇÕES ENTRE O MEIO FÍSICO E AS FONTES POTENCIAIS DE POLUENTES	120
6.2.1 <i>Colapsividade</i>	120
6.2.2 <i>Erosão</i>	121
6.2.3 <i>Estabilidade do Maciço da Área de Estudo – Aterro Sanitário Industrial e das Lagoas de resíduos de Bauxita/ALUMAR</i>	122
6.2.4 <i>Afundamento</i>	122
6.3 AVALIAÇÃO DOS PROBLEMAS DE POLUIÇÃO DAS ÁGUAS	122
6.3.1 <i>Aterro Sanitário Industrial</i>	123
6.3.2 <i>Lagos de Resíduos de Bauxita</i>	127
 Capítulo 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	133
 Capítulo 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	135

VOLUME II

ANEXOS

ANEXO I	Mapa Topográfico
ANEXO II	Mapa de Localização do Parque Industrial ALUMAR
ANEXO III	Carta de Declividade
ANEXO IV	Mapa de Localização dos Furos de Sondagens
ANEXO V	Mapa de Materiais Inconsolidados
ANEXO VI	Mapa de Fluxo de Água Superficial
ANEXO VII	Mapa de Registro da Posição (cota) do Nível D'água
ANEXO VIII	Mapa de Fluxo de Água Subsuperficial

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO 2

FIGURA 2.1	Fluxograma do conceito de impacto ambiental (Modificado de HERMELIN, 1991)	13
FIGURA 2.2	Relações envolvidas no Sistema de Gestão Ambiental (SOUSA, 1996)	20
FIGURA 2.3	Dinâmica do ambiente e os componentes do meio físico. (1) fluxos de energia e matéria (2) e (3) meios biológico e sócio-econômicos condicionados por retroalimentação, completando a interação com o meio físico e regulando seus processos (FORNASARI FILHO <i>et al.</i> , 1992)	22
FIGURA 2.4	Fluxograma básico que relaciona as fontes de informações, os objetivos operacionais (base) e os objetivos finais da avaliação dos impactos (ZUQUETTE, 1993)	25
FIGURA 2.5	Quadro que demonstra as relações causas e efeitos dos impactos ambientais. (ZUQUETTE, 1993)	26
FIGURA 2.6	Disposição inadequada de lixo (lixão) e suas conseqüências ambientais. (VASCONCELOS & MOLLER, 1995)	32
FIGURA 2.7	Corte esquemático de um aterro sanitário (VASCONCELOS & MOLLER, 1995)	36
FIGURA 2.8	Fluxograma de compostagem (VASCONCELOS & MOLLER, 1995)	37
FIGURA 2.9	Representação esquemática de um incinerador (VASCONCELOS & MOLLER, 1995)	38
FIGURA 2.10	Processo de avaliação de impacto ambiental (SÁNCHEZ, 1998)	42
FIGURA 2.11	Diagrama de fluxo para o desenvolvimento de programas de atuação. (Adaptado de LEOPOLD <i>et al.</i> , 1971)	56
FIGURA 2.12	Uma rede de interação aplicado em uma indústria (TOMMASI, 1994)	57
FIGURA 2.13	Fluxo de desenvolvimento do método LESA. (Adaptado de AMIR, 1976)	64

CAPITULO 3

FIGURA 3.1	Etapas realizadas para desenvolvimento deste trabalho	67
FIGURA 3.2	Fluxograma dos problemas ambientais decorrente do aterro sanitário. Adaptado de ZUQUETTE <i>et. al.</i> (1997)	78
FIGURA 3.3	Fluxograma dos problemas ambientais decorrentes da instalação de lagos de disposição de resíduos. Adaptado de ZUQUETTE <i>et. al.</i> (1997)	78

CAPITULO 4

FIGURA 4.1	Localização da área de estudo – Parque Industrial ALUMAR (Fonte: Relatório da ALUMAR/1994).	79
FIGURA 4.2	Parque Industrial do Consórcio de Alumínio do Maranhão - ALUMAR (Fonte: ALUMAR/1998).	80
FIGURA 4.3	Fluxograma do processo da refinaria e seus principais resíduos gerados	82
FIGURA 4.4	Fluxograma do processo da redução e seus principais resíduos gerados	83
FIGURA 4.5	Principais fontes potenciais de poluentes do parque industrial da ALUMAR. Notar as principais fontes destacadas em vermelho.	84
FIGURA 4.6	Perfis geológico-geotécnicos traçados na área de estudo (A–A') a (G – G')	91
FIGURA 4.7	Perfil geológico-geotécnico B–B' da área de estudo – Parque Industrial ALUMAR	92
FIGURA 4.8	Perfil geológico-geotécnico H–H' da área de estudo – Parque Industrial ALUMAR	93

CAPÍTULO 5

FIGURA 5.1	Vista do Aterro Sanitário da ALUMAR (1998)	98
FIGURA 5.2	Sistema de impermeabilização da Cava 2, para os resíduos gerados no processo da ALUMAR.	98
FIGURA 5.3	Carta de declividade da área de estudo – aterro sanitário industrial/ALUMAR	103

FIGURA 5.4	Mapa de fluxo de água superficial da área de estudo – aterro sanitário industrial/ALUMAR	104
FIGURA 5.5	Mapa de fluxo de água subsuperficial da área de estudo – aterro sanitário industrial/ALUMAR	105
FIGURA 5.6	Mapa de materiais inconsolidados da área de estudo – aterro sanitário industrial/ALUMAR	106
FIGURA 5.7	Representação gráfica das sondagens e das características geológicas da área de estudo.	107
FIGURA 5.8	Lago de resíduo de bauxita (Fonte: ALUMAR/1998)	110
FIGURA 5.9	Carta de declividade da área de estudo – lagos de resíduos de bauxita/ALUMAR	113
FIGURA 5.10	Mapa de fluxo de água superficial da área de estudo – lagos de resíduos de bauxita/ALUMAR	114
FIGURA 5.11	Mapa de fluxo de água subsuperficial da área de estudo – lagos de resíduos de bauxita/ALUMAR	115
FIGURA 5.12	Mapa de materiais inconsolidados da área de estudo – lagos de resíduos de bauxita/ALUMAR	116

CAPÍTULO 6

FIGURA 6.1	Seqüência de fatores considerados na análise dos resultados.	119
FIGURA 6.2	Posição dos perfis geológico-geotécnico I-I' e J-J' na área do aterro sanitário industrial	124
FIGURA 6.3	Perfil geológico-geotécnico esquemático I-I' do aterro sanitário industrial – ALUMAR	125
FIGURA 6.4	Perfil geológico-geotécnico esquemático J-J' do aterro sanitário industrial - ALUMAR	126
FIGURA 6.5	Posição dos perfis geológico-geotécnicos L-L', M-M', N-N', O-O' na área dos lagos de resíduos de bauxita	128
FIGURA 6.6	Perfil geológico-geotécnico esquemático L-L' da área dos lagos de resíduos de bauxita	129

FIGURA 6.7	Perfil geológico-geotécnico esquemático M-M' da área dos lagos de resíduos de bauxita	130
FIGURA 6.8	Perfil geológico-geotécnico esquemático N-N' da área dos lagos de resíduos de bauxita	131
FIGURA 6.9	Perfil geológico-geotécnico esquemático O-O' da área dos lagos de resíduos de bauxita	132

LISTA DE TABELAS

CAPITULO 2

TABELA 2.1	Processos do meio físico (adaptado de FORNASARI FILHO, 1992)	21
TABELA 2.2	Atividades modificadora do meio ambiente (Adaptado de FORNASARI FILHO, 1992)	22
TABELA 2.3	Etapas de um empreendimento minerário (FORNASARI FILHO, 1995)	27
TABELA 2.4	Alguns exemplos de processos atuantes no meio físico durante as etapas de exploração (IBRAM, 1992)	29
TABELA 2.5	Produção diária de resíduos per capita em alguns países e cidades (Fonte: RUBERG (1999); HEDERRA (1996).	31
TABELA 2.6	Exemplificação de problemas gerados pela disposição inadequada de resíduos (CUNHA & CONSONI, 1995)	33
TABELA 2.7	Vantagens e desvantagens dos métodos de tratamento e disposição final do lixo (CUNHA & CONSONI, 1995)	39
TABELA 2.8	Exemplo de efeitos diversos provocados pela prática agrícola (CORSON, 1993)	40
TABELA 2.9	Impactos potenciais de um projeto de transporte* (MOREIRA, 1992)	50
TABELA 2.10	Atributos ambientais afetados pelo desenvolvimento em uma bacia hidrográfica tropical (MOREIRA, 1992)	51
TABELA 2.11	Avaliação das alternativas de tratamento para Twining Novo México (MOREIRA, 1992)	52
TABELA 2.12	Comparação entre os métodos de avaliação de impacto ambiental. Adaptada de AGUIAR (1994)	65

CAPITULO 3

TABELA 3.1	Atributos que devem ser levantados nos processo de mapeamento geotécnico elaboração de cartas interpretativas e derivadas para o zoneamento de uma região quanto a avaliação de impactos ambientais. Modificado de ZUQUETTE <i>et. al.</i> (1997)	70
-------------------	---	----

CAPITULO 4

TABELA 4.1	O que pode ser atingido em virtude das cargas poluidoras	86
TABELA 4.2	Resultados de ensaios realizados na área de estudo.	94
TABELA 4.3	Classes definidas a partir do perfil geológico-geotécnico geral da área – Parque Industrial ALUMAR.	95

CAPITULO 5

TABELA 5.1	Principais características químicas dos resíduos depositados no aterro sanitário industrial da ALUMAR (Fonte: Relatório de Avaliação e Caracterização de Resíduos Industriais da ALUMAR/1998)	100
TABELA 5.2	Dados utilizados na análise do maciço quanto à estabilidade – Aterro Sanitário Industrial	108
TABELA 5.3	Principais características químicas do resíduo de bauxita depositado nos lagos de resíduos de bauxita da ALUMAR (Fonte: Relatório de Avaliação e Caracterização de Resíduos Industriais da ALUMAR/1998)	112
TABELA 5.4	Dados utilizados na análise da estabilidade do maciço – Lagos de Resíduos de Bauxita	118

CAPÍTULO 6

TABELA 6.1	Critérios de identificação de solos colapsíveis utilizando-se p_d e S_r (Modificado de NEVES, 1987 <i>apud</i> FERREIRA, 1999)	121
-------------------	--	-----

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ALUMAR	Consórcio de Alumínio do Maranhão
AIA	Avaliação de Impactos Ambientais
ASTM	American Society for Testing and Materials
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
BIRD	Banco Mundial
CETESB	Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
CVRD	Companhia Vale do Rio Doce
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Química de Oxigênio
DF	Distrito Federal
EES	Environmental Evaluation System
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EIS	Environmental Impact Statement
EUA	Estados Unidos da América
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
KSIM	Kane Simulation Model
LESA	Local Environmental Sensitivity Program
MA	Maranhão
NEPA	National Environmental Policy Act
NBR	Norma Brasileira
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
Al	Alumínio
As	Arsênio
C	Carbono
Ca	Cálcio
Cd	Cádmio

Ce	Césio
Cl⁻	Cloreto
CN⁻	Cianeto
Cr	Cromo
Cu	Cobre
F	Flúor
Fe	Ferro
H₂O	Água
H₂SO₄	Ácido sulfúrico
HCl	Ácido clorídrico
HF	Fluoreto de hidrogênio
Hg	Mercúrio
K	Potássio
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
N	Nitrogênio
Na	Sódio
Ni	Níquel
P	Fósforo
Pb	Chumbo
S	Enxofre
Se	Selênio
Si	Silício
SO₂	Dióxido de enxofre
SO₄	Sulfato
Ti	Titânio
Zn	Zinco
°C	Graus Celsius
ρ_d	Massa específica seca aparente
S_r	Grau de saturação
G_c	Grau de compactação

RESUMO

VIEIRA, A .V.R.(2001). *Avaliação dos possíveis impactos ambientais negativos decorrentes da instalação do aterro sanitário industrial e dos lagos de resíduos de bauxita: Parque Industrial-ALUMAR/ALCOA. São Luís- MA.* Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Este trabalho apresenta uma análise dos possíveis impactos ambientais negativos, decorrentes da instalação do aterro sanitário industrial e dos lagos de resíduos de bauxita do Parque Industrial do Consórcio do Alumínio do Maranhão – ALUMAR, em termos de contaminação das águas superficiais e subsuperficiais das bacias hidrográficas envolvidas, baseado em um grupo de atributos, considerando um modelo exploratório. A partir de dados espaciais (ensaios laboratoriais e de campo) e mapas elaborados pela ALUMAR, nas escalas 1:10.000 e 1:20.000, foram selecionados, analisados e sintetizados todos os atributos de interesse em um conjunto de 12 documentos cartográficos. Num passo seguinte, foram investigados os aspectos do meio físico (colapsividade, erosão, afundamento, estabilidade do maciço e infiltração) e as características físicas do aterro sanitário industrial e dos lagos de resíduos de bauxita (posição em relação ao nível de água, posição em relação ao substrato rochoso, aspectos construtivos e técnicas de impermeabilização), os quais podem gerar condições de instabilização no sistema e nas fontes, provocando vazamento. Frente à análise dos dados obtidos, os acidentes na área do aterro sanitários industrial e dos lagos de resíduos de bauxita, podem ser ocasionado por infiltração e erosão. A contaminação decorrente de vazamentos nesta região não atingirá níveis profundos devido à presença de material silte arenoargiloso da Formação Alter do Chão, pouco permeável, que impedirá o deslocamento dos contaminantes em profundidade, promovendo o espalhamento lateral controlado pelas camadas que comportam-se como drenos, e assim os contaminantes poderão ser interceptados pelos canais de drenagem, poluindo as águas superficiais e subsuperficiais e, por consequência, todos os componentes do meio ambiente.

Palavras-chave: impacto ambiental negativo; aterro sanitário industrial; lagos de resíduos de bauxita.

ABSTRACT

VIEIRA, A.V.R. (2001). *Evaluation of the possible negative environmental impacts associated to the installation of industrial sanitary landfill and of lakes of the bauxite residues: Park Industrial-ALUMAR/ALCOA. São Luís - MA.* Dissertation (Mestrado)-School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo.

This work presents an analysis of the possible negative environmental impacts associated to the installation of industrial sanitary landfill and of lakes of bauxite residues at the Industrial Park of Aluminum Consortium in Maranhão-ALUMAR, in terms of contamination of superficial waters and groundwater, based on a group of attributes, and considering an exploratory model. From laboratories, field data and maps elaborated by ALUMAR, at scales 1:10,000 and 1:20,000, the attributes were put into 12 cartographic documents. The analyses were done considering collapsible, erosion, settlement, slope stability and infiltration conditions of the areas, technological characteristics of industrial sanitary landfill of the bauxite waste lakes and spacial position in relation to groundwater level and rocky substratum. According to the analysis of the data obtained, the accidents in the area of industrial sanitary landfill and of the lakes of bauxite residues can be caused by infiltration, due to both a deficiency in its impermeabilization system and erosion. The current contamination in this area will not reach deep levels due to the presence of clayey sand silt layers of the Alter do Chão Formation, and low permeability, which impede the movement of pollutants in depth. On the other hand, this layer should promote the lateral dispersal controlled by the layers which behave as drains. The pollutants can be intercepted by the drainage channels, polluting the superficial waters and groundwater and, as a consequence, all the components of the environment.

Key-word: Environmental impact; industrial sanitary landfill; lakes of bauxite residues

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Os impactos ambientais negativos decorrentes da instalação de um Parque Industrial podem levar a uma acelerada degradação do meio ambiente, pois reúnem grande contingente de formas de ocupação, que são responsáveis pela geração de vários tipos de rejeitos, resíduos e poluentes.

As altas concentrações de contaminantes e algumas formas de disposição fazem que os efluentes e resíduos industriais ofereçam grande risco de contaminação de águas subterrâneas (GUEDES, 1991; HADDAD, 1991; REBOUÇAS, 1992).

Uma caracterização por tipo de contaminante associada às indústrias existentes no estado de São Paulo foi realizada por CETESB (1977). De acordo com este órgão, os elementos específicos de poluição industrial são: cianetos (CN^-), cloretos (Cl^-), metais pesados e em especial o cromo (Cr), nitrogênio (N), enxofre (S) e fósforo (P), e o parâmetro demanda química de oxigênio (DBO). Dessa forma, foi estabelecida uma relação entre os principais tipos de indústrias do estado e os elementos que caracterizam a poluição gerada por cada uma delas. Os segmentos industriais potencialmente poluidores são: papel e celulose, química e petroquímica, petróleo, metalurgia, alimentos, mineração e os ligados a produtos têxteis.

Além dos metais pesados ou compostos orgânicos que atingem as águas subsuperficiais por meio de descargas ou vazamentos de efluentes, as descargas de

detritos industriais tóxicos são a principal fonte de contaminação das águas subsuperficiais, através da lixiviação das pilhas de resíduos (REBOUÇAS, 1992). Nos E.U.A., uma inspeção em mais de 8.000 depósitos de detritos industriais revelou que mais de 70% deles eram desprovidos de qualquer técnica de impermeabilização. Cerca de 30 % estavam localizados sobre materiais de alta permeabilidade, e jaziam sobre lençóis utilizáveis de água.(CORSON, 1993).

Neste sentido, tem sido desenvolvido, nos últimos anos, estudos que visam avaliar os problemas ambientais, tendo como enfoque contaminação de águas subsuperficiais, para determinadas áreas, considerando-se os tipos de fontes, os poluentes, a frequência e a intensidade. Como exemplos destes trabalhos podem ser citados: GUIGUER JUNIOR e GREENHOUSE *et al.* (1987), BERNARDES JUNIOR & CLEARY (1988), ZUQUETTE *et al.* (1994), N. MIRAC *et al.* (1998), IRENE *et al.* (1999), FERREIRA (1999) e PALMA (1999).

A região escolhida para estudo compreende o Parque Industrial do Consórcio de Alumínio do Maranhão - ALUMAR, por reunir várias fontes potenciais de poluentes, que consistem nas formas de disposição de resíduos, das quais podemos destacar: pátios de estocagem de resíduos, lagoas de disposição de resíduo de bauxita, aterro sanitário industrial, lagoa de resfriamento, lagoa de água contaminada e depósitos de resíduos em área com meio ambiente específico.

O objetivo principal desse trabalho é avaliar os impactos ambientais negativos, decorrentes da instalação do aterro sanitário industrial e dos lagos de resíduos de bauxita do Parque Industrial ALUMAR, que opera desde 1984 em São Luís/MA, em termos de contaminação das águas superficiais e subsuperficiais, baseada em um grupo de atributos que estão relacionados a um modelo exploratório.

Dessa forma, serão apresentados os resultados obtidos, baseando-se nas interações entre os componentes do meio ambiente e as fontes potenciais de poluentes, frente à análise dos processos do meio físico, como colapsividade, erosão, afundamento, estabilidade do maciço e infiltração, associados às características físicas do aterro sanitário industrial e dos lagos de resíduos de bauxita, como a posição em relação ao nível de água, posição em relação ao substrato rochoso, aspectos construtivos e métodos

de impermeabilização, os quais podem gerar condições de instabilização, provocando vazamento, o que causaria grandes danos ao meio ambiente, como modificações intensas na dinâmica da área atingida, e produziria perdas além dos limites aceitáveis.

Capítulo 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ASPECTOS SOBRE AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS (AIA) NO BRASIL

A institucionalização da AIA, no Brasil e em diversos países, guiou-se pela experiência americana, em vista da grande efetividade que os Estudos de Impacto Ambiental demonstraram no sistema legal da “common law” dos Estados Unidos.

Em 1969, os Estados Unidos aprovaram o “National Environmental Policy Act-NEPA”, que corresponde, no Brasil, à Política Nacional do Meio Ambiente. O NEPA instituiu a execução de Avaliação de Impacto Ambiental interdisciplinar para projetos, planos e programas e para propostas legislativas de intervenção no meio ambiente (MAGRINI, 1989 e CORRÊA, 1990). O documento que apresenta o resultado dos estudos produzidos pela AIA recebeu o nome de Declaração de Impacto Ambiental (“Environmental Impact Statement-EIS.”). O EIS mostrou-se um instrumento eficiente, principalmente no que se refere à participação da sociedade civil nas tomadas de decisão pelos órgãos ambientais, via audiências públicas. Seguramente, o grau de educação e politização, esclarecimento e conscientização da sociedade americana foram fatores determinantes para a efetividade do instrumento.

Ao liderarem o processo de institucionalização da AIA como instrumento de gestão ambiental, especialmente a partir da realização da Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente, em 1972, em Estocolmo, as empresas, centros de

pesquisa e universidades dos países desenvolvidos propiciaram o florescimento de uma ampla literatura especializada sobre AIA e EIA/RIMA. Essa produção reorientou a definição de metas, o planejamento, o processo decisório e a operacionalização de políticas de desenvolvimento e intervenções econômicas, antes orientadas por parâmetros exclusivamente econômico-financeiros.

O processo de consolidação institucional da aplicação da AIA, em nível mundial, ocorreu nos anos 80, gerando um avanço na discussão acerca de sua concepção, fases de execução, atos sociais envolvidos e inserção no processo de tomada de decisão. Esse avanço tem como denominador comum a aplicação do caráter participativo da AIA, com a inserção do público em diferentes fases do processo de avaliação e uma maior transparência e efetividade da ação administrativa.

Diferentemente dos países desenvolvidos, que implantaram a AIA em resposta a pressões sociais e ao avanço da consciência ambientalista, no Brasil ela foi adotada, principalmente, por exigência dos organismos multilaterais de financiamento (Banco Interamericano de desenvolvimento-BID e Banco Mundial-BIRD).

Essas exigências ocorreram tanto em função das repercussões internacionais dos impactos ambientais negativos causados pelos grandes projetos de desenvolvimento implantados na década de 70, como dos desdobramentos da Conferência de Estocolmo, em 1972, que recomendou aos países, de um modo geral, a inclusão da AIA no processo de planejamento e decisão de planos, programas e projetos de desenvolvimento.

Em razão dessas exigências internacionais, alguns projetos desenvolvidos em fins da década de 70 e início dos anos 80 e financiados pelo BIRD e BID foram submetidos a estudos ambientais, dentre eles: as usinas hidrelétricas de Sobradinho, na Bahia, e de Tucuruí, no Pará; e o terminal porto-ferroviário Ponta da Madeira, no Maranhão, ponto de exportação do minério extraído pela CVRD, na Serra do Carajás. No entanto, os estudos foram realizados segundo as normas das agências internacionais, já que o Brasil ainda não dispunha de normas ambientais próprias.

A partir de então, foram surgindo outras experiências e a Avaliação de Impacto Ambiental foi aos poucos ganhando conteúdo legal e administrativo, até

culminar com a aprovação da Resolução CONAMA 001/86 (HARDT & LOPES, 1990 e MILANO, 1990).

Após a aprovação da Resolução CONAMA 001/86, seguiu-se um período de incertezas e de adaptação por parte dos órgãos de meio ambiente existentes. Tal fato foi atribuído à falta de tradição de planejamento em nosso País, às diferenças regionais na edição de leis complementares à Resolução, a problemas de interpretação da legislação federal e à falta de definição de atribuições e competências em nível dos órgãos ambientais. Esse período foi marcado por intensa mobilização, busca de informações e de intercâmbio em torno do funcionamento do processo de AIA no País. Foram realizados diversos eventos nos quais foram definidos os seguintes requisitos básicos para a operacionalização da AIA no Brasil:

- Criar procedimentos de licenciamento ambiental específicos, conforme os tipos de atividades;
- Treinar equipes multidisciplinares na elaboração de EIA/RIMA;
- Treinar pessoal dos órgãos de meio ambiente para analisar os casos de AIA no País;
- Gerar instruções e guias específicos para conduzir os diferentes tipos de estudos, de acordo com as características dos projetos propostos.

Passados mais de 12 anos da institucionalização da AIA no Brasil, pode-se constatar que o EIA/RIMA tem auxiliado os órgãos de meio ambiente na tomada de decisão quanto à concessão de licenças ambientais e servido como instrumento de negociação entre os agentes envolvidos nos projetos propostos. Todavia, os EIA/RIMA têm contribuído muito pouco para aperfeiçoar a concepção dos projetos propostos e para a gestão ambiental no seu todo.

2.2 CONCEITOS

Com objetivo de contribuir para uma melhor compreensão das questões conceituais, serão apresentados neste tópico, conceitos de alguns termos freqüentemente utilizados e aceitos pelo autor deste trabalho, quais sejam: meio

ambiente, contaminação e poluição, impacto ambiental, avaliação de impacto ambiental, incluindo estudo de impacto ambiental e relatório ambiental; gestão ambiental; desenvolvimento sustentável e termos afins.

2.2.1 Meio Ambiente

Compreender o significado do termo “meio ambiente” é de suma importância em estudos ambientais que enfocam questões referentes à degradação ambiental.

Diversas são as definições utilizadas para o termo “meio ambiente”, podendo ser destacadas as seguintes:

Entende-se como meio ambiente “o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas”. Este conceito, extraído do texto da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei federal 6938/81), é bem abrangente, alcançando a vasta gama de componentes e fatores que interagem e definem um determinado espaço.

O conceito é, de certa forma, equivalente ao da norma da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (1989), para a qual meio ambiente consiste em “determinado espaço onde ocorre a interação dos componentes bióticos (fauna e flora), abióticos (água, rocha e ar) e biótico-abiótico (solo). Em decorrência da ação humana, caracteriza-se também o componente cultural”.

Meio ambiente, segundo GRINOVER (1989), é um jogo de interações complexas entre o meio suporte (elementos abióticos), os elementos vivos (elementos bióticos) e as práticas sociais produtivas do Homem. O todo ambiental compreende: flora, fauna, processos físicos naturais, utilização do espaço pelo Homem, etc. A apreciação da importância desses elementos está, segundo GRINOVER (*op. cit.*), diretamente ligada à cultura, à classe social e às atividades de cada indivíduo.

Segundo SACHAS (1972), meio ambiente inclui o natural, as tecnoestruturas criadas pelo Homem (ambiente artificial) e o ambiente social (ou cultural). Inclui todas as interações entre os elementos naturais e a sociedade humana. Inclui, assim, os domínios ecológicos, social, econômico e político.

Para FORNASARI FILHO & BITAR (1995) o meio ambiente consiste na interação de componentes abióticos (rocha, ar, água), bióticos (vegetal, animal) e sociais e econômicos (humanos), considerados, respectivamente, no meio físico, biótico e socioeconômico ou antrópico.

2.2.2 Contaminação e Poluição

Os termos “contaminação” e “poluição” têm sido utilizados regulamente como sinônimos. Tal fato talvez se justifique pela origem das duas palavras, que *grosso modo* significam a mesma coisa. BRANCO (1991) analisa a origem e significado dessas palavras e informa que a palavra *poluição* deriva do latim (*polluere*) que significa manchar, sujar, e a palavra *contaminação*, também do latim, significa misturar, infectar, sujar, manchar.

ZUQUETTE (1993) define contaminação como qualquer alteração causada nos componentes do meio por atividades antrópicas, que podem provocar problemas indiretos ou diretos nos seres vivos no decorrer de períodos longos de tempo. Poluição seria um conjunto de alterações que provocam mudanças no meio e que o tornam impróprio para o desenvolvimento das atividades naturais normais ou antrópicas correntes.

Segundo a Norma ABNT-NBR 10.703 (1989), contaminação é uma introdução, no meio ambiente (ar, água ou solo) ou em alimentos, de organismos patogênicos, substâncias tóxicas ou radioativas, em concentrações nocivas ao Homem, ou outros elementos que possam afetar a sua saúde. É um caso particular de poluição.

E poluição, a Norma ABNT-NBR 10.703 (*op. cit.*) define como a degradação da qualidade ambiental, resultante de atividades humanas que, direta ou indiretamente, prejudiquem a saúde, a segurança, e o bem-estar da população, criando condições adversas às atividades sociais e econômicas; ou afetem desfavoravelmente a biota, as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; e lancem matérias ou energias em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos. Essas matérias ou energias podem causar modificações prejudiciais ao meio ambiente e à saúde pública. Vários órgãos de controle ambiental e de saúde pública têm padronizado valores para estas matérias ou energias reconhecidamente

prejudiciais ao Homem, para a garantia de sua qualidade de vida e preservação do meio ambiente.

2.2.3 Impacto Ambiental

CUSTÓDIO (1995) analisa a origem e significado desse termo e esclarece que a palavra *impacto* ou *impacte* deriva do latim *impactu*, que significa, atirado, lançado, quebrado contra outra coisa, com efeitos evidentemente danosos.

Até hoje, não existe um consenso em torno da definição mais adequada e correta do conceito impacto ambiental. Segundo a análise de SÁNCHEZ (1994), as definições desse conceito variam de acordo com a formação e experiência de cada profissional: "... engenheiros tendem a ligar o conceito de impacto ambiental às consequências da implantação de projetos, enquanto que para os cientistas naturais, as causas das alterações ambientais classificadas como impacto em geral não são discutidas. Em contrapartida, as definições dadas pelos cientistas naturais tendem a explicar impacto ambiental em termos de mudanças de processos ou estruturas dos ecossistemas, explicação em geral ausente das respostas dadas pelos engenheiros. De um modo geral, há a predominância de um paradigma naturalístico que associa impacto ambiental às mudanças ocorridas no ambiente natural, deixando de lado as alterações de cunho social, alterações na qualidade de vida das populações humanas ou mudanças nos ambientes construídos.

Para TOMMASI (1994), o conceito de impacto ambiental muda de acordo com o órgão ou entidade que o define, como é o caso do "Glossário de Ecologia" da ACIESP (1987), que define impacto ambiental como sendo: "... toda ação ou atividade, natural ou antropogênica, que produz alterações bruscas em todo meio ambiente ou apenas em alguns dos seus componentes. De acordo com o tipo de alteração, pode ser ecológico, social ou econômico..."; ou ainda, a definição feita pelo CONAMA, através da Resolução Nº 1, art. 1º, de 23.01.86: "impacto ambiental representa qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da

população; as atividades sociais e econômicas, a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente, a qualidade de recursos ambientais.

Para SÁNCHEZ (1994), impacto ambiental é a alteração da qualidade ambiental que resulta da modificação de processos naturais ou sociais provocados por uma ação humana.

Para esse autor, a definição de poluição não reflete a abrangência que o termo impacto ambiental deve conter, pois o conceito de poluição tem sempre conotação negativa, enquanto que o conceito de impacto ambiental leva em consideração mudanças tanto negativas quanto positivas para uma determinada área e um determinado espaço de tempo. Outra grande diferença é a possibilidade de se medir a poluição e estabelecer padrões de assimilação do meio (padrões ambientais) por meio de grandezas físicas, permitindo, assim, definir com clareza os direitos e responsabilidades do poluidor, do fiscalizador, bem como os da população. O conceito de impacto ambiental, por outro lado, lança mão do conceito de qualidade ambiental, que deve ser descrita com a ajuda de indicadores “objetivos” (critérios) e apreendida no nível de sua percepção pelos diferentes atores sociais. Ou seja, é um fator subjetivo, justamente porque diferentes atores sociais têm percepções entre esses indicadores, investigando os processos pelos quais a alteração em um deles vem refletir nos demais.

Sob essa ótica, um outro termo associado ao conceito de impacto ambiental é, geralmente, utilizado em AIA's: o termo significância do impacto. DUINKER (1986) relacionou uma série de critérios que deveriam ser incorporados no contexto, para se determinar a significância dos impactos ambientais. Esses critérios incluíam:

1. a magnitude do impacto;
2. extensão espacial do impacto;
3. duração do impacto;
4. probabilidade do impacto acontecer;
5. segurança nas previsões;
6. a existência de critérios (ou seja, padrões de qualidade do ar ou da água); e
7. a controvérsia envolvendo a proposta de desenvolvimento;

Para que esses critérios possam ter utilidade aos tomadores de decisão, devemos ainda considerar:

- uma escala apropriada da magnitude para que seja possível a combinação de diferentes variáveis com consistência matemática; e
- uma atribuição de pesos às variáveis a fim de cada uma contribuir para o índice de impactos com sua relativa importância.

A maneira adotada pelos AIA's canadenses de classificarem a significância dos impactos ambientais previstos foi a de adotar uma escala de quatro categorias, definidas preliminarmente sob bases ecológicas, cujas considerações incluíam: (1º) impactos principais: a proporção de uma população ou espécie afetada; (2º) impactos moderados: a habilidade da população de se recuperar; (3º) impactos menores: o número de gerações perdidas antes da recuperação acontecer; (4º) impactos insignificativos.

Ainda segundo DUINKER (1986), essa maneira de classificação torna-se falha, uma vez que leva em consideração a qualidade relativística do termo significância, bem como alguns fatores dentro do contexto, tais como: (a) competição entre recursos; (b) sensibilidade ambiental; (c) sensibilidade social; e (d) a escala e taxa de desenvolvimento. Foram, então, organizados encontros com profissionais da área para se restabelecer novos rumos sobre o conceito. Foi a partir daí que houve uma mudança do paradigma convencional para uma proposta baseada em quatro novas perspectivas:

- **Perspectiva estatística**

A perspectiva estatística baseia-se na determinação estatística (probabilidade de erros nas previsões) das diferenças significativas de variáveis previstas antes e depois (monitoramento) da implementação de um projeto.

- **Perspectiva Ecológica**

A perspectiva ecológica abrange assuntos específicos como: mudança do habitat de procriação, extinção local de espécies, perda de população, redução da produtividade primária e perda de estabilidade do ecossistema. Para que houvesse um critério de julgamento organizado de "impacto significativo" foi estabelecida uma série de requerimentos para se conduzir os estudos dos impactos ecológicos, a saber:

1. Identificação de atributos ambientais;
2. Definição de um contexto no qual a significância das mudanças desses atributos ambientais possa ser determinada;
3. Demonstração clara dos limites e resoluções entre o projeto proposto e os componentes do ecossistema;
4. Declaração explícita das previsões de impactos e demonstração das bases pelas quais eles foram derivados e;
5. Demonstração detalhada dos compromissos para o monitoramento.

▪ Perspectiva Social

A perspectiva social é centrada nos efeitos das ações humanas sobre o ambiente natural, físico ou social e envolve o julgamento, pela sociedade, dos valores da significância ou importância desses efeitos. Tais julgamentos são sempre baseados em critérios sociais e econômicos, refletindo a realidade política da avaliação de impacto cuja significância é traduzida na aceitabilidade e desejo público e engloba:

1. a segurança e saúde da população;
2. a perda de espécies comercialmente importantes e da produção comercial disponível;
3. a importância estética e recreacional do local;
4. a preservação de espécies raras e em extinção;
5. a preocupação com o habitat das próximas gerações; e
6. a preocupação com o desbalanço entre o suprimento e demanda de espécies e habitats dentro de um contexto local, regional e nacional.

▪ Perspectiva do Projeto

A perspectiva do projeto é o julgamento da significância dos impactos do ponto de vista decisório (coletivo, judicial ou político) e depende intrinsecamente das perspectivas estatística, ecológica e social. Em outras palavras, se um impacto representa estatisticamente uma alteração significativa de algum atributo socialmente ou ecologicamente importante, então, presumivelmente, esse impacto deve ser considerado significativo do ponto de vista do projeto e deve também ser levado em consideração durante o processo decisório de viabilidade desse projeto.

Portanto, a necessidade de se estabelecer critérios para a determinação dos impactos significantes torna-se evidente, principalmente porque ele fornece as bases pelas quais os pesquisadores podem se orientar para desenvolver suas investigações.

Segundo ZUQUETTE (1993), para entender a evolução do conceito de impacto ambiental, pode-se recorrer a três bibliografias básicas que são: LEOPOLD *et al.* (1971), LUTTIG (1987) e HERMELIN (1991).

Na Figura 2.1, observa-se um fluxograma que permite entender a evolução do conceito de impacto ambiental.

Figura 2.1 – Fluxograma do conceito de impacto ambiental (Modificado de HERMELIN, 1991)

- 1 Segundo a proposta de LEOPOLD *et al.* (1971), os passos D e F não eram considerados e, nesta situação, as características do meio ambiente tinham pouca importância no processo de análise.
- 2 LUTTIG (1978) e HERMELIN (1991) adotaram a base de LEOPOLD *et al.* (1971) e acrescentaram as características do Meio Ambiente (passo D e F).

De acordo com a Deliberação CECA nº 1078 de 25/junho/1987 (RJ), são os seguintes os tipos de impacto ambiental:

1. ***Impacto positivo ou benéfico*** – quando a ação resulta na melhoria da qualidade de um fator ou parâmetro ambiental (p. ex. deslocamento de uma população residente em palafitas para uma nova área adequadamente localizada e urbanizada).
2. ***Impacto negativo ou adverso*** – quando a ação resulta em um dano à qualidade de um fator ou parâmetro ambiental (p. ex. lançamento de esgotos não tratados num lago).
3. ***Impacto direto*** – resultante de uma simples relação causa e efeito (p. ex. perda de diversidade biológica pela derrubada de uma floresta).
4. ***Impacto indireto*** – resultante de uma reação secundária em relação à ação, ou quando é parte de uma cadeia de reações (p. ex. formação de chuvas ácidas).
5. ***Impacto local*** – quando a ação afeta apenas o próprio sítio e suas imediações (p. ex. mineração).
6. ***Impacto regional*** – quando o impacto se faz sentir além das imediações do sítio onde se dá a ação (p. ex. abertura de uma rodovia).
7. ***Impacto estratégico*** – quando o componente ambiental afetado tem relevante interesse coletivo ou nacional (p. ex. implantação de projetos de irrigação em áreas como o Nordeste brasileiro, flageladas pela seca).
8. ***Impacto imediato*** – quando o efeito surge no instante em que se dá a ação (p. ex. mortandade de peixes devida ao lançamento de produtos tóxicos).
9. ***Impacto a médio ou longo prazo*** – quando o impacto se manifesta certo tempo após a ação (p. ex. bioacumulação de contaminantes na cadeia alimentar).

10. *Impacto temporário* – quando seus efeitos têm duração determinada (p. ex. efeitos de um derrame de petróleo sobre uma encosta rochosa, que recebe impacto das ondas).
11. *Impacto permanente* – quando, uma vez executada a ação, os efeitos não cessam de se manifestar num horizonte temporal conhecido (p. ex. a derrubadas de um manguezal).
11. *Impacto cíclico* – quando o efeito se manifesta em intervalos de tempo determinado (p. ex. anoxia devida à estratificação da coluna d'água no verão e reaeração devida à mistura vertical no inverno, num corpo hídrico costeiro que receba esgotos municipais)
12. *Impacto reversível* – quando o fator ou parâmetro ambiental afetado cessada a ação, retorna às suas condições originais (p. ex. poluição do ar pela queima de pneus).

RODRIGUES (1988) discute impactos extensivos e impactos intensivos. Para ele, impactos extensivos são aqueles causados pela impossibilidade (ou grande dificuldade) de delimitar sua área abrangência, bem como seus possíveis efeitos cumulativos, progressivos e crônicos. Impactos intensivos são aqueles que abrangem uma área bem delimitável, qualquer que seja a sua extensão.

2.2.4 Avaliação de Impacto Ambiental

MOREIRA (1985 e 1990) conceitua a avaliação de impacto ambiental como sendo um instrumento de política ambiental, formado por um conjunto de procedimentos capazes de assegurar, desde o início do processo, que se faça um exame sistemático dos impactos ambientais de uma ação proposta (projeto, programa, plano ou política) e de suas alternativas, e que os resultados sejam apresentados de forma adequada ao público e aos responsáveis pela tomada de decisão, e por eles considerados. Além disso, os procedimentos devem garantir a adoção de determinadas medidas de proteção do meio ambiente, no caso de decisão sobre a implantação de um projeto.

Deste modo, a avaliação de impactos ambientais não deve ser considerada apenas como uma técnica, mas como uma dimensão política de gerenciamento, educação da sociedade e coordenação de ações impactantes (CLAUDIO, 1987), pois permite a incorporação de opiniões de diversos grupos sociais (QUEIROZ, 1990).

Esta definição é extremamente elucidativa, na medida em que evidencia que a avaliação de impactos ambientais subsidia o processo de tomada de decisão, já que se atém apenas às ações propostas. Portanto, vale destacar que a utilização da técnica de avaliação de impactos ambientais, após ter sido tomada a decisão, ou depois de executada a ação impactante, perde completamente as suas finalidades, já que se limita a fornecer alternativas para a correção dos impactos mais pronunciados (CANTER, 1977 e MUNN, 1979).

2.2.5 Estudo de Impacto Ambiental (EIA)

Segundo MOREIRA (1990), é um dos elementos do processo de avaliação de impacto ambiental. Trata-se da execução por equipe multidisciplinar das tarefas técnicas e científicas destinadas a analisar, sistematicamente, as conseqüências da implantação de um projeto no meio ambiente, por métodos de AIA e técnicas de previsão dos impactos ambientais..

Estudo de Impacto Ambiental (EIA), segundo MUNN (1975), é “uma atividade com o objetivo de identificar e predizer o impacto, no ambiente e na saúde pública, de propostas legislativas, programas de desenvolvimento, projetos, etc., como, também, de interpretar e comunicar informações sobre os impactos”.

Para AFONSO *et al.* (1991), o EIA abrange os trabalhos destinados a prognosticar as conseqüências da execução de um projeto sobre o meio ambiente e estabelecer medidas corretivas. O estudo de impacto ambiental é o núcleo em torno do qual se articula o processo de avaliação ambiental.

2.2.5.1 Área de influência

Para efeito da Resolução 001/86 – CONAMA, a área de influência é uma das diretrizes gerais do estudo de impacto ambiental, exigidas no artigo 5º, que

determina o seguinte: “Definir os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos, denominada área de influência do projeto, considerando, em todos os casos, a bacia hidrográfica na qual se localiza”.

Segundo MOREIRA (1992), os estudos elaborados para as três áreas de conhecimento: meio físico, meio biológico e meio socioeconômico. Para cada área é exigido que, na fase de diagnóstico, sejam levantados os dados da área de influência direta e indiretamente afetada.

2.2.5.2 Diagnóstico Ambiental

Diagnóstico Ambiental refere-se a uma das primeiras etapas do estudo de Impacto Ambiental, conforme a exigência do artigo 6º da Resolução 001/86 do CONAMA (1991), que define como diagnóstico ambiental a completa descrição da área de influência de um projeto, bem como a análise dos recursos ambientais e suas interações, tais como existem, de modo a caracterizar a situação ambiental do local.

Em síntese, o objetivo do diagnóstico é o levantamento dos parâmetros do meio físico, meio biológico e socioeconômico, em uma área de influência previamente determinada, a fim de se conhecer a situação ambiental atual. Servirá, portanto, como base para estudar as diversas implicações que advirão da atividade em questão.

2.2.5.3 Prognóstico

Entende-se por prognóstico o conjunto de ações que servirão na análise de impactos ambientais do projeto e de alternativas, por meio da identificação da magnitude e interpretação da importância dos prováveis impactos relevantes, discriminando: os impactos positivos e negativos (benéficos e adversos), diretos e indiretos, imediatos, a médio e longo prazos, temporários e permanentes; seu grau de reversibilidade e suas propriedades cumulativas e sinérgicas, a distribuição dos ônus e benefícios sociais (Resolução 001/86 – CONAMA – Art. 6º).

2.2.5.4 Medidas Mitigadoras

As medidas mitigadoras são aquelas que objetivam minimizar os impactos ambientais negativos, sendo, portanto, importante que tenham caráter preventivo e ocorram na fase de planejamento da atividade; conseqüentemente, há necessidade de que sejam implementadas e adaptadas às diferentes fases do licenciamento ambiental.

No Brasil, têm-se definido medidas mitigadoras como aquelas capazes de suprimir ou reduzir o impacto ambiental negativo, e na impossibilidade técnica, econômica ou política de adotá-las, qualquer outra medida é apenas compensatória, ou seja, não mantém as riquezas ecológicas, estéticas e éticas da área afetada, apenas as substitui. As medidas minimizadoras de impactos negativos de empreendimentos normalmente são indicadas para as perdas na flora, fauna, patrimônio paisagístico, cultural, histórico e social das populações atingidas. (MEDEIROS, 1989).

2.2.6 Relatório de Impacto Ambiental (RIMA)

De acordo com MOREIRA (1990), o relatório de impacto ambiental é o documento que apresenta os resultados dos estudos técnicos e científicos de avaliação de impacto ambiental.

Sinteticamente, a Resolução 001/86 do CONAMA (1991) considera que o RIMA deve refletir as conclusões do estudo de impacto ambiental contendo, no mínimo, objetivos e justificativas do projeto e suas alternativas, síntese do diagnóstico ambiental, descrição dos prováveis impactos ambientais da implantação e operação da atividade, caracterização da qualidade ambiental futura, descrição do efeito esperado das medidas mitigadoras, programa de acompanhamento e monitoramento e recomendações de alternativas mais favoráveis.

Considera-se, então, o relatório de impacto ambiental como a síntese do estudo de impacto ambiental.

2.2.7 Gestão Ambiental

CHADWICK (1971) e LEE (1975) conceituam a gestão ambiental como sendo a continuidade do planejamento ambiental, onde se inclui toda ação antrópica capaz de alterar essencialmente o ambiente humano em relação ao cumprimento dos objetivos de um sistema específico, que, via de regra, passa pelas seguintes etapas:

- Identificação e descrição do sistema;
- Definição dos objetivos com base nos problemas atuais, futuros e suas inter-relações;
- Geração de soluções que satisfaçam os objetivos, sem violar as restrições do sistema;
- Seleção da solução mais adequada;
- Execução e controle.

Para SELDEN (1973), tal processo pode ser entendido como a condução, direção e controle, pelo governo, do uso dos recursos naturais por meio de determinados instrumentos, o que inclui medidas econômicas, regulamentos e normalizações, investimentos públicos e financiamentos, requisitos interinstitucionais e judiciais.

No entendimento de TOLBA (1982), a gestão ambiental refere-se ao gerenciamento de todas as atividades humanas que tenham significativo impacto sobre o meio ambiente. Essa nova forma de gerir alarga o conceito de processo de desenvolvimento, ao incluir como objetivo maior a qualidade ambiental, e ao permitir que ele se dê por um longo prazo e em bases sustentáveis

Segundo SOUZA (1996), essa abordagem sistêmica do meio ambiente, por meio da gestão ambiental, propicia uma aplicação mais próxima da realidade. Pois ela cria canais de comunicação nos quais os fatores ambientais serão identificados, analisados, ponderados e administrados, observando-se todas as áreas do conhecimento, permitindo, assim, a compreensão global dos problemas, e também a aplicação de novas soluções, ambientalmente mais adequadas.

Segundo SOUZA (*op. cit.*), o método de execução da gestão ambiental deve obedecer às seguintes etapas:

- Caracterização ambiental;
- Análise ambiental;
- Ações mitigadoras;
- Monitoramento.

O mesmo autor propõe a ilustração (Figura 2.2) que mostra a inter-relação das etapas do sistema de gestão ambiental:

FIGURA 2.2 – Relações envolvidas no Sistema de Gestão Ambiental (SOUSA, 1996) .

2.2.8 Técnica, Modelo, Método, Sistemática e Metodologia

Adaptando-se as definições estabelecidas por FERREIRA (1986) aos objetivos deste trabalho, os termos podem assumir os seguintes significados:

- **Técnica** – conjunto de processos especiais para a execução ou realização de um trabalho;
- **Modelo** – conjunto de hipóteses sobre a estrutura ou comportamento de um sistema pelo qual se procura explicar ou prever, dentro de uma teoria científica, as propriedades do sistema;

- **Método** – programa que regula previamente uma série de operações que se devem realizar, apontando erros evitáveis, em vista de resultado determinado;
- **Sistemática** – refere-se à classificação de um sistema estudado, seguindo determinada linha de pensamento e/ou ação;
- **Metodologia** – conjunto de técnicas utilizadas para ultrapassar a subjetividade no processo de investigação.

2.3 IMPACTO AMBIENTAL X ATIVIDADES MODIFICADORAS DO MEIO AMBIENTE

O meio ambiente encontra-se sujeito a constantes alterações, que podem ser, segundo FORNASARI FILHO (1995), resultantes dos processos do meio físico ou tecnológicos. Os processos do meio físico decorrem de interações com predominância de componentes abióticos e referem-se ao desenvolvimento e sucessão de fenômenos potencializados pela interação de componentes materiais e tipos de energia, podendo ser deflagrado, acelerado ou retardado por agentes físicos, químicos, biológicos (fauna e flora) ou humanos, num determinado ambiente (Tabela 2.1). Os processos tecnológicos relacionam-se às interferências do Homem no meio ambiente, sendo acionados pelas atividades modificadoras do meio ambiente (Tabela 2.2).

TABELA 2.1 – Processos do meio físico (adaptado de FORNASARI FILHO *et al.*, 1992).

PROCESSO DO MEIO FÍSICO	
1. Carstificação	11. Expansão de solo ou rocha
2. Circulação de água no ar	12. Interações físico-químicas na água, solo e rocha
3. Circulação de gases no solo e na rocha	13. Inundação
4. Circulação de partículas e gases na atmosfera	14. Movimentação das águas de subsuperfície
5. Corrida de massa	15. Movimento de bloco
6. Deposição de sedimentos ou partículas	16. Potencialização e desencadeamento de sismos
7. Erosão eólica	17. Processos pedogenéticos
8. Erosão pela água	18. Queda de detrito
9. Escoamento das águas em superfície	19. Rastejo de solo
10. Escorregamento	20. Subsidência

TABELA 2.2 – Atividades modificadora do meio ambiente (adaptado de FORNASARI FILHO *et al.*, 1992).

ATIVIDADES MODIFICADOURA DO MEIO AMBIENTE	
1. Aeroporto	10. Escorregamento
2. Agroindústria	11. Irrigação
3. Aterro sanitário	12. Linha de transmissão
4. Barragem	13. Mineração
5. Canal e retificação do curso d'água	14. Porto
6. Dutovia	15. Projeto urbanístico
7. Estrada de rodagem	16. Unidade industrial
8. Ferrovia	17. Usina termoeletrica
9. Escoamento das águas em superfície	

Há também um terceiro processo, que pode levar a modificações do meio ambiente: é o processo gerado pela interação conjunta dos dois processos anteriormente citados. Neste, as atividades humanas caracterizam-se como potencializadoras do desenvolvimento de fenômenos do meio físico, como enchentes, aceleração de processos erosivos, escorregamentos e assoreamentos (BITAR, 1995).

A interação entre os meios e seus diversos componentes se processa através de fluxos de energia e matéria, e estabelece uma dinâmica no ambiente, a qual tende a lhe impor controles e modificações (Figura 2.3). Essas interações condicionam-se à evolução do meio e se configuram como processos do ambiente.

FIGURA 2.3: Dinâmica do ambiente e os componentes do meio físico. (1) fluxos de energia e matéria (2) e (3) meios biológico e socioeconômicos condicionados por retroalimentação, completando a interação com o meio físico e regulando seus processos (FORNASARI FILHO *et al.*, 1992).

As alterações, às quais o meio ambiente está sujeito, são denominadas de alterações ambientais. Elas caracterizarão o impacto ambiental, quando as forem consideradas significativas. Na determinação da significância das alterações, devem-se levar em conta os seguintes aspectos: a importância dos atributos ambientais a serem alterados; a distribuição das alterações no tempo e no espaço; a magnitude das alterações, e a confiabilidade das alterações previstas e medidas (DUINKER & BEALAND, 1986). Deve-se considerar, ainda, o caráter estrutural ou conjuntural da alteração (BITAR *et al.*, 1988).

Para BOLEA (1984), nos tempos atuais, as causas que originam a maioria dos impactos ambientais têm geralmente caráter pontual ou linear, afetando em termos relativos a pequena superfície. No entanto, isso não implica que o fenômeno tenha pouca importância, uma vez que:

- Afeta a maior parte das populações;
- Os efeitos das causas, embora sejam locais, podem se prolongar por extensas áreas, manifestando-se em regiões afastadas da origem ou iniciar processo em cada lugar de difícil previsão/controle;
- Certas causas ou usos de produtos de impacto se localizam, seletivamente, sobre espaços mais valiosos.

No concernente ao uso, os impactos ambientais se produzem por uma ou várias das seguintes circunstâncias:

1. ***Impactos de ocupação*** – gerados pela simples implantação de uma atividade. Podem ser de caráter irreversível e se manifestam pela degradação do solo, de suas potencialidades produtivas, da cobertura vegetal e da fauna localizada nas imediações. São modificações também os modelos de drenagem interna e externa, que condicionam muito a estabilidade e evolução dos equilíbrios naturais;
2. ***Impactos produzidos pela emissão de contaminantes*** – Se a quantidade que é incorporada ao meio supera a capacidade de assimilação, produzem-se efeitos em cadeia sobre os ecossistemas existentes, efeitos que podem se manifestar a grande distância da

origem. Esses agentes sólidos, líquidos e gasosos, atuam no ar, água superficiais, solo e subsolo, além dos possíveis reflexos sobre a paisagem, flora e fauna;

3. *Impactos de difusão* – consequência da pressão que a localização e o desenvolvimento de uma atividade produzem sobre seu entorno. Naturalmente tais impactos ambientais estão inseridos em uma das categorias anteriores;
4. *Impactos pela atração do desenvolvimento urbano e industrial* – Esse quarto tipo de impacto pode ser bastante importante. Ainda que normalmente se manifeste em espaços afastados da origem, se refere à atração que tais desenvolvimentos exercem sobre as populações rurais de zonas mais carentes, provocando, por vezes, o desaparecimento de equilíbrio do homem com seu meio, culturas e formas originais e tradicionais de exploração primária eficaz da terra;
5. *Impactos produzidos pela extração de recursos naturais* – Em determinada quantidade, produzem o esgotamento parcial ou total do sistema. Esse tipo de impacto pode ter maior ou menor interesse para o modelo de planejamento físico, em função da distribuição dos usos no território e das técnicas a serem utilizadas, supondo-se admissível somente a exploração de forma ordenada.

Alguns autores, como LEOPOLD *et al.* (1971) e TOMMASI (1994), incluem no conceito de impacto ambiental um julgamento, qualificando-os em positivos ou negativos. Os impactos positivos, ou benéficos, resultam de uma melhoria da qualidade de uma característica ambiental, enquanto os impactos negativos, ou adversos, resultam de um dano à qualidade de uma variável ambiental.

Segundo ZUQUETTE (1993), o impacto ambiental negativo é um resultado de atividades de desenvolvimento ou de qualquer evento perigoso, que impossibilita a ocupação (uso), deteriora bens e serviços, que são ou poderão ser úteis para os seres humanos.

A avaliação dos impactos ambientais negativos é uma etapa fundamental no planejamento da ocupação de uma área, assim como nos processos de implantação

dos diferentes tipos de ocupação, reorganização territorial (regional e urbana) e no gerenciamento das atividades antrópicas.

A análise do grau do impacto deve se basear em todas as informações sobre o tipo de ocupação a ser implantado, o “hazard”, os elementos e o meio ambiente e conhecimento das exigências dos tipos de ocupação e/ou das características dos eventos perigosos (hazards) (ZUQUETTE, *op. cit.*).

Na análise dos possíveis impactos ambientais que podem ocorrer, devem se considerar alguns aspectos básicos como: fontes, tipos de efeitos, tempo de aparecimento, modificações que podem surgir e quais os objetos destas ações. As relações desses aspectos com o impacto podem ser observadas nas Figuras 2.4 e 2.5 e delas pode-se concluir que a análise de possível impacto é fundamental no processo de gestão ambiental, sempre visando o aumento da razão de rendimento, a melhor qualidade de vida e a diminuição de custos dos processos de ocupação territorial.

FIGURA 2.4 – Fluxograma básico que relaciona as fontes de informações, os objetivos operacionais (base) e os objetivos finais da avaliação dos impactos (ZUQUETTE, 1993).

FIGURA 2.5 – Quadro que demonstra as relações causas e efeitos dos impactos ambientais (ZUQUETTE, 1993).

2.3.1 Atividades Modificadoras do Meio Ambiente

Segundo (FORNASARI FILHO, 1995), as principais alterações registradas no meio ambiente são, de uma maneira geral, originadas ou potencializadas por atividades humanas. Atividades essas que alteram propriedades ou características do meio físico, ou que venham a interferir em usos preexistentes de um determinado ambiente

Como atividades modificadoras do meio podem ser citadas:

- as atividades de mineração;
- a disposição de resíduos sólidos de forma inadequada;
- as atividades agropecuárias e agroindustriais;

2.3.1.1 Mineração

A atividade de mineração sempre foi considerada como a grande vilã do equilíbrio ambiental no Brasil e também em vários países do mundo. Essa constatação fez com que um maior número de profissionais da área ambiental concentrasse as suas atenções nesse tipo de atividade.

Minerar é uma das atividades mais primitivas exercidas pelo Homem como fonte de sobrevivência e produção de bens sociais e industriais. A forma de extrair os bens minerais que a natureza nos oferece tem sido aprimorada nos últimos 50 anos. A mineração deixa um quadro de degradação oneroso freqüente na área que a abriga, quando exercida sem técnicas e controles adequados.

Todo ato de minerar modifica o meio ambiente devido ao processo de extração mineral e de deposição de rejeitos. Esse aspecto traz consigo uma dúvida questão, pois, se de uma certa maneira, a mineração degrada o meio ambiente, por outro lado é também verdade que este ambiente pode ser reconstruído de forma aceitável, limitando o impacto ambiental negativo a curto período de tempo.

A reconstrução é um dos elementos que deve ser objeto de preocupação e de ações efetivas desde os primórdios do processo de planejamento, durante a exploração da jazida, até um período posterior ao término da atividade mineira.

As etapas de extração dos minerais podem ser as mais variadas possíveis e ocorrem em dois ambientes: a céu aberto e/ou subterrâneo, ou em corpos d'água (rios ou lagos). Assim como as demais atividades modificadoras do meio ambiente, a mineração pode ser analisada segundo três fases de seu desenvolvimento: implantação, funcionamento e desativação. FORNASARI FILHO (1995) sintetiza essas três fases, e a Tabela 2.3 apresenta essas etapas, operações e suas conseqüências, resumidamente.

TABELA 2.3 - Etapas de um empreendimento minerário. (FORNASARI FILHO, 1995).

Processos	Fases desenvolvidas	Operações
<i>Implantação</i>	<ul style="list-style-type: none"> - pesquisa mineral - abertura de vias de acesso - instalação de equipamento 	<ul style="list-style-type: none"> - processo de desmatamento - estaqueamento - escavação
<i>Funcionamento</i>	<ul style="list-style-type: none"> - decapeamento - desmonte - transporte - beneficiamento - disposição de rejeitos - estocagem de produto - operação auxiliares 	<ul style="list-style-type: none"> - remoção - desagregação - transferência - purificação - armazenamento - construção - manutenção
<i>Desativação</i>	<ul style="list-style-type: none"> - restauração - reabilitação - recuperação 	<ul style="list-style-type: none"> - processo de reconstrução

O impacto ambiental tanto positivo quanto negativo causado pela mineração dependerá exclusivamente da ação exploratória. A atividade extrativa é que determinará o tipo, a magnitude e as conseqüências da alteração ambiental do meio a ser minerado.

Embora se utilizem-se técnicas avançadas e modernas para amenizar os aspectos degradacionais produzidos, muitos procedimentos necessários para a implantação do empreendimento mineiro não podem ser evitados, o que ocasiona, muitas vezes, impactos ambientais negativos inevitáveis ao meio físico.

As ações mais simples em um processo de mineração como, por exemplo, decapeamento, abertura de trincheira ou poços, entre outras, causam grandes modificações no meio ambiente, abrangendo vários níveis, tanto de superfície das camadas, como de suas propriedades físicas e químicas, assim como níveis mais internos na análise, por exemplo, perturbação local da microfauna e microflora.

FORNASARI FILHO *et al.* (1984) informam que o impacto ambiental ao meio físico é ligado diretamente a algumas características pertinentes ao meio físico, como o relevo e geologia, tipo de extração, local e tipo de beneficiamento, os rejeitos resultantes, suas características químicas e formas de disposição.

BITAR *et al.* (1990) esclarecem que, na identificação dos impactos, deve-se levar em conta que quase todas as minerações baseiam-se em trabalhos que envolvem a mobilização de terra ou escavações. Associadas a essa questão, poderiam ser lembradas as seguintes implicações: desmatamento, alteração da superfície topográfica e da paisagem, perda ou destruição de solos superficiais férteis, instabilização de encostas e terrenos em geral, alteração de corpos d'água e de níveis freáticos, exposição de áreas aos fenômenos de dinâmica superficial, como erosão e assoreamento.

Além disso, existem problemas que decorrem dos diferentes processos de desmonte como, por exemplo, o uso de explosivos que pode resultar em vibrações, ultralancamentos de fragmentos, ruídos e gases.

Ainda, os referidos autores salientam que, nas etapas subseqüentes, verificam-se os problemas acarretados com o transporte dos materiais extraídos como, por exemplo, poeira, e vibrações provocadas por veículos. Na etapa de beneficiamento, para a qual existe uma grande variedade de métodos e técnicas

associadas ao tipo de minério, quase sempre são envolvidos aditivos químicos, tratamentos mecânicos e/ou queima de combustível, cujos efeitos intervêm direta ou indiretamente no meio ambiente.

E por fim, a estocagem ou a disposição dos materiais provindos da extração e do beneficiamento, tais como o minério de baixo teor, estéril e os rejeitos em geral, constituem um problema à parte, pois demandam espaço e exigem cuidados quanto à segurança e estabilidade dos depósitos, envolvendo obras e técnicas de contenção e consolidação. Os materiais e seus depósitos podem constituir fontes poluição de água, solo e ar, alcançando a biota. A Tabela 2.4 apresenta os principais bens minerais extraídos no país e seus processos associados.

TABELA 2.4 - Alguns exemplos de processos atuantes no meio físico durante as etapas de exploração (IBRAM, 1992).

Bem mineral	Geologia	Extração	Beneficiamento	Rejeitos	Impacto ambiental negativo
<i>Argila</i>	Encostas e vales	A céu aberto por desmonte mecânico	Concentração gravimétrica	Decapeamento	Devastação local; Instabilização de áreas; Alteração de canais de drenagens; Assoreamento e alteração química.
<i>Pedra Ornamental e Britas</i>	Encostas elevadas	Desmonte explosivo mecânico e manual	Britagem, peneiramento e serragem	Decapeamento de rocha	Devastação local; Instabilização de encostas; Alterações químicas e de drenagens; Ultralançamento de fragmentos.
<i>Bauxita (Alumínio)</i>	Encostas elevadas e topo de morros	Desmonte mecânico com faixas	Britagem, peneiramento e serragem	Decapeamento de rocha	Devastação local de microfauna e microflora; Pó; Poluição de águas; Assoreamento de drenagens; Emissão de gases.
<i>Areia</i>	Vales e baixadas	Desmonte hidráulico e dragagem	Lavagem, peneiramento secagem	Decapeamento	Devastação local; Instabilização de áreas e encostas; Alteração de drenagens; Assoreamento e alteração química

SILVA (1988) aponta que os fatores que influenciam a natureza da extensão dos impactos ambientais causados por este tipo de empreendimento estão, em primeiro lugar, associados aos métodos de lavra utilizados. Como consequência, o tamanho da operação a ser utilizada na lavra e o terceiro fator dizem respeito à natureza do mineral e suas consequências, como beneficiamento, por exemplo.

SÁNCHEZ (1987) afirma que alguns tipos de projetos são dificilmente modificáveis depois de prontos (como uma auto estrada) ou são susceptíveis a mudanças apenas em seu modo de operação (barragens, por exemplo).

Porém uma mina, por estar permanentemente sendo construída, apresenta uma flexibilidade maior, decorrente de seu próprio caráter dinâmico. Isso significa que as atividades de monitoramento ambiental podem fornecer informações que levem à adoção de medidas de atenuação dos impactos ambientais negativos depois de a mina ter iniciado as atividades, ou mesmo durante o próprio período da atividade.

2.3.1.2 Disposição de Resíduos Sólidos

Os resíduos sólidos constituem hoje uma das grandes preocupações do mundo moderno. As sociedades de consumo avançam de forma a destruir os recursos naturais; e os bens, em geral, têm vida útil limitada, transformando-se cedo ou tarde em lixo.

A Tabela 2.5 permite formular um quadro ilustrativo da quantidade de resíduos *per capita* gerada diariamente em alguns países e cidades do exterior e do Brasil. Observa-se que, quanto maior o grau de desenvolvimento de um país e mesmo de um município, maior será a taxa de produção diária de resíduos sólidos *per capita*, resultado das maiores atividades econômicas e dos hábitos de consumo decorrentes.

Os resíduos (sólidos, líquidos ou gasosos) são produtos inevitáveis dos processos econômico-sociais de que dependemos. Assim como o metabolismo dos seres vivos, nossas sociedades transformam insumos em bens, em serviços e em alguns subprodutos que precisamos “eliminar” (VASCONCELOS & MOLLER, 1995).

TABELA 2.5 – Produção diária de resíduos *per capita* em alguns países e cidades

(* Fonte: RUBERG (1999);HEDERRA(1996).

País/Cidade	Produção (kg/hab./dia)	País/Cidade	Produção (kg/hab./dia)
Canadá	1,90	João Pessoa	0,70
EUA	1,50	Belo Horizonte	0,68
Holanda	1,30	San salvador	0,68
Japão	1,00	Vitória	0,66
Europa/México – DF	0,90	Curitiba	0,66
Rio de Janeiro	0,90	Petrópolis	0,53
Maceió	0,89	Tegucigalpa	0,52
São Paulo	0,88	Lima	0,50
Buenos Aires	0,80	Novo Hamburgo	0,40
San José	0,74	Índia	0,40

* Segundo a Organização Pan-americana de Saúde - OPAS

Do ponto de vista sanitário e ambiental, a adoção de soluções inadequadas para o problema do lixo faz que seus efeitos indesejáveis se agravem: os riscos de contaminação do solo, do ar e da água, a proliferação de vetores e de doenças e a catação. Com a maior concentração de pessoas nas cidades e o aumento da produção individual de lixo, os locais de tratamento e destinação final devem inspirar maiores cuidados, de modo que não se tornem irreversíveis os danos ambientais daí decorrentes. Atualmente, a existência de lixões (vazadores), locais onde são descarregados os resíduos sem quaisquer cuidados, representa uma grave ameaça à saúde pública e ao meio ambiente, conforme se observa na Figura 2.6.

A disposição inadequada pode gerar tanto problemas de contaminação, quanto aceleração nos processos do meio físico (Tabela 2.6). Os principais fatores que conduzem a esses problemas, segundo CUNHA & CONSONI (1995), são os seguintes:

- Imperfeito conhecimento das características do meio físico (rocha, solo, água, etc.) e dos resíduos ali dispostos, resultando em projeto inadequado;
- Negligência no monitoramento das condições ambientais e operacionais do aterro;
- Sobrecarga de capacidade inicial do projeto, na intenção de prolongar sua utilização.

FIGURA 2.6 - Disposição inadequada de lixo (lixão) e suas consequências ambientais. (VASCONCELOS & MOLLER, 1995).

Do lado econômico, a produção exagerada de lixo e a disposição final sem critérios representam um desperdício de materiais e de energia. Em condições adequadas, estes materiais poderiam ser reutilizados, diminuindo assim:

- o consumo dos recursos naturais;
- a necessidade de tratar, armazenar e eliminar os dejetos;
- os riscos para a saúde e para o meio ambiente.

TABELA 2.6 – Exemplificação de problemas gerados pela disposição inadequada de resíduos (CUNHA & CONSONI, 1995).

TIPO	ORIGEM	CAUSAS
Contaminação das águas subterrâneas	- falha na impermeabilização de base (aterro/lagoa de tratamento de chorume)	- impermeabilização (solo/manta) incompatível com os líquidos percolados - má compactação
	- recalques (aterro/lagoa de tratamento de chorume)	- solo natural com propriedades inadequadas - recalque devido às alterações (carga aumento da umidade, agressão ao solo)
	- elevação do nível d'água acima da base do aterro	- dados insuficientes (nível piezométrico, pluviometria, vazões, etc.)
Potencialização de processos do meio físico	- cortes em altos ângulos nas encostas	- cortes contra a foliação ou fraturamentos
	- escorregamentos e erosão	- alterações na vegetação marginal - deficiência de compactação dos aterros e resíduos dispostos
	- assoreamentos	- erosão dos cortes (solo de fácil alteração/instabilização) - carreamentos devidos à deficiência na drenagem superficial - desvegetação/alterações na áreas marginais

Segundo a Norma ABNT NBR 10004/1987, os resíduos sólidos são definidos como “resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, serviços da saúde, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível”.

De acordo a norma ABNT NBR 10004/1987, os resíduos sólidos podem ser classificados de:

- **Classe I – perigosos:** são aqueles que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, podem apresentar riscos a saúde

pública ou ao meio ambiente, ou ainda os inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos ou patogênicos.

- **Classe II – não-inertes:** são aqueles que não se enquadram nas classes I e III, e que podem ser combustíveis, biodegradáveis ou solúveis em água.
- **Classe III – inertes:** são aqueles que, ensaiados segundo o teste de solubilização da norma ABNT NBR 10006/1987, não apresentam qualquer de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de cor, turbidez, sabor e aspecto.

Cada sociedade produz um tipo de resíduo, uma mistura de materiais que variam em função de hábitos e costumes da população, do clima e da estação, e das atividades econômicas, e que variam ao longo do tempo. A identificação periódica das características do resíduo de cada localidade é a primeira etapa para uma correta administração do problema dos resíduos sólidos. As principais características dos resíduos sólidos são:

- **Composição gravimétrica:** representa o percentual de cada componente em relação ao peso total. No Brasil, em geral, o constituinte presente com maior percentual na composição do lixo é a matéria orgânica putrescível, seguido pelo papel e papelão, plástico, metais e vidros.
- **Peso específico:** é o peso do lixo em função do volume ocupado por ele.
- **Teor de umidade:** representa a quantidade relativa de água contida na massa de lixo, e varia em função de sua composição, das estações do ano e da incidência de chuvas. No Brasil, o teor de umidade varia entre 30 e 40%.
- **Grau de compactação:** indica a redução de volume que a massa de lixo pode sofrer, ao ser submetida a uma pressão determinada. Normalmente varia de 3 a 5 vezes.
- **Produção “per capita”:** é a quantidade (em peso) de lixo que cada habitante gera num dia, diretamente ligada ao padrão de consumo. No Brasil, a geração “per capita” média diária de lixo é de 0,4 a 0,7 kg/(hab. dia).
- **Poder calorífico:** é a capacidade potencial de lixo de desprender uma certa quantidade de calor sob condições controladas de combustão.

- **Relação carbono: nitrogênio (C:N):** indica a degradabilidade e o grau de decomposição da matéria orgânica presente no lixo. Quanto maior esta relação, menos avançado é o estágio de degradação do lixo.

Além dessas características, os teores de cinzas, de matéria orgânica, de resíduo mineral e de outros compostos e o estudo da população microbiana e dos agentes patogênicos presentes no lixo contribuem para o conhecimento da natureza dos resíduos, visando à definição das formas mais adequadas de tratamento e disposição final.

As três principais alternativas para a disposição final dos resíduos sólidos são: aterro sanitário, incineração e compostagem. Há outras formas de dispor, citadas expeditamente, que no momento não são viáveis econômica e tecnicamente.

▪ *Aterro Sanitário*

Segundo a norma ABNT NBR 8419/1984, aterro sanitário é “uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais negativos, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se for necessário”.

Essa técnica consiste basicamente da compactação dos resíduos no solo, dispondo-os em camadas que são periodicamente cobertas com terras ou outro material inerte, formando células, de modo que haja uma alternância entre os resíduos e o material de inerte, conforme mostrado na Figura 2.7 a seguir.

O aterro sanitário é um método atraente e de menor custo para comunidades com poucos recursos financeiros e humanos, e que pode satisfazer as condições de preservação do meio ambiente.

FIGURA 2.7 - Corte esquemático de um aterro sanitário (VASCONCELOS & MOLLER, 1995).

É importante ressaltar que para os resíduos industriais enquadrados na classe 1 – perigosos (de acordo com a norma ABNT NBR – 10004), a disposição final deve ser feita em um aterro industrial, considerando-se as recomendações das seguintes normas da ABNT:

- NBR – 8418/84: apresentação de projetos de aterros de resíduos industriais perigosos;
- NBR – 10157/87: aterros de resíduos perigosos – critérios para projeto, construção e operação.
- *Compostagem*

Um segundo método de tratamento e disposição sanitariamente adequados dos resíduos sólido é a compostagem. Por definição, é a transformação de resíduos orgânicos presentes no lixo, através de processos físicos, químicos e biológicos, em material biogênico mais estável e resistente. O resultado final é o “composto”, excelente condicionador orgânico dos solos.

O processo (Figura 2.8) se constitui basicamente de duas etapas:

- Física: onde se dá o preparo dos resíduos, fazendo-se uma separação entre a matéria compostada e outros materiais (potencialmente recicláveis e/ou rejeitos) e, em seguida, um homogeneização;
- Biológica: que consiste na fermenta e na digestão do material, realizadas sob condições controladas, num período que varia, geralmente, de 60 a 120 dias.

PROCESSO DE COMPOSTAGEM

FIGURA 2.8– Fluxograma de compostagem (VASCONCELOS & MOLLER, 1995)

A obtenção de um composto de boa qualidade depende do monitoramento do processo, cujos principais fatores intervenientes são:

- as condições de aeração;
- teor de umidade;
- as concentrações de carbono e de nitrogênio;
- tamanho das partículas;
- pH;
- a temperatura, cujo controle é fundamental para a eliminação dos microorganismos patogênicos do composto.

▪ *Incineração*

A incineração é um processo de redução de peso (em até 70%) e de volume (em até 90% do lixo através de combustão controlada, de 800 a 1.000 °C, visando à disposição final. O processo é realizado em fornos especiais (Figura 2.9), nos quais se pode garantir oxigênio para combustão, turbulência, tempos de permanência e temperaturas adequadas.

FIGURA 2.9 - Representação esquemática de um incinerador (VASCONCELOS & MOLLER, 1995).

A Tabela 2.7 a seguir compara os principais métodos de tratamento e disposição final de lixo.

TABELA 2.7– Vantagens e desvantagens dos métodos de tratamento e disposição final do lixo (VASCONCELOS & MOLLER, 1995).

Método	Vantagens	Desvantagens
Aterro sanitário	<ul style="list-style-type: none"> - baixos custos de implantação e operação; - possibilidade de utilização de equipamentos comuns de terraplanagem; - grande flexibilidade operacional (pode receber diferentes tipos de resíduos e adapta-se a um crescimento populacional ou à maior produção de resíduos); - minimização dos riscos à saúde e ao meio ambiente; - possibilidade de recuperação de áreas degradadas; - possibilidade de utilização futura após encerramento; - geração de gás combustível que pode ser aproveitado. 	<ul style="list-style-type: none"> - necessidade de grandes áreas; - altos custos de transporte; dependendo da localização - dependência das condições meteorológicas para boa operação; - necessidade de material disponível para cobertura; - geração de percolados líquidos (chorume), que necessitam de tratamento e disposição adequados; - necessidade de drenagem de gases gerados; - impossibilidade de reaproveitamento a curto prazo do material aterrado; - desvalorização das áreas adjacentes.
Compostagem	<ul style="list-style-type: none"> - diminuição das quantidades de resíduos a serem aterrados, favorecendo o reaproveitamento de materiais previamente separados; - possibilidade de tratamento de quaisquer resíduos orgânicos; - propiciação da recuperação de solos agrícolas exauridos; - geração de compostos orgânicos permitindo a reintrodução de elementos no sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> - necessidade de separação e triagem prévia dos resíduos; - dificuldade para absorver grandes variações na produção de lixo; - flutuação das condições de comercialização do produto; - necessidade de um controle operacional eficaz.
Incineração	<ul style="list-style-type: none"> - redução dos custos de transporte; - redução do volume e do peso original do lixo; - necessidade de áreas reduzidas, onde as instalações e dispositivos operam independentemente das condições meteorológicas; - eliminação; - geração de energia (para aquecimento, etc.). 	<ul style="list-style-type: none"> - altos custos de implantação, operação e manutenção, com mão-de-obra especializada - possibilidade de geração e emissão de compostos perigosos, com necessidade de controle sofisticados de combustão e de equipamentos de controle da poluição do ar de grande eficiência; - necessidade de disposição adequada da escória e das cinzas.

2.3.1.3 Atividades Agropecuárias e Agroindústrias

Essas atividades acarretam, dentre diversas consequências, a erosão das terras cultivada e a poluição de aquíferos, pelo uso de fertilizantes, pesticidas e herbicidas,

e o lançamento de efluentes de animais (DOYLE, 1991; SEAGER *et al.*, 1992). Além de conseqüências secundárias, como o desmatamento e perda de florestas para a abertura de clareiras e criação de animais; e a perda e desperdício de água utilizada para a irrigação de terras, o que vem levando ao esgotamento do suprimento de águas superficiais e subterrâneas, e à diminuição de nutrientes do solo, pelo uso excessivo deste recurso (CORSON, 1993).

Os principais efeitos ambientais no solo, água, seres vivos ou outros componentes do meio ambiente devidos às diversas práticas agrícolas podem ser observados na Tabela 2.8.

TABELA 2.8 – Exemplo de efeitos diversos provocados pela prática agrícola (CORSON, 1993).

PRÁTICAS AGRÍCOLAS	SOLO	ÁGUA SUBTERRÂNEA	ÁGUA DE SUPERFICIAL	FLORA E FAUNA	OUTROS: ar, barulho, paisagem, produtos agrícolas
desenvol. da terra: programas de consolidação da terra	direção inadequada levando à degradação do solo	outra direção da água influenciando o lençol subterrâneo de água		perda de espécies	perdas do ecossistema, perda da diversidade biológica
irrigação, drenagem	sais em excesso, represamento de água	perda da qualidade (mais sais), fornecimento de água potável afetado	degradação do solo, sedimentação, poluição da água com partículas de solo	ressecamento de elementos naturais afetando o ecossistema dos rios	degradação da terra se a atividade não for apropriada à localidade
Lavoura	erosão causada pelo vento e/ou pela água				
mecanização equipamentos grandes ou pesados	compactação do solo, erosão do solo				gases com a combustão, barulho
uso de fertilizantes: - nitrogênio - fosfato	acúmulo de metais pesados (Cd)	lixiviamento do nitrato afetando a água	escoamento, lixiviação ou degradação levando à eutroficação	efeitos sobre a microflora do solo	
- esterco, adubo de origem animal	excesso: acúmulo de fosfato de cobre (esterco de porco)	nitrato, fosfato (através do uso excessivo de esterco como adubo)		eutroficação leva: a excesso de alga e plantas aquáticas e diminuição do oxigênio, afetando os peixes	mau cheiro, amônia
- adubo com matéria de esgoto, composto	acúmulo de metais pesados contaminadores				Resíduos
aplicação de pesticida	acúmulo de pesticidas e produtos degradantes	lixiviação de resíduos de pesticidas móveis e de produtos degradantes		afeta a microflora do solo; resistência de algumas ervas daninhas; envenenamento: resistência	evaporação; acúmulo pela vaporização, resíduos

2.4 AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL

Segundo BITAR *et al.* (1998), o instrumento de avaliação de impacto ambiental (AIA) constitui-se de uma série de procedimentos legais, institucionais e técnico-científicos, através dos quais identificam-se os possíveis impactos ambientais decorrentes da futura instalação de um empreendimento, prevê-se a magnitude destes impactos e avalia-se sua importância.

Em termos resumidos, SÁNCHEZ (1998) considera que a AIA consiste em todo o processo que visa subsidiar a tomada de decisão sobre a viabilidade de obras, atividades, políticas, planos ou programas que possam vir a causar impacto ambiental.

Na Figura 2.10, são mostrados os principais componentes ou atividades do processo de AIA, processo este composto basicamente por três fases:

- a) etapas iniciais ou avaliação preliminar;
- b) análise ou avaliação detalhada; e
- c) implementação e acompanhamento: etapas pós-aprovação da proposta.

Certos tipos de impactos ambientais podem ser quantificados por técnicas convencionais, pelo menos no que se refere ao efeito direto da implantação do uso, mas existem outros que não podem ser avaliados tão facilmente. Essas dificuldades para avaliação do impacto ambiental sobre somente um componente ambiental dão a idéia da complexidade que é produzir as matrizes de impactos que defrontam todos os componentes com todos os usos para a realização do ordenamento territorial.

No processo de avaliação de impacto, são comuns a falta de informações suficientes e a escassez de profissionais especializados nesse tema, cabendo ressaltar que, geralmente, se conta também com quase nenhuma base experimental e, por isso, a avaliação deve ser fundamentada em juízo de valores que partam da investigação detalhada do meio e de observação de outros locais semelhantes em que o uso já se implantou.

PROCESSO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL

FIGURA 2.10 – Processo de avaliação de impacto ambiental (SÁNCHEZ, 1998)

De acordo com diversos pesquisadores, como BAUMEWERD-AHLMANN & KALINSKI (1990), BREHAUT (1991), CANTER (1977), e WELSH (1992),

mesmo com estas dificuldades assinaladas, a avaliação de impacto pode atender à solução de dois tipos de problemas:

- 1) a avaliação do impacto de uma atividade específica (indústria, estradas, hidroelétricas, etc.), para decisão de sua conveniência ou não;
- 2) avaliação de impacto para efeitos da localização de um ou vários usos no sentido de minimizá-los globalmente.

BISSET (1994) apresenta as principais justificativas para o desenvolvimento de um processo de AIA:

- 1) identificação dos impactos;
- 2) características e apresentação da informação relativa aos impactos de forma condensada, considerando-se sua probabilidade, reversibilidade, dimensões temporais e espaciais, etc.;
- 3) possibilidade de comparação de uma série de impactos, freqüentemente medidos em unidades não comparáveis como dB (A), g/m³, mg/l, etc.; e
- 4) contribuição para a seleção da alternativa menos causadora de impacto ao meio ambiente.

2.4.1 Metodologias para Avaliação de Impacto Ambiental

A análise ambiental, como parte integrante de um sistema de gestão, também necessita de uma série de procedimentos para que a viabilidade ambiental – seu principal objetivo – possa ser alcançada. Portanto, no sentido de sistematizar o processo de análise ambiental utilizam-se metodologias, que devem permitir a inserção dos fatores ambientais, assim como fatores econômicos, e até certo ponto, diretrizes de políticas de desenvolvimento nos processos de decisão e localização de projetos.

Para BISSET (1982), os métodos de avaliação de impacto ambiental (AIA) são mecanismos estruturados para coletar, avaliar, comparar e organizar informações e dados sobre impactos ambientais de um projeto de ocupação e, segundo

HORBERRY (1984), tais métodos constituem-se na sequência de passos recomendados para selecionar e analisar os efeitos de uma ação sobre a qualidade ambiental e a profundidade do sistema natural e avaliar os seus impactos no receptores natural, socioeconômico e humano.

Segundo MOREIRA (1992) a origem dos métodos de AIA remonta de 1969 a partir do “National Environmental Protection Act”. Essa lei foi indutora da utilização de uma abordagem integrada na avaliação de impactos ambientais dos projetos modificados de meio ambiente, e levou à elaboração de vários métodos de AIA, que, embora inovadores quanto à forma, eram insuficientes quanto ao seu fundamento científico.

Entretanto, a partir da segunda metade da década de 70, os métodos de AIA passaram a refletir alguns avanços científicos, aplicando-se mais de perto à solução dos problemas específicos a cada estudo de impacto ambiental, observando-se uma evolução no sentido de melhor compreender as causas e os efeitos das ações dos projetos e seus impactos, levando-se em conta a dinâmica dos sistemas ambientais (MOREIRA, *op. cit.*).

A base conceitual para a abordagem científica de AIA teve seu início somente nos anos 80, pois até então predominava a idéia de avaliação apenas a partir de gráficos e escalas numéricas, sem se levar em conta a dinâmica ambiental. Nesse contexto, BEANLANDS (1984) é um dos pioneiros a defender a importância de : a) *compreender as características funcionais dos ecossistemas potencialmente afetados*; b) *considerar a variação natural dos sistemas no tempo e no espaço*; c) *entender como respondem os sistemas às interferências antrópicas*; d) *usar modelos*; e) *reconhecer as limitações técnicas*; f) *implementar programa de monitoramento*.

Na atualidade, cada vez mais é comprovada a grande importância da abordagem científica, com ênfases relacionadas às condições iniciais dos fatores ambientais e aos programas de monitoramento dos impactos.

BISSET (1987) lista as etapas a serem seguidas durante o processo de avaliação de impactos ambientais, as quais deverão estar baseadas em métodos específicos que as contemplem de forma individual ou conjunta, através de metodologias que permitam a correta abordagem dos fatores ambientais envolvidos.

As etapas são as seguintes:

1. identificação do impactos;
2. previsão dos impactos e efeitos;
3. interpretação dos impactos ou valoração;
4. identificação de elementos para monitoramento e medidas mitigadoras;
5. comunicação da informação do impacto para usuários assim como para os níveis de tomada de decisão.

A identificação dos impactos ambientais deve levar em conta a diferença do meio ambiente e das atividades, de maneira que a não se generalize a ocorrência ou não dos impactos, mas sim que se considerem as particularidades dos empreendimentos. Por outro lado, deve aproveitar experiências obtidas anteriormente, gerando economia e agilidade no processos, além de levar em consideração a opinião pública, de grande interesse para a identificação dos impactos (BISSET, 1987).

A segunda etapa – previsão de impactos ambientais -, segundo BISSET (*op. cit.*) constitui na estimativa da natureza mais provável ou características dos impactos em termos qualitativos e/ou quantitativos. Ao mesmo tempo, será dado o efeito dos impactos, sendo este, um dos trabalhos mais complicados do processo de AIA, pois alguns efeitos são de difícil previsão, dada a particularidade do meio e a subjetividade das comunidades envolvidas.

Os impactos ambientais podem possuir diferentes características espaciais, temporais ou probabilísticas. Também podem ser distinguidos quanto ao grau de reversibilidade e da inter-relação que possuem com outros agentes de possível impacto – por exemplo, alguma substância, que, de forma isolada, não provoque alteração alguma significativa no meio, em adição com uma segunda, também inofensiva isoladamente, pode causar estragos consideráveis – da mesma forma, há que se levar em conta efeitos cumulativos como o somatório de várias parcelas de uma mesma substância, como, por exemplo, os metais pesados (BISSET, 1987).

A etapa de interpretação dos impactos ambientais consiste na quantificação da importância dos impactos.

Os procedimentos posteriores aos já citados possuem um papel importante na manutenção do processo de avaliação de impacto ambiental, assim como na minimização ou compensação de alguns impactos difíceis de serem totalmente eliminados. Além disso, são responsáveis pela etapa de divulgação do processo.

Segundo ZUQUETTE (1993), qualquer que seja o mecanismo de análise, é fundamental considerar:

1. avaliação do conjunto de componente do meio ambiente (principalmente físico e biológico);
2. a identificação qualitativa e quantitativa dos possíveis mudanças a que o meio pode estar sujeito devido à ação antrópica, determinando suas intensidades;
3. a avaliação das alterações do meio que podem variar em espaço e tempo a partir da fonte básica do impacto;
4. as análises por diferentes procedimentos e comparações dos resultados;
5. a não ponderação apenas das informações que foram hierarquizados e balanceadas, pois a análise pode sofrer interferências devido à importância relativa das informações;
6. a forma de obtenção das informações, sua significância, como estão registradas e quais apresentam alta covariação;
7. as características das ações antrópicas a serem desenvolvidas;
8. a possibilidade de utilização de modelos matemáticos para prever possíveis problemas, levando-se em conta sempre a qualidade das informações usadas (INPUT);
9. o fato de que a avaliação ambiental é um procedimento de abordagem puramente científica e que não permite estabelecer “um fator de segurança” para os resultados orientados da análise, pois estas terão que ser comparadas por um período longo quando da possível necessidade de monitoramento;
10. o fato de que a análise ambiental, assim como ocorre com o processo de planejamento, só pode ser executada por equipe

multidisciplinar, com profissionais competentes tanto na “produção” como na análise das informações.

Segundo NICHOLS & HYMAN (1982), os mecanismos de análise ambiental devem considerar as seguintes pontas:

1. as condições probabilísticas dos efeitos naturais, visto que as relações ambientais causa-efeito não são determinísticas porque são controladas por fatores aleatórios;
2. os efeitos indiretos e cumulativos, que são devidos às particularidades do meio e os “feedback” (negativos ou positivos);
3. os efeitos ambientais dinâmicos, visto que as mudanças podem ocorrer em curto ou longo período de tempo e, ao logo deste, variar em direção, magnitude e a intensidade;
4. a avaliação do meio ambiente segundo os múltiplos objetivos e, conseqüentemente, de todos os seus componentes;
5. a distinção entre fatos e valores, separando-os de maneira que não haja faixas obscuras que tornem o processo um ato de conflito;
6. utilização e análise dos dados técnicos originários de diversas fontes;
7. exame da eficiência, dos gastos, do tempo e dos objetivos finais.

2.4.1.1 Principais Métodos de Avaliação de Impactos Ambientais

2.4.1.1.1 Métodos Ad hoc

Segundo TOMMASI (1994), o “ad hoc” consiste na reunião de um grupo multidisciplinar de técnicos, com “knowhow” sobre o empreendimento em questão, para, numa primeira abordagem, avaliar os efeitos das alternativas.

MOREIRA (1992) coloca que esse tipo de método foi desenvolvido para ser empregado quando é curto o tempo e há carência de dados para tratamento

sistemático dos impactos, não sendo possível a realização de estudos detalhados. A maior crítica aos métodos de "*ad hoc*" é o seu alto grau de subjetividade, pois os seus resultados dependem em grande parte da equipe de técnicos, estando os seus resultados sujeitos aos critérios particulares de grupo e das tendências que os diferentes componentes possuem.

Portanto, o método "*ad hoc*" pode ser encarado como início ou o fim de um processo de AIA, no sentido de balizar os estudos ou complementá-los. Entretanto, por não fornecer, de forma sistemática, a interação entre os impactos, de acordo com MOREIRA (1992), os regulamentos de AIA no Brasil limitam de antemão o uso dos métodos "*ad hoc*", embora as reuniões de especialistas possam servir, em alguns casos, para uma ou outra tarefa do estudo de impacto ambiental, desde que as opiniões se fundamentem em argumentos técnicos e razões científicas criteriosas.

➤ *Principal Exemplo:*

Método Delfos (LISTONE & TUROFF, 1975)

É o mais citado exemplo de método *ad hoc* e inspirou-se nas consultas dos gregos aos oráculos. Na década 50, esse mecanismo foi utilizado para, de modo rápido e barato, obter consenso fidedigno de especialistas para a solução de problemas complexos.

Diante de um dado problema, inicia-se a escolha de especialistas, sem que haja deslocamento nem reuniões, e são fornecidas informações sobre o projeto e o território onde será implantado, acompanhadas pelo primeiro questionário, que depois é devolvido à coordenação do grupo para serem processadas as respostas. Seguem-se, então, quantos questionários forem necessários (em torno de cinco) até o consenso. Finalmente, deve-se produzir um relatório que contenha a síntese conclusiva das opiniões.

O Método Delfos é aplicado para a tomada de decisão por políticos, empresários e autoridades governamentais, especialmente para suprir deficiências de informação (ALVARADO, 1977). As limitações do método prendem-se às incertezas das previsões, realizadas sem análise científica detalhada, e à propensão de

simplificar o problema proposto, caindo-se em soluções fáceis e lugares-comuns. Além disso, há os aspectos subjetivos das opiniões emitidas.

2.4.1.1.2 Listagens de Controle (checklist)

Segundo BISSET (1987), um dos primeiros métodos de avaliação de impacto ambiental desenvolvidos foi o *checklist*, ou listagem de controle, que vem sendo largamente utilizado, embora tenha adquirido diferentes formas com a evolução dos métodos AIA. De modo geral, o *checklist* consiste numa listagem das principais feições ambientais que podem ser afetadas por um projeto passíveis de causar impactos.

As listagens de controle destinam-se a servir de lembrete aos que elaboram os estudos de impacto ambiental, de forma que se considere o meio ambiente em todos os seus aspectos, não se deixando para trás nenhum parâmetro de relevante importância (MOREIRA, 1992).

O *checklist* pode apresentar-se de diferentes formas, que vão desde uma simples lista de itens até variações mais complexas, as quais incorporam um guia na escala e ponderação dos impactos. MOREIRA (1992) apresenta uma relação destas variações:

Listagem de controle simples: As primeiras a serem concebidas enumeram apenas os fatores ambientais e, algumas vezes, seus respectivos indicadores, isto é, os parâmetros que fornecem as medidas para o cálculo (quantitativo ou qualitativo) da magnitude dos impactos. Foram elaboradas listagens específicas para a avaliação de certos tipos de projeto, como a preparada pelo “Departament of Transportation”, para projetos de rodovias (Tabela 2.9). Outras dedicam-se às características de determinados sistemas ambientais, de que é exemplo o trabalho desenvolvido para a bacia do rio Mekong (Tabela 2.10).

TABELA 2.9 – Impactos potenciais de um projeto de transporte* (MOREIRA, 1992).

CATEGORIA FATOR AMBIENTAL	FASES DO PROJETO		
	Planejamento	Construção	Operação
1. Ruído a) saúde pública b) uso do solo		x	x
2. Impactos na Qualidade do Ar a) saúde pública b) uso do solo		x	x
3. Impactos na Qualidade da Água a) água subterrânea alteração de fluxo interação com drenagem superficial b) água superficial alteração das margens efeitos de aterros		x	x
4. Erosão do Solo a) uso econômico solo b) poluição e assoreamento		x	x
5. Impactos Ecológicos a) flora b) fauna		x	x
6. Impactos Econômicos a) uso do solo a área do projeto na faixa de jurisdição na região b) nível de impostos perda por remoções, ganho por aumento de valor	x	x	x
7. Impactos Sociopolíticos a Danos ou Uso de a) danos ou uso de recursos culturais recursos científicos recursos históricos áreas recreativas c) estilo de vida e atividades aumento da mobilidade rutura da comunidade	x x	x x	x x
8. Impactos Estéticos e Visuais a) recursos cênicos b) desenho urbano		x	x

*“Transportation an environment: synthesis for action”

TABELA 2.10 – Atributos ambientais afetados pelo desenvolvimento em uma bacia hidrográfica tropical (MOREIRA, 1992).

AÇÕES	CARACTERÍSTICAS E CONDIÇÕES SOCIOECONÔMICAS E AMBIENTAIS
<p>Modificações dos Regimes</p> <p>Conversão dos leitos dos rios em reservatórios</p> <p>Introdução de peixes exóticos</p> <p>Controle de inundações</p> <p>Regulamento da vazão a jusante</p> <p>Modificação dos habitats aquáticos</p> <p>Modificação dos habitats terrestres pela inundação</p> <p>Introdução de flora exótica</p> <p>Introdução de animais domésticos exóticos</p> <p>Alteração da hidrologia subterrânea</p> <p>Alteração da drenagem</p> <p>Canalização</p> <p>Irrigação</p> <p>Queimadas</p> <p>Transformação do Solo e Construção</p> <p>Vilas de representamento e limpeza do solo para plantações</p> <p>Estradas e pontes para a construção da barragem</p> <p>Caminhos, trilhas e pontes</p> <p>Linhas de transmissão</p> <p>Barreiras, inclusive cercas</p> <p>Revestimento de canais</p> <p>Canais para irrigação</p> <p>Barragens para irrigação</p> <p>Lagoas de irrigação</p> <p>Canais e marinhas</p> <p>Explosões e perfurações</p> <p>Cortes e aterros</p>	<p>Características Físicas e Químicas</p> <p>1. Solo</p> <p>Características sísmicas</p> <p>Recursos minerais</p> <p>Materiais de construção</p> <p>Tipos de solo</p> <p>Relevo</p> <p>Sítios paisagísticos</p> <p>Sítios arqueológicos</p> <p>2. Água</p> <p>Quantidade de água superficial</p> <p>Qualidade de água superficial</p> <p>Quantidade de água subterrânea</p> <p>Qualidade de água subterrânea</p> <p>Recarregamento dos aquíferos</p> <p>Temperatura</p> <p>Salinidade</p> <p>3. Atmosfera</p> <p>Qualidade (gases, partículas)</p> <p>Clima (micro e macro)</p> <p>Temperatura</p> <p>4. Processos</p> <p>Inundações</p> <p>Erosão</p> <p>Deposição (sedimentação, precipitação)</p> <p>Solução</p> <p>Absorção</p> <p>Compactação e estabilidade</p> <p>Desmoronamentos</p> <p>Estresse (terremotos)</p> <p>Correntes de ar</p> <p>Condições Biológicas</p> <p>1. Flora</p> <p>Árvores</p> <p>Arbustos</p> <p>Gramíneas</p>

Listagens de controle descritivas: oferecem, além do rol de parâmetros ambientais, alguma forma de orientação para a análise dos impactos ambientais. Assim a listagem de controle preparada por “The Urban Institute” de Washington, em 1976, apresenta os fatores ambientais a serem considerados nos estudos, fornecendo para cada um deles critérios de avaliação que devem ser empregados. As

listagens de controle descritivas podem tomar a forma de questionário, no qual uma série de perguntas em cadeia tenta dar um tratamento integrado à análise dos impactos.

Listagens de controle escalares: apresentam meios de atribuir valores numéricos ou em forma de símbolos (letras e sinais) para cada fator ambiental, permitindo a classificação e a comparação das alternativas de projeto e a escolha daquela mais favorável. A Tabela 2.11 ilustra a aplicação de uma listagem de controle escalar à avaliação de alternativas de tratamento de esgotos, para um empreendimento no Novo México, Estados Unidos da América. Foram atribuídos valores de 1(menor impacto) a 3 (maior impacto) para oito dos principais aspectos ambientais.

TABELA 2.11 – Avaliação das alternativas de tratamento para Twining, Novo México (MOREIRA, 1992).

NOME DA ALTERNATIVA	BREVE DESCRIÇÃO	GRADUAÇÃO DE CADA FATOR							
		a	b	c	d	e	f	g	h
Nova Estação Convencional	Construção de nova estação de tratamento em Twining com tecnologia avançada que demanda energia a produtos químicos	1	2	2	2	1	2	1	3
Agricultura	Construção de nova estação, com tecnologia nova que usa lagoa para criação de algas em estufa	1	2	2	2	1	2	1	2
Fossas Sépticas	Abandono do sistema de tratamento; todos usam fossas sépticas	1	1	3	2	1	1	1	3
Armazenagem e Descarga	Armazenagem dos esgotos no inverno e descarga na primavera quando o rio pode melhor assimilar os nutrientes.	1	2	3	1	1	2	1	3
Detenção Total	Canalizar o esgoto até lagoas perto do Arroio Grande, para que se evaporem.	3	1	1	3	3	2	2	2
Aspersão no Solo	Canalizar o esgoto e armazená-lo para irrigar plantações.	2	2	2	1	3	2	3	2

Fatores: a – custo; b – segurança; c – qualidade da água; d- abastecimento; e – impactos da construção; f – uso do solo; g – conflitos; h- benefícios para região.

Graus: 1 – menos impacto; 2 – impacto intermediário; 3 – mais impacto

Listagens de controle escalares ponderadas: incorporam às listagens escalares o grau de importância de cada impacto, para a ponderação do valor da magnitude. Foram muitas as listagens, deste tipo, desenvolvidas principalmente para projetos de uso de recursos hídricos.

As listagens de controle são freqüentemente utilizadas como método auxiliar nos estudos de impacto ambiental. Apesar de apresentarem algumas vantagens, não

podem dar conta de muitas das tarefas do estudo, principalmente porque não são capazes de estabelecer as relações de causa e efeito entre as ações do projeto e seus impactos. Além disso, pouquíssimas delas conseguem incorporar técnicas de previsão dos impactos. Sua aplicação limita-se a alguns casos em que foram desenvolvidas para projetos específicos sob responsabilidade de entidades detentoras de amplas informações sobre os sistemas ambientais a serem afetados, como é o caso do método “Threshold of Concern”.

➤ *Principais Exemplos*

Método Threshold of Concern (SASSAMAN, 1981)

Método de abordagem pragmática na avaliação dos impactos ambientais de projetos de manejo florestal, com o objetivo de economizar tempo e atender à legislação ambiental e florestal dos Estados Unidos da América. O termo emprestado ao título do método significa patamar de tolerância ou limite do interesse, isto é, o ponto crítico ou o valor de um parâmetro a partir do qual qualquer alteração é preocupante. Desenvolve-se em cinco etapas:

- a) listagem dos fatores ambientais relevantes;
- b) escolha dos critérios ou indicadores mais representativos a cada fator ambiental;
- c) escolha do limite de interesse de cada critério, por meio de análise ambiental da área afetada;
- d) listagem dos prováveis impactos de cada alternativa do projeto e de sua duração;
- e) comparação dos impactos previstos com os limites de interesse correspondentes.

O método “Threshold of Concern” foi considerado inovador para o fim a que se destina, a apreciação eficiente de projetos florestais. Note-se, porém, que deixa de considerar a importância relativa dos impactos e a possível incidência de impactos indiretos.

Método Batelle (ou Environmental Evaluation System – EES) (DEE *et al.*, 1973).

O Método Batelle é um exemplo de listagem de controle escalar ponderada, elaborada para a avaliação de projetos que envolvem a utilização de recursos hídricos, com intenção de promover uma abordagem sistemática, abrangente e hierarquizada do meio ambiente. O sistema é subdividido em quatro categorias (ecologia, poluição ambiental, estética e valores sociais) e essas, em dezoito componentes, que totalizam 72 parâmetros específicos relacionados.

A primeira etapa para sua aplicação é a transformação dos valores de cada parâmetro em índices de qualidade ambiental, a fim de uniformizá-los em número de 0 a 1 (qualidade baixa a alta, respectivamente), o que permite a realização de previsões por análises estatísticas, modelos matemáticos ou qualquer outra técnica apropriada. Em seguida, atribui-se o grau de importância de cada parâmetro (proposta 1 a 1.000 pontos) chamado de unidades de importância, para ser feita, finalmente, a multiplicação dos índices pelas unidades de importância. Avalia-se a qualidade ambiental sem e com a implantação do projeto, entre as quais diferença pode ser adversa (negativa) ou benéfica.

O Environmental Evaluation System – EES teve ampla divulgação tendo sido adaptado para outros casos. Apesar de sua abrangência, da possibilidade de comparação de alternativas e de introduzir o uso de técnicas de previsão de impacto, apresenta algumas deficiências. A principal delas é que transforma resultados objetivos, que expressam as reais alterações dos fatos ambientais, em escalas numéricas sem significado para os interessados e responsáveis pela decisão. Além disso, a agregação de impactos de naturezas diferentes faz com que se percam as informações sobre os danos e os benefícios, sendo também incapaz de lidar com a distribuição temporal dos impactos e com a geração de impactos indiretos.

2.4.1.1.3 Matrizes de Interação

Um dos métodos mais utilizados no processo AIA são as Matrizes de Interação, principalmente nas etapas de identificação dos impactos ambientais. A primeira matriz de Leopold foi desenvolvida nos Estados Unidos em 1971 para projetos de mineração. Ao longo do tempo, esta matriz tem sofrido numerosas

alterações com a finalidade de adequar suas características iniciais a uma infinidade de projetos (TOMMASI, 1994).

Segundo MOREIRA (1992) “ as matrizes funcionam como listagens de controle bidimensionais, dispondo ao longo dos seus eixos, vertical e horizontal, as ações de implantação do projeto e os fatores ambientais que poderão ser afetados, permitindo assinalar, nas quadrículas correspondentes às interseções das linhas e colunas, os impactos de cada ação sobre os componentes por ela modificados.”

Uma vez pronta a matriz, esta proporciona uma visão do conjunto de impactos gerados pelo projeto, podendo-se destacar as ações que provocam maior número de impactos, e também, o conjunto de ações que afetam os fatores ambientais considerados relevantes (MOREIRA, 1992). Além disso, pode-se identificar os impactos, valorando e/ou relativizando a sua importância e magnitude, permitindo a comparação entre projetos e tecnologias.

Quando utilizadas de forma isolada, ou quando estão envolvidas muitas informações, as matrizes fornecem resultados limitados, ficando difícil de serem analisadas, sendo necessário associá-las a outros métodos de avaliação de impactos ambientais. Outra grande desvantagem das matrizes é a de não considerar, de um modo geral, as interações entre os impactos nem os impactos indiretos decorrentes das ações.

➤ *Principal Exemplo*

Matriz de Leopold (LEOPOLD *et al.*, 1971)

É, sem dúvida, a mais divulgada matriz e foi desenvolvida originalmente para avaliar os impactos ambientais de uma mina de fósforo nos Estados Unidos. Trata-se de uma matriz composta por 100 diferentes tipos de ações com possibilidade de serem desenvolvidas nos projetos e 88 características ambientais que poderão ser afetadas por estas ações. Isto resulta em 8.800 possíveis interações, dentre as quais só serão utilizadas aquelas que fizerem parte do projeto em questão. Além disto, outras ações e/ou características ambientais poderão ser inseridas, de acordo com as necessidades do projeto.

Em cada célula da matriz, composta por uma ação/características ambiental, deverão ser indicadas a magnitude da ação (a extensão do efeito daquele tipo de ação

sobre a característica ambiental) e a importância da ação (sua significância). Tanto para a magnitude quanto para a importância, atribui-se um valor de 1 a 10. Se o impacto for positivo, utiliza-se o sinal + antes do valor numérico; se for negativo; utiliza-se o sinal - . Em uma segunda etapa, deve-se descrever cada interação considerada.

Segundo esses autores, a avaliação do impacto ambiental de um programa ou uma ação proposta é a última etapa em um processo seqüencial, que se desenvolve segundo ilustrado na Figura 2.11.

Legenda:

A. Enunciado do objetivo	E. Projetos tecnológicos alternativos
B. Possibilidades tecnológicas de ações do objetivo	F. Identificação de impactos e análise
D. Caracterização do meio anterior início de qualquer atividade	G. Avaliação dos impactos
	H. Recomendações

FIGURA 2.11 - Diagrama de fluxo para o desenvolvimento de programas de atuação. (Adaptado de LEOPOLD *et al.*, 1971).

2.4.1.1.4 Redes de Interação

As Redes de Interação, ou Networks, foram criadas para possibilitar a identificação de impactos indiretos (secundário e terciário) e suas interações, por meio de gráficos ou diagramas, provenientes de uma ação inicial.

Um exemplo desse método são os efeitos do lançamento de SO_2 por uma indústria mostrado na Figura 2.12.

Segundo MOREIRA (1992), este método ajuda a promover uma abordagem integrada de análise dos impactos ambientais, enquanto as matrizes e as listagens de controle limitam o pensamento dos técnicos, por conduzirem à apreciação de cada fator ambiental de forma isolada.

FIGURA 2.12 – Uma rede de interação aplicado em uma indústria (TOMMASI, 1994)

Embora as diversas cadeias de ações explicitem os impactos ambientais secundários, terciários, etc., a rede de interações não proporciona a inter-relação entre essas cadeias, deixando de analisar os efeitos entre os impactos.

Os Diagramas de Sistemas, com características semelhantes às redes de interação, não possuem esta última limitação. Os diagramas são variações de redes de interação nos quais são retratados os arranjos e interações dos sistemas

ambientais, utilizando-se o fluxo e o processamento da energia como elementos de ligação entre os componentes (MOREIRA, 1992).

Para BISSET (1987), os diagramas baseiam-se no fato de que todos sistemas ambientais dependem da utilização e processamento de energia. A energia é um “*input*” no sistema, ela flui por meio de vários processos, e deixa o sistema como output. Os diagramas de sistemas fazem uso do comportamento energético dentro, através e fora dos sistemas para produzir a representação da articulação e organização de um sistema particular. Diferentemente das redes de interação, os diagramas consistem em mostrar as ligações entre os componentes do meio ambiente em vez da relação entre os impactos.

Este método possui como limitações a incapacidade de comparar medidas da magnitude dos diferentes impactos, e a grande importância dada aos aspectos energéticos das relações ecológicas, quando comparados com outras relações, algumas vezes, embora decorram de um baixo fluxo de energia, podem causar impactos significativos. Além disso, a construção de um diagrama pode envolver muito tempo e dinheiro, devido ao alto grau de complexidade que ele pode atingir (BISSET, 1987).

➤ *Principal Exemplo*

Método Impacto (THOR *et al.*, 1978)

Foi elaborado pelo Serviço Florestal dos Estados Unidos da América para projetos florestais. Após separados os problemas de análise e manipulação de dados com auxílio da computação, o método compõe-se de um conjunto de redes de interação concebidas para cada tipo de atividade florestal, complementadas por sistema de informações computadorizado.

O grupo responsável pela elaboração do estudo de impacto para determinado projeto, a ser autorizado pelo Serviço Florestal, comunica-se com a central de informações e recebe, primeiramente, as redes de interação e as informações resumidas referentes a cada atividade. No transcorrer do estudo, ocorrem permanentes contatos para a complementação das redes de interação e obtenção das

fontes de dados, da indicação de especialistas afins ao problema, da ocorrência anterior de impactos semelhantes, das técnicas de previsão de impactos adequadas, das instituições a serem consultadas e das referências bibliográficas.

2.4.1.1.5 Sobreposição de Cartas

Segundo MOREIRA (1992), este método teve origem em trabalhos de ordenamento do uso do solo realizados por TRICART (1966) E MC HARG (1969), e adaptados para a avaliação de impactos ambientais de projetos lineares. O trabalho de Tricart tem como fundamento a determinação do zoneamento territorial por meio das restrições impostas pela dinâmica dos sistemas ambientais, de modo que se evite a degradação do meio ambiente. MacHarg parte da análise e das interações dos fatores ambientais para avaliar a aptidão das unidades territoriais em relação aos diversos usos, através da utilização de um quadro matricial para discutir a compatibilidade entre eles.

Para MOREIRA (1992), a sobreposição de mapas tem dois enfoques: restrições ambientais à ocupação e a aptidão do ambiente para a implantação de diferentes atividades.

Este método relaciona-se muito com a fase de caracterização ambiental, uma vez que permite visualizar claramente as áreas com diferentes características, definindo, por meio da sobreposição das cartas temáticas, as susceptibilidades e vocação da região. Sendo assim, a sobreposição de cartas passa a constituir um importante instrumento para o zoneamento ambiental.

As cartas temáticas representam individualmente todos os fatores ambientais a serem contemplados na análise do projeto, como pedologia, topografia, uso e ocupação do solo, geologia, além de representar áreas com diferentes características socioeconômicas, políticas, para desenvolvimento regional, ou seja, todo e qualquer atributo que possa, de uma forma qualquer, ser representado espacialmente.

A sobreposição de cartas permite a incorporação de uma série de valores aos fatores ambientais, podendo-se, desta forma, relativizar os diferentes atributos, na tentativa de contemplar tanto características tangíveis como intangíveis.

Segundo BISSET (1987), a sobreposição de cartas é um excelente método para demonstrar a dimensão espacial dos impactos, mas possui menos sucesso ao lidar com outras características dos impactos, como probabilidade, tempo e reversibilidade. Este tipo de método adapta-se muito bem a projetos lineares como escolha de traçado de estradas, linhas de transmissão, etc., pois a composição dos mapas pode mostrar as rotas de menor impacto. Em geral, representa de forma muito clara as potencialidades das regiões em função da atividade a ser implantada.

Outra desvantagem deste método, segundo BISSET (1987), é a definição de bordas no trato de características heterogêneas. Quando da sobreposição de mapas; alguns limites indeterminados são representados por uma clara demarcação, que não é representativa da situação real. Além disso, por concentrar as informações em mapas, grande quantidade de informações pode ser perdida no processo, por exemplo, características que não conseguem ser representadas na escala das cartas.

Uma limitação técnica seria a dificuldade de se sobrepor grande quantidade de mapas; entretanto esta dificuldade vem desaparecendo, na medida em que a utilização de computadores permite a sobreposição de grande número de cartas ao mesmo tempo.

➤ *Principal Exemplo*

Método Mc Harg (MC HARG, 1969)

Na década de 60, **Mc Harg** usou a sobreposição de cartas para a avaliação ambiental de rodovias, com o propósito de identificar e proteger os valores sociais que estavam sendo debatidos na época. Dessa forma, foram determinados dezesseis valores de interesse na região de influência direta da rodovia, a saber: declividade, drenagem superficial, drenagem do solo, embasamento geológico, condições do solo para fundações, susceptibilidades à erosão, valor da terra, inundações, valores hídricos, paisagem, recreação, água, florestas, vida selvagem, residências e valores institucionais.

2.4.1.1.6 Métodos dos Modelos de Simulação

A subjetividade é um ponto fraco em todos os métodos de AIA citados até agora. Sendo assim, com o intuito de amenizar esta falha do processo, começaram a ser desenvolvidos modelos de simulação. A utilização de modelos passou a diminuir o grau de imprecisão aferido aos efeitos e magnitudes dos impactos, fortalecendo o poder do processo de avaliação de impacto ambiental junto aos níveis de decisão.

Segundo MOREIRA (1992), a partir da utilização dos Modelos de Simulação, o meio ambiente deixou de ser analisado como entidade estática no tempo, na medida em que este método permite a introdução da variável temporal na análise dos impactos ambientais.

Ainda de acordo com MOREIRA (1992), existem modelos matemáticos que procuram representar um processo natural, físico ou biológico, que estimam a estimar a magnitude e o efeito dos impactos, sendo, portanto, uma das chamadas técnicas de previsão de impactos. Já os modelos de simulação são modelos matemáticos destinados a representar, de acordo com as suas características, a estrutura e o funcionamento dos sistemas ambientais, através da adoção de hipóteses iniciais, que, depois de processadas, levarão a uma visualização dos atributos ambientais após a execução da ação. Capazes de processar variáveis quantitativas e qualitativas, incorporar as medidas de magnitude e importância dos impactos e considerar as interações dos fatores ambientais, esses modelos são usados principalmente nos estudos de impacto ambiental de grandes projetos.

Segundo TOMMASI (1994), os Modelos de Simulação possuem como vantagens a capacidade preditiva, possibilitando a utilização de grande quantidade de dados, além de identificar necessidades adicionais de pesquisa e o estudo das relações entre fatores físicos, biológicos e socioeconômicos. Entretanto, é um método relativamente caro, que exige capacitação, trabalho e tempo. Outro fator determinante para a obtenção de bons resultados é a qualidade das informações disponíveis, que nem sempre podem ser consideradas homogêneas.

Uma vez elaborado um modelo, ele pode ser usado para mostrar os efeitos de várias alternativas de manejo da ação. Neste sentido, os modelos tornam-se importantes instrumentos para o gerenciamento, a serem largamente explorados, não

somente durante o processo de análise ambiental, mas também após a implementação da ação (BISSET, 1987).

Os Modelos de Simulação podem lidar com muitas, senão todas, características de um impacto ambiental ao mesmo tempo, tanto em dimensões temporais e espaciais quanto probabilísticas. Também podem ser muito úteis para outras atividades do processo de avaliação de impacto ambiental, como o monitoramento.

➤ *Principal Exemplo*

Método KSIM - Kane Simulation Model (KANE *et al.*, 1973).

Considerado fácil e de rápida utilização para a análise dos impactos ambientais de atividade que necessita do tratamento de variáveis qualitativas e quantitativas e suas interações. O modelo objetiva a integração das equipes multidisciplinares e expressa a geometria das relações entre os fatores ambientais, sem se preocupar em proceder previsões numéricas dos impactos. A partir da delimitação do sistema ambiental a ser atingido, estabelecido o horizonte temporal e listadas as alternativas de ação, podem-se desenvolver as seguintes etapas:

- a) seleção das variáveis pertinentes;
- b) escolha dos limites mínimos e máximos dos valores de cada variável e sua normatização entre 0 e 1;
- c) preparação da matriz de interação listando, nas linhas e colunas, as variáveis selecionadas;
- d) preparação de outra matriz na qual os coeficientes de interação representem o grau da alteração (opcional);
- e) escolha dos intervalos de tempo e dos valores iniciais das variáveis;
- f) processamento das informações em computador;
- g) análise dos gráficos finais;
- h) alteração do modelo, se os resultados não satisfizerem (abandono ou inclusão de variáveis);

- i) repetição das etapas anteriores, até que o modelo esteja convenientemente estruturado;
- j) interpretação dos resultados para serem apreciados pelos interessados e considerados na tomada de decisão.

2.4.1.1.7 Combinação de Métodos

Atualmente, tem sido freqüente a utilização dos princípios que regem dois ou mais métodos, como forma de aproveitar suas vantagens e diminuir os pontos negativos inerentes. A combinação mais comumente adotada é a superposição de mapas, com o intuito de definir unidades homogêneas quanto a vulnerabilidades e usos do solo, associada às matrizes de interação para indicar os vetores de vulnerabilidades e graus de impactos prováveis (AGUIAR, 1994).

A aplicação deste método possibilita avaliar projetos ou programas de atuação que prevejam vários usos e/ou alternativas, para antecipar impactos negativos de amplitude local ou regional, e auxiliar a ordenação integral dos espaços.

Seu principal sucesso é o fato de resumir e avaliar previamente os possíveis impactos negativos, com simplicidade, rapidez e boa visualização, permitindo especificar a necessidade ou não de novos tipos de análise e o seu detalhamento para a decisão final. Somente é factível se houver alto grau de controle sobre o planejamento ambiental para a região afetada, pois, caso contrário, não se pode avaliar, com segurança, o impacto global. Portanto, soma muitas das desvantagens dos métodos isolados.

➤ *Principal Exemplo*

Método de LESA - Local Environmental Sensitivity Program (AMIR, 1976)

O método foi desenvolvido em Israel e destinado a registrar, mediante estratégia preventiva, os informes sobre a avaliação de impactos ambientais exigidos pelas leis daquele País. Consiste em três conjuntos de mapas (dos recursos naturais

vulneráveis; de usos do solo e de unidades homogêneas e impactos ambientais prováveis dos usos selecionados) e um questionário de avaliação dos impactos.

O processo, para desenvolver o método LESA, está demonstrado na Figura 2.13. No caso em que o projeto ou programa de atuação preveja mais de um uso, repete-se a valoração e são somados os resultados.

FIGURA 2.13 – Fluxo de desenvolvimento do método LESA. (Adaptado de AMIR,1976)

Dentre os métodos de AIA conhecidos, não há aquele que se aplique a todo e qualquer estudo de impacto ambiental. CLÁUDIO (1987) argumenta que não existe um método ideal, já que todos apresentam uma série de vantagens e inconvenientes. A escolha ficará a critério do usuário, de acordo com os dados de que dispõe, o grau de profundidade a que se dispôs e das necessidades específicas diante da localização de seu projeto de atividade.

Para melhor visualização dos métodos apresentados, a Tabela 2.12 exhibe as principais características descritas nos tópicos anteriores, para sintetizar as informações e possibilitar uma comparação mais direta dos mesmos.

TABELA 2.12 – Comparação entre os métodos de avaliação de impacto ambiental.
Adaptada de AGUIAR (1994).

Método	Descrição Sumária	Aplicação	Vantagens	Desvantagens
<i>Ad Hoc</i>	Reunião de especialistas	Avaliações rápidas	Rapidez; Baixo custo.	Alto grau de subjetividade
<i>Checklist</i>	Listagens de fatores e impactos ambientais	Diagnóstico ambiental até a comparação de alternativas	Memorização de todos os fatores	Não identifica: impactos diretos e indiretos, características temporais e dinâmica dos sistemas
<i>Matrizes de Interação</i>	Listagem de controle bidimensional (fatores x ações)	Identificação de impactos diretos	Boa visualização; Simplicidade; Baixo custo	Não identifica: impactos indiretos, características temporais e dinâmica dos sistemas; subjetividade na magnitude.
<i>Redes de Interação</i>	Gráfico ou diagrama da cadeia de impacto	Determinação de impactos diretos e indiretos	Abordagem integrada de impactos e interações	Não detectam: importância relativa dos impactos, aspectos temporais e espaciais, dinâmica dos sistemas.
<i>Sobreposição de Cartas</i>	Cartas geradas por superposição de mapas de recursos e usos	Projetos lineares e diagnóstico ambiental	Boa visualização e exposição de gases.	Resultados subjetivos; não quantifica magnitude, difícil interação de dados socioeconômicos, não considera dinâmica dos sistemas.
<i>Simulação</i>	Modelos matemáticos utomatizados	Diagnósticos e prognósticos da qualidade ambiental	Considera: dinâmica dos sistemas, interações entre fatores e impactos e variável temporal.	Custo elevado; Representação da qualidade imperfeita
<i>Combinação de Métodos</i>	Utilização de dois ou mais métodos	Avaliar impactos negativos de projetos (uso simples ou múltiplo)	Simplicidade, rapidez e baixo custo na avaliação de impactos negativos; Boa visualização	Alto grau de controle governamental no planejamento ambiental; Avaliação globalizada pouco segura.

Capítulo 3

METODOLOGIA

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Às etapas realizadas para o desenvolvimento deste trabalho, seguiram-se os passos apresentados na Figura 3.1, tendo como base a metodologia proposta por ZUQUETTE *et al.* (1994), a qual considera um grupo de características do meio físico que afetam a seleção de locais para a instalação de aterros sanitários e lagos de disposição de resíduos.

3.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta etapa foram consultadas bibliografias referentes aos impactos ambientais diante das atividades modificadoras do meio ambiente e dos métodos de avaliação de impactos ambientais.

No que diz respeito aos impactos ambientais, foram obtidas informações como: fonte, tipos de efeitos, tempo de aparecimento, modificações que podem surgir e quais os objetos destas ações.

As bibliografias consultadas quanto aos métodos de avaliação de impacto ambiental permitiram equacionar e identificar os prováveis impactos ambientais negativos causados pela instalação do aterro sanitário industrial e dos lagos de

Figura 3.1 – Etapas realizadas para desenvolvimento deste trabalho

disposição de resíduos do Parque Industrial da ALUMAR, bem como as prováveis causas desses danos.

3.3 LEVANTAMENTO DOS DADOS

Nesta etapa, foram consultados relatórios (ensaios laboratoriais e de campo), mapas cedidos pelo Consórcio do Alumínio do Maranhão - ALUMAR, e fotografias aéreas na escala 1:70.000 ampliadas para 1:35.000 - elementos que permitiram caracterizar o processo industrial da Empresa e o seu meio físico.

3.4 EQUACIONAMENTO DO PROBLEMA

As situações decorrentes da instalação de um Parque Industrial são várias e múltiplas, necessitando serem equacionadas para a identificação e avaliação das possíveis alterações causadas ao meio ambiente. Uma vez caracterizados os processos do meio físico, além de conhecidas e detalhadas as diferentes etapas do desenvolvimento de um Parque Industrial e seus processos tecnológicos, é possível avaliar os impactos ambientais negativos gerados.

Tendo como objetivo equacionar a avaliação dos impactos ambientais negativos decorrente da instalação do aterro sanitário industrial e dos lagos de resíduos de bauxita do Parque Industrial da ALUMAR, foram definidas as seguintes etapas:

- 1. caracterização geral do empreendimento;*
- 2. definição e caracterização das fontes potenciais de poluentes;*
- 3. definição e caracterização das cargas potencialmente poluidoras;*
- 4. definição dos problemas que podem ocorrer, a partir das fontes potenciais de poluentes;*
- 5. definição do que pode ser atingido e*
- 6. caracterização do meio físico*

Com base nestas informações e na lista de atributos (Tabela 3.1) que devem ser levantados de acordo com ZUQUETTE *et al.* (1997) para a análise do meio ambiente, foram considerados os seguintes atributos para realização deste trabalho: declividade, limite das águas superficiais, direção dos ventos, evapotranspiração, pluviosidade, litologia, profundidade do substrato rochoso, materiais inconsolidados (textura, variação do perfil, mineralogia, presença de matacões), profundidade da zona saturada, direção de fluxos de água superficiais e subsuperficiais, escoamento superficial, localização das fontes e poços e condições de drenabilidade. A partir de dados espaciais e mapas elaborados pela ALUMAR foram selecionados, analisados e sintetizados todos os atributos de interesse em um conjunto de documentos cartográficos a saber:

- Mapa Topográfico;
- Mapa de Localização do Parque Industrial da ALUMAR;
- Carta de Declividade;
- Mapa de Localização dos Furos de Sondagens;
- Mapa de Materiais Inconsolidados;
- Mapa de Fluxo de Água Superficial;
- Mapa de Registro da Posição (cota) do Nível D'água;
- Mapa de Fluxo de Água Subsuperficial;
- Perfis Geológico-geotécnicos da área de estudo - Parque Industrial ALUMAR
- Perfis Geológico-geotécnicos da área do Aterro Sanitário Industrial-ALUMAR
- Perfis Geológico-geotécnicos da área das Lagos de Resíduos de Bauxita-ALUMAR

TABELA 3.1: Atributos que devem ser levantados nos processo de mapeamento geotécnico elaboração de cartas interpretativas e derivadas para o zoneamento de uma região quanto a avaliação de impactos ambientais. Modificado de ZUQUETTE *et. al.* (1997).

Aspectos Geológico-geotécnicos	Atributos		Formas de obtenção/ Avaliação	Finalidade Fundamental
	Águas			
	Superficiais	Escoamento superficial	* Relativa (método de Cook) * Estimativas * Medidas de campo	e,z
		Infiltração (Infiltração potencial)	* Relativa * Ensaios de campo * Estimativa	b
		Áreas de acúmulo de águas (temporário e permanente)	* Fotointerpretação	b,z
		Características físico-químicas (pH, Ce, Turbidez, luminosidade)	* Análises laboratoriais * Análises com padrões em campo	b
		Bacias hidrográficas desde 1ª ordem (Segundo Strahler)	* Fotointerpretação	e,b,z
		Densidade de canais/Km	* Fotointerpretação	e,b
		Tempo de concentração	* Estimativa	e
		Canais de drenagens com fluxo permanente	* Trabalho de campo * Fotos aéreas baixas/ imagens de satélites	b,z
	Subterrâneas	Presença de lentes salgadas	* Trabalho de campo * Registros de controle	b,z
		Aqüíferos (livres, confinados)	* Fotointerpretação * Trabalho de campo	z
		Áreas de recargas	* Relativas * Medidas de campo	z

	Subterrâneos	Profundidade/espessura do aquífero	* Trabalho de campo * Geofísica, sondagens	b
		Fontes naturais (posição espacial)	* Trabalho de campo (GPS)	b,z
		Poços existentes	* Registros * Trabalhos de campo (GPS)	b,e,z
		Escoamento básico	* Relativa * Estimativa * Medidas <i>in situ</i>	
		Características físico-químicas (pH, Ce)	* Análises laboratoriais * Análises com padrões de campo	b
		Área de descargas	* Trabalho de campo * Fotointerpretação * Modelos	z
	Geomorfologia			
	Morfometria	Amplitude de relevo	* Trabalho de campo (GPS) * Fotointerpretação	b
		Declividade	* Trabalho de campo * Fotointerpretação * Escritório	e, b, z
		Direção e sentido da maior declividade	* Fotointerpretação * Escritório	e, b
	Morfologia	<i>Landforms</i>	* Fotointerpretação (fotos antigas)	e, b, z
		Formas das encostas ou dos <i>landforms</i> (vertical e longitudinal)	* Fotointerpretação	e, b
		Comprimento das encostas ou dos <i>landforms</i>	* Fotointerpretação	e, b

	Geologia			
Aspectos Geológico-geotécnicos	Substrato Rochoso	Tipo rochoso/Grupo litológico	* Trabalho de campo * Fotointerpretação	b
		Litologia	* Trabalho de campo	b, z
		Mineralogia	* Laboratório	e, b
		Densidade aparente/porosidade aparente	* Ensaios laboratoriais	b
		Profundidade/espessuras	* Trabalho de campo * Fotointerpretação	b
		Distribuição(em área em profundidade)	* Trabalho de campo * Fotointerpretação	b, z
		Estruturas (descontinuidades)-geometria, distribuição, Jv, caracterização	* Trabalho de campo * Fotointerpretação	b
		Grau de intemperismo	* Trabalho de campo * laboratório	b
		Alterabilidade (potencial)	* Laboratório	b
		Condutividade hidráulica	* Ensaio * Estimativa * Analogia * Relativa	b
		Resistência mecânica	* Estimativa	b
	Evidências de processos	Deposição (indícios de assoreamento)	* Trabalho de campo * Fotointerpretação	b, z
		Sismicidade (intensidade)	* Registros	b, z
		Subsistência (áreas de calcário, escavações abandonadas)	* Trabalho de campo * Fotointerpretação	b, z
		Erosivos (concentrados e laminares)	* Trabalho de campo * Fotointerpretação	b, z
		Alterações naturais nos canais de drenagens	* Trabalho de campo * Fotointerpretação	z
		Movimento de massa (escorregamentos, <i>creep</i> , etc.)	* Trabalho de campo * Fotointerpretação	b, z

Aspectos Geológico-geotécnicos	Materiais Inconsolidados	Origem (residual, retrabalhado)	* Trabalho de campo * Fotointerpretação * Laboratório	e, b, z
		Variação em profundidade(perfil de alteração ou dos materiais. inconsolidados)	* Trabalho de campo	e, b, z
		Distribuição(em área)	* Trabalho de campo * Fotointerpretação	e, b, z
		Presença de matacões		
		Presença de camadas de lateritas		
		Textura	* Trabalho de campo * Ensaio de granulometria	e, b, z
		pH (H ₂ O e KCl)/(ΔpH)	* Laboratório	b
		Índice de vazios	* Laboratório	b
		Mineralogia básica	* Laboratório	b
		Pesos específicos: dos sólidos, aparente seco de campo, aparente seco máximo	* Laboratório (ABNT e ASTM)	b
		Índice de erodibilidade	* Laboratório	e, b
		C.T.C (Capacidade de troca catiônica) ou C.T.A	* Método do IAC * Absorção de azul de metileno	b
		Potencial à salinidade	* Laboratório	z
		Expansibilidade (potencial)	* Estimativa (mineralogia, C.T.C, S.E).	e, b
		Colapsividade (potencial)	* Laboratório	b
		Fator de retardamento, dispersividade, etc.	* Laboratório * Estimativa	
		Características químicas (pH,SO ₃ , S, Ce)	* Laboratório * Medidas de campo	b

		capacidade de campo e ponto de murchamento (água disponível)	* Laboratório * Estimativa * Medidas de campo	b
		Potencial quanto à fertilidade	* Laboratório * Estimativa	z
		Condutividade hidráulica	* Laboratório * Estimativa * Medidas de campo	b
		Resistência mecânica/suporte	* Ensaio * Estimativa	b
		Equivalente areia	* Medidas de campo	b
	Feições do Tecnógeno	Áreas de aterros e entulhos	* Fotointerpretação * Trabalho de campo	b, z
		Áreas utilizadas para exploração de materiais para construção civil	* Fotointerpretação * Trabalho de campo	b, z
		Depósitos relacionados à exploração mineral	* Fotointerpretação * Trabalho de campo	b, z
		Explorações minerais	* Fotointerpretação * Trabalho de campo	b, z
		Antigos de depósitos de rejeitos de resíduos	* Fotointerpretação * Trabalho de campo	b, z
		Depósitos devidos às alterações antrópicas junto aos canais de drenagens	* Fotointerpretação * Trabalho de campo	b, z
		Biológicos		
	Corpos de águas	Tipos de distribuição	* Fotointerpretação * Trabalho de campo	z
		Salinidade, BOD., COD., temperatura, profundidade do corpo aquoso, luminosidade	* Trabalhos de campo * Medidas em campo * Laboratório	a
		Taxa de sedimentos	* Trabalhos de campo * Medidas em campo * Imagens	a

		Interdependência entre organismos	* Trabalhos de campo	a
	Animais	Tipos	* Trabalhos de campo	a
		Inventários	* Trabalho de campo	z
		Anomalias	* Trabalho de campo	z
		Distribuição e tendências	* Fotointerpretação * Trabalho de campo	z
		Valor econômico ou preservacionista	* Escritório	a
	Vegetação Natural	Inventários	* Fotointerpretação * Trabalho de campo	a
		Tipos		z
		Anomalias	* Fotointerpretação * Trabalho de campo	a
		Distribuição e tendências	* Fotointerpretação	z
		Valor econômico ou preservacionista	* Escritório	a
		Classificação quanto à taxa de massa verde	* Trabalho de campo * Escritório	z
		Profundidade das raízes	* Trabalho de campo	z
		Capacidade de retenção de água em superfície	* Trabalho de campo * Laboratório * Estimativa	z
	Antrópica	Tipos/ciclos		z
		Classificação quanto a taxa de massa verde	* Trabalho de campo	z
		Profundidade das raízes	* Trabalho de campo	z
		Capacidade de retenção de água em superfície	* Trabalho de campo * Laboratório * Estimativa	z
	Climáticos			
		Pluviosidade	* Registros * Medidas	e, b, z
		temperatura	* Registros * Medidas	z

		Umidade relativa	* Registros * Medidas * Estimativa	a
		Direção e velocidade dos ventos	* Registros * Medidas	b
		Insolação	* Registros * Medidas	b
		Evapotranspiração real e potencial	* Estimativa	b, z
		Intensidade pluviométricas	* Registros * Medidas	e, b, c
		Distribuição temporal das chuvas	* Registros * Medidas	e, b, z
	Processos antrópicos superficial recentes			
		Cordões de nível	* Fotointerpretação * Trabalho de campo	z
		Canais construídos para drenagem (com ou sem proteção)	* Fotointerpretação * Trabalho de campo	z
		Barragens ou barramentos (qualquer tipo)	* Fotointerpretação * Trabalho de campo	z
		Áreas com irrigação	* Fotointerpretação * Trabalho de campo	z
		Obras que interferem no fluxo das águas subsuperficiais	* Fotointerpretação * Trabalho de campo	z
	Sócio-econômicos			
		População, saúde, escolas	* Trabalho de campo * Registros	a
		Necessidade da população	* Trabalho de campo * Registros	a
		Usos atuais do solo, industriais e tipos de rejeitos, postos de gasolina e dutos	* Trabalho de campo * Registros	a

LEGENDA

z = Zoneamento geoambiental;

b = Mapeamento geotécnico básico;

e = Erosão; a + z = Análise ambiental

* Fotointerpretação sempre relacionada a imagens de satélites, fotos aéreas, fotos de baixa altitude e terrestre.

3.5 ELABORAÇÃO DOS DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS

Todos os documentos cartográficos representativos da área de influência do Parque Industrial (144 Km²), isto é, os mapas e cartas, foram impressos na escala 1:20.000 e os perfis elaborados com escalas horizontal 1:20.000 e verticais 1:100 e 1:250, como pode ser observado nos anexos de I a VIII. A elaboração dos mapas foi baseada em dados (ensaios de laboratório e de campo) e mapas nas escalas 1:20.000 e 1:10.000 fornecidos pelo Consórcio de Alumínio do Maranhão, utilizando-se os programas AutoCAD 13, SURFER versão 7.0 e a rotina do DOS usada para conversão de arquivos DXF para arquivos TXT.

Este novo conjunto de documentos cartográficos elaborados permitiu uma visão mais adequada dos componentes do meio ambiente, suas distribuições espaciais e relações.

3.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Definidos os atributos de maior importância na área, partiu-se para a análise dos resultados, baseando-se nas interações entre os componentes do meio ambiente e as características físicas do aterro sanitário industrial e dos lagos de resíduos de bauxita, como exemplificado nas Figuras 3.2 e 3.3, os quais podem gerar condições de instabilização no sistema, provocando vazamento.

3.7 AVALIAÇÃO DOS PROBLEMAS DE POLUIÇÃO

Os problemas de contaminação decorrentes de vazamentos foram avaliados segundo os locais e as formas que possibilitam que os contaminantes atinjam o meio físico. Foram adotados perfis geológico-geotécnicos para apresentar os diferentes contextos de contaminação que podem ocorrer na área do aterro sanitário industrial e dos lagos de resíduos de bauxita.

1. Aterro Sanitário Industrial

Figura 3.2 – Fluxograma dos problemas ambientais decorrente do aterro sanitário. Adaptado de ZUQUETTE *et al.* (1997).

2. Lago de Resíduos de Bauxita

Figura 3.3 – Fluxograma dos problemas ambientais decorrentes da instalação de lagos de resíduos. Adaptado de ZUQUETTE *et al.* (1997).

Capítulo 4

CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA PESQUISADA

4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área estudada está localizada (Figura 4.1) na porção sudoeste do distrito industrial da Ilha de São Luís, entre as baías de São Marcos, São José e Arraial e o Rio dos Cachorros, a cerca de 23 km da zona urbana de São Luís/MA.

Figura 4.1 – Localização da área de estudo – Parque Industrial ALUMAR (Fonte: Relatório da ALUMAR/1994).

4.2 CARACTERIZAÇÃO GERAL DO PARQUE INDUSTRIAL DA ALUMAR

O Parque Industrial da ALUMAR (Figura 4.2) é um sistema integrado formado pelas áreas de Aquisição & Logística/Porto, Refinaria e Redução, constituindo o processo de produção de alumina e alumínio, e sendo responsável pela geração de diversos tipos de resíduos industriais.

Figura 4.2 – Parque Industrial do Consórcio de Alumínio do Maranhão - ALUMAR
(Fonte: ALUMAR/1998).

Porto

O porto da ALUMAR encontra-se na confluência do Estreito dos Coqueiros com o Rio dos Cachorros e pode receber navios de até 50 mil toneladas de matéria-prima para a fabricação de alumina e alumínio - bauxita, carvão, coque, piche e soda cáustica.

São, ao todo, três sistemas de manuseio de carga: um para a descarga de bauxita, carvão, coque e piche, e outro para a descarga de soda cáustica, além de um carregador de alumina. Todos os insumos, exceto a soda cáustica, são levados para descarga aos respectivos locais de estocagem por meio de correias transportadoras. O mesmo acontece com a alumina excedente, que é enviada da fábrica para um silo de estocagem, com capacidade para cem mil toneladas.

Os principais resíduos gerados no processo de Aquisição & Logística/Porto são: água de lavagem das correias transportadoras, bauxita, carvão, coque, piche e alumina.

Refinaria

A refinaria tem como objetivo transformar o minério bauxita em alumina, por meio dos processos de moagem, clarificação, digestão, precipitação e calcinação.

A extração de alumina da bauxita se dá por um processo hidrometalúrgico - Processo Bayer (Figura 4.3), pelo qual a bauxita é misturada com uma solução de soda cáustica, moída, transformando-se em pasta, e então enviada à digestão. Depois, é aquecida em vasos de alta pressão, proporcionando a dissolução da alumina. A separação das impurezas ocorre por meio de sedimentação e filtração, sendo removido, assim, o resíduo de bauxita. Este hidrato é calcinado a alta temperatura - 1000 ° C, obtendo-se a alumina.

Nos processos para a obtenção da alumina, são gerados diversos resíduos: cinzas, gases das caldeiras, crosta dos lavadores, resíduos de bauxita, panos de filtro, hidrato e gases da calcinação, sendo considerado o principal, o resíduo da bauxita, por ainda conter soda cáustica .

LEGENDA

- (1) CINZAS
- (2) GASES DAS CALDEIRAS
- (3) CROSTA DOS LAVADORES
- (4) RESÍDUOS DE BAUXITA
- (5) PANOS DE FILTRO
- (6) HIDRATO
- (7) GASES DA CALCINAÇÃO

Figura 4.3: Fluxograma do processo da refinaria e seus principais resíduos gerados

Redução

A área de redução da ALUMAR é composta, basicamente, pelas áreas de eletrodos (anodos verdes, cozimento de anodos e chumbamento de hastes), salas de cubas e lingotamento (Figura 4.4).

O processo convencional de produção de alumínio consiste na dissolução eletrolítica da alumina em banho eletrolítico fundido, por onde passa uma corrente elétrica contínua. Esse banho é composto basicamente de criolita e fluoretos, onde estão mergulhados os anodos de carbono pré-cozidos (pólo positivo), que reagem com o oxigênio liberado pela dissociação da alumina.

Figura 4.4 – Fluxograma do processo da redução e seus principais resíduos gerados

Entre os principais resíduos produzidos na área da redução, destacam-se os fluoretos gerados, principalmente, nas cubas eletrolíticas, pó de coque e piche, tijolos refratários, anodos gastos, revestimento gasto de cubas, banho eletrolítico, sucata de fundo de cadinho, borra de alumínio e os gases de fornos de cozimento de anodos.

4.3 CARGAS POTENCIALMENTE POLUIDORAS

A potencialidade poluidora derivada das atividades processuais do complexo industrial de alumínio deve-se:

- ao dióxido de enxofre gasoso (SO_2), pela queima de combustíveis fósseis;
- ao fluoreto de hidrogênio gasoso (HF) e fluoretos metálicos na forma de material particulado, presentes nos gases residuais da fabricação;
- ao material particulado, devido à queima de combustíveis/fósseis e ao manuseio e transporte de sólidos e
- aos resíduos sólidos da bauxita.

4.4 PRINCIPAIS FONTES POTENCIAIS DE POLUIÇÃO

Mapa da área de estudo da Companhia Saneamento de Marabá. O mapa mostra a localização das instalações portuárias, aterro sanitário industrial, lagoa de resfriamento, lagoa de água contaminada, depósito de resíduos, lagoas de resíduos de bauxita, refinaria, administração, educação e vilas rurais (Fazenda, Zucena, Casaco, Aracata, Ananitéia, Itaipua, Pederneiras). O mapa também indica a localização da Companhia Saneamento de Marabá e a escala gráfica.

84

1. Lagos de Resíduos de Bauxita

São construídos para a disposição de resíduos de bauxita (415.000 t/ano, base seca), duplamente impermeabilizados, com uma camada de argila compactada, de 50 cm de espessura e uma membrana sintética de PVC. Além disso, dois sistemas de drenagem, um no fundo e nas laterais e outro na superfície dos lagos, recolhem a água com soda cáustica remanescente.

2. Lago de Resfriamento

O lago de resfriamento, que recebe a água dos circuitos de refrigeração da refinaria, é, como os lagos de resíduos de bauxita, revestido internamente por duas camadas impermeabilizantes, uma de argila de 50 cm de espessura e outra manta de PVC.

3. Depósito de Resíduos

São galpões cobertos e pavimentados, que recebem resíduos industriais que contêm fluoretos e cianetos.

4. Pátio de Estocagem de Resíduos

Os pátios são impermeabilizados com argila compactada e a sua drenagem é direcionada para um lago de contenção, onde os sólidos em suspensão decantam e o material sobrenadante é bombeado para um lago de detenção .

5. Lagoa de Água Contaminada

A lagoa das águas contaminadas recebe todas as águas, eventualmente poluídas (primeiros minutos de chuvas recolhidas em áreas contaminadas ou eventualmente contaminadas) e qualquer outra água contaminada recolhida pelo sistema de drenagem superficial. Essa lagoa é mantida sempre no nível mínimo,

através de recirculação das águas coletadas para o processo. O volume de reserva é de 82.000 m³, com uma área total ocupada de 3 ha.

6. Aterro Industrial

O aterro industrial consiste em escavações em terreno natural, com sistema de impermeabilização por meio de camada de argila e material laterítico, que tem a finalidade de receber os resíduos sólidos de origem industrial gerados pelo Projeto ALUMAR.

4.5 O QUE PODE SER ATINGIDO

O que pode ser atingido em virtude das cargas potencialmente poluidoras, presente nas fontes potenciais de poluentes, pode ser visto na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – O que pode ser atingido em virtude das cargas poluidoras.

O QUE PODE SER ATINGIDO	
Águas superficiais	Fauna
Águas subsuperficiais	Flora
Material rochoso	População humana
Material inconsolidado	Tipos de ocupação
Fundações	Ar
Paisagem	Mar
Canal de drenagem	

4.6 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO MEIO FÍSICO

A área apresenta topografia complexa, estruturada por um sistema de espigões principais que a dividem em quatro grandes compartimentos:

1. Encosta cujas águas correm para o estreito dos Coqueiros e Rio dos Cachorros;
2. Bacia do Rio Pedrinhas;

3. Encostas cujas águas escoam para o Igarapé Maracujá e
4. Encostas cujas águas escoam para as bacias do Arraial e São José.

Segundo dados da ALUMAR (1998), as temperaturas médias mensais situam-se entre 26,3 °C (março, abril e maio) e 27,5 °C (novembro e dezembro). A precipitação média anual é de aproximadamente de 2.000 mm, concentrados no período mais chuvoso, que compreende os meses de fevereiro a maio.

A primeira direção predominante do vento é para nordeste (43% do total anual), com velocidade média de 3,1 m/s. A segunda é a direção leste com 13,8% e uma velocidade de 3,0 m/s, e a terceira, a direção norte com 6,6% e uma velocidade de 3,5 m/s. A quarta e última predominância significativa é a sudeste com 4,2 % e 2,0 m/s.

A vegetação é muito diversificada, constituída principalmente por espécies arbóreas e palmáceas, entre outras.

Quanto à geologia, em termos regionais, uma grande parte da área de estudo se localiza dentro da ocorrência da Formação Alter do Chão, constituída por arenitos pouco consolidados, siltitos, argilitos e folhelhos argilosos intercalados, com laterita ferruginosa presente sob a forma de seixos e matacões.

As regiões de mangue, presente na área de estudo, caracterizam-se pela presença de camadas de argilas arenosas orgânicas, escuras, com espessura média da ordem de 6 metros, embora existam espessuras bem maiores ao longo dos depósitos que acompanham os cursos principais de drenagem, com seixos de laterita ferruginosa (canga) rolados da Formação Alter do Chão encontrados nas margens dos mangues.

A variação da maré nos mangues é de 6,8 a 7,3 metros.

4.6.1 Elaboração dos Documentos Cartográficos Específicos

A elaboração dos documentos cartográficos ocorreu a partir da seleção dos atributos de interesse para o estudo, por meio da análise dos dados espaciais (ensaios laboratoriais e de campo) e mapas elaborados pela ALUMAR, gerados através do emprego dos procedimentos metodológicos e dos materiais descritos a seguir:

4.6.1.1 Mapa Topográfico

O mapa topográfico da região de estudo (Anexo I) apresenta as curvas de nível equidistantes de 5m. Este documento foi elaborado com base nos mapas topográficos, publicados pela ALUMAR, na escala 1:10.000 e 1:20.000.

A amplitude altimétrica da área trabalhada é de 55 m, e a curva de cota mínima corresponde ao nível do mar.

4.6.1.2 Mapa de Localização do Parque Industrial ALUMAR

O mapa de localização do Parque Industrial ALUMAR (Anexo II) foi elaborado basicamente a partir das informações coletadas nas seguintes fontes: fotos aéreas da região na escala 1:70.000 (1966) ampliada para 1:35.000, trabalho de campo e mapas elaborados pela ALUMAR, tendo a finalidade de apresentar o uso e ocupação atual do solo, que contempla o conjunto das seguintes unidades:

➤ Parque Industrial ALUMAR;

▪ **Instalações Portuárias**

▪ **Refinaria**

1. Lago de resfriamento
2. Lago de aeração
3. Lago de água bruta
4. Lago de água contaminada
5. Lago de detenção
6. Depósito de cinzas
7. Lago de sedimentação da bauxita
8. Lago de sedimentação da estocagem de carvão
9. Estação Meterológica 1

▪ **Redução**

1. Lagoa séptica
2. Depósitos de resíduos
3. Canteiro de construção
4. Estação Meterológica 2
5. Lagos de resíduos de bauxita

▪ **Administração**

➤ Vilas ;

➤ Rodovias, estradas e ferrovias.

4.6.1.3 Carta de Declividade

As cartas de declividade, têm se constituído em uma ferramenta de grande importância para os trabalhos de mapeamento geotécnico por representarem espacialmente as variações topográficas da superfície. Segundo MAYER & CHRISTOFOLETTI (1984), esses documentos são considerados imprescindíveis quando se pretende analisar processos que envolvam mecanização agrícola, manejo do solo, construção de pequenas barragens, disposição de resíduos, traçados de estradas, delimitação de áreas destinadas à atividades agrícolas, etc.

Das técnicas mais utilizadas na elaboração das cartas de declividade, destacam-se as propostas por WENTWORTH (1930), DE BIASI (1970) e outras, executadas por diferentes sistemas de informação geográfica (IDRISI, ERDAS, ARCO-INFO, etc.).

Neste trabalho, optou-se basicamente pela metodologia proposta por DE BIASI (1970), considerando-se as informações fornecidas pelo mapa topográfico, que consiste basicamente em delimitar áreas que apresentem valores de inclinação do terreno dentro de um mesmo intervalo ou classes de declividade.

Para a definição dos intervalos de classes utilizados, foram considerados tanto os aspectos geomorfológicos quanto os prováveis tipos de uso e ocupação do meio físico, segundo proposições de GONZALES DE VALLEJO, HILPMAN & STEWAT, COOKE & DORNKANP (*apud* ZUQUETTE, 1987). Adotou-se portanto para este trabalho, um ábaco contendo as seguintes classes de declividade: 0 a 2%; 2 a 5%; 5 a 10%; 10 a 20% e maior que 20%. Para a confecção deste ábaco, consideram-se o valor da escala, a distância entre os espaçamento das curvas de nível e dos intervalos de declividade definidos para a área.

A partir da análise da carta de declividade (Anexo III), verifica-se que, na área, predominam condições de baixa declividade, aparecendo com maior frequência as classes de 0 a 2% e 2 a 5%.

4.6.1.4 Mapa de Localização dos Furos de Sondagens

Neste mapa (Anexo IV), estão localizadas cerca de 160 sondagens (elétricas e de simples reconhecimento) realizadas na área de estudo (Fonte: ALUMAR, 1998).

Os resultados obtidos dos ensaios de sondagem possibilitaram a elaboração do mapa geológico detalhado, a partir da definição do material e sua espessura, assim como o mapa de fluxo de água subsuperficial.

4.6.1.5 Mapa de Materiais Inconsolidados

A partir das investigações geológico-geotécnicas realizadas na área pela ALUMAR, supracitadas, foi possível gerar um mapa geológico detalhado, apresentado no Anexo V, a partir da execução das seguintes etapas:

⇒ Primeira etapa

Tendo como base o mapa de localização dos furos sondagens da área de estudo, traçaram-se 8 (oito) perfis geológico-geotécnicos que melhor retratassem a área estudada. A localização destes perfis em planta pode ser visualizada na Figura 4.6 e, em seguida, a apresentação gráfica de 2 perfis traçados na área (Figuras 4.7 e 4.8).

A partir da análise dos perfis supracitados, obteve-se um perfil geológico-geotécnico geral da área, no qual foram definidas 12 (doze) classes, baseando-se nos resultados obtidos nos ensaios realizados sobre os materiais, como: granulometria, compactação, permeabilidade, densidade *in situ*, umidade natural, massa específica real e valores de resistência à penetração do amostrador padrão do SPT (Fonte: ALUMAR, 1998), apresentados na Tabela 4.1.

Ensaio realizado sobre as amostras procedentes da área de estudo, a partir dos ensaios de sondagem, são apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Resultados de ensaios realizados na área de estudo.

Compactação Normal				Densidade <i>In situ</i> (g/cm³)		Umidade Natural (%)		Massa específica real (g/cm³)		K (cm/seg)	
Densidade máxima (g/cm³)		Umidade ótima (%)									
Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.
2.16	1.67	9.6	5.5	1.95	1.64	14.7	3.6	2.70	2.60	10 ⁻³	10 ⁻⁵

Máx: valor máximo obtido

Mín: valor mínimo obtido.

K: Permeabilidade

Figura 4.6 -Perfis geológico-geotécnicos traçados na área de estudo (A-A' - G-G')/Parque Industrial ALUMAR

Figura 4.8 - Perfil geológico-geotécnico H-H' da área de estudo - Parque Industrial ALUMAR 93

Tabela 4.3: Classes definidas a partir do perfil geológico-geotécnico geral da área – Parque Industrial ALUMAR.

Classes	Litologia	Granulometria	Grau de Compactação	K (cm/s)
0 – 0,5	silte argiloso, com areia	fin a média	medianamente compacta a muito compacta	4,6X10 ⁻⁵
	silte arenoso	fin a média	pouco compacto.	
0,5 – 1,5	* silte arenoso	fin a média	compacto a pouco compacto	
	areia siltosa	fin a média	pouco compacta a fofa	
	silte argiloso, com areia	fin a média	medianamente compacta a fofa	
1,5 – 2,5	* silte arenoso	fin a média	pouco compacta a fofa	
	areia siltosa	fin a média	compacta a pouco compacta	
2,5 – 4	* silte arenoso	fin a média	compacto a fofa	
	areia siltosa	fin a média	fofa a pouco compacta	
	silte argiloso, com areia	fin a média	medianamente compacta a fofa	
4 – 5	* silte arenoso	fin a média	compacta a fofa	
	areia siltosa	fin a média	fofa a pouco compacta	
5 – 10	silte arenoso	fin a média	compacta a fofa	
	areia siltosa	fin a média	fofa a pouco compacta	
	silte argiloso, com areia	fin a média	fofa a medianamente compacta	
10 – 12	areia siltosa	fin a média	pouco compacta a fofa	
	* silte argiloso com areia	fin a média	medianamente compacta a pouco compacta	
12 – 19,5	areia siltosa	fin a média	pouco compacta a fofa	1,9x10 ⁻⁵
19,5 – 20,5	* areia siltosa	média a fina	medianamente compacta a fofa	
	areia	grãos arredondados a sub-arredondados/canga)	medianamente compacta a compacta	1,2x10 ⁻⁵
20,5 – 23	areia pouco siltosa (canga) e pouco argilosa	média a fina	pouco a medianamente compacta	
23 – 25	areia siltosa, pouco argilosa, com presença de argila com veios de areia	média a fina	pouco a compacta	2,5x10 ⁻⁵
25–26,80	* areia siltosa	fin a média	pouco a medianamente compacta	
	areia, pouco argilosa;	média	compacta	
	areia siltosa laterítica (canga)	fin a média	medianamente compacta a compacta	
26,80–30,5	* areia siltosa, pouco argilosa e laterítica;	fin a média	Medianamente compacta a compacta	3,8x10 ⁻⁶
	silte arenoso, pouco argiloso;	fin a média	compacta	1,0x10 ⁻⁵
	areia pouco argilosa	fin a	fofa a pouco compacta	
30 – 32	areia siltosa (canga) e pouco argilosa	fin a grossa, com grãos arredondados a sub-arredondados/canga)	pouco a medianamente compacta	
32 – 38,5	areia siltosa laterítica	média	mediamente compacta	
	silte arenoso laterítico;			
	areia siltosa pouco argilosa, com lentes de argila	fin a	fofa a pouco compacta	
	silte arenoso, pouco argiloso	fin a média		

Tabela 4.3: Classes definidas a partir do perfil geológico-geotécnico geral da área – Parque Industrial ALUMAR. Continuação.

38,5 – 41,80	silte arenoso, com nódulos lateríticos no topo;	média a fina	pouco compacto	$2,3 \times 10^{-5}$
	areia (canga)	média a fina	fofa a pouco compacta	
	areia siltosa pouco argilosa	fina a média	mediamente compacta	
	areia pouco argilosa	fina	fofa a pouco compacta	
41,80 – 43,5	areia siltosa pouco argilosa com restos de raízes;	média a fina	fofa	$8,1 \times 10^{-5}$
	silte arenoso com nódulos lateríticos no topo	média a fina	fofa	
> 45	silte arenoso, pouco argiloso laterítico;	fina a média	mediamente compacta	
	Areia siltosa	fina a média	mediamente compacta	

Legenda

¹ Classes em relação as altitudes

* Material predominante

⇒ Segunda Etapa

Para a obtenção desse resultado em forma de mapa, foi utilizado como base cartográfica o mapa topográfico, considerando-se como contatos geológicos, as suas curvas de nível, para o que foi necessária a sua interpolação no programa SURFER versão 7.0, para obtermos todos os contatos definidos no perfil geral.

A região mapeada encontra-se completamente inserida dentro da Formação Alter do Chão, que, de uma forma geral, é caracterizada por um material arenosiltoso.

4.6.1.6 Mapa de Fluxo de Água Superficial

O mapa de fluxo de água superficial (Anexo VI) foi elaborado a partir da declividade do terreno, tendo a finalidade de apresentar a direção preferencial do fluxo de água superficial.

Na análise da distribuição do fluxo de água superficial na área estudada, verifica-se a movimentação do fluxo em direção preferencial aos canais de drenagem.

4.6.1.7 Mapa de Registro da Posição (cota) do Nível D'água

A determinação do limite superior da zona saturada, denominada nível d'água ou simplesmente N.A, bem como sua distância em relação à superfície do terreno, é o objetivo que conduz à elaboração do Mapa de Registro da Posição (cota) do Nível D'água (Anexo VII).

Este apresenta os pontos de observação do nível d'água adquiridos por meio dos furos de sondagem de simples reconhecimento (Fonte: ALUMAR, 1998) e as nascentes (fontes) através da drenagem, resultantes da fotointerpretação de fotografias aéreas na escala 1:70.000 ampliadas para 1:35.000. Tendo como finalidade subsidiar a elaboração do mapa de fluxo de água subsuperficial.

4.6.1.8 Mapa de Fluxo de Água Subsuperficial

O mapa de fluxo de água subsuperficial, elaborado a partir dos dados fornecidos pelo o mapa de registro da posição (cota) do nível d'água, é apresentado no Anexo VIII.

O procedimentos utilizados na realização deste mapa, por meio do programa SURFER[®] versão 7.0, estão esquematizados abaixo:

⇒ o mapa de pontos de nível d'água, na escala 1:20.000, digitalizado (utilizando-se o programa AutoCARD[®] R13), foi exportado, no formato de texto (na extensão TXT onde são discriminadas as coordenadas x, y e z), para o programa SURFER[®];

⇒ no SURFER, foi gerado um arquivo, que representa a forma *raster* (imagem; extensão GRD), as linhas piezométricas e a posição da zona saturada sob forma de classes de intervalos de altitudes: de 0 a 5 metros; de 5 a 10 metros; de 10 a 15 metros; de 15 a 20 metros; de 25 a 30 metros; de 30 a 40 metros; de 40 a 45 metros, pelo método de interpolação de mínima curvatura.

⇒ A partir das equipotenciais, foram traçadas linhas perpendiculares às mesmas, das quais obtemos a direção e sentido do fluxo da água subsuperficial da área.

Capítulo 5

RESULTADOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS FONTES POTENCIAIS DE POLUENTES DECORRENTES DA INSTALAÇÃO DO PARQUE INDUSTRIAL ALUMAR.

5.1.1 Aterro Sanitário Industrial

A disposição dos resíduos industriais e domésticos em aterros sanitários pode trazer sérias consequências ambientais, em particular sobre a qualidade das águas subsuperficiais e superficiais. A infiltração e percolação das águas pluviais nos resíduos do aterro sanitário provocam a migração de uma série de componentes por meio da zona não saturada, podendo alguns desses compostos atingir a zona saturada, poluindo assim as águas subsuperficiais e, por consequência, todos os componentes do meio ambiente. Logo, o aterro sanitário industrial da ALUMAR pode ser considerado uma fonte potencial de poluição, exigindo amplo estudo e permanente monitoramento.

5.1.1.1 Características Gerais do Aterro Sanitário Industrial da ALUMAR

O aterro sanitário industrial da ALUMAR (Figura 5.1), em funcionamento desde meados 1984, está localizado na área da Refinaria, a oeste da Rodovia BR-135. Foi projetado para receber os resíduos sólidos de origem industrial

gerados pelo Projeto ALUMAR, sendo portanto, um empreendimento capacitado apenas para a destinação de resíduos não perigosos, ou seja Classe II, conforme classificação da norma ABNT NBR 10.004/87.

Figura 5.1 – Vista do Aterro Sanitário Industrial da ALUMAR. Fonte: ALUMAR (1998).

A área reservada ao Aterro Sanitário Industrial é de 5 ha, sendo que 1,88 ha foram utilizadas até o momento. Inicialmente realizam-se escavações em terreno natural e, após a implantação de um sistema de impermeabilização inferior (Figura 5.2) por meio de camadas de argila e material laterítico, os resíduos são depositados.

Figura 5.2 – Sistema de impermeabilização da Cava 2, para os resíduos gerados no Processo da ALUMAR.

Atualmente, está em operação a terceira cava do aterro sanitário industrial, a primeira encontra-se encerrada e a segunda em processo de encerramento, e se busca devolver à região um aspecto visual similar ao original, com práticas de revegetação. As cavas foram projetadas com as seguintes dimensões: Cava 1 – comprimento: 107,00 m, largura: 37,00 m, altura: 2,35 m, área: 3.952 m² e volume: 9.303,65 m³; Cava 2 - comprimento: 91,00 m, largura: 60,5 m, altura: 4.50 m, área: 5.505,5 m² e volume: 24.774,75 m³; Cava 3 - comprimento: 125,00 m, largura: 75,00 m, altura: 6,0 m, área: 9.375,00 m² e volume: 56.250,00 m³, com células de altura máxima de 1 m, após a compactação e 38 m de distância entre elas.

5.1.1.2 Caracterização dos Resíduos

Os principais resíduos encaminhados para o aterro são apresentados na Tabela 5.1. Atualmente, ele está recebendo somente os resíduos de lixo comum, plásticos usados, resíduos orgânicos do restaurante, asbesto/fibra cerâmica, vidro e resíduos de varrição (bauxita, coque, piche e alumina).

Dentre os resíduos gerados das atividades processuais do complexo industrial de alumínio recebido pelo aterro sanitário industrial, o pó de carbono ocupa aproximadamente 50% do volume útil do aterro.

5.1.1.3 Características do Meio Físico da Área do Aterro Sanitário Industrial

5.1.1.3.1 Relevô

A área de estudo apresenta uma topografia complexa, constituída por colinas com declividades variando entre as classes < 2% e 10 %, com altitude máxima de 34 m (Figura 4.3)

Tabela 5.1 – Principais características químicas dos resíduos depositados no aterro sanitário industrial da ALUMAR.(Fonte: Relatório de Avaliação e Caracterização de Resíduos Industriais da ALUMAR/1998).

Nome	Origem dos Resíduos	¹ Quant. gerada	% ² Recic.	Composição Aproximada	Poluentes Potenciais	RESULTADO DE TESTES DE CLASSIFICAÇÃO						⁷ Classif.	⁸ Código
						Lixiviação		Amostra bruta		Solubilização			
						³ Result. (mg/l)	⁴ Lim max (mg/l)	⁵ Result. (mg/kg)	⁴ Lim max (mg/kg)	⁶ Result. (mg/l)	⁴ Lim max (mg/l)		
Pó de carbono	Fábrica/chumbamento/cozimento de anodos (Redução)	272 t/mês	26	-	Fluoreto e Na OH	Al - 62 Ca - 4,7 Cd - < 0,0045 Cr - 0,022 Cu - 1,8 Fe - 3,6 K - 1,1 Mg - 0,95 Mn - 0,3 Na - 96 Pb - <0,018 Zn - 0,23 F - 89 As - 0,0081 Hg - <0,001 Se - <0,002 CN ⁻ < 0,01 N-NO ⁻³ <0,05 SO ⁻⁴ - 41	0,5 5,0 5,0 150 5,0 0,1 1,0 -	Al - 0,75% Ca - 0,11% Cd - <0,98 Cr - 23 Cu - 311 Fe - 0,84% K - 158 Mg - 100 Mn - 37 Na - 0,67% Pb - 15 Zn - 46 As - 5,5 Hg - <0,1 Se - <1 CN ⁻ - - C - 88,92%	1000 100 100 1000 	Al - 33 Ca - 5,2 Cd - <0,0045 Cr - 0,022 Cu - 0,28 Fe - 1,6 K - 1,2 Mg - 1,3 Mn - 0,23 Na - 62 Pb - <0,018 Zn - 0,35 F - 16 As - 0,0046 Hg - <0,001 Se - <0,002 CN ⁻ < 0,01 N-NO ⁻³ <0,14 SO ⁻⁴ - 90	0,2 0,005 0,05 1,00 0,3 0,1 200 0,05 5,0 1,5 0,1 10,0 4000	II	A003/ A099
Bauxita, coque, piche e alumina	Limpeza de áreas de estocagem, tanques, correias e deramamentos	50 t/mês	80	Resíduos de carvão, coque, piche e alumina	carvão, coque, piche e alumina	-	-	-	-	-	-	II	A099

Tabela 5.1 – Principais características químicas dos resíduos depositados no Aterro Sanitário da ALUMAR. (Continuação)

Nome	Origem dos Resíduos	¹ Quant. gerada	² % Recic.	Composição Aproximada	Poluentes Potenciais	RESULTADO DE TESTES DE CLASSIFICAÇÃO						⁷ Classif.	⁸ Código
						Lixiviação		Amostra bruta		Solubilização			
						³ Result. (mg/l)	⁴ Lim max (mg/l)	⁵ Result. (mg/kg)	⁴ Lim max (mg/kg)	⁶ Result. (mg/l)	⁴ Lim max (mg/l)		
Mangas de filtro	Coletores de pó (Refinaria)	155 un/mês	–	Fibra de vidro	–	–	–	–	–	–	–	II	A 010
Mangas de filtro	Coletores de pó (Redução)	125 un/mês	–	Fibra de vidro	–	–	–	–	–	–	–	–	P056
Mangas de filtro	Captção de pó do sistema de transporte de alumina e banho eletrolítico	675 un/mês	–	Poliéster	Fluoreto/ Material particulado	–	–	–	–	–	–	–	P056
Alumina de Varrição	Varrição das salas de cubas	34 t/mês	–	Al ₂ O ₃ (99%)	Fluoreto	–	–	–	–	–	–	–	P056
Lixo comum	Limpeza e varrição de áreas	234 t/mês	–	Material de varrição, madeira, plástico, papel e pó de carbono.	Fluoreto e Na OH	–	–	–	–	–	–	–	A003/ A099
Resíduos Orgânicos dos restaurantes	Sobras de bandejas, pré-preparado e preparados de alimentos.	18 t/mês	–	Matéria orgânica	Bactérias e microorganismos patogênicos	–	–	–	–	–	–	–	A001
Plásticos usados	Embalagens/escritórios	1 t/mês	–	Poliétilenos, pvc	–	–	–	–	–	–	–	–	A007
Cinzas de escumagem de cubas	Escumagem de cubas eletrolíticas	2,5 t/mês	–	-	Fluoreto	–	–	–	–	–	–	–	–

Tabela 5.1 – Principais características químicas dos resíduos depositados no Aterro Sanitário da ALUMAR. (Continuação)

Nome	Origem dos Resíduos	¹ Quant. gerada	% ² Recic .	Composição Aproximada	Poluentes Potenciais	RESULTADO DE TESTES DE CLASSIFICAÇÃO						⁷ Classif.	⁸ Código
						Lixiviação		Amostra bruta		Solubilização			
						³ Result. (mg/l)	⁴ Lim max (mg/l)	⁵ Result. (mg/kg)	⁴ Lim max (mg/kg)	⁶ Result. (mg/l)	⁴ Lim max (mg/l)		
Revestimento de pellets	Transporte de anodos	28 t/mês		Material sílico-aluminoso	Fluoreto	–	–	–	–	–	–	–	17
Asbesto/Fibra cerâmica	Revestimento de tubulação/Peças de manutenção	35 t/mês		Silicato hidratados de magnésio/ferro/cálcio/sódio	Fibras de asbesto e RCF	–	–	–	–	–	–	–	–
Graxa Usada	Lubrificação Geral	20 kg/mês		Derivado petróleo	Graxas	–	–	–	–	–	–	–	F030
Vidro		50 t/mês		Quartzo/carbonato de cálcio/carbonato de sódio		–	–	–	–	–	–	–	A099

Legenda

* Valores expressos em %

1. Quantidade gerada de resíduo

2. Porcentagem reciclada

3. Resultado máximo obtido no ensaio de lixiviação

4. Limite máximo especificado na norma NBR 10004

5. Resultado máximo obtido na amostra bruta

6. Resultado máximo obtido no ensaio de solubilização

7. Classificação segundo ABNT-NBR 100049.

8. Código referente ao CONAMA 06/88

Figura 5.3 – Carta de declividade da área de estudo – aterro sanitário industrial/ALUMAR.

5.1.1.3.2 Águas

A - Superficiais

O Mapa do Fluxo de Água Superficial, elaborado a partir da declividade da área, apresentado na Figura 5.4, mostra que o fluxo é parcialmente radial ao aterro sanitário industrial, com direção preferencial para o Estreito dos Coqueiros, e deságua na baía de São Marcos.

Figura 5.4 – Mapa de fluxo de água superficial da área de estudo – aterro sanitário industrial/ALUMAR.

B - Subsuperficiais

O mapa de Fluxo de Água Subsuperficial (item 4.6.1.8) é apresentado na Figura 5.5 . Pode-se verificar que a altitude máxima da água subsuperficial na área é de 27 m. Com um fluxo parcialmente radial ao aterro sanitário industrial, com direção e sentido preferencialmente para o Estreito de Coqueiro, a oeste do aterro sanitário.

Figura 5.5 – Mapa de fluxo de água subsuperficial da área de estudo – aterro sanitário industrial/ALUMAR.

5.1.1.3.3 Geologia Local

Geologicamente, sob o aterro sanitário industrial (Figura 5.6), encontra-se areia siltosa, com granulometria média a fina, espessura variando de 10 a 22 m, situando-se o seu topo em torno da cota 34 m. Esta areia apresenta-se pouco compacta, e é oriunda da alteração de arenitos da Formação Alter do Chão. Abaixo deste material encontra-se uma camada de silte arenoargiloso compactada.

Figura 5.6 – Mapa de materiais inconsolidados da área de estudo – aterro sanitário industrial/ALUMAR.

5.1.1.3.4 Climáticos

A caracterização das condições meteorológicas locais foi baseada nos dados provenientes do Posto Meteorológico I, instalado na área da Refinaria, tendo sido utilizada uma série histórica de 16 anos.

As temperaturas médias mensais situam-se entre 33,0 °C e 24,6 °C, com uma média anual de umidade relativa de 78,60%.

O índice de precipitação média da região é da ordem de 2.100 mm/ano; a evaporação natural devida à insolação média de 7,7 h/d é da ordem de 1.756,02 mm anuais, concentrada no período de setembro a dezembro.

A pressão atmosférica está sempre próxima dos 1.009,7 (mbar), com ventos de 67,78 ° de direção média e velocidade média de 2,0 m/s.

5.1.1.4 Estabilidade do Maciço da Área de Estudo – Aterro Sanitário Industrial/ALUMAR

Com o intuito de avaliar a estabilidade do maciço onde estão apoiadas as cavas do aterro sanitário industrial, foi considerado um perfil geotécnico básico a partir das sondagens de simples reconhecimento com ensaio de SPT e características geológicas dos materiais.

Na Figura 5.7, encontra-se a representação gráfica das sondagens e das características geológicas.

Figura 5.7 - Representação gráfica das sondagens e das características geológicas da área de estudo.

Para a análise do maciço quanto à estabilidade, foi utilizado o Programa GEO SLOPEW, com aplicação do Método de Fellenius, também conhecido como “Ordinary Method”, “Swedish Method” ou USBR (US Bureau of Reclamation), o Método de Bishop e o Método de Spencer para 4 condições de taludes, a saber:

Taludes	Inclinação (Graus)	Altitude (m)
1	2,35	32,00
2	0,64	32,00
3	6,42	32,50
4	2,21	32,50

Os dados utilizados como *input* foram obtidos a partir das sondagens, ensaios de caracterização e correlações empíricas conforme descritas na Tabela 5.2.

Tabela 5.2: Dados utilizados na análise do maciço quanto à estabilidade – Aterro Sanitário Industrial.

Material	Altitude (m)	N _{SPT} (MÉDIO)	Ângulo de atrito estimado (ϕ)	Coesão estimada (KPa)	Massa específica natural (KN/m ³)
Areia	32-21	22,5-39,6	32	6	17
Areia	21-12	10,4-19,1	30	6	16
Argila	12-0	12,3-79,7	20	50	18
TALUDE		FATOR DE SEGURANÇA			
		Método de Fellenius	Método de Bishop	Método de Spencer	
1		10,666	12,424	12,334	
2		22,922	33,159	33,160	
3		4,296	5,469	5,461	
4		9,462	11,666	11,667	

Os valores obtidos para o fator de segurança nas 4 condições permitem considerar que não há probabilidade de ruptura do maciço para as condições consideradas.

5.1.2 Lagos de Resíduos de Bauxita

É bastante difundido o uso de lagos para a armazenagem, manejo, sedimentação e oxidação de efluentes derivados de atividades industriais e agro-industriais (FOSTER & HIRATA, 1991; ZUQUETTE *et al.*, 1991). Esse tipo de reservatório varia muito de tamanho, sendo constante a existência de pequenos lagos dentro do próprio parque industrial, e normalmente, como é requerido para a proteção ambiental, a maior parte possui uma base de material impermeável natural

ou artificial. No entanto, em muitos casos, as camadas constituídas por material natural (argila) não possuem permeabilidade e capacidade de isolamento satisfatórias; até mesmo quando se utilizam materiais artificiais (geomembranas), pode ocorrer deficiência no seu sistema de impermeabilização (aparecimento de fissuras), ocasionando vazamento e infiltração, e, por esta razão, as lagoas de efluentes são consideradas fontes potenciais de contaminação de águas superficiais e subsuperficiais.

Normalmente, os lagos são utilizados para tratamento dos líquidos gerados e não como forma de disposição final, e acabam por concentrar algumas formas de resíduos sólidos, que devem ser dispostas de maneira apropriada. No caso estudado nesse trabalho, na área de disposição de resíduos do parque industrial ALUMAR, isso não ocorre, tendo os lagos de disposição de resíduos de bauxita as funções de concentrar o material (com perda do líquido através de evapotranspiração e drenagem para o processo) e de reservatório do próprio material concentrado.

5.1.2.1 Características Gerais dos Lagos de Resíduos de Bauxita – ALUMAR

O resíduo do refino da bauxita, por ainda conter soda cáustica, é bombeado para uma área de disposição construída especialmente para a finalidade, que está localizada a leste da BR-135, nas proximidades da Subestação da ELETRONORTE, dentro dos limites da propriedade da ALUMAR.

Os resíduos são bombeados da Refinaria por meio de tubulações e lançados ordenadamente de modo a se ter enchimento contínuo e uniforme do depósito. Com o tempo, o resíduo sedimenta-se no fundo e o excesso de água é bombeado de volta para a refinaria.

Os lagos (Figura 5.8) são duplamente impermeabilizadas por uma camada de argila de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s, com uma espessura de 0,40 m, coberta por uma geomembrana impermeabilizante. Além disso, há dois sistemas de drenagem, um no fundo e nas laterais e outro na superfície dos lagos, para atender a três finalidades:

- 1- Favorecer o desaguamento do resíduo na lagoa;
- 2- Diminuir a carga estática sobre as camadas impermeabilizantes, reduzindo ainda mais a possibilidade de perdas;
- 3- Recuperar e reciclar a água com soda cáustica no processo.

A ALUMAR, atualmente, possui três áreas de disposição de resíduos de bauxita: a primeira área, construída em 1984, no início das operações da fábrica, deixou de receber resíduo em 1991; a segunda iniciou sua operação no final do ano de 1990; ambas estão em processo de reabilitação de sua superfície. A atual área de disposição de bauxita iniciou sua operação no início 1997. Considerando-se a atividade geradora contínua de resíduo e o regime sazonal de chuvas da região, a vida útil da área estará prevista para 6 (seis) anos.

Figura 5.8– Lagoa de resíduo de bauxita.

O projeto do Lago de Disposição de Resíduos de Bauxita # 1 tem dimensões médias de 574,0 m x 346,0 m com profundidade média de 10,0 m, e resulta num volume admissível de reservação de 1.727.854,8 m³, que permitiu uma operação contínua de disposição de resíduos ao longo de 4 anos a partir do início de sua utilização.

O projeto do Lago de Disposição de Resíduos de Bauxita #2 tem profundidade média de 13,8 m, com volume admissível de reservação de 5.018.872,32 m³, que permitiu uma operação contínua de disposição de resíduos ao longo de 8 anos a partir do início de sua utilização.

O projeto do Lago de Disposição de Resíduos de Bauxita #3 consiste na construção do 3 diques com elevação 51,50 m, aproveitando um dos diques na Área 2 existente na mesma elevação, resultando numa área de contenção com a forma de um trapézio. O fundo da área tem elevação média de 33,95 m.

O lago tem dimensões médias de 660 m x 530 m, com profundidade média de 16,5 m, e resulta num volume admissível de reservação de 4.770.000 m³, que permitirá uma operação contínua de disposição de resíduos ao longo de 6 anos.

O sistema adotado para a impermeabilização dos taludes com um sistema duplo de impermeabilização, que consiste em duas geomembranas intercaladas por uma camada drenante para o alívio de pressão sobre a segunda geomembrana, é uma evolução do sistema utilizado nas áreas de disposição de resíduos construídas anteriormente.

5.1.2.2 Caracterização dos Resíduos de Bauxita

O resíduo de bauxita é oriundo do processo de extração da alumina na Refinaria.

O resíduo é constituído, em sua maior parte, pela fração fina da bauxita. Granulometricamente, pode ser classificado como uma argila siltosa com presença de areia.

O transporte da Refinaria para a área de disposição é feita por tubulações, por onde o resíduo é bombeado num teor de aproximadamente 10% de sólidos. A parte líquida apresenta uma concentração de aproximadamente 15g por litro de NaOH (hidróxido de sódio), e as quantidades mensais de resíduo produzido estão em torno de 65.000 m³.

As principais características do resíduo de bauxita gerado pela ALUMAR estão apresentadas na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Principais características químicas do resíduo de bauxita depositado nos lagos de resíduos de bauxita da ALUMAR.(Fonte: Relatório de Avaliação e Caracterização de Resíduos Industriais da ALUMAR/1998).

Nome	Origem dos Resíduos	Quantidad e gerada	Quantidade Estocada	Composição Aproximada	Poluentes Potenciais	RESULTADO DE TESTES DE CLASSIFICAÇÃO						5Classif.	6Código
						Lixiviação		Amostra bruta		Solubilização			
						1Result. (mg/l)	2Lim max (mg/l)	3Result. (mg/kg)	2Lim max (mg/kg)	4Result. (mg/l)	2Lim max (mg/l)		
Resíduos de Bauxita	Processo de Fabricação de Alumina	64.000 t/mês	26 t/mês	Al2O3, SiO2, Fe2O3, TiO2, MnO, P2O5	Na OH	Al – 326 Ca – 94 COT - 1538 N – 0,5 Cu – 1,8 pH – 5,14 Si – 290 Na – 489 SO4 - 23 Zn - 0.12	- - - -	Al – 59390 Ca – 3255 Pb - 15 Cr – 131 Fe – 0,27 Mn – 125 Ni – 21 N – 31 pH – 11,30 Na - 35171 Ti - 4755 Zn - 14	- 1.000 - - 2.000 - -	Al – 58 COT – 54 Cr – 0,09 Fe – 0,88 P – 0,39 N – 0,8 pH – 11,20 Si – 9,7 Na – 352 SO 4 – 7 Zn – 0,06	0,2 0,005 0,3 400 5	I	F099

Legenda

- ¹. Resultado máximo obtido no ensaio de lixiviação
- ². Limite máximo especificado na norma NBR 10004
- ³. Resultado máximo obtido na amostra bruta
- ⁴. Resultado máximo obtido no ensaio de solubilização
- ⁵. Classificação segundo ABNT-NBR 10004
- ⁶. Código referente ao CONAMA 06/88

5.1.2.3 Características do Meio Físico

5.1.2.3.1 Relevô

A área de estudo apresenta uma topografia ondulada, com declividades variando entre as classes $< 2\%$ e $> 20\%$, sendo que a maior parte da área encontra-se nas de 2% a 5%, com elevações variando entre 25 e 50 m (Figura 5.9).

Figura 5.9 – Carta de declividade da área de estudo – lagos de resíduos de bauxita/ALUMAR.

5.1.2.3.2 Águas

A - Superficiais

O Fluxo de Água Superficial da área de disposição de bauxita apresentado na Figura 5.10 mostra que o fluxo é, em parte, drenado pelo riacho Pedrinhas para o Estreito dos Coqueiros e a outra, para pequenos córregos a sudeste da área que deságuam na baía de Arrail. Entretanto, a área apresenta direção e sentido preferencial de fluxo a sudeste e sudoeste dos lagos de resíduos de bauxita.

Figura 5.10 – Mapa de fluxo de água superficial da área de estudo – lagos de resíduos de bauxita/ALUMAR.

B - Subsuperficiais

Através do mapa de fluxo de água subsuperficial (Figura 5.11), pode-se verificar que o fluxo apresenta-se parcialmente radial, desaguando nas baías de São Marcos e Arrail, com elevação máxima em torno de 30 m de altitude.

Figura 5.11 – Mapa de fluxo de água subsuperficial da área de estudo – lagos de resíduos de bauxita/ALUMAR.

5.1.2.3.3 Geologia Local

A geologia da área sob as lagoas de disposição dos resíduos de bauxita (Figura 5.12) é caracterizada por um material arenosiltoso mediantemente compactado,

proveniente da alteração de arenitos da Formação Alter do Chão, com cotas variando de 45,0 a 33,0 m, com presença de material laterítico a partir de 25 m de altitude e lentes de argila e silte arenoargiloso entre as cotas 32 e 38,5 m. Abaixo deste material, encontra-se uma camada de material silte arenoargiloso compactado.

Figura 5.12 – Mapa de material inconsolidado da área de estudo – lagos de resíduos de bauxita/ALUMAR.

5.1.2.3.4 Climáticos

A caracterização das condições meteorológicas locais foi baseada nos dados provenientes do Posto Meteorológico I, instalado na área dos Lagos de Resíduos de Bauxita, tendo sido utilizada uma série histórica de 16 anos.

As temperaturas médias mensais situam-se entre 33,47 °C e 24,96 °C, com uma média anual de umidade relativa de 81,49%. A precipitação média da região é de aproximadamente 2.019 mm/ano, com uma evaporação natural média de 2.016 mm anuais, concentrada no período de setembro a dezembro.

Com uma pressão atmosférica na ordem de 778,65 (mbar), com ventos de 69,20 ° de direção média e velocidade média de 2,54 m/s.

5.1.2.4 Estabilidade do Maciço da Área de Estudo – Lagos de resíduos de Bauxita/ALUMAR

Para analisar a estabilidade do maciço onde estão fundamentadas as lagoas de disposição de resíduos de bauxita, foi realizada a mesma seqüência adotada para a avaliação da estabilidade do maciço onde estão apoiadas as cavas do aterro sanitário, a partir das sondagens de simples reconhecimento com ensaio de SPT e características geológicas dos materiais, para as 8 condições de taludes, a saber:

Taludes	Inclinação (Graus)	Altitude (m)
1	9,10	55,60
2	9,44	55,60
3	3,44	55,60
4	9,43	55,60
5	11,91	55,52
6	7,08	55,52
7	8,79	52,52
8	7,97	51,50

Os dados utilizados na análise da estabilidade do maciço foram obtidos a partir das sondagens, ensaios de caracterização e correlações empíricas, conforme descritos na Tabela 5.4.

Tabela 5.4: Dados utilizados na análise da estabilidade do maciço – Lagos de Resíduos de Bauxita.

Material	Altitude (m)	N _{SPT} (MÉDIO)	Ângulo de atrito estimado (ϕ)	Coesão estimada (KPa)	Massa específica natural (KN/m ³)
Areia	51-35	8,8-17,5	28	6	17
Areia	35-19,5	20-60	32	6	19
Areia	19,5-12	10,4-19,1	28	6	17
Argila	12-0	12,3-79,7	20	50	18
TALUDE		FATOR DE SEGURANÇA			
		Método de Fellenius	Método de Bishop	Método de Spencer	
1		2,668	3,487	3,496	
2		1,658	2,393	2,412	
3		7,840	10,498	10,490	
4		1,658	2,393	2,413	
5		2,174	2,360	2,364	
6		3,699	4,279	4,275	
7		2,880	3,704	3,714	
8		3,171	4,210	4,218	

Os valores obtidos para o fator de segurança nas 8 condições permitem considerar que não há probabilidade de ruptura do maciço para as condições consideradas.

Capítulo 6

ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os resultados foram analisados conforme a sequência ilustrada no fluxograma da Figura 6.1.

Figura 6.1 – Sequência de aspectos geológico-geotécnicos e construtivos considerados na análise dos resultados.

Primeiramente foram investigados os aspectos relacionados às interações entre os componentes do meio ambiente e às fontes potenciais de poluentes, frente aos processos do meio físico e às características físicas do aterro sanitário industrial e dos lagos de resíduos de bauxita da ALUMAR, os quais podem gerar condições de instabilização no sistema e nas fontes, provocando vazamento.

Os problemas de contaminação gerados por possíveis vazamentos foram avaliados segundo os locais e as formas pelos quais os contaminantes podem atingir o meio físico, através das águas superficiais e subsuperficiais. Foram adotados perfis geológico-geotécnicos esquemáticos para apresentar os diferentes contextos de contaminação que podem ocorrer na área.

6.2 INTERAÇÕES ENTRE O MEIO FÍSICO E AS FONTES POTENCIAIS DE POLUENTES

Os componentes e eventos que podem gerar condições de instabilização no aterro sanitário industrial e nos lagos de bauxita, como colapsividade, erosão, afundamento, instabilização do maciço, infiltração, poluição das águas superficiais e subsuperficiais, dentre outros, foram determinados por meio dos atributos analisados na Tabela 3.1 e dos documentos cartográficos elaborados a partir dos mesmos.

6.2.1 Colapsividade

Colapso de solos é um fenômeno caracterizado pela brusca redução de volumes do solo, devido ao ganho de umidade, com presença ou não de sobrecarga (COLLARES, 1997). O terreno é constituído por solos com elevado índice de vazios, o que determina uma estrutura macroporosa e um teor de umidade menor que o necessário para a sua completa saturação, fatos que podem levar à colapsividade. Esses materiais colapsíveis podem movimentar-se bruscamente devido à variação volumétrica do solo quando saturado, como resultado do colapso de sua estrutura.

Quanto ao aspecto da colapsividade do solo, pode-se afirmar que o maciço de solos em questão não apresenta tendência ou comportamento colapsível, pois, de acordo com as amostras de materiais inconsolidados retirados no local, os valores das massas específicas aparente secas naturais variaram entre 1,60 a 1,73 g/cm³, com um grau de compactação de campo de 87%. Segundo os critérios de colapsividade de CLEVENGER (1956) e HOLTZ & HILF (1961), o solo apresenta comportamento colapsível quando a massa específica aparente seca for menor ou igual a 1,28 g /cm³ e com grau de compactação de campo menor que 80% (Tabela 6.1).

Tabela 6.1 – Critérios de identificação de solos colapsíveis utilizando-se os parâmetros ρ_d e S_r (Modificado de NEVES, 1987 *apud* FERREIRA, 1999).

Critérios	Solo Colapsível	Solo Não Colapsível
Clevenger (1956) , Holtz & Hilf (1961)	$\rho_d \leq 1,28 \text{ g/cm}^3$	$\rho_d \geq 1,44 \text{ g/cm}^3$
Markin (1969) Durdley (1970)	$S_r > 60\%$ $13\% < S_r < 39\%$	$S_r < 60\%$
Mello (1973)	$G_c < 80\%$	$G_c > 80\%$

ρ_d : massa específica aparente seca

S_r : grau de saturação

G_c : grau de compactação de campo

6.2.2 Erosão

O processo erosivo é definido como o resultado decorrente de destacamento e transporte de partículas das rochas e solos por agentes como a água, gelo e o vento.

No Brasil, o principal agente erosivo é a água pluvial, na forma de gotas de chuva ou por meio do escoamento superficial. As maiores feições erosivas são produzidas pelo escoamento superficial, que normalmente é afetado pelas diversas atividades antrópicas.

Esses processos erosivos ocorrem predominantemente em materiais arenosos, arenoargilosos, porosos e pouco coesivos. Na região de estudo, encontra-se em sua totalidade um maciço de solos com características semelhantes, logo o processo erosivo é favorecido. Somando-se a esse aspecto, há também a influência gerada pela instalação do parque industrial, cuja atuação no meio físico geralmente altera as

condições pré-existentes, promovendo o aumento do escoamento superficial e, conseqüentemente, o arrasto dos materiais, ocasionando o aparecimento de feições erosivas.

6.2.3 Estabilidade do Maciço da Área de Estudo – Aterro Sanitário Industrial e dos Lagos de Resíduos de Bauxita/ALUMAR

Considerando-se a questão da estabilidade dos taludes que constituem as cavas do aterro industrial e os lagos de resíduos de bauxita, os valores obtidos na análise realizada via o programa GEO/SLOPEW permitem afirmar que não há probabilidade de ruptura do maciço para as condições de contorno do problema, listadas anteriormente no Capítulo 4 .

6.2.4 Afundamento

Quanto aos efeitos de afundamento, isto é, dos recalques gerados, as análises da natureza do solo de fundação do aterro industrial e dos lagos de resíduos de bauxita - os quais se constituem basicamente de uma camada de areia siltosa, localizada entre as cotas 45,0 e 12,0 metros e sobreposta a uma camada de silte arenoargiloso com altos valores de resistência à penetração do amostrador padrão do SPT - permitiram concluir que os maiores senões para as obras são resultados da percolação da água pela fundação e não a um problema do solo de assentamento do aterro sanitário industrial e dos lagos de resíduos de bauxita.

6.3 AVALIAÇÃO DOS PROBLEMAS DE POLUIÇÃO DAS ÁGUAS

A contaminação do meio ambiente pode ocorrer de duas maneiras distintas: infiltração por deficiência no seu sistema de impermeabilização, favorecendo o aparecimento de fissuras e ou por escoamento em superfície, devido à ocorrência de uma alta taxa pluviométrica.

No caso de infiltração, parte do contaminante pode sofrer volatilização, sorção, dissolução e parte permanece como fluido imiscível móvel (resíduos de graxa). Enquanto num vazamento em superfície, parte do contaminante sofrerá dissolução, volatilização e parte permanecerá como uma fase líquida imiscível sobre o nível d'água (resíduos de graxa).

No sentido de avaliar o comportamento dos contaminantes em termos de percolação e contaminação da área de estudo, foram selecionados dois perfis do maciço que compõe o aterro sanitário e quatro da área das lagoas de disposição de resíduos de bauxita. A localização desses perfis em planta pode ser visualizada pelas Figuras 5.2 e 5.5.

As unidades geológicas sob a área do aterro industrial e das lagoas de disposição de resíduos de bauxita, do topo para a base, são formadas por dois tipos de materiais: arenossiltoso e silte arenoargiloso. Através do Consórcio do Alumínio do Maranhão-ALUMAR, foram obtidos vários dados úteis sobre a área, principalmente sobre a condutividade hidráulica dos materiais. Os dados foram: areiasiltosa, com condutividade hidráulica variando de 10^{-4} a 10^{-3} cm/s, com densidade máxima aparente: 1,93-2,16 g/cm³, umidade ótima: 7,6-9,6 %, massa específica natural : 1,89-1,99 (g/cm³), umidade natural: 8,9-12,1% e massa específica real: 2,60-2,71 (g/cm³), e o silte arenoargiloso, apresentando uma condutividade hidráulica da ordem de 10^{-6} cm/s (Fonte: ALUMAR, 1999).

6.3.1 Aterro Sanitário Industrial

Os perfis geológico-geotécnicos I-I' e o J-J' (Figuras 6.3 e 6.4) são constituídos por areia siltosa, com cotas variando de 25,5 m a 27,0 m, abaixo das cavas do aterro, recobrindo o silte arenoargiloso.

O nível de água situa-se na areia siltosa da Formação Alter do Chão, entre as cotas 25 e 15 m. Tanto o material inconsolidado quanto a proximidade entre o nível d'água e o aterro facilitam a infiltração do produto liberado e a contaminação da água subsuperficial. Quando os contaminantes atingirem o nível d'água, os componentes mais solúveis serão rapidamente dissolvidos em água, enquanto os

►

Escala Vertical: 1:100
Horizontal: 1:20000

Figura 6.3 – Perfil geológico-geotécnico esquemático I-I' do aterro sanitário industrial - ALUMAR

Escala Vertical: 1:100
Horizontal: 1:20000

Figura 6.4- Perfil geológico-geotécnico esquemático J-J' do aterro sanitário industrial – ALUMAR.

6.3.2 Lagos de Resíduos de Bauxita

Os perfis geológico-geotécnicos L-L', M-M', N-N' e O-O' (Figura 5.6 –5.14) são constituídos por um material arenossiltoso mediantemente compactado, proveniente da alteração de arenitos da Formação Alter do Chão, com cotas variando de 45 a 33 m, com presença de material laterítico a partir da cota de 25m e lentes de argila e silte arenoargiloso entre as cotas 32 e 38,5 m, abaixo das cavas do aterro. Abaixo deste material, encontra-se silte arenoargiloso compactado.

As características de migração do contaminante, na área dos lagos de resíduos de bauxita, são muito similares às da área do aterro sanitário industrial, exceto pela distância existente entre a base das lagoas e o nível d'água, e a presença de material laterítico e lentes de argila e silte arenoargiloso, na unidade arenossiltosa. Isso pode funcionar como barreiras, por apresentarem baixas condutividades hidráulicas, dificultando, assim, a migração dos contaminantes por ação da gravidade, até que estes alcancem o nível de água, movendo-se juntamente com o fluxo de água subsuperficial.

Considerando-se que o vazamento não seja revelado, haverá um acúmulo deste material sobre o nível d'água, o que tenderá a migrar para níveis mais profundos, até atingir o material silte arenoargiloso, pouco permeável, que impedirá o deslocamento dos contaminantes em profundidade, promovendo o espalhamento lateral, controlado pelas camadas que se comportam como drenos, e assim os contaminantes poderão ser interceptados pelos canais de drenagem, quando fluírem sobre as águas dos rios.

Figura 6.5 – Posição dos perfis geológico-geotécnicos L-L', M-M', N-N' e O-O' na área dos lagos de resíduos de bauxita

Figura 6.6 – Perfil geológico-geotécnico esquemático L-L' da área dos lagos de disposição de resíduos de bauxita

Figura 6.7 – Perfil geológico-geotécnico esquemático M-M' da área dos lagos de resíduos da bauxita

Figura 6.8 – Perfil geológico-geotécnico esquemático N-N' da área dos lagos de resíduos de bauxita

Figura 6.9 – Perfil geológico-geotécnico esquemático O-O' dos lagos de disposição de resíduos de bauxita.

Capítulo 7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As etapas realizadas neste trabalho mostraram-se satisfatórias, visto que permitiram realizar uma análise dos possíveis impactos ambientais negativos, decorrentes da instalação do aterro sanitário industrial e dos lagos de resíduos de bauxita do Parque Industrial do Consórcio do Alumínio do Maranhão – ALUMAR, com relação à contaminação das águas superficiais e subsuperficiais das bacias hidrográficas envolvidas, com base em um grupo de atributos, considerando-se um modelo exploratório.

Considera-se que os objetivos propostos foram alcançados, pois os procedimentos metodológicos permitiram a identificação dos aspectos estruturais e construtivos do aterro sanitário industrial e dos lagos de resíduos de bauxita (fontes potenciais de poluentes) presentes no Parque Industrial ALUMAR e dos fatores geológico-geotécnicos que podem desencadear acidentes na área. Além disso, foi possível definir os problemas ambientais que podem ocorrer em consequência de um vazamento, levando-se em conta as características do meio físico e as características físicas das fontes potenciais de poluentes.

Diante da análise dos dados obtidos, os acidentes na área do aterro sanitário industrial e nos lagos de resíduos de bauxita podem ser ocasionados por infiltração, devido à deficiência no seu sistema de impermeabilização, que favorece o aparecimento de fissuras, e por erosão. A contaminação decorrente de vazamentos

nesta região não atingirá níveis profundos devido à presença de material silte areno-argiloso da Formação Alter do Chão, pouco permeável, que impedirá o deslocamento dos contaminantes em profundidade, promovendo o espalhamento lateral controlado pelas camadas que se comportam como drenos, e assim os contaminantes poderão ser interceptados pelos canais de drenagem, poluindo as águas superficiais e subsuperficiais e, por consequência, todos os componentes do meio ambiente.

Caso o vazamento não seja detectado e controlado, a contaminação pode atingir volumes e concentrações muito elevadas, aumentando o custo de remediação e diminuindo as chances de recuperação do material liberado. Deve-se tentar eliminar, o mais rápido possível, os contaminantes presentes nas zona saturada e não saturada, nas fases livre, dissolvida, a vapor e residual, pois todas elas representam um perigo de poluição das águas subsuperficiais e superficiais, e, por consequência, impactos ambientais negativos sobre os meios físico, biológico e antrópico.

Capítulo 8

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACIESP (1987). *Glossário de Ecologia*. Publicação ACIESP nº 57. ACIESP – Academia de Ciências do Estado de São Paulo.
- AFONSO, S.G et al. (1991). *Guías metodológicas para la elaboración de estudios de impacto ambiental: arretteras y ferrocarriles*. Madrid/Espanha, MoMOPT.
- AGUIAR, R.L. (1994). *Análise do mapeamento geotécnico nos processos de gestão ambiental*. São Carlos. (Revisão Bibliográfica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 88p.
- ALVARADO, J.R. (1977). *Tre delhi Tecniqui – na introductory essay*. *Cuedernos Prospectivos*. Nº 5, 8p.
- AMIR, S. (1976). *Local environmental sensitivity program (LESA): a program to improve the preparation of environmental impact statement*. In: LANDSCAPE PLANNING, New York/USA, V. 2, Nº 4.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1984). *NBR 8418 –: Apresentação de projetos de aterros de resíduos industriais perigosos*.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1984). *NBR 8849 – Apresentação da aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos – Procedimento*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1987). *NBR 10.004 – Resíduos sólidos – Classificação*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1987). *NBR 10.005 – Lixiviação de Resíduos*.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1987). *NBR 10.006 – Solubilização de Resíduos*.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1987). *NBR 100157: Aterros de resíduos perigosos – critérios para projeto, construção e operação*.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1989). *NBR 10.703 -. Norma: degradação do solo*. Rio de Janeiro.

BAUMEWERD – AHLMANN, A.; KALINSKI, J. (1990). *Structuring techniques for knowledge – based planning systems in environmental impact assessment* In: FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON EXPERT PLANNING SYSTMS, London/England, Conference Publication, nº 322, p. 257-261.

BEANLANDS, G.E. (1984). *Do EIA methods have a future*. In: SYMPOSIUM PAPERS, PROJECT APPRAISAL FOR DEVELOPMENT CONTROL, Aberdeen/USA.

BERNARDES JUNIOR, C.; PLASCAK, G.M.S. E D'AMBROSIO, J. A. (1985). *Avaliação de ambiental provocado por locais de disposição de resíduos sólidos*: In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 13 - Maceió. *Anais*. Rio de Janeiro: ABES.

- BISSET, R. (1982). *Methods for EIA: a selective survey with case studies*. In: TRAINING COUSE ON EIA, China.
- BISSET, R. (1987). *Methods for Environmental Impact Assessment: A selective Survey with case Studies*. In: Biswas, A .K & Geping, Q ed. (1987). Environmental impact assessment for developing countries. United Nations University.
- BISSET, R. (1994). Métodos de AIA. In: AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL – CONCEITOS, PROCEDIMENTOS E APLICAÇÕES. Editado por: Maria do Rosário Partidário e Júlio de Jesus. Lisboa, Portugal.
- BITAR et al. (1988). Considerações básicas para a abordagem do meio físico nos estudos de impacto ambiental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35,Belém. *Anais*. Belém, SBG. V.5, p. 1974-1982.
- BITAR, O.Y. et al. (1990). *O meio físico em estudos de impacto ambiental*. São Paulo/SP, Boletim nº 56, IPT.
- BITAR, O. Y. cood. (1995). *Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo, IBGE/IP. Divisão de Geologia (Série Meio Ambiente). 247p.
- BITAR, O.Y.; ORTEGA, R.V. (1998). *Geologia de Engenharia*/editores Antônio Manoel dos Santos Oliveira, Sérgio Nertan Alves de Brito. São Paulo/SP: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 1998.
- BOLEA, M.T.E. (1984). *Evaluation del Impacto ambiental*. ITSEMAP, Madri-Espanha.
- BRANCO, S.M. (1991) A água e o homem In: PORTO, R.L.L. org. *Hidrologia Ambiental*. São Paulo, EDUSP, Cap. 1, p.3-25.

- BREHAUT, H (1991). *Environmental management from a corporate perspective*. CIM, Bulletin, Vancouver, v.84, nº 952, p. 63-66.
- CANTER, L.W. (1977). *Environmental impact assessment*., New York/USA, Mc Craw-Hill.
- CLÁUDIO, C.F.B.R. (1987). *Implicações da avaliação de impacto ambiental*. Ambiente – Revista CETESB de tecnologia, v.1, nº 3, p. 159-162.
- CHADWICK, G.F. (1971). *A systems view of planning*. Pergamon Press, New York – USA.
- COLLARES, A.C.Z.B. (1997). *A influência de características químicas do fluido de saturação no colapso do solo*. (Dissertação de Mestrado). USP – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB – (1977) – Poluição de águas subterrâneas no estado de São Paulo. Estudo Preliminar. CETESB, São Paulo – SP, 88p.
- CORRÊA, E.M. (1990) *Aspectos jurídicos em estudos e relatórios de impacto ambiental*. In: SEMINÁRIO SOBRE AVALIAÇÃO E RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL, 1, 1989, Curitiba. *Anais*. Curitiba: FUPEF/UFPr. p. 33-32.
- CORSON, W. H. (1993). *Manual global de ecologia: o que você precisa saber a respeito da crise no meio ambiente*; tradução de A G. CAMARU. São Paulo, Editora Augustus. 413p.
- CUNHA, M.A. & CONSONI, A.J. (1995). Os estudos do meio físico na disposição de resíduos. In: BITAR, O . Y., coord. Curso de geologia aplicada ao ambiente. São Paulo, ABGE/IPT. P. 217-227.

- DE BIASI, M. (1970). A Carta de Declividade: Confecção e Utilização. *Geomorfologia* (São Paulo), v.21, p. 8-13.
- DEE, N. et al. (1973) Na environmental evaluation system for water resource planning. *Water Resource Research*, v.9, nº 3, June.
- DOYLE, D. (1991). Sustentable development: growth without losing ground. *Journal of Soil and Water Conservation*, v.46, n.1, p.8-12.
- DUINKER, P.N. & BEALAND, G. E. (1986). The significance of Environmental Impacts: *Na Exploration of the Concept.: Environmental management*, New York, v.10, n.2, p. 166-170.
- FERREIRA, A.B.H. (1986). Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa, 2ª ed. Rio de Janeiro., Editora Nova Fronteira
- FERREIRA, J. (1999). *Avaliação dos problemas ambientais relacionados aos aspectos geológico-geotécnico e dutos enterrados, poliduto OBRA: trecho Porto Ferreira – Ribeirão Preto. São Carlos*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- FORNASARI FILHO, N. et al. (1984). *Avaliação preliminar dos problemas causados pela mineração no meio ambiente no Estado de São Paulo*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 4, Belo Horizonte, ABGE, v. 1, 71-83p.
- FORNASARI FILHO, N. et al. (1992). *Alteração nos processos do meio físico decorrentes de obras de engenharia*. São Paulo/SP, Boletim nº 61, IPT.
- FORNASARI FILHO, N.; BITAR, O.Y .(1995). O meio físico em estudos de impacto ambiental – EIA. In: BITAR, O . Y ., coord. – *Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente*. São Paulo – ABGE/IPT, p. 151-162.

FORNASARI FILHO, N. (1995). *Alterações no meio físico por mineração: estudo de casos de instrumentos de gerenciamento ambiental*. São Paulo/SP,. Dissertação (Mestrado). USP.

FOSTER, S.; VENTURA, M. & HIDRTA, R. (1987). *Contaminacion de las aguas subterraneas: un enfoque ejecutivo de la situación en América Latina e el caribe en relación com el suministro de agua potable*. Relatório Técnico de CEPIS, 42p.

GREENHOUSE, J.P., WILLIAMS, M.M. E ELLERT, N. (1987). *Geophysical studies of ground-water contamination at two landfills in São Paulo State*. In: Conferência Latino-Americana sobre Hidrogeologia urbana y contaminación de Aquíferos, 1987, Cochabamba, *Anais*.

GRINOVER, L. (1989). *O planejamento físico – territorial e a dimensão ambiental*. Cad. FUNDAP, São Paulo (16): 25-32.

GUEDES, P.P. (1991). *Aterros Industriais*. II Simpósio sobre Barragens de Rejeitos e Disposição de Resíduos, CBGB, Rio de Janeiro – RJ- pp. 305-317.

GUIGUER JUNIOR, N. (1987). *Poluição das águas subterrâneas causadas por aterros sanitários: uma abordagem matemático-experimental*. São Paulo. 250p. Dissertação (Mestrado) – Epusp.

HADDAD, J.F. (1991). *Vida Útil e segurança de um aterro industrial*. II Simpósio sobre Barragens de Rejeitos e Disposição de Resíduos, CBGB, Rio de Janeiro – RJ- pp. 327-337.

HARDT, L.P.A ., LOPES, J.A (1990) . U. *Interpretação e síntese de resultados em estudos e relatórios de impacto ambiental*. In: SEMINÁRIO SOBRE AVALIAÇÃO E RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL, 1, 1989, Curitiba. *Anais* . Curitiba: FUPEF/UFPr. p. 162- 165.

- HEDERRA, R. (1996) *Manual de vigilância sanitária. Washington: OPAS* (Série HSP-UNI/Manuales Operativos PALTEX v.4, n.11).
- HERMELIN, M (1991). Reflexions on the present concept of environmental impact in Colombia Publicacion AGID, Report nº 16. Geologia Ambiental y Geomorfologia Aplicada en Colombia, pp. 35-47.
- HORBERRY, J. (1984). *Status and application of EIA for development*. Gland/USA, Conservation for Development Center.
- IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (1992). *Mineração & Meio Ambiente*. Brasília, IBRAM. p. 111.
- IRENE M.-C. LO, WENDY K.-W.LAW E HELEN M. SHEN (1999). *Risk Assessment Using Stochastic Modeling of Pollutant Transport in Landfill Clay Liners*. Environmental Science and Technology. Vol. 39, No. 10-11, pp. 337-341.
- KANE, J *et al.* (1973). KSIM: A methodology for inter-active resource policy simulation. In: *Water Resources Research*, USA, v. 9, nº 1.
- LEE, C. (1975). Modelos de planificación. Ed. Pirámide, Madrid – Espanha.
- LEOPOLD, M et al. (1971). *A procedure for evaluating environmental impact*. Washington/USA, Geological Survey, Circ. Nº 645.
- LISTONE, H.A; TUROFF, M. (1975). *The Delphi method: techniques and application Massachusetts/USA*, Addison Wesley Co.
- LUTTIG, G. (1987). Geocientific maps of the environment as an essential tool in planning. *Geologic en mijnbouw* 57(4), Amsterdam, p.527-532.

- MAGRINI, A.A. (1989). *A avaliação de impactos ambientais*. Brasília: CENDEC, 32 p.
- MAYER, S.A. & CHISTOFOLETTI, A. (1984). Análise da Rugosidade Topográfica da Região Administrativa de Campinas (SP). *Bol Geografia Teorética*, v. 14, p.87-100.
- MC HARG, I.L. (1969). *Desing with nature*. New York-USA, Natural History Press.
- MEDEIROS, M.L.B. (1989) Definição de medidas minimizadoras de impacto ambiental. In: SEMINÁRIO SOBRE AVALIAÇÃO E RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL, 1, 1989, Curitiba. *Anais* . Curitiba: FUPEF/UFPr, 1990. p. 168-72.
- MILANO, M.S. (1990). Avaliação e relatório de impacto: considerações conceituais e abordagem crítica. In: SEMINÁRIO SOBRE AVALIAÇÃO E RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL, 1, 1989, Curitiba. *Anais*. Curitiba: FUPEF/UFPr. p. 1-6.
- MOREIRA, I.V.D. (1985). *Avaliação de impacto ambiental*. Rio de Janeiro/RJ, FEEMA.34 p.
- MOREIRA, I.V.D. (1990). *Vocabulário básico de meio ambiente*. Rio de Janeiro/RJ, FEEMA/PETROBRÁS.
- MOREIRA, I.V.D (1992). Origem e síntese dos principais métodos de avaliação de impacto ambiental (AIA). In: *Manual de Avaliação de Impactos Ambientais*, Curitiba/PR, Seção 3100, SUREHMA.
- MUNN, R.E. (Ed) (1975). *Environmental impact assessment: Principles and Procedures*. SCOPE, Report N ° 5, UNESCO.

MUNN, R. E (1979). *Environmental impact assessment* Toronto/Canadá, John Wiley & Sons.

NEVENKA MIKAC, BOZENA COSOVIC, MARIJAN AHEL, SVJETLANA ANDREIS E ZDENKA TONCIC (1998). *Assessment of Groundwater Contamination in the Vicinity of a Municipal Solid Waste Landfill (Zagreb, Croatia)*. Wat. Sci. Tech. Vol. 37, No. 8, pp. 37-44.

NEVES, M. (1987). Estudo da permeabilidade do Solo Colapsível da Região de São Carlos. (Dissertação de Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

NICHOLS, D. R & HYMAN, E. L (1982). A review and analysis of fifteen environmental assessment methodologies, Center Urban and Regional Studies, University of North Carolina, Chapel Hill, N. C.

PALMA, J.B. (1999). *Avaliação geológica-geotécnica na área do lixão de Poços de Caldas (MG): problemas ambientais, modelagem de fluxo e de transporte de poluentes e medidas de remediação*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

QUEIROZ, S. M. P.(1990). Procedimentos referentes à apresentação, análise e parecer formal de EIAS/RIMAS. In: SEMINÁRIO SOBRE AVALIAÇÃO E RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL, 1, 1989, Curitiba. *Anais*. Curitiba: FUPEF/UFPr. p. 182-7.

REBOUÇAS, A . C. (1992). Impactos ambientais nas águas subterrânea. In: *Anais do 7º CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas – Belo Horizonte – MG*, pp. 11-17.

RELATÓRIO DO CONSÓRCIO DE ALUMÍNIO DO MARANHÃO-ALUMAR. Meio Ambiente (1994).

RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS DA ALUMAR - Consórcio de Alumínio do Maranhão (1998).

RESOLUÇÃO CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente Nº 006/1988.

RODRIGUES, G.S. (1988). *Impactos Extensivos e Intensivos, sua Previsão, Avaliação e medidas de proteção*. Rev. Ensino Eng. São Paulo; 7(1): 19-25.

RUBERG, C. (1999) *O gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares: o caso de João Pessoa*. São Paulo (Dissertação de mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP)

SACHAS, I. (1972). Environmental Quality Management and Development Planning: Some Suggestions for Action; In: DEVELOPMENT AND ENVIRONMENT, Paris, Mouton. 1986. Espaços, Tempos e Estratégias do Desenvolvimento. São Paulo, Vértice.

SÁNCHEZ, L. E.(1987). Avaliação de Impacto Ambiental na Mineração. *Brasil Mineral* - São Paulo, n.48, p. 116-121.

SÁNCHEZ, L. E.(1994). A Diversidade dos Conceitos de Impacto Ambiental Segundo Diferentes Grupos Profissionais. 5^a CONFERÊNCIA REGIONAL DA IUAPPA - São Paulo, 10 p.

SÁNCHEZ, L. E. (1998). As etapas iniciais do processo de avaliação de Impacto Ambiental. In: AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL, SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE – SP. São Paulo, CETESB, 223p.

SASSAMAN, R. W. (1981). Threshold of concern a: a technique for evaluating environmental impacts and amenity values. In: JOURNAL OF FORESTY, USA, V. 79, nº 2.

- SEAGER, J; JONES, F; RUTT, G. (1992). Assessment and control of farm pollution. *Journal of the Institution of Water and Environmental Management*, v.6, p.48-54.
- SILVA, H.V. (1988). Proposta para avaliar o impacto ambiental em mineração – Primeira tentativa. *Revista Ambiente CETESB de Tecnologia*. v.2, n.2.p. 88-90.
- SOUSA, M.P. (1996). Texto de Apoio às Aulas para o Curso de Graduação de Arquitetura e Urbanismo da EESC_USP. São Carlos. Mimiografado.
- THOR, E.C. et al. (1978). Forest environmental impact analysis – a new approach. In: *Journal of Forestry*, USA, p.11-78.
- TOLBA, M.K. (1982). Sustainable Development constraints and Opportunities. London, Butterworth.
- TOMMASI, L.R. (1994). *Estudo de Impacto Ambiental*. São Paulo. CETESB. p. 354.
- TRICARD, I. (1966). As descontinuidades nos fenômenos de erosão . notícia geomorfológica, São Paulo/SP, v.6 , nº 12, p. 3-14.
- VASCONCELOS, B. T. R. & MOLLER, M. L. (1995) Limpeza pública: a problemática dos resíduos sólidos. In: BARROS, R. T. V. et al.. Saneamento. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 221p.
- WELSH, S. (1992). Assessment and management of risks to the environment. In: Symposium on major hazards onshore and offshore, London-England, Inst. Of Chemical Engineers, series nº 130, p. 85-110.
- WENTWORTH, C.J. (1930).A Simplified Method of Determining the Average Slope of Land Surface. *American Journal Sciences*, 5th series, v. 20, p. 184-94.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. E.(1987). Mapeamento geotécnico Aplicável a Rejeitos Sépticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 5, São Paulo. *Anais. São Paulo*: ABGE, V.2, P. 313-322.

ZUQUETTE, L. V. & GANDOLFI, N. (1991) Análise da relação entre disposição de rejeitos de baixa periculosidade e meio geológico receptor. REGEO'91: Simpósio Sobre Barragens de rejeitos e disposição de resíduos. Rio de Janeiro, v.2, p.221-232.

ZUQUETTE, L.V. (1993). *Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico. Fundamentos e guia para elaboração*. São Carlos/SP. 2v. Teses (Livre-docência) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

ZUQUETTE, L.V.; PEJON, O. J.; SINELLI, O.; GANDOLFI, N. (1994). Methodology of Specific Engineering Geological Mapping for Selection of Sites for waste Disposal. In: 7TH INTERNATIONAL IAEG. Proceedings. Balkema, Rotterdam, Portugal. V. iv, p. 2481 – 2489.

ZUQUETTE, L.V.; PEJON, O.J.; SINELLI, O.; GANDOLFI, N.; RODRIGUES, J.E.(1997). Mapeamento geotécnico: parte 1 – atributos e procedimentos básicos para elaboração de mapas e cartas. *Rev. Bras. Geoc.*, v. 16(2), São Paulo.