

BRUNO DE BRITO GUEIROS SOUZA

CARACTERIZAÇÃO DE INDICADORES SÓCIO-AMBIENTAIS NA BACÍA DO RIO ANIL, SÃO LUÍS - MA, COMO SUBSÍDIO À ANÁLISE ECONÔMICO-AMBIENTAL DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO.

**Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor. Área de concentração:
Geoquímica Ambiental**

ORIENTADOR: Prof. Dr. EDISON DAUSACKER BIDONE

Niterói

2005

BRUNO DE BRITO GUEIROS SOUZA

CARACTERIZAÇÃO DE INDICADORES SÓCIO-AMBIENTAIS NA BACÍA DO RIO ANIL, SÃO LUÍS - MA, COMO SUBSÍDIO À ANÁLISE ECONÔMICO-AMBIENTAL DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO.

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor. Área de concentração: Geoquímica Ambiental

Aprovada em Dezembro de 2005.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. EDISON DAUSACKER BIDONE – Orientador – PPGG/UFF

Dra. Zuleica Carmem Castilhos – CETEM/MCT

Dra. Maria de Fátima Batista Carvalho – CENPES/Petrobrás

Prof. Dr. Renato Campello Cordeiro – PPGG/UFF

Prof. Dr. Emmanuel Vieira da Silva Filho – PPGG/UFF

NITERÓI
2005

*Aos meus pais Rinaldo Gueiros e
Ana Maria de Brito, sempre, e aos
amigos que me ajudaram a conquistar
mais essa etapa em minha caminhada.*

AGRADECIMENTOS

- A Olorum, nosso criador.
- A Oxalá meu pai, pelo Axé e pela Paz.
- A meus pais Rinaldo e Ana Maria, por tudo que sou.
- A Euclides Talabyan, pela orientação espiritual à frente da Nação Fanti Ashanti.
- Ao Prof. Dr. Edison Bidone pela orientação nesta Tese.
- A Prof. Dra. Flávia Mochel, pela co-orientação informal e por sempre confiar em mim.
- Ao Dept. de Geoquímica da UFF, em especial ao amigo Prof. Dr. Renato Campello, que me apoiou incondicionalmente nesta Tese e, ao Prof. Dr. Ricardo Santelli, pelo apoio na parte analítica.
- A Dra. Zuleica Castilhos do CETEM, pelo apoio e orientação nas análises de mercúrio.
- Ao Dept. de Oceanografia e Limnologia da UFMA, em especial ao amigo Prof Dr. Paulo Cavalcante, que também me apoio incondicionalmente, inclusive na lama.
- A todo o IBAMA do Maranhão em nome da Superintendente Marluze Pastor Santos, e a Kátia Barros, que sempre me apoiou.
- Aos amigos que foram co-responsáveis por esta Tese, em especial:
- A Rodrigo Rodrigues meu irmão, por não medir esforços nessa empreitada.
- A Marcão pelos testemunhos e por toda ajuda, sempre.
- A Dayani, pelo empurrão e pela determinação dos filhos de Odé.
- A Hellen pela paciência na ajuda com os mapas.
- E a todos os outros que acreditaram em mim, entre eles: Nuna Gomes, Camila Barreto, Jefferson Azevedo, José Caride, Alessandra Valverde, Odenilde, Daniella Barcellos, Daniela Claver, Wilson Machado, e Renatinho (meu irmão).

RESUMO

O presente trabalho propôs-se a caracterizar indicadores sócio-ambientais capazes de subsidiar a análise econômico-ambiental do processo de desenvolvimento da bacia do Rio Anil, São Luís-MA, orientando-os através do modelo conceitual Forçantes-Pressões-Condicionamento-Impactos-Resposta (FPCIR). Para entender as forçantes sócio-econômicas da bacia reconstituiu-se seu histórico evolutivo de ocupação. Como indicadores das pressões foram avaliados: (i) os incrementos na ocupação da bacia, através de técnicas de sensoriamento remoto, comparando-se o uso do solo nos anos de 1992 e 2000; (ii) calculou-se o Índice de Preservação Ambiental para estes anos; (iii) buscou-se avaliar a contaminação temporal do sedimento através das análises de elementos traço e esteróides de três testemunhos coletados, nos chamados cursos Baixo, Médio e Alto do Rio Anil; (iv) propôs-se um histórico de evolução do aporte de elementos traço para os testemunhos, através do cálculo da taxa de sedimentação nos três testemunhos estudados, baseado nas informações sobre o processo de ocupação da bacia. Avaliou-se o condicionamento, através da: (i) caracterização espacial das fontes de efluentes domésticos a partir dos dados censitários do IBGE, no censo de 2000; (ii) calculou-se o Índice de Preservação Ambiental (IPA), em dez sub-bacias; (iii) o índice de Risco Ecológico Potencial (IREP), nos três testemunhos; e (iv) o índice de Qualidade de Vida (IQV) por setores censitários ao longo da bacia. Os indicadores adotados neste estudo apresentam resultados satisfatórios no sentido de auxiliar o processo de planejamento e gestão, uma vez que permitiram estabelecer prioridades em relação a áreas fontes e natureza dos poluentes. De uma maneira geral, constatou-se que a poluição por esgoto doméstico deve ser priorizada. A região do Curso Alto, localizada no Tabuleiro Central da Ilha de São Luís, deve ser priorizada em relação às demais por reunir piores condições sanitárias, maiores valores de IREP e pior qualidade de vida, sobretudo considerando-se a densidade demográfica nesta área. A caracterização das fontes e cálculo do Índice de Qualidade de Vida (IQV), usando-se as informações por setores censitário, demonstraram ser uma poderosa ferramenta na gestão de bacias hidrográficas urbanas, além de servirem como instrumento de monitoramento dos parâmetros avaliados a partir dos próximos censos.

Palavras-chave: Bacia do Rio Anil; Indicadores sócio-econômicos; Índice de Preservação Ambiental; Índice de Risco Ecológico Potencial; Índice de Qualidade de Vida.

ABSTRACT

This work aims to characterize socio-economic indicators able to support the socio-economic analysis of the Anil River basin (São Luis-MA) development process, based in the Drivers-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) framework. In order to understand socio-economic drivers of the basin its occupation history were investigated. The following pressure indicators were evaluated: (i) increments in basin occupation, by means of remote sensing techniques, comparing the land use during 1992 and 2000; (ii) an Environmental Preservation Index (EPI) for such years; (iii) evaluation of temporal sediment contamination by trace metals and steroids in three sediment cores, sampled in the denominated low, mean and high courses sections of Anil River; (iv) the evolution history of trace elements input to sediments, though the sedimentation rate calculations in the cores, based in information on the basin occupation process. The state indicators were: (i) spatial characterization of domestic effluent sources, based on 2000 census data from IBGE; (ii) an EPI in ten sub-basins; (iii) Potential Ecological Risk Index (PERI) in the three sections; (iv) a Life Quality Index (LQI) along the census areas. The indicators presented satisfactory results to support the planning and management process, since it allowed the identification of source areas and pollutant type priorities. In general, the domestic sewage pollution type and high course areas were identified as being priorities. The sources characterizations and LQI, based on census data was consider a great tools in the urban hydrographic basin management, as a well possibility monitory the parameters in the next censuses.

Key-words: Anil River basin; socio-economic indicators; Environmental Preservation Index; Potential Ecologic Risk Index; Life Quality Index.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Modelo de agregação da informação na construção de IDS.....	16
Figura 2 Critérios de seleção e características dos IDS.....	17
Figura 3 IDS brasileiros.....	18
Figura 4 Modelo Pressão-Estado-Resposta proposto pela OECD (1993).	19
Figura 5 Modelo DPSIR proposto por EEA (1998), segundo DGA (2000).	22
Figura 6 Modelo esquemático genérico da metodologia Forçantes-Pressões-Condicionamentos- Impactos-Respostas, proposto neste trabalho.	24
Figura 7 Localização da bacia do Rio Anil.....	26
Figura 8 Sub-bacias da bacia do rio Anil (DIAS, 2005).....	27
Figura 9 Precipitação pluviométrica média em São Luís – MA (Fonte: Laboratório de Meteorologia – LABMET/UEMA).....	28
Figura 10 Representação da subdivisão da bacia do Rio Anil e localização dos pontos de coleta dos testemunhos.	34
Figura 11 Coleta do testemunho do Curso Alto.....	35
Figura 12 Coleta do testemunho no Curso Médio.	36
Figura 13 Amostragem das fatias do testemunho para a densidade aparente.....	38
Figura 14 Modelo gráfico da Análise Custo-Benefício (ACB) (Bidone et al., 2002).....	52
Figura 15 Modelo esquemático FPCIR para a bacia do Rio Anil.....	54
Figura 16 Fábrica de Tecidos do Anil, em 1908 (CUNHA, 1987).....	56
Figura 17 Estrada do Anil em 1908 (CUNHA, 1987).....	57
Figura 18 Crescimento demográfico nos municípios de Ilha do Maranhão, entre os anos de 1960 e 2000 (IBGE, 2001).....	61
Figura 19 Ancoradouro na foz do Rio Anil em 1908 (CUNHA, 1987).....	63
Figura 20 Porto do Anil, nas proximidades da fábrica de tecido do Anil, em 1908 (CUNHA, 1987).....	64
Figura 21 Palafitas sobre o Rio Anil.....	68
Figura 22 Conjuntos habitacionais na bacia do Rio Anil.....	69
Figura 23 Ocupação irregular próximo às nascentes do Anil.....	70
Figura 24 Bairros “nobres” da bacia do Rio Anil.....	70
Figura 25 Crescimento populacional no município de São Luís.....	73
Figura 26 Uso do solo disponível na bacia do Rio Anil em 2000, (DIAS, 2005).	75
Figura 27 Unidades de paisagem na bacia do Anil em 2000, (DIAS, 2005).....	75
Figura 28 Unidades de paisagem nos anos de 1992 e 2000.....	77
Figura 29 Navios fundeados na foz do Rio Anil no ano de 1950.....	87
Figura 30 Evolução cronológica do aporte de elementos traço, para o sedimento no Curso Baixo.	89
Figura 31 Evolução cronológica do aporte de elementos traço, para o sedimento no Curso Médio.	92
Figura 32 Evolução cronológica do aporte de elementos traço, para o sedimento no Curso Alto.....	95
Figura 33 Razão C/N, ao longo dos testemunhos.	98
Figura 34 Distribuição da população da bacia ambiental por setores censitários, em 2000.....	105
Figura 35 Percentual de domicílios com banheiro na bacia ambiental do Anil, em 2000.....	106
Figura 36 Destino final dos efluentes sanitários dos domicílios com banheiro na bacia ambiental do Anil, em 2000.	108
Figura 37 Igarapé dos vinhais (Sub-bacia 2).....	111
Figura 38 Sub-bacias 10, 9 (porção leste da foto) e 2 (porção oeste da foto).....	112
Figura 39 Fatores de concentração ao longo do Rio Anil, usando-se como base de cálculo os níveis de base local, para os elementos traço analisados.....	117
Figura 40 Fatores de concentração ao longo do Rio Anil, usando-se como base de cálculo os padrões globais de argila, para os elementos traço analisados.....	117
Figura 41 Grau de contaminação ao longo do Rio Anil usando-se como referencias os níveis de base local e padrões globais de argila.....	119
Figura 42 Riscos Ecológicos Potenciais ao longo do Rio Anil.	123
Figura 43 Qualidade de vida ao longo da bacia do Rio Anil.	126
Figura 44 Modelo de Análise Custo Benefício (ACB), para o caso das águas do Rio Anil (adaptado de BIDONE, et al., 2002).....	130

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Crescimento populacional global.....	13
Tabela 2 Vantagens e limitações do modelo PCR (DGA, 2000).....	20
Tabela 3 Unidades de paisagem nas sub-bacias da bacia do Rio Anil.....	46
Tabela 4 Fatores de toxicidade do sedimento em relação aos elementos traço utilizados.....	48
Tabela 5 Histórico de alguns bairros da bacia do Rio Anil.....	67
Tabela 6 Comparação de uso do solo na bacia do Anil entre os anos de 1992 e 2000.....	74
Tabela 7 Áreas, vazões e concentrações por segmentos da bacia do Anil.....	78
Tabela 8 Fluxos totais e específicos dos compostos avaliados, por segmentos do Rio Anil.....	79
Tabela 9 Contribuição dos compostos por segmentos.....	79
Tabela 10 Estatística básica em relação à densidade e teor de água ao longo dos testemunhos estudados.....	81
Tabela 11 Estatística básica dos elementos traço ao longo dos testemunhos analisados.....	85
Tabela 12 Valores de r de Pearson para os elementos traço no Curso Baixo.....	86
Tabela 13 Valores de r de Pearson para os elementos traço no Curso Médio.....	90
Tabela 14 Valores de r de Pearson para os elementos traço no Curso Alto.....	93
Tabela 15 Fluxos médios dos elementos traço em $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{ano}$, ao longo dos testemunhos analisados.....	97
Tabela 16 Estatística básica da razão C/N ao longo dos testemunhos estudados.....	99
Tabela 17 Concentração de coprostanol no sedimento superficial em diversas regiões do mundo.....	100
Tabela 18 Concentrações (em ng/g) e razões dos esteróides longo do perfil de sedimento no Curso Baixo do Rio Anil.....	102
Tabela 19 Concentrações (em ng/g) e razões dos esteróides ao longo do perfil de sedimento no Curso Médio do Rio Anil.....	103
Tabela 20 Comparação das concentrações e fluxos de nutrientes entre o Rio Anil e Rio Pedrinhas.....	110
Tabela 21 IPA nas sub-bacias do rio Anil.....	110
Tabela 22 Estimativa dos fatores de concentração e grau de contaminação no Curso Baixo do Rio Anil, baseados no nível de base local e padrão global de argila (PGA).....	113
Tabela 23 Estimativa dos fatores de concentração e grau de contaminação no Curso Médio do Rio Anil, baseados no nível de base local e padrão global de argila (PGA).....	114
Tabela 24 Estimativa dos fatores de concentração e grau de contaminação no Curso Alto do Rio Anil, baseados no nível de base local e padrão global de argila (PGA).....	115
Tabela 25 Estimativa dos fatores de concentração médios e grau de contaminação no Rio Anil, baseados no nível de base local e padrão global de argila (PGA).....	116
Tabela 26 Fatores de concentração de Fe ao longo do Rio Anil, calculados a partir dos níveis de base local e padrões globais de argila (PGA).....	118
Tabela 27 Valores de clorofila a (Cl-a) e número de bioprodutividade (NBP), ao longo do Rio Anil.....	120
Tabela 28 Classificação do estado trófico o numero de bioprodutividade para lagos.....	120
Tabela 29 Estado trófico ao longo do Rio Anil.....	120
Tabela 30 Estimativas do Risco Ecológico Potencial (REP), e Índice de Risco Ecológico Potencial (IREP), para o Curso Baixo do Rio Anil.....	121
Tabela 31 Estimativas do Risco Ecológico Potencial (REP), e Índice de Risco Ecológico Potencial (IREP), para o Curso Médio do Rio Anil.....	121
Tabela 32 Estimativas do Risco Ecológico Potencial (REP), e Índice de Risco Ecológico Potencial (IREP), para o Curso Alto do Rio Anil.....	122
Tabela 33 Estimativas do Risco Ecológico Potencial (REP), e Índice de Risco Ecológico Potencial (IREP), para o Rio Anil.....	122
Tabela 34 Valores do Grau de Contaminação (GC) e do Índice de Risco Ecológico Potencial ao longo do Rio Anil.....	124
Tabela 35 Valores do Grau de Contaminação (GC) e do Índice de Risco Ecológico Potencial em áreas costeiras no Mar Báltico, no estado do Rio de Janeiro e no Estuário do Rio Anil.....	124
Tabela 36 Classificação da qualidade de vida de acordo com o IQV, segundo AZEVEDO et al. (2005).	125

Tabela 37 Percentual da qualidade de vida por setores censitários na bacia ambiental do Rio Anil..... 127

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACB- Análise de Custo Benefício
As- Arsênio
BNH- Banco Nacional da Habitação
BPTRAN- Batalhão de Trânsito da Polícia Militar
C- Carbono
CAEMA- Companhia Estadual de Água e Esgoto do Estado do Maranhão
CBO- Companhia Brasileira de Óleos
CCO- Companhia Carioca de Óleos
Cd- Cádmiio
CE- Estado do Ceará
CGGPM- Companhia Geral do Grão-Pará e Maranhão
Cl- Cloro
CMP- Custos das Medidas de Proteção Ambiental
COHAB- Conjunto Habitacional
CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM- Centro de Produção e Recursos Minerais
Cr- Cromo
Cu- Cobre
DGA- Direção Geral do Ambiente
DPSIR- *Drive-Pressure-State-Impact-Response*
Dr. – Doutor
EIA- Estudos de Impacto Ambiental
EPA- *Environmental Protection Agency*
ERM- *Effect Range Median*
EUA- Estados Unidos da América
FC- Fator de Concentração
Fe- Ferro
FPCIR- Forçantes, Pressões, Condicionamento, Impactos, Respostas
FRT- Fatores de Resposta Tóxica
FTS- Fator de Toxicidade do Sedimento
GC- Grau de Concentração
H- Hidrogênio
Ha- Hectare
HCl- Ácido Clorídrico
Hg- Mercúrio
HNO₃- Ácido Nítrico
IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICP/OES - *Inductive Copulled Plasma Optical Emission Spectrometer*
IDS- Índice de Desenvolvimento Sustentável
IMCA- Instituto Municipal de Controle Ambiental
IPA- Índice de Preservação Ambiental
IPASE- Instituto da Previdência e Assistência aos Servidores do Estado
IQV-UFF- Índice de Qualidade de Vida / Universidade Federal Fluminense
IREP- Índice de Risco Ecológico Potencial
ISQG- *Ínterim Sediment Quality Guideline*
LABMET- Laboratório de Metereologia
LABOHIDRO- Laboratório de Hidrobiologia
LOICZ- *Land-Ocean-Interactions in the Coastal-Zone*
MA- Estado do Maranhão
Mn- Manganês
N- Nitrogênio
Ni- Níquel
NBL- Níveis de Base Local

NBN- Níveis de Base Natural
NBP- Número de Bioprodutividade
OECD- *Organization for Economic Co-operation and Development*
Pb- Chumbo
PCR- Pressão-Condicionamento-Resposta
PCIR-Pressão-Condicionamento-Impacto-Resposta
PEL- *Probable Effect Level*
PF- Padrões Físicos
PFS- Padrão Físico de sustentabilidade
PGA- Padrões Globais de Argilas
PM- Polícia Militar
PROF. - Profundidade
REP- Estimativas de Risco Ecológico Potencial
RIMA- Relatório de Impacto Ambiental
SEMA- Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Estado do Maranhão
SIG- Sistema de Informação Geográfica
TM- *Thematic Mapper*
UC- Unidade de Conservação
UEMA- Universidade Estadual do Maranhão
UERJ- Universidade Estadual do Rio de Janeiro
UFF- Universidade Federal Fluminense
UFMA- Universidade Federal do Maranhão
WCED- *World Commission for Economic Development*
Zn- Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 CRISE AMBIENTAL GLOBAL.....	13
1.2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	14
1.3 INDICADORES DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	15
1.4 SELEÇÃO DE INDICADORES DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	17
1.5 MODELO PRESSÃO-ESTADO-RESPOSTA.....	19
1.6 MODELO FORÇANTES-PRESSÕES-CONDICIONAMENTOS-IMPACTOS-RESPOSTAS.....	21
1.7 INDICADORES SÓCIO-AMBIENTAIS.....	25
2 ÁREA DE ESTUDO.....	26
3 OBJETIVOS.....	29
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	29
4 MATERIAIS E METODOS.....	30
4.1 INDICADORES DE FORÇANTES.....	30
4.2 INDICADORES DE PRESSÕES.....	31
4.2.1 Fluxos Biogeoquímicos.....	31
4.2.2 Testemunhos do sedimento.....	33
4.2.3 Teor de Água e Densidade Aparente.....	37
4.2.4 Determinação de Elementos Traço.....	38
4.2.5 Determinação de Mercúrio.....	39
4.2.6 Análise da evolução histórica da contaminação nos testemunhos.....	39
4.2.7 Análise Elementar de CHN.....	40
4.2.8 Análise de Esteróides Marcadores da Poluição Fecal.....	41
4.2.9 Mudanças no Uso do Solo.....	42
4.2.10 Índice de Preservação Ambiental (IPA).....	42
4.3 INDICADORES DO CONDICIONAMENTO.....	44
4.3.1 Caracterização das fontes.....	44
4.3.2 Índice de Preservação Ambiental nas Sub-bacias (IPA _{SB}).....	45
4.3.3 Índice de Risco Ecológico Potencial (IREP).....	46
4.3.4 Índice de Qualidade de Vida (IQV).....	49
4.4 INDICADORES DOS IMPACTOS.....	51
4.4.1 Análise Custo-Benefício (ACB).....	51
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	54
5.1 MODELO FPCIR PARA A BACIA DO RIO ANIL.....	54
5.2 FORÇANTES HISTÓRICAS.....	55
5.2.1 Fundação da cidade de São Luís.....	55
5.2.2 Dinâmica da Ocupação Espacial de São Luís.....	55
5.2.3 Tendência de Ocupação.....	60
5.2.4 Bacia do Rio Anil.....	62
5.2.5 Histórico e Uso.....	62
5.2.6 Síntese da ocupação da Bacia do Rio Anil.....	65
5.2.7 Caracterização Sócio-Econômica.....	68
5.3 PRESSÕES.....	71
5.3.1 Incremento na Ocupação da Bacia do Rio Anil.....	71
5.3.2 Demografia.....	72
5.3.3 Mudança no uso do solo.....	73
5.3.4 Índice de Preservação Ambiental (IPA).....	76
5.3.5 Fluxos Biogeoquímicos.....	78
5.3.6 Análise dos Testemunhos.....	80
5.3.6.1 Densidade Aparente e Teor de Água.....	80
5.3.6.2 Elementos Traço.....	82
5.3.6.3 Análise da Evolução Histórica da Contaminação nos Testemunhos.....	86
5.3.6.4 Relação C/N.....	97

5.3.6.5 Indicadores da contaminação fecal (esteróides)	100
5.4 CONDICIONAMENTO.....	104
5.4.1 Caracterização das Fontes Poluidoras.....	104
5.4.2 Qualidade das Águas	109
5.4.3 Índice de Preservação Ambiental nas Sub-bacias (IPA).....	110
5.4.4 Índice de Risco Ecológico Potencial (IREP)	112
5.5 INDICADORES DE IMPACTOS	127
5.5.1 Análise Custo-Benefício (ACB)	127
5.6 INDICADORES DE RESPOSTAS	132
6 CONCLUSÕES	133
7 REFERÊNCIAS	135
APÊNDICES	144

1 INTRODUÇÃO

1.1 CRISE AMBIENTAL GLOBAL

A demanda por recursos naturais sempre esteve associada à sobrevivência humana, ao longo de sua história evolutiva. Entretanto, na atualidade os níveis de consumo e o crescimento populacional vêm provocando uma profunda crise ambiental em escala global, uma vez que os recursos naturais necessários para sustentar os padrões modernos de vida, são finitos e estão se esgotando rapidamente.

Estima-se que o consumo energético *per capita* do homem primitivo saltou de 2.000 para até 200.000 calorias/dia, considerando-se as necessidades atuais de indivíduos de países desenvolvidos e/ou de classe média-alta de países em desenvolvimento (BIDONE; MORALES, 2004).

Se observarmos as taxas de crescimento demográfico global a partir dos anos 60, notaremos que a cada década a população aumentou em 1 bilhão de habitantes, em contraste com o segundo bilhão de habitantes, que demorou cerca de 100 anos para ser alcançado (Tabela 1).

Tabela 1 Crescimento populacional global.

Ano	Habitantes
1830	1 bilhão
1930	2 bilhões
1960	3 bilhões
1975	4 bilhões
1985	5 bilhões
1995	6 bilhões

Fonte: Bidone e Morales (2004).

Portanto, a partir da década de 1960 as discussões sobre a problemática ambiental em escala global começaram a ganhar força. Neste momento, percebeu-se que o crescimento incessante das economias nacionais em pouco tempo se tornaria um

empecilho ao próprio desenvolvimento e que o planeta estaria prestes a entrar em colapso, podendo atingir proporções irreversíveis.

Dando seguimento a esta crescente preocupação por parte da comunidade internacional em relação às questões ambientais, em 1972 foi realizada em Estocolmo a 1ª Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano.

Esta conferência contribuiu de maneira surpreendente, para a popularização da questão ambiental, introduzindo a finitude nas discussões econômicas e levantando a problemática da poluição (NOBRE; AMAZONAS, 2002).

As discussões em torno deste debate apontavam a escassez dos recursos naturais como um entrave ao desenvolvimento dos países, uma vez que a idéia de desenvolvimento sempre esteve atrelada ao crescimento econômico.

Um possível acordo internacional no sentido de limitar o crescimento econômico foi prontamente rejeitado pelo então bloco dos países do terceiro mundo.

Assim, a partir dos anos 80 começaram as buscas por “padrões sustentáveis de desenvolvimento”, culminando com a criação da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Esta comissão publicou em 1987 o chamado “Relatório Brundtland”, que apontava para a necessidade de se conscientizar governos e agências da importância de integrar, em todos os níveis, os planejamentos econômicos e tomadas de decisões às questões ambientais (WCED, 1987).

1.2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O Relatório Brundtland trouxe à tona o conceito de desenvolvimento sustentável, definindo-o como:

O modelo de desenvolvimento que atenda as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das futuras gerações atenderem suas próprias necessidades (WCED, 1987).

Este conceito de desenvolvimento sustentável recebeu inúmeras críticas por ser considerado vago e de caráter meramente político, e não técnico-científico como se

esperava ou desejava. Neste contexto começaram as discussões em torno de como tornar factível este novo conceito.

Desta forma, em 1992 foi realizada Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento no Rio de Janeiro, também conhecida como Rio-92. Nesta conferência diversos países somaram esforços no sentido de buscar maneiras de operacionalizar o chamado Desenvolvimento Sustentável (DS). Como resultado foi criada a Agenda 21 e assinados tratados internacionais sobre biodiversidade, florestas e clima.

Além de sediar esta conferência, o Brasil firmou compromisso para a construção da Agenda 21 e foi um dos países signatários das convenções acima citadas. Sendo assim, a busca pelo modelo de desenvolvimento com bases sustentáveis em nosso país, foi ratificada e garantida por força de Lei, no Artigo 225 – Capítulo IV da Constituição Federal, empregando o mesmo conceito de Desenvolvimento Sustentável contido no Relatório Bruntland.

Sob o prisma desta nova ordem mundial, o desenvolvimento passa a assumir um caráter qualitativo, ao invés de quantitativo, como era compreendido até então.

Diante destas questões, como mensurar este novo modelo de desenvolvimento, uma vez que os métodos utilizados, até mesmo pela ONU, como o Produto Interno Bruto (PIB), na verdade só eram capazes de medir o crescimento econômico de cada país?

1.3 INDICADORES DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A partir desta necessidade começaram as buscas por Indicadores de Desenvolvimento Sustentável (IDS), sendo que cada país deveria buscar seus próprios indicadores, condizentes com suas particularidades.

Estes Indicadores de Desenvolvimento Sustentável foram considerados necessários e indispensáveis, no sentido de fundamentar as tomadas de decisões na busca pelo almejado DS (DGA, 2000), devendo ser uma ferramenta capaz de auxiliar na:

- Alocação de Recursos
- Hierarquização de Problemas e/ou Áreas Críticas
- Cumprimento de Normas Legais
- Orientação nas Políticas Setoriais
- Avaliação da Qualidade Ambiental
- Contabilidade Ambiental
- Análise de Tendências
- Informações ao Público/Investigações Científicas

O uso destes indicadores tem sido extremamente importante no sentido de resumir informações de caráter técnico e científico na forma original ou “bruta”, permitindo transmiti-la de maneira sintética, preservando-se a essência dos dados originais e utilizando apenas as variáveis que melhor sirvam aos objetivos estabelecidos, e não todas as que podem ser medidas ou analisadas (DGA, 2000).

Desta maneira as informações podem ser mais facilmente utilizáveis por governantes, gestores, político, grupos de interesse ou público em geral. Portanto, a agregação e hierarquização das informações neste processo devem seguir o modelo proposto por RAMOS (2002), apresentado na Figura 1.

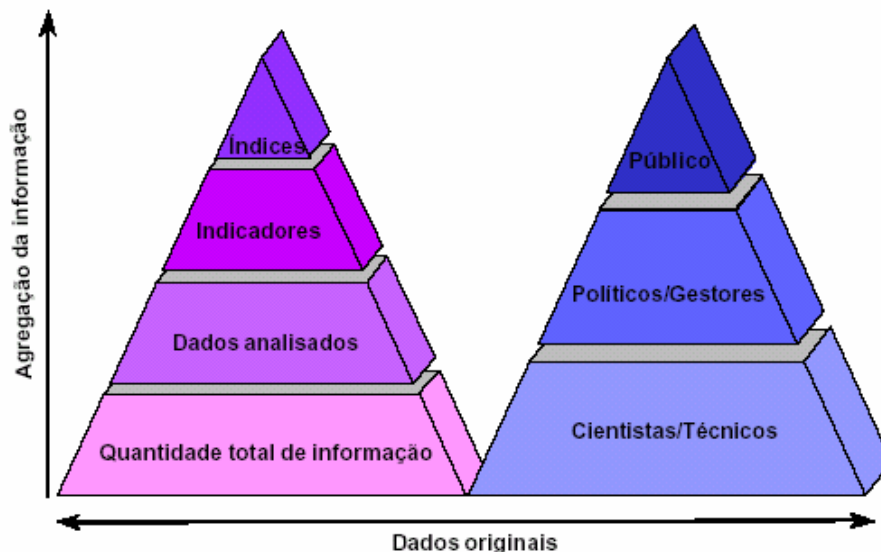


Figura 1 Modelo de agregação da informação na construção de IDS
(RAMOS 2002).

Ainda segundo o mesmo autor, durante este processo de escolha e construção de índices e/ou indicadores ganha-se em clareza e operacionalidade, porém perde-se

em detalhes de informações. Portanto os indicadores e os índices são projetados para simplificar informações sobre fenômenos complexos.

1.4 SELEÇÃO DE INDICADORES DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD), que é composta por diversos países desenvolvidos e alguns em desenvolvimento, foi a pioneira na construção e sistematização dos IDS (OECD, 1993).

Em OECD (1998), destacam-se alguns critérios para a seleção de IDS e características desejáveis (Figura 2).

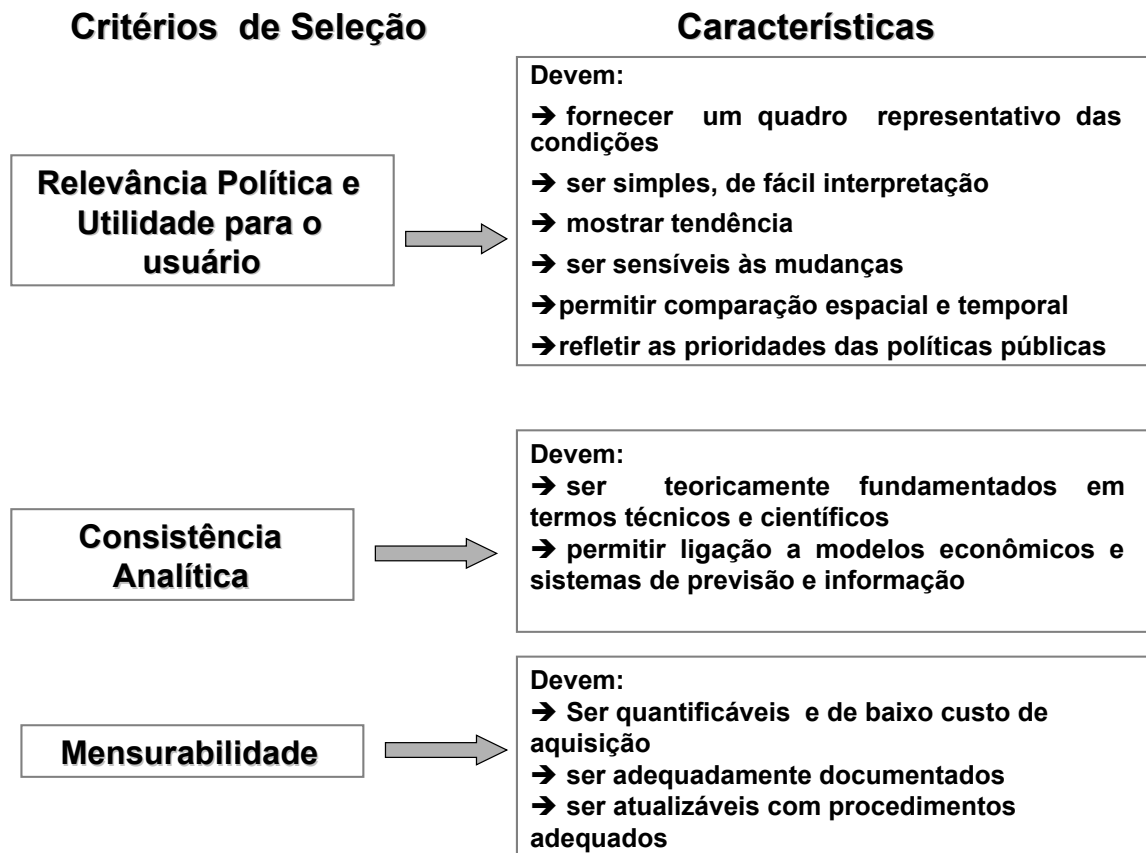


Figura 2 Critérios de seleção e características dos IDS
Adaptado de OECD (1998).

No Brasil, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) publicou no ano de 2002 o elenco de IDS adotados pelo Governo Federal, que servirão de base para se avaliar as metas de governo, propostas para o modelo de DS “à brasileira” (IBGE, 2002a), apresentados na Figura 3.

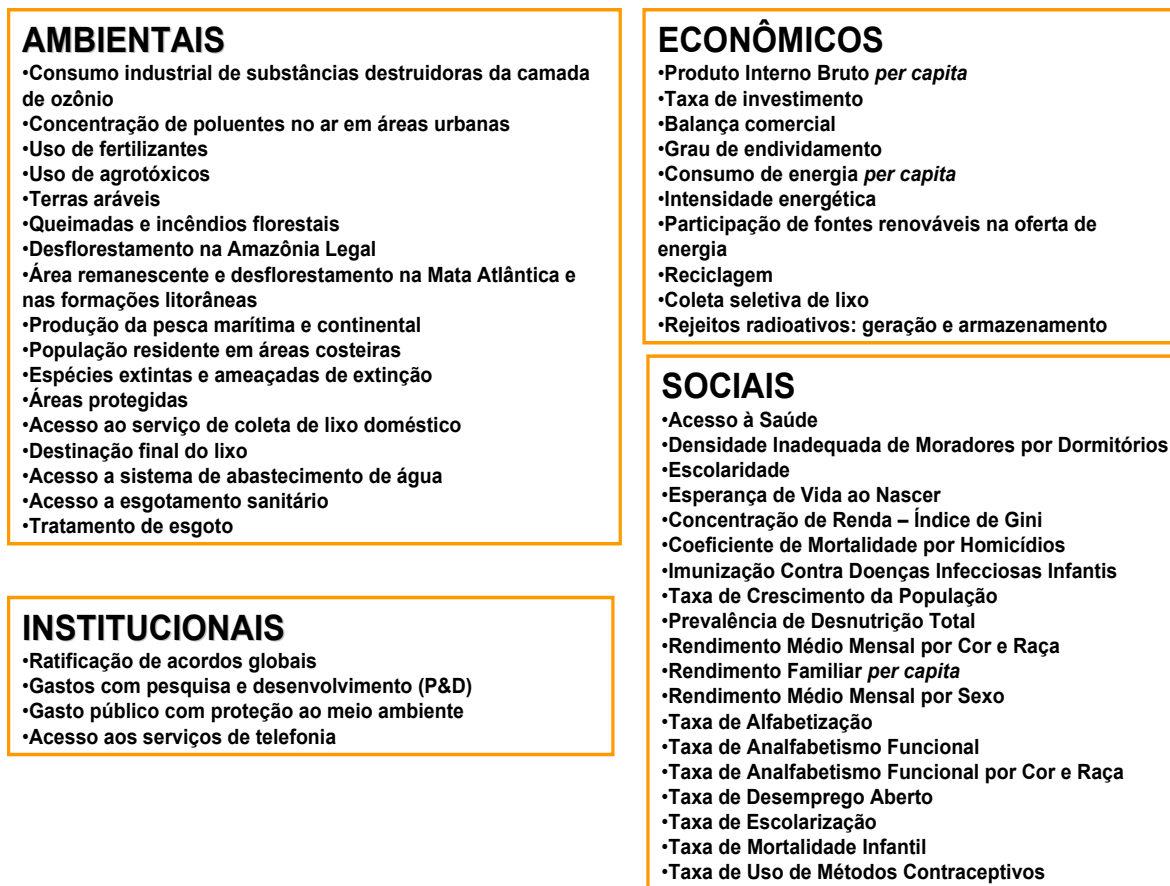


Figura 3 IDS brasileiros
Segundo IBGE (2002a)

A utilização do IDS deve ter como suporte a utilização de modelos conceituais, capazes de sistematizar suas diversas aplicações.

1.5 MODELO PRESSÃO-ESTADO-RESPOSTA

A OECD (1993) foi a primeira a propor o modelo Pressão-Estado-Resposta (Figura 4), baseado no modelo conceitual Stress-Resposta, inicialmente proposto por Friend e Rapport (1979).

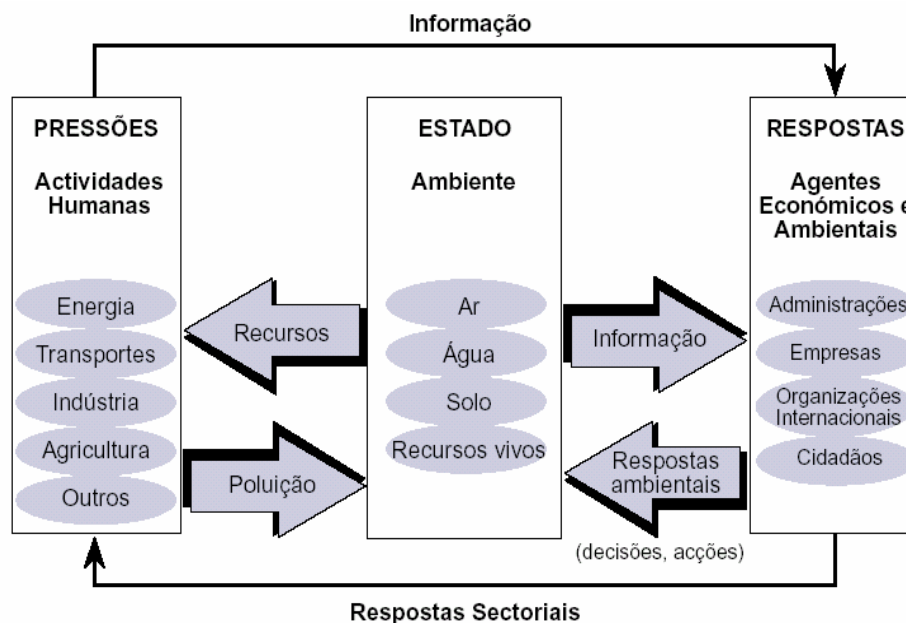


Figura 4 Modelo Pressão-Estado-Resposta proposto pela OECD (1993).

Portanto, o modelo acima proposto pela OECD sistematiza os IDS em três grupos de indicadores:

Pressões - podem ser traduzidos por indicadores de emissões de contaminantes, eficiência tecnológica, intervenção no território e de impacto ambiental.

Estado ou Condicionamento - refletem a qualidade do ambiente num dado horizonte espaço/tempo; são, por exemplo, os indicadores de sensibilidade, risco e qualidade ambiental;

Respostas - avaliam as respostas da sociedade às alterações e preocupações ambientais, bem como à adesão a programas e/ou à implementação de medidas em prol do meio ambiente.

Ao longo do presente trabalho adotaremos a terminologia Condicionamento para expressar o Estado, utilizado nos modelos conceituais em discussão.

O modelo Pressão-Condicionamento-Resposta (PCR) proposto pela OECD (1993), teve grande aceitação na comunidade internacional e foi amplamente utilizado por diversos países. A Tabela 2 aponta algumas vantagens e limitações inerentes a este modelo, descritas em DGA (2000).

Tabela 2 Vantagens e limitações do modelo PCR (DGA, 2000)

Vantagens	Limitações
<ul style="list-style-type: none"> - Avaliação dos níveis de desenvolvimento sustentáveis - Capacidade de sintetizar informações de caráter técnico/científicas - Identificação das variáveis-chave do sistema - Facilidade de transmitir a informação - Bom instrumento de apoio à decisão e aos processos de gestão ambiental - Apontar a existência de tendências - Possibilidade de comparação com padrões e/ou metas pré-estabelecidas 	<ul style="list-style-type: none"> - Inexistência de informação base - Dificuldades na definição de expressões matemáticas que melhor traduzam os parâmetros selecionados - Perda de informação nos processos de agregação dos dados - Diferentes critérios na definição dos limites de variação do índice, em relação às metas estabelecidas - Ausência de critérios robustos para seleção de alguns indicadores - Dificuldades na aplicação em determinadas áreas como o ordenamento territorial

Fonte: DGA (2000).

Em 1998 a OECD publicou um documento apresentando aplicações do modelo PCR em estudos ambientais, tais como:

- Mudanças climáticas
- Diminuição da camada de ozônio
- Eutrofização de sistemas aquáticos
- Acidificação de lagos e solos
- Contaminação por agentes tóxicos
- Qualidade ambiental urbana
- Biodiversidade
- Uso do solo
- Poluição por efluentes domésticos
- Recursos hídricos
- Recursos florestais
- Recursos pesqueiros
- Degradação do solo (desertificação e erosão)

Este documento dispõe de exemplos envolvendo estes temas, usando dados existente nos países membros da OECD e comparando-os. Além disso, foram feitas análises de tendências pautadas em comparações temporais das variáveis empregadas.

1.6 MODELO FORÇANTES-PRESSÕES-CONDICIONAMENTOS-IMPACTOS-RESPOSTAS

Algumas adaptações têm sido feitas nos últimos tempos, no sentido de aprimorar o modelo PCR, anteriormente apresentado. A Agencia Ambiental Européia (EEA)

(1998), propôs um modelo internacionalmente conhecido como DPSIR (Drive-Pressure-State-Impact-Response), que é a abreviatura em inglês de Forçantes-Pressões-Condicionamentos-Impactos-Respostas, reorganizando os indicadores nestas novas categorias (Figura 5).

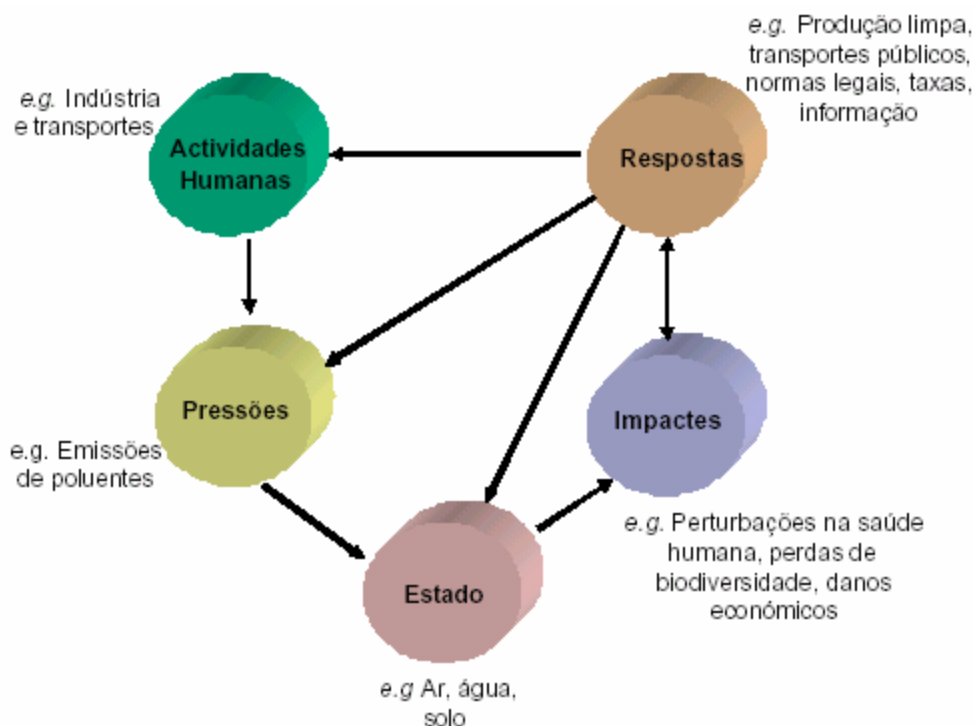


Figura 5 Modelo DPSIR proposto por EEA (1998), segundo DGA (2000).

Segundo Bowen e Riley (2003), a introdução das forçantes antropogênicas, ou sócio-econômicas, se mostrou necessária por se considerar que este é um fator muito importante, se não o dominante, em relação às mudanças ambientais em questão. Além disso, o uso de indicadores capazes de mensurar impactos, separadamente das variáveis que caracterizam as mudanças na qualidade ambiental, é fundamental no emprego da Análise de Custos e Benefícios (ACB).

Diversos estudos têm aplicado este modelo desde então. Da mesma forma, começaram as buscas para a construção de modelagens matemáticas e programas computacionais, capazes de sistematizá-lo (GIUPPONI *et al.*, 2004; MYSIAK *et al.*, 2005).

Outros exemplos de trabalhos que vêm empregando este modelo a estudos de caso em lagoas costeiras são Newton *et al.* (2003) e Scheren *et al.* (2004), na zona costeira em geral destacam-se Cave *et al.* (2003), Bowen e Riley (2004), e na zona marinha pode-se citar Rogers e Greenaway (2004) e Elliot (2003).

O projeto “Land Ocean Interactions Coastal Zone” (LOICZ), que integra o Programa Internacional Geosfera Biosfera (IGBP) do International Council of Scientific Unions (ICSU), vem discutindo e aprimorando a utilização do modelo conceitual DPSIR, desde 1998 (TURNER *et al.*, 1998).

Em 2002 foi publicado o LOICZ Reports e Studies No. 21 (LACERDA *et al.*, 2002), onde são apresentados os principais resultados do segundo workshop sobre bacias hidrográficas da América do Sul, em Fortaleza, CE – Brasil. Nesta publicação é apresentado um estudo de caso sobre a Baía de Guanabara-RJ (BIDONE; LACERDA, 2002), onde o modelo DPSIR é aplicado, sendo um dos pioneiros no emprego deste tipo de estudo no Brasil.

Após este breve histórico, apresentamos o esquema genérico abaixo (Figura 6), elaborado a partir da síntese dos vários modelos esquemáticos propostos nas diversas publicações consultadas, envolvendo a metodologia Forçantes-Pressões-Condicionamentos-Impactos-Respostas.

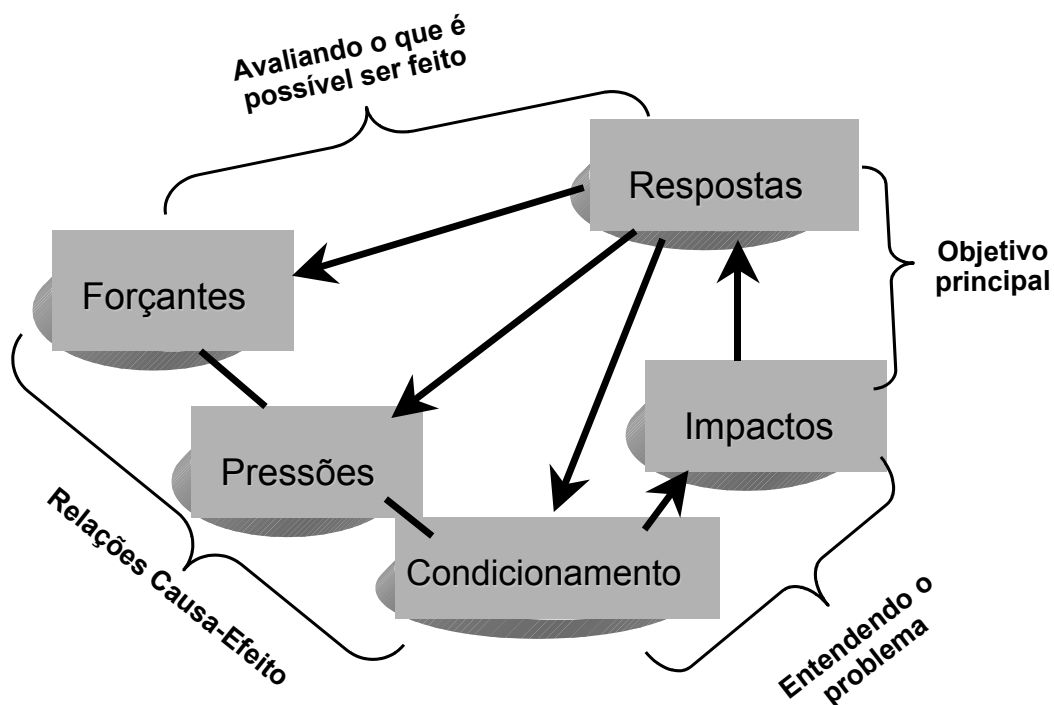


Figura 6 Modelo esquemático genérico da metodologia Forçantes-Pressões-Condicionamentos-Impactos-Respostas, proposto neste trabalho.

Neste modelo, o conjunto Forçantes-Pressões-Condicionamento caracteriza as relações causa-efeito das mudanças ambientais na problemática estudada. Ou seja, fatores exógenos, muitas vezes históricos, em relação a atividades sócio-econômicas atuantes na área de estudo exercem pressões sobre o meio ambiente, que ao longo do tempo vai se condicionar, isto é, vai sofrer alterações em resposta a estas pressões.

As relações entre o Condicionamento e os Impactos, decorrentes destas mudanças, são a chave para o entendimento do problema, se considerarmos os impactos ambientais como o problema central da questão.

A investigação do que tem sido feito ou não feito, isto é, as respostas da sociedade frente aos Impactos, é o que se deseja quando se avalia se o desenvolvimento em questão está ou não ocorrendo de maneira sustentável.

Por fim, somente avaliando as relações entre as Respostas da sociedade e as Forçantes, ou atividades sócio-econômicas, é que será possível determinar o que pode ser feito no sentido de mitigar o problema, ou melhor, os impactos.

1.7 INDICADORES SÓCIO-AMBIENTAIS

Propõe-se nesta Tese a definição de indicadores sócio-ambientais como sendo: *indicadores do reflexo das atividades humanas sobre o meio ambiente, em uma determinada área, ou região – neste caso, a bacia hidrográfica como a unidade de gestão.*

Seguindo esta definição, o presente estudo propõe-se a caracterizar indicadores adequados a realidade da bacia do Rio Anil, em São Luís – MA, capazes de auxiliar na análise econômico-ambiental do processo de desenvolvimento local.

2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é a bacia do Rio Anil (Figura 7), que se estende pela porção noroeste do município de São Luís – MA, entre as coordenadas 02°29" S, 44°12" W e 02°34" S, 44°18" W (LABOHIDRO, 1983).

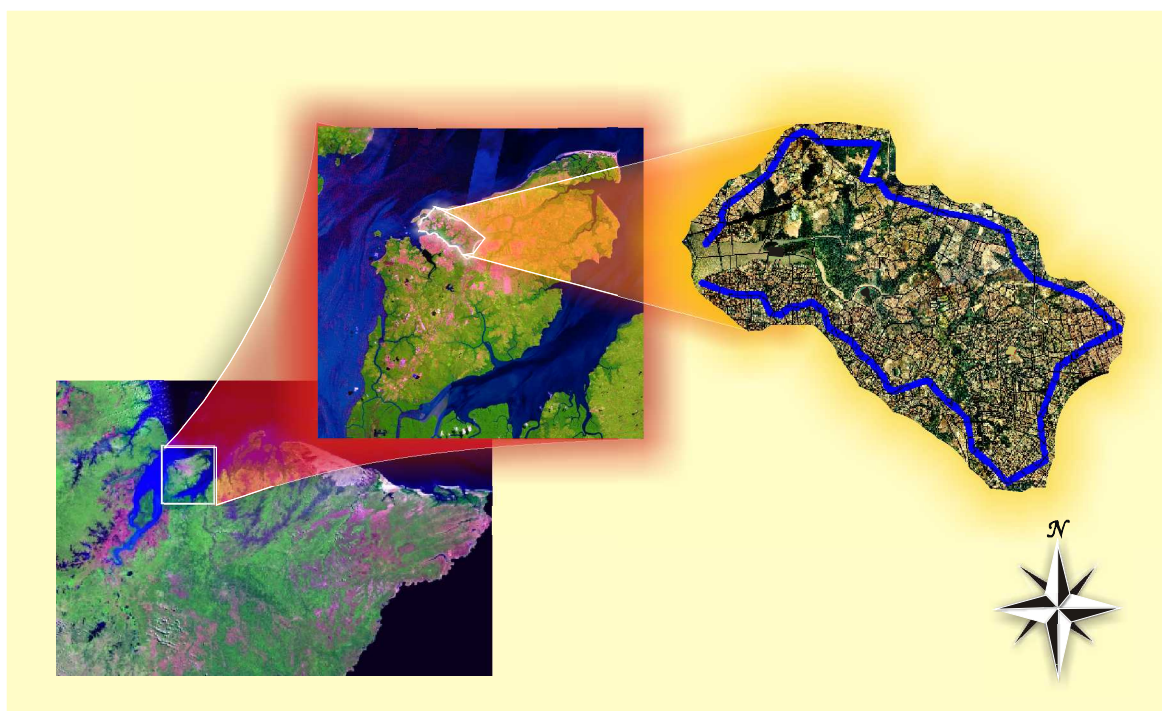


Figura 7 Localização da bacia do Rio Anil.

Suas nascentes estão localizadas no Tabuleiro Central da Ilha do Maranhão, a uma altitude de aproximadamente 55 metros, seguindo para o mar na direção sudeste-noroeste até alcançar a baía de São Marcos, junto ao centro histórico de São Luís.

Cerca de 2/3 da extensão de seu curso são inundados pelo regime local de macro marés diurnais, com amplitudes em que podem chegar a 8 metros.

A bacia do Rio Anil possui dez sub-bacias (DIAS, 2005) (Figura 8); uma área de 33 Km²; comprimento do rio principal de 12,12 Km; desnível de 55 m; perímetro de 33 Km; tempo de escoamento calculado pelo método de Giandotti de aproximadamente 7

horas; e Segundo Feitosa (1989) uma vazão de aproximadamente $15 \text{ m}^3/\text{s}$ durante o período chuvoso, chegando a $1 \text{ m}^3/\text{s}$ no final da estação seca.

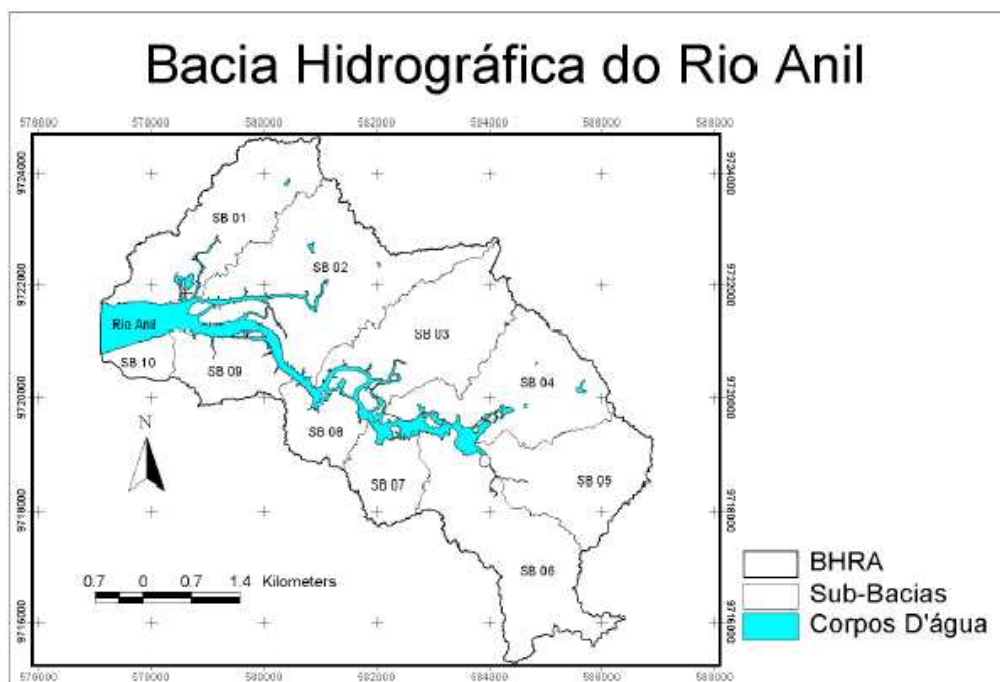
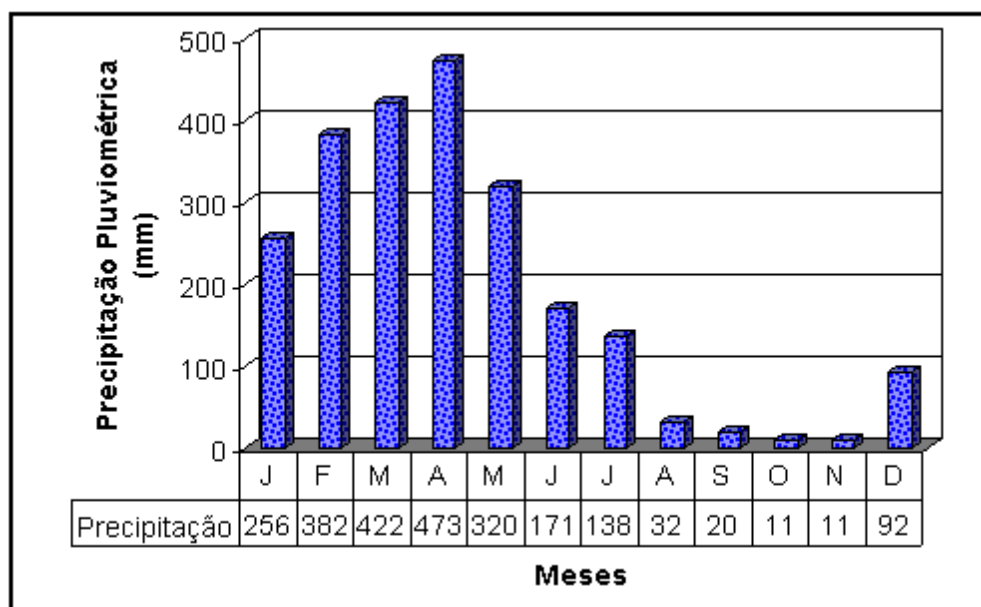


Figura 8 Sub-bacias da bacia do rio Anil (DIAS, 2005)

Os principais afluentes do Rio Anil pela margem direita são: Igarapé da Ana Jansen, Igarapé do Jaracati, Igarapé dos Vinhais, Igarapé do Turu e Igarapé Ingaúra; pela margem esquerda: o Rio Jaguarema, Córrego da Vila Barreto, Córrego da Alemanha, Igarapé da Camboa.

Os afluentes da margem direita são maiores, mais extensos, e atravessam áreas de manguezais antes de alcançarem o rio. Os da esquerda são mais curtos, apresentam maior declividade, e drenam sub-bacias completamente urbanizadas.

A área de estudo apresenta um regime climático de Thorntwaite Umido Tipo B2, caracterizado por um período chuvoso de janeiro a junho, e seco de julho a dezembro, como pode ser visto na Figura 9 que apresenta as precipitações pluviométricas médias, medidas em uma estação meteorológica situada próxima as nascentes do Anil.



Total Anual = 2.328 mm
Média Climatológica - Período (1961 - 1990)

Figura 9 Precipitação pluviométrica média em São Luís – MA (Fonte: Laboratório de Meteorologia – LABMET/UEMA, 2001)

3 OBJETIVOS

O objetivo geral do presente trabalho é propor indicadores sócio-ambientais para a bacia do Rio Anil, São Luís – MA, como subsídio à análise econômico-ambiental do processo de desenvolvimento local, utilizando o contexto metodológico de estruturas do tipo Forçante-Pressão-Condicionamento-Impacto-Resposta (FPCIR).

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Caracterização de Indicadores de Forçantes, através da elaboração do histórico evolutivo do processo de ocupação da bacia do Rio Anil.
- b) Caracterização de indicadores de Pressões através de:
 - Estimativa de fluxos biogeoquímicos nas águas do Rio Anil.
 - Balanço de massas (fluxos) para hierarquizar, em termos dos aportes biogeoquímicos (poluentes), as áreas fontes.
 - Avaliação do nível de contaminação dos sedimentos e de sua evolução histórica, através da análise de testemunhos, e análise de hierarquização espacial da contaminação.
 - Avaliação das mudanças no uso do solo, em diferentes épocas, através de sensoriamento remoto, para o cálculo do Índice de Preservação Ambiental (IPA).
- c) Caracterização de indicadores de condicionamento, através de:
 - Utilização de dados sócio-econômicos (demografia e saneamento), ao nível de setores censitários (IBGE).
 - Utilização de técnicas de geoprocessamento para análise espacial dos dados censitários na bacia do Rio Anil.
 - Cálculo do Índice de Preservação Ambiental atual por sub-bacias.
 - Cálculo do Índice de Risco Ecológico Potencial (IREP) relacionado à contaminação dos sedimentos por elementos traço.
 - Cálculo e análise espacial do Índice de Qualidade de Vida (IQV).
- d) Caracterização de indicadores de Impactos através de Análise Custo-Benefício (ACB).
- e) Caracterização de indicadores de Resposta, através da análise sucinta das principais políticas e ações na área de estudo.

4 MATERIAIS E METODOS

No presente estudo foram levantados dados primários e usados dados secundários como publicações em livros, artigos científicos, dissertações, teses, relatórios, monografias, publicações oficiais do IBGE, entre outros.

Adotou-se como estratégia a compartimentação da bacia do Rio Anil em três porções, denominadas de Curso Alto, Curso Médio e Curso Baixo, conforme apresentado na figura 10, no sentido de possibilitar a hierarquização de áreas dentro da bacia, fundamentais no processo de planejamento e gestão. A área de cada compartimento foi calculada através do programa *Tracmaker*.

A compartimentação adotada baseou-se em dois critérios: geomorfológico e sócio-econômico.

Geomorfológicamente, o Curso Alto corresponde à região do Tabuleiro Central da Ilha de São Luís, na cota de aproximadamente 50 metros de altitude, onde nascem os principais formadores do Rio Anil. Os Cursos Médio e Baixo estão localizados em cota inferior, na porção estuarina da bacia, sofrendo influência do regime de maré, que na região podem atingir amplitudes de até 8 metros, não havendo distinção geomorfológica clara entre os dois. Entretanto, pode-se observar que o Curso Médio apresenta no seu entorno um relevo mais acentuado que no Curso Baixo.

A sub-divisão em Médio e Baixo é reforçada por aspectos sócio-econômicos, visualmente observáveis no menor adensamento residencial no Curso Baixo.

4.1 INDICADORES DE FORÇANTES

As forçantes foram levantadas a partir de dados secundários, onde foram consultados desde textos sobre a história do Maranhão, a artigos científicos, teses, relatórios e monografias.

4.2 INDICADORES DE PRESSÕES

4.2.1 Fluxos Biogeoquímicos

A mera análise da distribuição espacial de concentrações de poluentes em um rio, não nos permite tirar maiores conclusões acerca das relações existentes entre poluentes e suas fontes. Desta forma, diversos estudos têm empregado modelos de balanços de massa dos fluxos de poluentes ao longo de rios, no sentido de auxiliar a caracterização de fontes poluidoras (HATJE *et al.*, 1998).

No presente trabalho, o cálculo dos fluxos biogeoquímicos se baseou nos valores médios da concentração de NH_4^+ , PO_4^{3+} , O_2 , analisados por LABOHIDRO (2001), em amostras coletadas em pontos correspondentes aos cursos Baixo, Médio e Alto, como indicativo de fontes de efluentes domésticos. Utilizou-se os dados de amostras coletadas na maré vazante, no período seco local (final de outubro), para se avaliar a situação de pior cenário, estando os nutrientes mais concentrados nesta situação.

As vazões específicas representativas dos cursos Alto, Médio e Baixo foram estimadas através da relação de proporcionalidade entre áreas de uma mesma bacia. Quando se tem a vazão em um ponto com determinada área drenada, mas não se conhece em outro ponto, em que a área drenada também é conhecida, podemos assumir, para efeito de gestão, a seguinte aproximação (HATJE *et al.*, 1998):

$$Q_1 / A_1 \sim Q_2 / A_2$$

Onde:

Q1 = vazão no ponto 1

Q2 = vazão no ponto 2

A1 = área drenada pelo ponto 1

A2 = área drenada pelo ponto 2

Desta forma, calculando-se as áreas dos segmentos correspondentes aos cursos Baixo, Médio e Alto da bacia, compartimentados conforme critérios discutidos anteriormente, teremos:

$$Q_{CB}/A_{CB} \sim Q_{CM}/A_{CM} \sim Q_{CA}/A_{CA}$$

Onde:

A_{CB} = Área drenada pelo Curso Baixo = Área total da bacia

A_{CM} = Área drenada pelo Curso Médio = Área de Curso Médio + Área do Curso Alto

A_{CA} = Área drenada pelo Curso Alto = Área do Curso Alto

Q_{CB} = Vazão no Curso Baixo = Vazão do rio (conhecida)

Q_{CM} = Vazão no Curso Médio

Q_{CA} = Vazão no Curso Alto

Após calcular as respectivas vazões, podemos obter os fluxos totais dos compostos a serem avaliados (HATJE *et al.*, 1998), como por exemplo, o fosfato (PO_4^{3+}) no Curso Médio, da seguinte forma:

$$\text{Fluxo } (PO_4^{3+})_{CM} = \text{Concentração } (PO_4^{3+})_{CM} \times Q_{CM}$$

Onde:

Fluxo $(PO_4^{3+})_{CM}$ = Fluxo total de fosfato no Curso Médio

Concentração $(PO_4^{3+})_{CM}$ = Concentração no Curso Médio

Para Calcular o fluxo específico do composto em um dado segmento, isto é, o fluxo correspondente apenas ao segmento em questão, deve-se dividir o fluxo total do composto no segmento pela área drenada pelo segmento (HATJE *et al.*, 1998). No caso exemplificado temos:

$$\text{Fluxo específico } (PO_4^{3+})_{CM} = \text{Fluxo } (PO_4^{3+})_{CM} / A_{CM}$$

Por fim, considerando o rio estudado como um *aqua continuum*, ou seja, um sistema de estado estacionário, uma vez que trabalhou-se apenas com dados de maré vazante, podemos assumir para cada segmento que:

$$\text{Fluxo afluente} = \text{Fluxo efluente} + \text{Massa interna}$$

Sendo a massa interna aquela adicionada, transformada ou suprimida.

Para o caso exemplificado anteriormente, temos:

$$\text{Incremento de } (\text{PO}_4^{3+})_{\text{CM}} = \text{Fluxo afluente } (\text{PO}_4^{3+})_{\text{CM}} - \text{Fluxo efluente } (\text{PO}_4^{3+})_{\text{CM}}$$

Desta forma, foi possível avaliar a contribuição aproximada de cada segmento do Rio Anil em relação aos compostos indicadores de efluentes domésticos, adotados.

4.2.2 Testemunhos do sedimento

Os estudos de testemunhos nos permitirão avaliar a formação de estoques de contaminantes nos sedimentos e o nível de contaminação que eles apresentam, bem como, realizar uma análise da evolução histórica da contaminação dos sedimentos.

Foram coletados três testemunhos, um em cada compartimento da bacia do Rio Anil (Figura 10), nos dias 5 e 6 de dezembro de 2003.

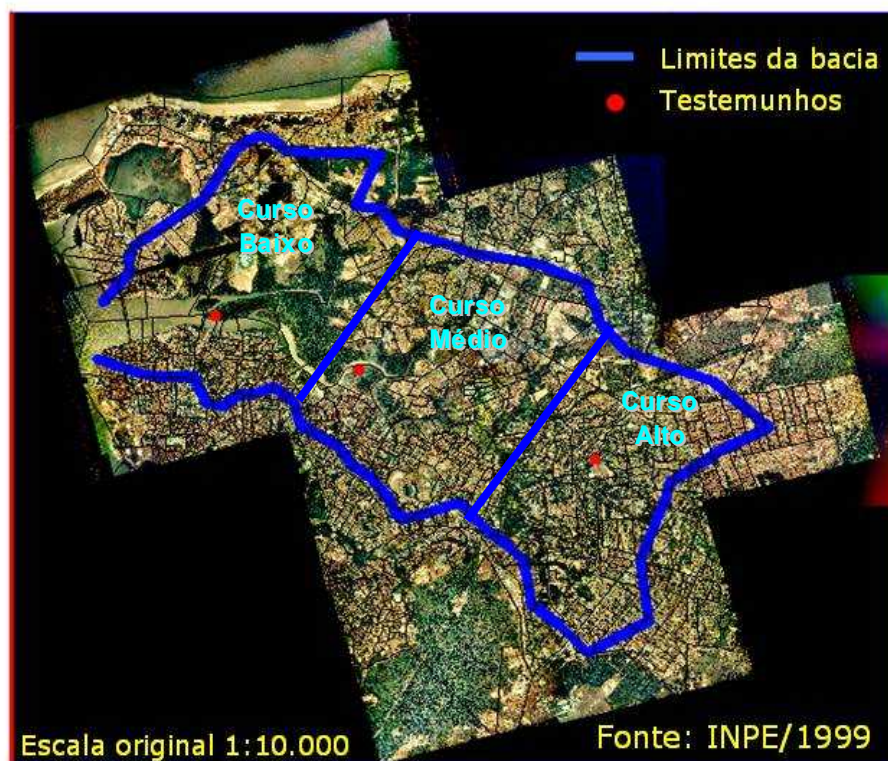


Figura 10 Representação da subdivisão da bacia do Rio Anil e localização dos pontos de coleta dos testemunhos.

Um testemunho foi coletado na região do Tabuleiro Central da ilha de São Luís na localidade do Botafogo do Anil, em uma área de várzea, próximo às áreas das nascentes, o qual denominou-se Curso Alto (Figura 11), que atingiu a profundidade de aproximadamente 55 cm. Este ponto foi escolhido por se tratar de um ambiente deposicional alagado, que recebe influência das águas que drenam as nascentes difusas do Anil e, no período chuvoso chega a ficar totalmente submerso recebendo influência da calha do rio.



Figura 11 Coleta do testemunho do Curso Alto.

Os outros dois foram coletados na zona de influência da maré, em áreas deposicionais junto a manguezais, sendo um em uma ilha próximo a foz do Anil no bairro da Camboa, o qual chamaremos de Curso Baixo, com aproximadamente 140 cm de profundidade; e outro já mais próximo à zona limite de influência da maré, no bairro da Alemanha, o qual chamaremos de Curso Médio (Figura 12), com aproximadamente 120 cm de profundidade.



Figura 12 Coleta do testemunho no Curso Médio.

Usou-se como testemunhador tubos de alumínio de 3 polegadas de diâmetro e 3 metros de comprimento.

É importante ressaltar que buscou-se coletar testemunhos em áreas menos afetadas diretamente pela ação física do homem e, com isso, maximizar a possibilidade de análise de materiais menos ‘mexidos’.

Depois de coletados, os testemunhos foram seccionados em laboratório após a descrição da fácies litológica realizada pelo critério de cor, textura e constituição granulométrica, sendo a cor e textura classificadas de acordo com a carta de solos *Munsell*[®] *Color Chart*. Em seguida, estas amostras foram imediatamente identificadas e refrigeradas para posterior análise em laboratório.

4.2.3 Teor de Água e Densidade Aparente

O material úmido foi pesado e seco a 50° C por pelo menos 48 horas até peso constante e repesado em balança analítica. O conteúdo em água foi determinado como peso d'água em relação ao peso úmido total conforme descrito em Hakanson e Jansson (1983):

$$T_{H_2O} = (P_U - P_s / P_U) \times 100$$

onde

T_{H_2O} = Teor em água expresso em percentagem

P_U = Peso úmido (sólidos + água)

P_s = Peso seco (sólidos sem água)

A determinação de densidade foi feita a partir da sub amostragem do sedimento em cubos de acrílico com volume conhecido (2,2 x 2,2 x 2,2 cm) (Foto 3). Os cubos foram pesados previamente e depois preenchidos com sedimento. Em seguida, cada segmento foi seco e pesado novamente obtendo-se o peso seco por volume conhecido (10,64 cm³):

$$D_a = P_s / V_t$$

D_a = Densidade aparente (g/cm³)

P_s = Peso a seco (sólidos sem água)

V_t = Volume total da amostra úmida



Figura 13 Amostragem das fatias do testemunho para a densidade aparente.

4.2.4 Determinação de Elementos Traço

Foram feitas extrações dos elementos traço no sedimento, na fração chamada de pseudo-total. Quase todos os elementos traço contidos no sedimento, são extraídos nesta fração, exceto a porção aprisionada na estrutura cristalina dos silicatos (ISO 11466, 1995).

A extração empregada foi uma adaptação da norma ISO 11466:1995 desenvolvida por GUEVARA-RIBA *et al.* (2004), onde foram digeridos 1g de sedimento numa combinação de HCl + HNO₃ concentrados, na proporção de 7 ml : 3 ml respectivamente, à temperatura ambiente por 16 horas, seguido de aquecimento à 130°C por 2 horas, ambos sob refluxo, em sistema de triplicata. Os extratos foram filtrados usando-se papel de filtro Watman 40, e diluídos a 50 ml com uma solução de HNO₃ 0,5N preparada em água ultra pura (Milli-Q).

Posteriormente foram feitas as determinações analíticas dos elementos Fe, Mn, Ni, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn e As por espectrometria de emissão óptica com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP/OES), no aparelho *Horiba Jobin Yvon* modelo *Ultima 2*.

Os limites de detecção do método ficaram na faixa entre 0,001 e 0,01 $\mu\text{g/g}$, dependendo dos elementos analisados.

4.2.5 Determinação de Mercúrio

O mercúrio no sedimento foi analisado no espectrofotômetro de absorção atômica Zeeman Mercury RA – 915⁺, com limite de detecção de 0,5 $\mu\text{g/Kg}$.

A análise é feita de maneira direta, sem extrações químicas, em sistema de triplicata. As amostras de sedimento são introduzidas no aparelho onde ocorre a sublimação e atomização do mercúrio por pirólise, sendo feita a medida direta da concentração no comprimento de onda específico deste elemento.

4.2.6 Análise da evolução histórica da contaminação nos testemunhos

Procurou-se estabelecer uma cronologia das contaminações na área do estudo baseando-se no histórico evolutivo de ocupação da bacia do Anil.

Para isso, partiu-se do pré-suposto que o ano de 1970 representou o marco inicial da ocupação maciça da bacia, conforme discutido anteriormente, e que as concentrações de elementos traço começaram a aumentar a partir deste momento, em virtude da intensificação das atividades antropogênicas.

Dessa forma, buscou-se descobrir a profundidade correspondente ao marco inicial de crescimento nos gráficos das concentrações dos elementos traço ao longo dos testemunhos, através de análise estatística da correlação de Pearson. Uma vez encontrada esta profundidade, calculou-se a taxa de sedimentação média através da razão entre esta profundidade assumida como do ano de 1970, e a diferença de anos, entre 2004 e 1970 (34 anos), podendo assim, estabelecer a taxa de sedimentação, admitindo-se uma taxa constante ao longo destes anos.

Cabe destacar que esta metodologia é uma inovação proposta neste presente trabalho, podendo ser aplicada em outras áreas. Entretanto deve-se conhecer bem o histórico de ocupação da área estudada.

4.2.7 Análise Elementar de CHN

Para identificação da origem do material biogênico foi feita a análise elementar de carbono, nitrogênio e hidrogênio, presente na fração orgânica do sedimento.

Para garantir que o carbono analisado corresponde à fração orgânica (biogênica), foi feita a descarbonatação das amostras através do ataque com HCl 1 M, em agitador de orbital, a temperatura ambiente, garantindo a eliminação de carbonatos, que poderiam superestimar a quantidade de carbono orgânico presente nas amostras.

Depois de lavadas e secas em estufa a 50° C, as amostras foram cuidadosamente maceradas, pesadas e levadas em cubetas de estanho ao analisador elementar automático CHN (Perkin Elmer).

A determinação da relação entre as concentrações de carbono e as de outros elementos como nitrogênio, permite identificar a qualidade do material orgânico depositado.

A relação C/N representa uma importante ferramenta no sentido de indicar a origem dos sedimentos.

Depois de depositadas, todas as possíveis fontes orgânicas e minerais, além dos processos diagenéticos, tendem a perder nitrogênio alterando a razão C/N. Após este processo diagenético inicial, a razão C/N da matéria orgânica tende a estabilizar (MEYERS e ISHIWATARI, 1993) mantendo assim a assinatura da fonte, podendo permanecer intacta por até milhões de anos (MEYERS, 1994).

Desta forma, a variação da relação C/N ao longo do testemunho pode representar processos ligados à origem de fonte do material sedimentar. O material de origem algal, por exemplo, apresenta uma relação C/N mais baixa em função do alto teor em proteína em comparação a compostos tais como a lignina, presente no material originário de plantas lenhosas, com cadeia de carbono mais elevada e, portanto com uma relação C/N mais elevada (MEYERS; ISHIWATARI, 1993).

4.2.8 Análise de Esteróides Marcadores da Poluição Fecal

A poluição por esgoto doméstico é um dos principais problemas ambientais da atualidade que vem contribuindo com a perda da qualidade dos recursos hídricos, sobretudo se considerarmos as grandes cidades de países em desenvolvimento, onde grande parte dos efluentes urbanos são lançados diretamente nos corpos d'água sem nenhum tipo de tratamento.

Desta forma, o uso de indicadores específicos para este tipo de poluição representa uma importante ferramenta em estudos de gestão ambiental.

O emprego de lipídeos como indicadores de efluentes antropogênicos nas últimas décadas, vem contribuindo de maneira significativa para a identificação das fontes poluidoras, a dispersão e destino de poluentes, e ainda informações geocronológicas (TAKADA e ENGANHOUSE, 1998).

O coprostanol (5 β -coleston-3 β -ol), que é um esteroide de origem fecal formado pela hidrogenação do colesterol em organismos de sangue quente, vem sendo amplamente utilizado desde os anos 60 como marcador molecular capaz de avaliar e monitorar a poluição por esgotos domésticos no ambiente aquático (TAKADA e ENGANHOUSE, 1998). A vantagem do emprego deste indicador é a boa especificidade e elevado tempo de meia-vida em sedimentos anaeróbicos, da ordem de décadas.

Desta forma, a análise do coprostanol e outros esteróides associados em amostras de testemunhos, em estudos de gestão ambiental, nos permite levantar o 'histórico' de contaminação e acompanhar, em escalas de tempo apropriadas, a eficiência das ações de controle da contaminação fecal, neste caso quando acoplado a informações sobre a entrada *per capita* de esgoto e/ou taxas de sedimentação (HATCHER e MCGILIVARY, 1979; FERNANDES *et al.*, 1999; MUDGE *et al.*, 1999; CARREIRA *et al.*, 2001).

O Epicoprostanol pode ser utilizado com o objetivo de discriminar fezes humanas das de outros mamíferos marinhos (VENKATESAN e SANTIAGO, 1989), embora em altas concentrações também possam indicar aporte de efluentes doméstico tratados anaerobicamente, ou transformações em ambientes redutores (Mc CALLEY *et al.* 1981).

As análises de coprostanol, colesterol e epicoprostanol em algumas fatias do testemunho foram realizadas, no laboratório do Prof. Dr. Renato Carreira, na UERJ, através de extração seletiva e análise por cromatografia em fase gasosa com detector de ionização por chama, utilizando-se um equipamento da Hewlett Packard (modelo 6890).

4.2.9 Mudanças no Uso do Solo

A avaliação das mudanças no uso do solo foram feitas através do sensoriamento remoto de duas imagens, uma imagem SPOT de 1992 e uma TM-Landsat 5 de 2000, usando-se como ferramenta o programa Sping 4.3 e, adotando-se como classes a serem comparadas as seguintes unidades de paisagem:

- Manguezais
- Corpos d'água
- Área urbana densamente povoada
- Área urbana menos povoada
- Capoeira
- Áreas alagadas
- Solo exposto

4.2.10 Índice de Preservação Ambiental (IPA)

O índice de Preservação Ambiental permite avaliar mudanças no uso do solo ao longo do tempo em uma bacia hidrográfica, bem como a comparação entre o grau de preservação ambiental em bacias distintas (BITTON, 2000). Este índice pode ser calculado da seguinte forma:

$$\text{IPA} = 1/D_D [(F_L + A_E) / (A_U + A_A)]$$

D_D : densidade de drenagem

F_L : percentual de cobertura florestal

A_E : percentual de áreas “encharcadas”

A_U : percentual de áreas urbanizadas

A_A : percentual de áreas agropastoris

Quanto menor o índice pior será a preservação ambiental das áreas comparadas.

Foi necessário fazer uma adaptação da metodologia inicialmente proposta por BITTON (2000), em se tratando de uma bacia tipicamente urbana, que não possui áreas agropastoris.

Entretanto, se interpretarmos as áreas agropastoris como uma área “natural” antropizada se enquadraria nesta categoria às denominadas áreas de capoeira, que representam áreas naturais que foram desmatadas e abandonadas.

As áreas com solo exposto também se enquadram nesta categoria.

Outra adaptação, é que consideramos como áreas urbanizadas aquelas densamente povoadas, onde praticamente não existem áreas verdes.

Desta forma o IPA adaptado para este trabalho pode ser calculado da seguinte maneira, usando-se as classes de unidades de paisagem avaliadas através do sensoriamento remoto de duas imagens, uma imagem *SPOT* de 1992 e uma *TM-Landsat 5* de 2000:

$$IPA = 1/D_D [(A_{mangue} + A_{encharcadas})/(A_{urbanas} + A_{capoeira} + A_{solo\ exp})]$$

4.3 INDICADORES DO CONDICIONAMENTO

4.3.1 Caracterização das fontes

Bacia Ambiental

Para caracterizar as fontes, usamos como unidade de trabalho a bacia ambiental do Rio Anil, que não necessariamente coincide com os limites naturais da bacia hidrográfica.

A bacia ambiental foi definida por RUTKOWSKI (2004) como sendo um espaço territorial de conformação dinâmica, cujos limites são estabelecidos pelas relações ambientais de sustentabilidade de ordens ecológica, econômica (financeira e administrativa) e social (política, cultural e espiritual).

Portanto, apesar de a legislação brasileira adotar, para efeito de estudos técnicos como EIA e RIMA, os limites naturais da bacia hidrográfica (Resolução CONAMA 001/86), este limite físico pode se mostrar inadequado, não levando em consideração a dinâmica sócio-econômica do território.

Além disso, mesmo se as características físicas do terreno bacia hidrográfica contemplarem a dinâmica sócio-econômica, os dados censitários, de infra-estrutura, estatísticos, são normalmente organizados tendo como unidade o município, cuja área freqüentemente não obedece aos limites da bacia hidrográfica (RUTKOWSKI, 2004).

Desta forma, para este trabalho, quando o limite da bacia hidrográfica corta uma parcela de um setor censitário, por menor que seja este setor, o mesmo passa a ser considerado como limite da bacia ambiental adotada.

Banco de Dados Estatcart IBGE 2000

Os mapas desenvolvidos neste trabalho para caracterizar as fontes foram elaborados a partir do banco de dados do programa Estatcart (IBGE 2002b), que contempla as informações por setores censitários, com base no censo de 2000, organizando-as de acordo com a malha setorial digital dos municípios.

As informações são apresentadas em arquivos no formato SHAPE, que foram exportadas para o programa ArcView GIS 2.3, o qual permitiu o cruzamento das informações espaciais e não-espaciais e a apresentação das informações de acordo com os objetivos do trabalho.

As informações por setores censitários originalmente extraídas do Estatcens IBGE 2002, para a caracterização das fontes foram:

- População residente
- Área dos setores censitários
- Domicílios particulares permanentes
- Domicílios particulares permanentes com banheiro

Destino final dos efluentes sanitários por domicílios particulares permanentes, lançados:

- Na rede geral de esgoto
- Em rios, lagos ou mar
- Em fossas rudimentares
- Em valas

4.3.2 Índice de Preservação Ambiental nas Sub-bacias (IPA_{SB})

Usamos o IPA para comparar o grau de preservação ambiental entre as sub-bacias do Anil no ano de 2000, tomando como partida os resultados publicados por DIAS (2005), apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 Unidades de paisagem nas sub-bacias da bacia do Rio Anil

Sub-bacias	Áreas Urbanizadas	Áreas de manguezais	Cobertura Florestal	Área das Sub-bacias
1	335,1	62,29	92,52	490,54
2	336,98	199,45	154,5	692,38
3	313,66	59,39	99	472,85
4	339,76	9,03	79	486,88
5	322,84	0	136,06	415,64
6	487,7	0	92,8	572,46
7	172,21	3,17	84,77	181,54
8	148,73	2,61	6,16	155,61
9	184,37	2,01	4,28	197,86
10	72,23	0	11,48	72,23

FONTE: DIAS (2005).

Foi necessário fazer uma adaptação na equação do IPA em função das unidades de paisagens empregadas pelo autor. Sendo assim, mantendo-se a idéia original do IPA, a equação para as sub-bacias ficou assim:

$$IPA_{SB} = D_D (\text{Áreas de Manguezais} + \text{Cobertura Florestal}) / \text{Áreas Urbanizadas}$$

Onde: **D_D** = **Densidade de drenagem da bacia**

4.3.3 Índice de Risco Ecológico Potencial (IREP)

O Índice de Risco Ecológico (IREP) Potencial é uma ferramenta de diagnóstico, criada por HAKANSON (1980,1988), utilizada no controle da contaminação por elementos traço em lagos e sistemas aquáticos costeiros da Suécia, que sofreu adaptações (CAMPOS, 2000; FONSECA, 2002) para ser utilizado em ambientes costeiros tropicais.

O IREP permite identificar os contaminantes e as áreas que necessitam de atenção prioritária. Este método, que se baseia na avaliação dos elementos traço no sedimento é muito útil por apresentar grande simplicidade, rapidez e baixo custo (CAMPOS, 2000).

O IREP baseia-se nos seguintes fatores:

Fator de Concentração (FC)

O Fator de Concentração (FC) é igual à concentração do elemento traço no sedimento superficial dividido pela concentração de elementos traço nos níveis de base.

$$FC_i = C_i / C_{0i}$$

Onde:

C = concentração do elemento traço no sedimento superficial

C₀ = concentração do elemento traço nos níveis de base

i = Hg, Cd, As, Pb, Cu e Zn

HAKANSON (1988) sugere que os níveis de base a serem utilizados, podem ser locais, obtidos através de estudos de sedimentos profundos, de preferência chegando aos níveis pré-industriais; ou globais, obtidos através de estudos específicos, como por exemplo, folhelho médio.

Neste estudo utilizamos as concentrações dos elementos traço na base dos testemunhos coletados, comparando-os com um Padrão Global de Argila (PGA) (TUREKIAN e WEDEPHOL, 1961).

Grau de Contaminação (GC)

O Grau de Contaminação (GC), é igual ao somatório dos fatores de concentração para cada elemento traço analisado.

$$GC = \sum FC_i$$

Fator de Toxicidade do Sedimento (FTS)

Este fator atribui pesos diferenciados para os elementos traço, correspondentes a seu grau de toxicidade. Assim, quanto mais tóxico o elementos traço, mais peso este deve ter no somatório dos elementos traço, uma vez que o que esta se avaliando é o risco ecológico potencial. Os FTSs adotados neste trabalhos seguiram os valores propostos por HAKANSON (1980), que segundo CAMPOS (2000) estão de acordo com a realidade das áreas costeiras tropicais, e seu valores são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 Fatores de toxicidade do sedimento em relação aos elementos traço utilizados.

Elementos Traço	FTS
Hg	40
Cd	30
As	10
Pb	5
Cu	5
Zn	1

Fonte: HAKANSON (1980)

Número de Bioprodutividade (NBP)

O Número de Bioprodutividade (NBP) reflete o nível trófico do sistema aquático. O nível trófico do sistema vai influenciar a biodisponibilidade dos metais pesados. Sendo assim, em um sistema eutrófico, os metais estão menos biodisponíveis do que em ambientes oligotróficos (HAKANSON, 1980).

Na adaptação feita por CAMPOS (2000), para sistemas costeiros tropicais, optou-se por utilizar a concentração de clorofila a na coluna d'água como parâmetro do atributo de sensibilidade do estado trófico do sistema.

Desta forma, o NBP foi obtido de maneira indireta, a partir da equação da reta de regressão, do gráfico NBP versus média anual das concentrações de Clorofila a.

Sendo assim o NBP pode ser calculado através da seguinte equação:

$$\text{NBP} = 2,8221 + (19980 \times \text{Concentração média de Clorofila } a)$$

Fator de Resposta Tóxica (FRT)

O Fator de Resposta Tóxica (FRT) é igual à razão do Fator de Toxicidade do Sedimento (FTS) pelo Número de Bioprodutividade (NBP):

$$\text{FRT} = \text{FTS} / \text{NBP}$$

Por fim, o IREP é estimado através da seguinte equação:

$$\text{IREP} = \sum \text{REP } i$$

E o risco ecológico associado a cada metal (REP) é dado por:

$$\text{REP } i = \text{FRT } i / \text{FC } i$$

4.3.4 Índice de Qualidade de Vida (IQV)

O índice de qualidade de vida (IQV) empregado neste estudo foi desenvolvido por ALMEIDA, C. A. (1997), para comparar a qualidade de vida entre bairros de dois municípios do Rio de Janeiro, através da modelagem de dados censitários levantados pelo IBGE.

No presente trabalho realizou-se uma adaptação da metodologia inicialmente proposta por AZEVEDO *et al.* (2005a), onde aplicamos a modelagem do IQV usando para efeito de comparação setores censitários em uma mesma bacia ambiental.

O método empregado utilizou as seguintes variáveis dos Censos 2000 do IBGE: População residente; População residente em domicílios particulares permanentes; Domicílios particulares permanentes; Domicílios particulares permanentes ligados à rede geral de água; Domicílios particulares permanentes com rede geral de esgoto; Domicílios particulares permanentes com coleta direta de lixo; Chefes dos domicílios particulares permanentes com renda abaixo de dois salários mínimos; Renda mensal em salários mínimos dos chefes dos domicílios; Total dos chefes dos domicílios particulares permanentes alfabetizados; Total dos chefes dos domicílios particulares permanentes com até três anos de estudo; Total dos chefes dos domicílios particulares permanentes com quinze anos ou mais de estudo; Número de cômodos em domicílios particulares permanentes; Pessoas de 0 (zero) a 14 (quatorze) anos em Domicílios particulares permanentes; Pessoas de 15 (quinze) a 59 (cinquenta e nove) anos em domicílios Particulares permanentes; Pessoas de 60 (sessenta) ou mais em domicílios particulares permanentes; e, Domicílios particulares permanentes ligados à fossa séptica.

A partir destas variáveis selecionadas no Censo Demográfico de 2000 obtivemos as expressões que compõe a equação do IQV, segundo metodologia de ALMEIDA (1997).

Equação de ALMEIDA (1997) para o IQV:

IQV = [(score padronizado do percentual de domicílios com rede geral de água + score padronizado do percentual de domicílios com rede geral de esgoto + score padronizado do percentual de domicílios com lixo coletado diretamente + (-1)* score padronizado do percentual dos chefes de domicílios abaixo da linha de pobreza (dois salários mínimos) + score padronizado da renda média mensal, em salários mínimos, dos chefes de domicílios + score padronizado da taxa percentual de alfabetização dos chefes de domicílios + (-1)* score padronizado do percentual de chefes de domicílio com até três anos de estudo + score padronizado do percentual de chefes de domicílio com 15 anos de estudo ou mais de estudo + score padronizado do número médio de cômodos por domicílio + (-1)* score padronizado da taxa de dependência) / 10]

Depois desse cálculo, os valores obtidos para cada índice foram reunidos numa planilha do Excel seqüencialmente e normalizados entre 0 (zero) e 1 (um) segundo a metodologia de FEIJÓ *et al* (2001).

Desta forma, quanto menor for o valor do IQV pior será a qualidade de vida, e quanto maior, ou seja, mais próximo a unidade, melhor será a qualidade de vida avaliada.

Em seguida, os resultados dos IQVs foram exportados para o Sistema de Informação Geográfica (SIG) do Arcview 3.2, através do critério de convergência para realização de análises espaciais (AZEVEDO *et al.*, 2005b).

4.4 INDICADORES DOS IMPACTOS

No contexto metodológico da estrutura FPCIR, os impactos podem ser identificados através dos efeitos sobre as atividades humanas, ocasionados pelas mudanças no condicionamento ambiental. Estes efeitos podem ser alterações no bem-estar social, relacionadas à saúde das populações, à produção, ao valor de propriedade, ao lazer e amenidades, ao valor de existência dos ecossistemas, entre outros (BIDONE e MORALES, 2004).

4.4.1 Análise Custo-Benefício (ACB)

A necessidade de se mensurar os impactos resultantes do processo histórico de ocupação da bacia do Anil, sobretudo em termos monetários, pode representar uma boa estratégia, para evidenciar que na maioria das vezes a diminuição qualitativa e quantitativa dos recursos naturais, em outras palavras a disponibilidade, representa um desinvestimento a ser pago por toda sociedade.

Entretanto, de um modo geral a valoração monetária dos bens e serviços perdidos em função da degradação ambiental apresenta uma gama de dificuldades, tornado esta tarefa quase impossível de ser realizada.

Diante deste fato, BIDONE *et al.* (2002) propuseram uma estratégia para a confecção da ACB sem a necessidade da valoração do meio ambiente em termos monetários. Esta estratégia se baseia filosoficamente no paradigma da necessidade de conservação ambiental, implícito no conceito de desenvolvimento sustentável, sendo representada graficamente na Figura 14.

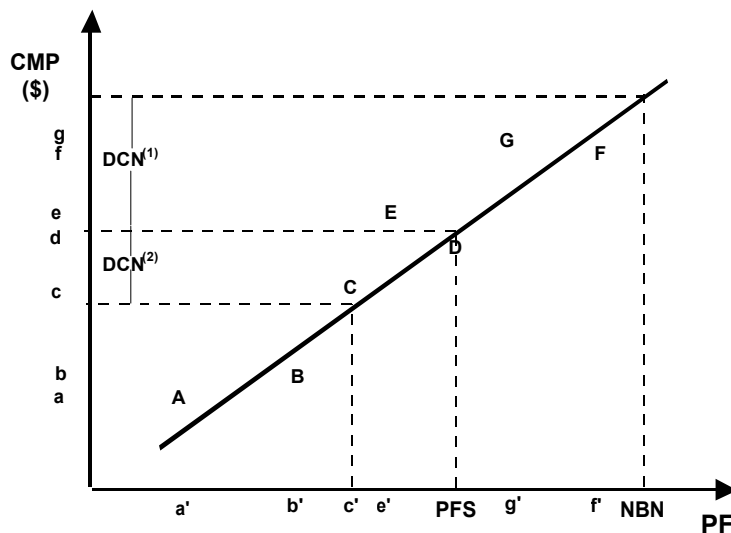


Figura 14 Modelo gráfico da Análise Custo-Benefício (ACB) (Bidone et al., 2002).

Segundo metodologia desenvolvida pelos autores, o eixo “y” representa os Custos das Medidas de Proteção ambiental (CMP), por exemplo, os custos de diferentes alternativas técnicas para o tratamento de efluentes de um projeto ou alternativas para um programa público de saneamento básico, em ambos os casos tendo como corpo receptor um rio.

Ao eixo “x” são plotados os Padrões Físicos (PF) para as funções/ usos ambientais. Na prática, o PF corresponde a um indicador capaz de definir a qualidade e/ou quantidade de um determinado recurso natural.

Em geral o PF este relacionado à qualidade do recurso ou à qualidade considerada aceitável definida pela legislação ambiental para um determinado uso do recurso, ou vários usos (que representam benefícios ambientais). Esse é o Padrão Físico de Sustentabilidade (PFS) definido para o recurso em questão. O termo NBN

sobre o eixo “x”, corresponde ao Nível de Base Natural do indicador adotado para o recurso.

No exemplo de águas fluviais, a qualidade da água precisa ser relacionada a cada uma das alternativas de medidas de controle ambiental, os quais podem estimar os gastos associados a estes.

A curva de oferta de funções/usos do recurso natural (i.e., disponibilidade – qualidade e quantidade - do recurso natural), pode ser construída conectando os correspondentes custos de cada alternativa de medida de controle ambiental (a, b, c,..) aos seus resultantes valores de qualidade (a', b', c',). Os pontos de conexão (A, B, C,..), foram usados para inferir a ‘curva de oferta’ de qualidade ambiental mostrada na Figura.

Ainda segundo BIDONE *et al.* (2002), significa dizer que no diagrama tradicional das curvas de oferta e de demanda para funções/usos de um dado recurso natural, foi determinado um ponto sobre as abscissas (o ponto PFS na Figura), o qual representa o padrão para o uso sustentável do recurso. Uma perpendicular neste ponto, intercepta a curva de oferta. Esta perpendicular substitui a (desconhecida) curva de demanda. O ponto de intersecção indica o volume de atividades de controle, medido em termos monetários, necessários para atingir o padrão de uso sustentável determinado. Ao invés de definir-se um único padrão de uso sustentável, o padrão requerido é definido como uma função das características (capacidade de suporte) do sistema ambiental sob análise.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 MODELO FPCIR PARA A BACIA DO RIO ANIL

O emprego da estrutura FPCIR no estudo de caso da bacia do Rio Anil teve como resultado o modelo esquemático apresentado abaixo (Figura 12), o qual procuramos seguir ao longo da apresentação dos resultados e discussões.

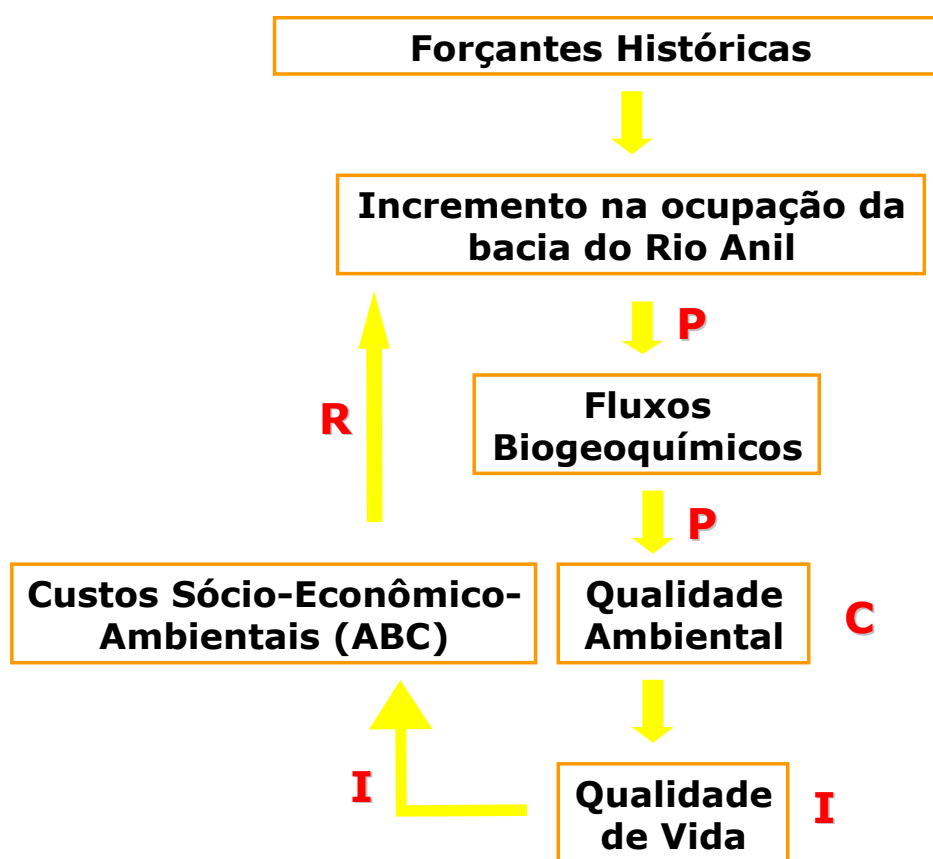


Figura 15 Modelo esquemático FPCIR para a bacia do Rio Anil.

Onde:

P = Pressões

C = Condicionamento

I = Impactos

R = Respostas

5.2 FORÇANTES HISTÓRICAS

5.2.1 Fundação da cidade de São Luís

Em 1612 a missão chefiada pelo tenente-general francês Daniel de La Touche, Senhor de La Ravadière, instalou-se junto à foz dos rios Anil e Bacanga. Somente depois de construir o forte de São Luís (onde hoje se encontra o Palácio dos Leões), no dia oito de setembro, fincaram uma grande cruz em frente ao forte, onde foi celebrada uma missa que consagrou a fundação do povoado de São Luís, nome dado em homenagem ao rei da França Luís XIII (D`ABEVILLE, 2002).

Dois anos depois, o capitão-mor de Pernambuco Jerônimo de Albuquerque é enviado às proximidades de São Luís com a missão de retomar as terras ao norte, ao qual segundo o Tratado de Tordesilhas, pertenciam a Coroa Portuguesa. Assim sendo, em novembro de 1614 os portugueses venceram a batalha de Gauxenduba, expulsando os franceses de São Luís.

A ocupação por Portugal só se efetivou um ano após a batalha de Gaxenduba. Sendo assim, em 1621 São Luís tornou-se vila. Contudo, nos anos entre 1640 e 1644 São Luís esteve sob domínio holandês, sendo deixada praticamente em ruínas ao final deste período (MEIRELES, 2001), indo alcançar a categoria de cidade somente no ano de 1677 (ITAPARY, 1999; RIBEIRO Jr., 2001).

5.2.2 Dinâmica da Ocupação Espacial de São Luís

Durante um longo período, a ocupação da cidade se restringiu às proximidades do forte de São Luís. O primeiro salto econômico-urbanístico se deu a partir da instalação da Companhia Geral do Grão-Pará e Maranhão (CGGPM), que operou entre 1755 e 1778, importando e exportando mercadorias para a Europa (MEIRELES, 2001).

Segundo TROVÃO, 1997 e RIBEIRO Jr. (2001), o espaço urbano em 1750 estava compreendido entre a Praia Grande, o Largo do Carmo e o Desterro, expandindo-se para as atuais ruas, de Santana, Grande, da Paz, do Sol e dos Afogados até o ano de 1800.

Na segunda metade do século IX, foram construídas estradas ligando o bairro central aos arredores como o Anil, atual João Paulo, Vinhais e Calhau, além de algumas fábricas.

A decadência do setor algodoeiro do Maranhão, alimentado pela concorrência com o algodão norte-americano e a abolição da escravatura (Lei Áurea, 1888), culminou com a mudança da economia agrícola para uma economia industrial, sobretudo a têxtil, dada à facilidade de mão-de-obra barata, recém abolida, e a abundancia de matéria-prima, o algodão (TROVÃO, 1997; ITAPARY, 1995).

Não obstante, ao final do século XIX São Luís ocupava o posto de 4o centro urbano do país, sendo comparada a Manchester, com um parque de 15 indústrias, das quais oito no setor têxtil (RIBEIRO Jr., 2001).

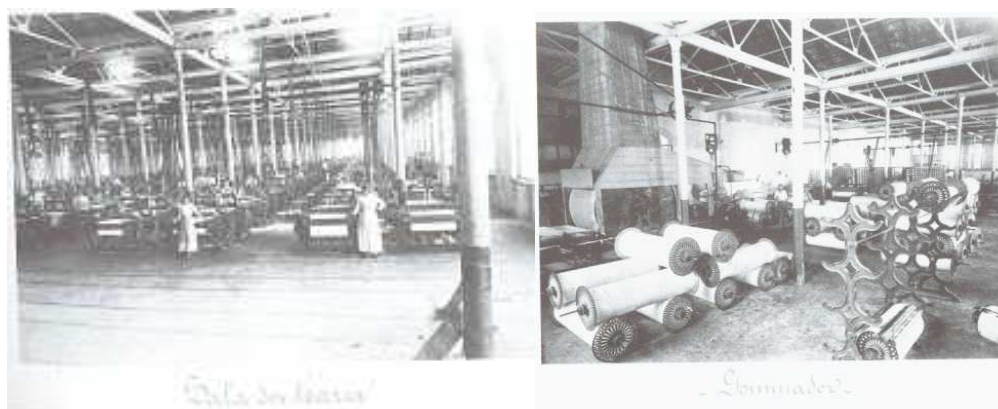


Figura 16 Fábrica de Tecidos do Anil, em 1908 (CUNHA, 1987).

Este processo de industrialização contribuiu para a desconcentração demográfica, com a instalação de importantes indústrias nas regiões da Camboa, Anil (Fotos 4 e 5) e Madre Deus.

Sendo assim, a urbanização de São Luís que ocorrera entre os anos de 1612 a 1960, praticamente limitava-se ao entorno de um único sistema viário, conhecido como Caminho Grande, que ligava o Centro ao bairro industrial do Anil (Foto 6), se estendendo até a cidade de São José de Ribamar (BELFORT, 1998).



Figura 17 Estrada do Anil em 1908 (CUNHA, 1987).

Contudo no século XX, a pujança do avanço industrial sofrera de maneira drástica com o período da integração nacional (1930-1970), onde construções de ferrovias e rodovias fizeram com que a concorrência com produtos do sudeste, e até mesmo de outros estados do nordeste, expusesse a fragilidade e ineficiência das indústrias maranhenses. Beneficiados pelo isolacionismo, os industriais de São Luís não se preocuparam em acompanhar as inovações tecnológicas correntes em outras praças, sobretudo no sudeste do Brasil (RIBEIRO Jr., 2001).

Sendo assim, ao final dos anos 60, praticamente todas as unidades fabris já tinham saído de operação (TROVÃO, 1997; ITAPARY, 1995).

Somado a isso, um intenso êxodo rural movido a conflitos no campo, entre os anos de 1960 e 1970, fez aumentar rapidamente a população de São Luís agravando a exclusão social, uma vez que a economia em crise não foi capaz de absorver essa grande massa trabalhadora (RIBEIRO Jr., 2001).

Desta forma, no fim dos anos 60 a cidade começou a se expandir ao longo do espaço correspondente ao divisor de águas Anil-Bacanga, entretanto a irregularidade topográfica e a valorização econômica destes espaços favoreceram a “descida” da população mais carente em direção aos manguezais (TROVÃO, 1997).

Assim nasceram e cresceram os bairros da Liberdade (Matadouro), Monte Castelo (Areal), Apeadouro, Bairro de Fátima (Cavaco), Alemanha, João Paulo, Caratatiua, Jordoa e Sacavém, que apresentavam condições precárias de urbanização. Este fato pode ser confirmado por pesquisas realizadas pelo BNB em 1968, Apud RIBEIRO Jr. (2001), que demonstravam que apenas 25% das residências de São Luís continham rede de esgoto e, que aproximadamente 40.000 habitantes (quase 20% da população) moravam em palafitas, que chegavam ao número de 7.000 em 1969 (TROVÃO, 1997).

Diante de tais fatos diversos especialistas da UFMA elaboraram um plano de erradicação das palafitas pela construção de células habitacionais a baixo custo no final da década de 60, recomendando a construção de conjuntos habitacionais nos pontos mais altos da Ilha, sobretudo nas proximidades do Aeroporto do Tirirical, no sentido de não onerar os custos. Assim seria possível aproveitar a gravidade na rede de esgoto, além de evitar a execução dos serviços de terraplanagem, que são onerosos e poderiam ocasionar a distorção dos preços de venda das unidades (FIQUENE, 1971).

Nesta mesma época, três obras contribuíram para profundas mudanças na tendência ocupacional de São Luís. Duas pontes sobre o Rio Anil, a ponte José Sarney (1970) e a ponte Newton Bello (do Caratatiua, 1969), que permitiram o deslocando do eixo Centro-Anil para a margem esquerda deste rio, e a barragem do rio Bacanga (1969).

A primeira facilitou o acesso às praias do litoral norte da Ilha, contribuindo para o nascimento de bairros nobres, como São Francisco, Renascença, Calhau, Ponta D'areia, São Marcos e Olho D'água, ocupando a margem esquerda do Rio Anil.

Da mesma forma, a ponte do Caratatiua, possibilitou o surgimento de muitos conjuntos habitacionais financiados pelo BNH, na parte central da Ilha (MOURA Jr., 2002), tais como os conjuntos do IPASE, Maranhão Novo, Vinhais, Angelim, Bequimão, COHAMA e COHAB Anil I, II, III e IV, ocupados por parte da “classe média” ludovicense.

A barragem do Bacanga abriu caminho para a instalação do Porto do Itaqui, tornando “accessível” extensas áreas pertencentes à União, que foram rapidamente

ocupadas pela fração pobre da população. Assim nasceram os bairros Anjo da Guarda, Vila Nova, Fumacê, Vila Embratel, Sá Viana e Vila Maranhão.

A franca expansão demográfica de São Luís alimentada pela decadência econômica do interior do estado se confirmava nos anos 80, com a promessa de novas oportunidades com a implementação do Distrito Industrial de São Luís, abrigando empresas de porte como a CVRD e ALUMAR, inchando a cidade que não estava preparada para acolher este enorme contingente populacional pouco qualificado.

Sendo assim, uma grande parcela da população vivia em condições consideradas subnormais concentradas, principalmente nas áreas de manguezais dos rios Anil e Bacanga e, em áreas de invasão em terra firme.

Estes fatos podem ser confirmados por diversos estudos realizados (SANTOS, 1995; RIO BRANCO, 1998; SILVA, 1998a; NINA, 1999; RAMOS, 2001; LOIOLA, 2002), onde praticamente todos dos moradores (proprietários) das palafitas dos bairros às margens do Rio Anil, vieram de outras regiões a procura de trabalho, sendo a maioria oriundos do interior do Estado.

Diante deste fato, o governo do Estado se viu forçado a construir alguns conjuntos habitacionais para população carente, como o Maiobão (1982), com 4.770 unidades e a Cidade Operária (1987), com 7.500 unidades. Entretanto, apenas uma fração desta população foi beneficiada, tendo como consequência à formação de bairros como Vila Palmeira, Barreto, Coroado, João de Deus, São Bernardo, Vila Brasil, Divinéia, Vila Fecury, Vila Janaína e Vila Luisão, ambos fruto da ocupação, ou “invasão” desordenada pela crescente massa sem teto (RIBEIRO Jr., 2001).

Este processo de ocupação/invasão se intensificou, gerando muitos conflitos pela posse de terras nas décadas de 80 e 90, ocupando a porção correspondente ao tabuleiro central da ilha (COSTA, 1995), sobretudo em áreas alagáveis. Nesta região, nascem boa parte dos rios da Ilha (como o Anil e Bacanga), que rapidamente sofreram as consequências desta ocupação desordenada.

Grande parte destas invasões foram batizadas como vila seguido do nome de políticos influentes, na expectativa de obter proteção, bem como, a garantia de infraestrutura mínima como energia, água, vias (mesmo em piçarras) e linha de ônibus

(TROVÃO, 1997). Por outro lado, o próprio político se beneficiava, tendo uma boa quantidade de votos garantidos ao ter seu nome escolhido para a invasão.

Assim nasceram as vilas: Sarney, Sarney Filho, Roseana Sarney, Marly Sarney, Kiola Sarney, Eptácio Cafeteira, Cafeteira, Izabel Cafeteira, Janaína Cafeteira, Coronel Riod, Mauro Fecury I e II, Pavão Filho, Jairzinho, e muitos outros (TROVÃO, 1997).

Segundo SEMA (1998), no início dos anos noventa, 94% dos domicílios de São Luís aglomeravam-se na zona urbana e apresentavam sérios problemas de infraestrutura e baixo padrão de qualidade de vida, sobretudo nas áreas periféricas à cidade. Essa situação pouco melhorou ao longo desta década e, segundo artigo publicado pelo JORNAL ESTADO DO MARANHÃO em 08/09/96 Apud (RIBEIRO Jr., 2001), 62% da população ludovicense não era assistida por rede de esgoto e 20% não tinha abastecimento de água tratada.

As mudanças acima citadas foram determinantes para a intensa ocupação da bacia do rio Anil, uma vez que esta bacia está localizada na área central de São Luís, abriga grande parte das atividades econômicas do município, como comércios e bancos, e dispunha de boa parte dos serviços básicos como transporte, escolas e hospitais.

5.2.3 Tendência de Ocupação

A partir da década de 80, é notável o deslocamento demográfico de São Luís para a região norte-nordeste da Ilha em direção aos municípios de São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa, diminuindo os espaços desocupados entre estes municípios, fazendo surgir o que poderíamos chamar de “Grande São Luís”.

Este fato pode ser confirmado pela Figura 13, onde podemos observar uma diminuição na taxa de crescimento de São Luís nos anos 80, em detrimento do extraordinário aumento das taxas de São José de Ribamar e Paço do Lumiar durante mesmo período.

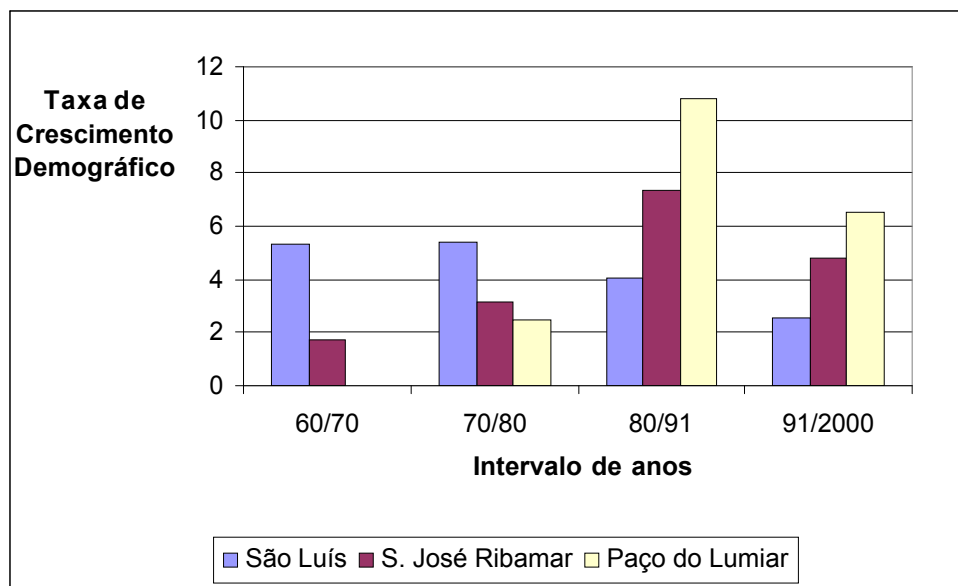


Figura 18 Crescimento demográfico nos municípios de Ilha do Maranhão, entre os anos de 1960 e 2000 (IBGE, 2001).

Segundo SEMA (1998), esta diminuição populacional pode estar associado ao fato de a ocupação urbana de São Luís ter alcançado seu ponto de saturação.

Embora o crescimento populacional tenha diminuído a demanda de serviços públicos básicos não acompanhou esta tendência, uma vez que uma parcela considerável desta população radicada nestes municípios limítrofes mantém fortes vínculos econômicos, sociais, e até mesmo político com São Luís.

Sob este aspecto, os municípios de São José do Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa, podem ser considerados “cidades-satélites”, ou “cidades dormitório”.

Em contrapartida, uma significativa expansão econômica, sobretudo ao nível do comércio, prestação de serviço e construção civil, experimentada nas duas últimas décadas em São Luís, fez aumentar a demanda por imóveis com relativo padrão de sofisticação. Como resultado, podemos observar um rápido crescimento de bairros nobres localizados, principalmente na margem direita do rio Anil, como Renascença, Ponta D`Areia, São Marcos, Olho D`água e Turú.

Este acelerado crescimento, caracterizado pela construção de prédios com muitos andares, em sua maior parte no final dos anos 90, vem trazendo sérias conseqüências à qualidade ambiental da cidade, sobretudo para a bacia do rio Anil, onde estão localizados a grande maioria destes prédios.

A perspectiva recente de uma nova expansão industrial em São Luís, com a instalação de um Pólo Siderúrgico, pode representar uma nova forçante sócio-econômica capaz de provocar profundas modificações na dinâmica de ocupação da cidade, podendo refletir de maneira significativa na bacia do rio Anil, por ser considerada uma área central no município dotada de todo aparato de infra-estrutura.

Além disso, a necessidade de mão-de-obra qualificada forasteira fatalmente aumentará a demanda por áreas valorizadas na cidade, podendo ocasionar na ocupação das áreas ainda não construídas desta bacia, bem como na expansão vertical, sobretudo na margem direita do Anil.

5.2.4 Bacia do Rio Anil

O Rio Anil se chamava Maioba (D'ABEVILLE, 2002), nome dado pelos tupinambás. Entretanto, suas margens eram povoadas por uma planta chamada Anil, que segundo GAIOSO (1928) *apud* ITAPARY (1995), é originária das Índias, sendo também encontrada no Maranhão, conhecida como cachaussu ou cauaçu pelos índios.

O nome da planta, conhecida cientificamente como *Indigofera tintórica*, tem origem do Árabe An-il, que significa azul, e recebe esse nome devido à tintura da mesma cor extraída de suas folhas, mundialmente conhecida como *índigo blue*, usada para tingir o *jeans* (ITAPARY, 1995).

Segundo este mesmo autor, o rio passou a se chamar Anil a partir de 1730, devido à substância azul desprendida das folhas de Anil, que tingiam suas águas de azul.

5.2.5 Histórico e Uso

A história do uso do Rio Anil se confunde com a história de São Luís. Este rio vem sendo usado desde as primeiras tentativas de ocupação por parte dos europeus. Às margens do Anil, foi fundado o primeiro núcleo do que viria ser a atual cidade.

O Padre Capuchinho Claude D'Abbeville, em 1614 descreveu o Rio Anil como sendo profundo e largo, desembocando no mar ao pé do rochedo onde foi construído o Forte São Luís, e onde existia o único ancoradouro da Ilha do Maranhão, em que era possível fundear com toda segurança navios de mil a mil e duzentas toneladas (D'ABEVILLE, 2002).



Figura 19 Ancoradouro na foz do Rio Anil em 1908 (CUNHA, 1987).

No período entre a ocupação da ilha e a década de 60, o Anil teve um papel de fundamental importância no desenvolvimento de São Luís, servindo como meio de comunicação, e via de transporte de diversos gêneros, produtos agrícolas e matéria-prima para indústrias, como as fabricas de tecidos da Camboa e Anil e (Foto 8), até bem pouco tempo, para a Merck no bairro de Ivar Saldanha (TROVÃO, 1997).



Porto do Anil - Chabalde

Figura 20 Porto do Anil, nas proximidades da fábrica de tecido do Anil, em 1908 (CUNHA, 1987).

Em suas margens, por longos e seguidos anos foram implantadas fábricas e desenvolvidas atividades agrícolas.

ITAPARY (1995), descreve a vocação industrial do Rio Anil. Segundo o autor, nas margens deste rio em 1729 começa em regime semi-industrial, a extração da tintura das folhas de Anil; em 1765, por ordens do Rei de Portugal D. José I, começa a funcionar a fábrica para a obtenção do anil; em 1766 é instalada uma fábrica de beneficiamento de arroz, pela Companhia de Comércio Grão-Pará e Maranhão; em 1788 foi inaugurada a primeira fábrica têxtil de São Luís, onde hoje é a Camboa, a Companhia de Fiação e Tecidos Maranhense; em 1839 começa a operar a Companhia de Fiação e Tecidos Rio Anil.

Outras indústrias se instalaram nas margens do rio no século XX. Na década de 40, se instalaram algumas fábricas de beneficiamento da amêndoa do babaçu como a Companhia Brasileira de Óleos (CBO) e a Companhia Carioca de Óleos (CCO) (Portela, 2002), muito embora atualmente, somente a Merck continue operando.

As águas do rio Anil também foram por muito tempo, utilizadas para o consumo humano. D'ABEVILLE (2002) em 1614, citou que neste rio “se encontravam tão boas fontes e nascentes naturais, onde as águas eram admiravelmente boas e saudáveis”.

Um outro exemplo deste uso foi à fundação da Companhia Anil em 1856, com a finalidade de fornecer à população água potável dos mananciais do Rio Anil. A

Companhia começou a operar em 1862 com seis belos chafarizes importados da Inglaterra, chegando a obter uma receita diária de 44 mil réis.

Entretanto em 1867, após sofrer diversas com sabotagens, a companhia foi dissolvida, por ameaçar os negócios da poderosa D. Ana Jansen, que vendia água em carroças pela cidade (MORAES, 1989).

O Rio Anil também serviu, e ainda continua servindo – embora de maneira muito precária, como fonte de pescado, e diversos outros recursos naturais, sobretudo para as populações menos favorecidas, que ainda hoje, dependem de maneira direta, ou indireta da extração destes recursos.

Estudos realizados por PINHEIRO Jr (2003), demonstraram a existência de 43 espécies de peixes pertencentes a 35 gêneros e 23 famílias, sendo a maioria pescada, consumida e/ou comercializada pela população usuária do rio Anil.

Quando passamos pela ponte Gov. José Sarney, ainda é possível se observar com grande frequência o arraste de camarão nas proximidades da foz do rio Anil, sendo outra atividade de relativa importância para a população local.

Da mesma forma, a extração de moluscos como o sururu (*Mytella falcata*) e sarnambí (*Anomalocardia brasiliiana*), também é bastante comum neste rio, muito embora estudos tenham apontado a contaminação destes moluscos pela bactéria *Vibrio parahaemolyticus* (SERRA, *et al.*, 2003), o que representar sérios riscos de intoxicação alimentar para a população consumidora.

Por fim, o corte de espécies de mangue para a construção civil, fabricação de carvão e alimentação de fornos, também constitui outra atividade representativa para a população local, sendo esta atividade proibida por Lei federal, estando o infrator sujeito a multas.

5.2.6 Síntese da ocupação da Bacia do Rio Anil

Podemos destacar alguns surtos de urbanização do Rio Anil, a partir do levantamento feito em relação à dinâmica de ocupação do município de São Luís da seguinte forma:

Primeira metade do século IX

A ocupação da bacia do Anil até a primeira metade do século IX estava restrita aos arredores da Praia Grande, atual centro histórico de São Luís, que compreende a margem esquerda do Rio Anil, próximo à sua foz.

Segunda Metade do século IX

A partir da segunda metade do século IX foram construídas estradas ligando o centro aos atuais bairros do Anil, João Paulo, Vinhais e Calhau, contribuindo para a descentralização urbana gradual do centro histórico, apesar desta estrada ligar, em sua maior parte, a sítios, quintas e pequenos núcleos no entorno de indústrias, nas proximidades dos bairros da Camboa e Anil (margem esquerda).

Início da década de 1960

A urbanização da bacia do Anil até a década de 1960 estava praticamente restrita ao entorno do eixo viário do chamado Caminho Grande, que ligava o Centro a São José de Ribamar, espalhando-se ao longo da margem esquerda do Rio, descendo em direção às áreas de manguezais. Assim nasceram bairros como Liberdade (Matadouro), Monte Castelo (Areal), Alemanha, Caratatiua, Jordoa e Sacavém.

Início da década de 70

A partir do final da década 60 e início dos anos 70, começa a ocupação maciça da margem direita do Anil, em virtude da construção das duas pontes sobre este rio, e de diversos conjuntos habitacionais (Tabela 5), que começavam a avançar em direção ao tabuleiro central da Ilha.

Décadas de 80 e 90

Os anos 80 e 90 se caracterizaram pela multiplicação de ocupações irregulares, comumente chamadas de invasões, em sua maior parte na região do tabuleiro central, nas proximidades das nascentes de Anil e, também pelo crescimento dos bairros na margem direita próximo à foz, como São Francisco e Renascença.

Dos anos 90 até a atualidade

No final dos anos 90 até os dias atuais, podemos observar a intensa verticalização da margem direita do anil, e ampliação silenciosa de bairros desta margem em direção a calha do rio, que vem sendo gradativamente aterrada, uma vez que a ocupação desta bacia já atingiu seu ponto de saturação, restando ainda poucas áreas verdes, em sua maioria manguezais e várzeas, vulneráveis ao lucrativo mercado imobiliário.

Tabela 5 Histórico de alguns bairros da bacia do Rio Anil.

BAIRRO	SURGIMENTO	Nº DE UNIDADES	HABITANTES	ÁREA TOTAL(1000m²)
Anil ¹	Final do séc. XIX	3.099	9.815	não disponível
Cutim do Padre ¹	Final do séc. XIX	259	820	não disponível
Aurora ¹	Início do séc. XX	1.687	5.343	não disponível
Cruzeiro do Anil ¹	Início do séc. XX	2.120	6.714	não disponível
Pão de Açúcar ¹	Início do séc. XX	1.707	5.406	não disponível
Santo Antônio ¹	Início do séc. XX	1.435	4.545	não disponível
Santa Cruz ¹	Ocupação década de 60	2.105	6.666	não disponível
COAHAB Anil I ^{1,2}	1967	678	2.174	29,52
COAHAB Anil II ^{1,2}	1969	761	2.410	29,52
COAHAB Anil III ^{1,2}	1970	1.756	5.561	42,85
Sacavem ²	1971*	446	1.412	45,60
Radional ²	1973*	265	839	21,63
COAHAB Anil IV ^{1,2}	1975	1.281	4.056	78,51
COAHAB Vinhais ²	1978*	1.111	3.518	11,43
COAHAB Bequimão ²	1978*	1.190	3.768	83,64
Rio Anil ²	1979*	365	1.156	18,97
COAHAB Angelim ²	1979*	654	2.071	111,43
Santos Dumont ¹	Fim da década de 70	285	902	não disponível
Planalto Anil I ¹	Década de 80	521	1.650	não disponível
Planalto Anil II ¹	Década de 80	1.082	3.427	não disponível
Planalto Anil III ¹	Década de 80	346	1.096	não disponível
Planalto Anil IV ¹	Década de 90	305	966	não disponível
Novo Angelim ¹	Ocupação rescente	1.227	3.886	não disponível
Vila Isabel Cafeteira ¹	Ocupação rescente	2.086	6.606	não disponível
TOTAL		26.771	84.807	473,1 (parcial)

* ano de conclusão

Fonte: ¹FUNASA (2001), ²TROVÃO (1997).

5.2.7 Caracterização Sócio-Econômica

Procuramos descrever fatores em comum encontrados em estudos com enfoque sócio-econômico, realizados através de entrevistas in loco, que nos permitiram caracterizar alguns padrões referentes ao tipo de moradia, ao longo da bacia do Rio Anil.

Palafitas

Segundo estudos realizados por SANTOS (1995), RIO BRANCO (1998), SILVA (1998a), NINA (1999), RAMOS (2001), e LOIOLA, (2002) quase 100% dos palafitados vivem com 1 a 2 salários mínimos, possuem baixa escolaridade, moram em palafitas feitas de madeira, com 2 a 3 cômodos, e assim que conseguem se mudam para outro local com melhores condições de habitação.



Figura 21 Palafitas sobre o Rio Anil

Instalaram-se nas margens do Anil atrás de oportunidade de trabalho, e escolheram o lugar pela proximidade do centro, sendo a grande maioria dos entrevistados vindo do interior do estado.

As palafitas em geral possuem ligações clandestinas de água e luz.

Os dejetos humanos e lixo são lançados diretamente no rio, e os moradores convivem com a presença de ratos e baratas.

Conjuntos habitacionais

Segundo estudos realizados por GOMES (1997) e BELFORT (1998), a maioria dos moradores dos conjuntos habitacionais nasceu em São Luís e moravam próximo ao Centro (Centro, Monte Castelo).



Figura 22 Conjuntos habitacionais na bacia do Rio Anil.

A renda familiar em torno de 4 a 10 salários mínimos, sendo a maioria com 2o grau completo.

Alguns moradores reclamam do saneamento básico, convivendo com valas negras, rede de esgoto precária e grande quantidade lixo no entorno dos conjuntos.

Invasões ou ocupações irregulares

Um estudo realizado por COSTA (1995) demonstra que a maioria dos moradores das chamadas invasões veio do interior do Estado, embora uma parcela tenha vindo de áreas urbanas do interior. A grande maioria emigrou em busca de trabalho.

Vivem, em sua maior parte, com 2 a 6 salários mínimos e possuem o primário completo.



Figura 23 Ocupação irregular próximo às nascentes do Anil.

A maior parte dos dejetos humanos tem como destino final às fossas negras (79%), que são na verdade fossas rasas, fossas sépticas (13%) e, 8% usam o mato. Além disso, 72% do lixo gerado é jogado no mato e em terrenos baldios, próximos às residências.

Renascença I e II (bairros nobres)

Um estudo realizado por SILVA (1998 b), demonstra que esses bairros dispõem de boa infra-estrutura (água, luz, telefone ônibus) e são valorizados pela proximidade de praias, bancos, hospitais, supermercados shoppings, quartel do BPTRAM e PM, sendo conhecida como “nova cidade”.



Figura 24 Bairros “nobres” da bacia do Rio Anil.

Seus moradores representam a classe média/alta de São Luís, com alto poder aquisitivo. Possuem alta escolaridade (3^o grau completo), e mais de 60% veio de outros estados do Brasil, sendo a maioria empresários.

Em geral, moram em edifícios com 2 elevadores, antenas coletivas e parabólicas, play grounds, 4 quartos e 1 suíte.

5.3 PRESSÕES

5.3.1 Incremento na Ocupação da Bacia do Rio Anil

O avanço do espaço urbano nos últimos 30 anos seja em forma de conjuntos habitacionais, prédios sofisticados, mansões ou até mesmo, invasões e palafitas não têm respeitado as nascentes, várzeas, matas ciliares, mangues ou praias.

O desmatamento e a ocupação das regiões próximas ao aeroporto do Tirirical fez secar córregos e brejos, considerados nascentes do Rio Anil, transferindo sua nascente para uns brejões bem mais ao norte, onde hoje está construído o populoso conjunto da COHAB Anil (TROVÃO, 1997; FEITOSA, 1989), tendo como consequência o encurtamento de aproximadamente 21 km deste rio.

Ainda segundo Trovão (1997), a construção dos conjuntos COHAB Anil, contribuíram para o desaparecimento dos mananciais ali situados, sendo mais um golpe para a “saúde” do rio Anil.

Atualmente consideram-se como suas nascentes dois córregos, um maior situado no bairro Vila Izabel Cafeteira, próximo ao conjunto COHAB-Anil III, e outra menor na Aurora.

Estas nascentes brotam em áreas de várzeas e seguem carregando consigo uma enorme carga de esgoto ao passar por bairros muito populosos, tais como Anil, COHAB, Santa Cruz, Radional, Vila Palmeira, Ivar Saldanha, IPASE, Alemanha, Monte Castelo, Fé em Deus, Floresta, Liberdade, Camboa e Centro, indo desaguar na Baía de São Marcos entre a Praia Grande e a Ponta do São Francisco.

Segundo Feitosa (1989), a rede de drenagem deste rio responde pelo escoamento das águas pluviais e captação de aproximadamente 75% da rede de esgotos da cidade de São Luís.

Macedo e Rocha (1995) avaliando as condições sanitárias no município de São Luís encontraram 98 pontos de lançamento de esgoto diretamente no curso do rio Anil.

Segundo dados da Companhia de Água e Esgoto do Estado do Maranhão (ATAÍDE, 1999), o Rio Anil recebia uma carga de cerca de 40.840 m³/dia de efluentes sanitários na década de 80, que foram ampliados para 50.600 m³/dia na década de 90.

Aos valores de fluxos domésticos acima citados, devemos acrescentar uma taxa de 10%, estimadas para habitações não saneadas, sobretudo palafitas construídas sobre os manguezais, formando cinturões em que predominam condições sanitárias muito precárias (LABOHIDRO, 1983).

A construção de palafitas suspensas sobre a calha do rio, avança sobre espaços antes ocupados por manguezais, refletindo diretamente qualidade ambiental da zona estuarina. Somado a isso, estas áreas são gradualmente aterradas, contribuindo com o assoreamento e diminuição da área de drenagem do rio (SEMA, 1998).

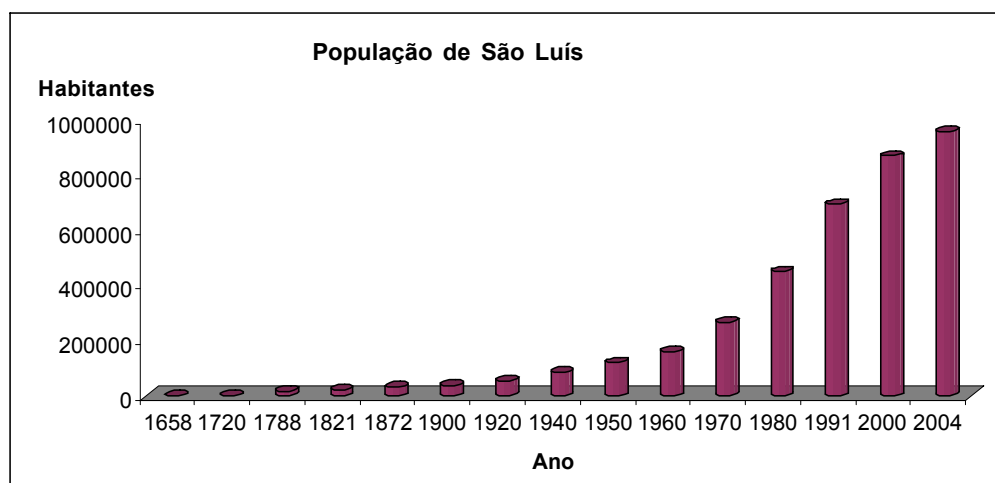
Entretanto, os aterros em áreas de manguezais não devem ser atribuídos somente a populações de baixa renda, sobretudo se levarmos em consideração a magnitude de construções como o projeto PROMORAR (conjunto habitacionais próximo ao São Francisco), a Av. Ferreira Goulart (litorânea do São Francisco), e a orla da Lagoa da Jansen financiados pelo próprio Governo do Estado.

Outro fator relevante foi à operação na bacia do Anil do único lixão do município de São Luís, o chamado Lixão do Jaracatí, que operou entre os anos de 1970 a 1994, ocupando uma área de aproximadamente 70ha, localizado nas proximidades do Igarapé do Jaracatí, na porção correspondente ao Curso Baixo do rio.

5.3.2 Demografia

A bacia do Rio Anil pode ser considerada historicamente a mais importante de São Luís, concentrando mais de 35% da população do município, e abrigando grande parte da infra-estrutura e dos serviços responsáveis pela geração de emprego e renda.

Portanto, para efeito de gestão considerou-se neste trabalho que o crescimento populacional na bacia do Anil é diretamente proporcional ao crescimento no município de São Luís, como pode ser visto na Figura 14.



Fontes: censos nos anos de 1648 e 1658 (MEIRELES, 2001); nos anos 1720, 1788, 1872, 1900 e 1920 (RBEIROS Jr., 2001); 1821 (LAGO, 2001); demais anos censo do IBGE; 2004, estimativa do IBGE.

Figura 25 Crescimento populacional no município de São Luís.

5.3.3 Mudança no uso do solo

As mudanças no uso do solo avaliadas através da comparação entre as imagens *SPOT* de 1992 e *TM-Landsat 5* de 2000 são apresentada na Tabela 6, abaixo.

Tabela 6 Comparação de uso do solo na bacia do Anil entre os anos de 1992 e 2000.

Tipo de uso	Área em 1992 (%)	Área em 2000 (%)
Manguezais	10,8	9,2
Corpos d'água	5,1	4,8
Urbana dens. pov.	44,5	58,5
Capoeira	26,5	22,9
Urbana menos pov.	7,4	0,02
Áreas alagadas	1,6	3,1
Solo exposto	4,0	1,5

Nesta Tabela podemos observar uma pequena diminuição nas áreas de manguezais, corpos d'água e capoeira e, uma intensa diminuição das áreas urbanas pouco povoadas, da ordem de 370 vezes, o que corresponde ao adensamento urbanístico destas áreas, praticamente extintas no ano de 2000.

Apesar de o aumento das áreas densamente urbanizadas ser aparentemente pequeno, de 44,5% em 1992 para 58,5% em 2000, é provável que a ocupação das áreas topograficamente disponíveis na bacia do Anil tenha chegado muito próximo ao seu ponto de saturação. Este fato pode ser corroborado pelo estudo realizado por DIAS (2005), que demonstra que a área urbanizada representa mais de 70% das áreas disponíveis na bacia do Anil no ano de 2000 (Figuras 15 e 16).

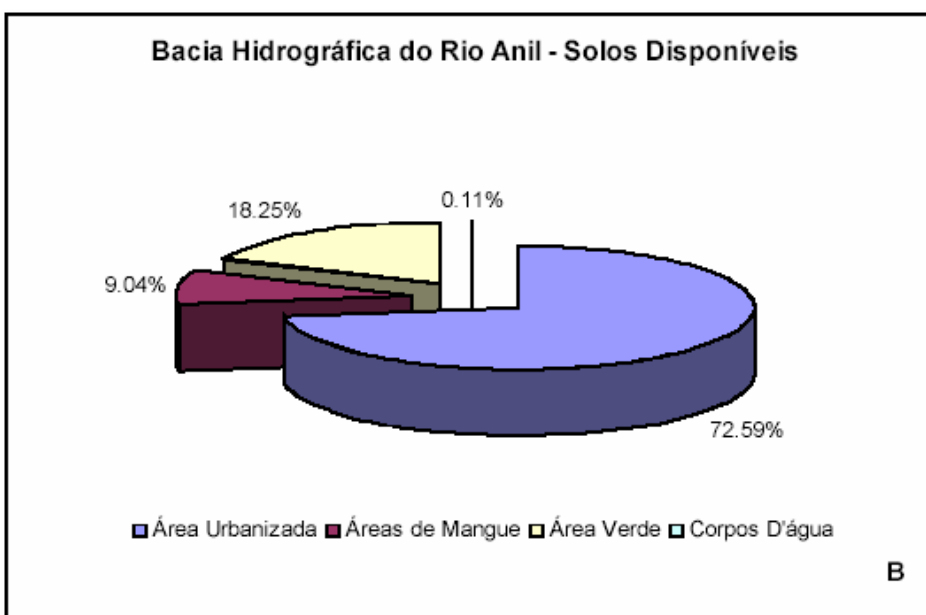


Figura 26 Uso do solo disponível na bacia do Rio Anil em 2000, (DIAS, 2005).

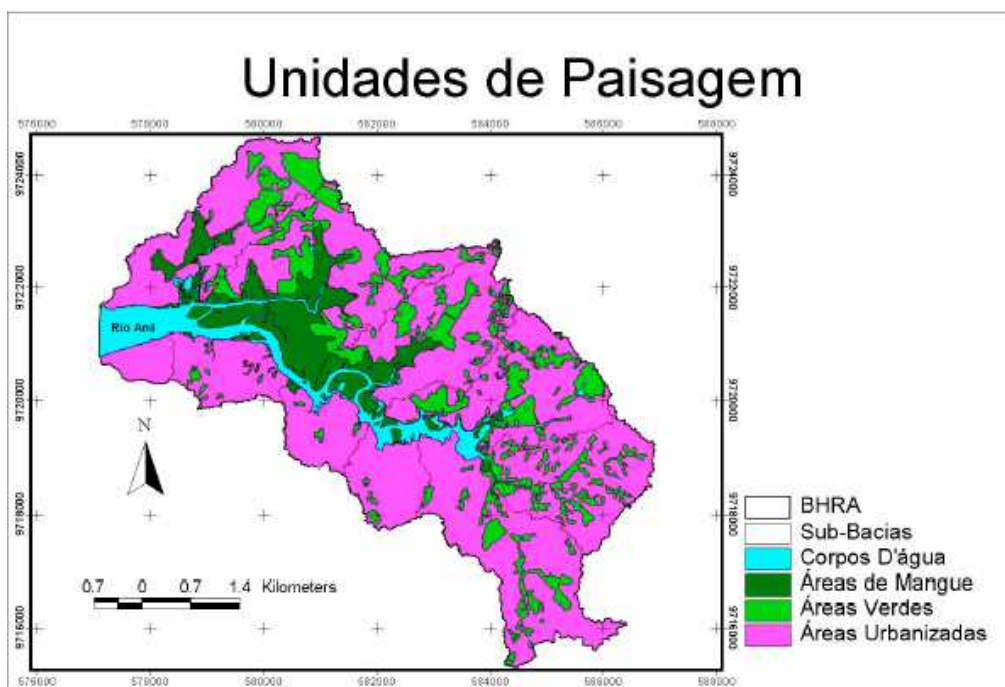


Figura 27 Unidades de paisagem na bacia do Anil em 2000, (DIAS, 2005).

O aumento nas áreas alagadas, provavelmente está relacionado a diferenças na sazonalidade entre as datas das imagens usadas neste estudo, uma vez que seis meses no ano temos um período chuvoso e seis meses um seco. Portanto a imagem de

2000 deve representar a estação chuvosa, onde muitas áreas ficam alagadas, ao longo da bacia.

Outros estudos também evidenciaram as mudanças no uso do solo na bacia do Anil. Costa (2001) demonstrou que a área total de várzeas na bacia do Rio Anil, estimadas através de sensoriamento remoto, nos anos de 1988 e 1999, foi de 1.485 e 1.343 respectivamente, evidenciando-se uma perda de 142 hectares neste período, o que representa quase 10%. Segundo a mesma autora a maior parte das perdas ocorreram nas regiões das nascentes do rio Anil.

Pereira Neto (2001) e Rebelo Mochel (1997) que avaliaram a perda da cobertura das áreas de manguezais ao longo da Ilha do Maranhão, demonstraram que juntos o Rio Anil e Lagoa da Jansen apresentaram uma perda de 31% entre os anos de 1991 e 1999, possuindo uma área de 660 e 458 hectares respectivamente nestes anos.

5.3.4 Índice de Preservação Ambiental (IPA)

A densidade de drenagem da bacia do Rio Anil é da ordem de $D_D = 1,47 \text{ km/km}^2$ (ALCANTARA, 2004). O resultado da comparação entre as imagens *SPOT* de 1992 e *TM-Landsat 5* de 2000, que nos forneceram as unidades de paisagens empregadas no cálculo do IPA são apresentadas na Figura 17, abaixo.

Unidades de Paisagem
Fonte: Imagem SPOT (1992)
Área em hectares

Unidades de Paisagem
Fonte: Imagem TM-Landsat5 (2000)
Área em hectares

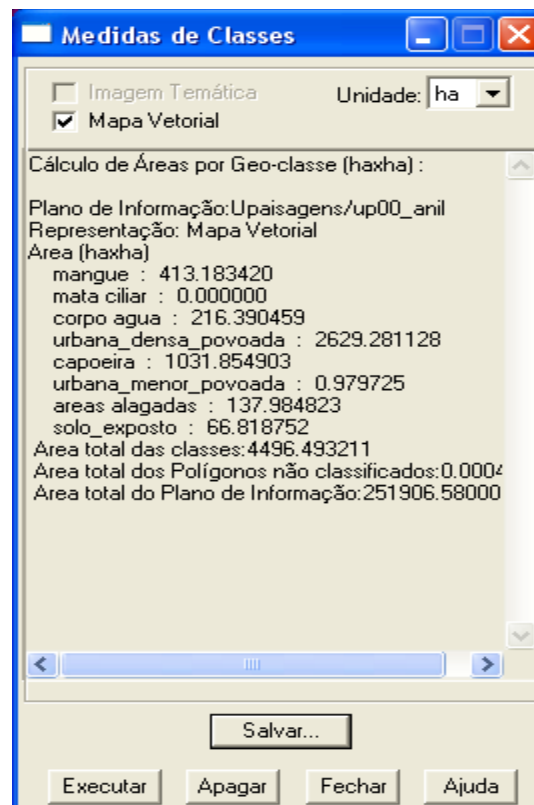
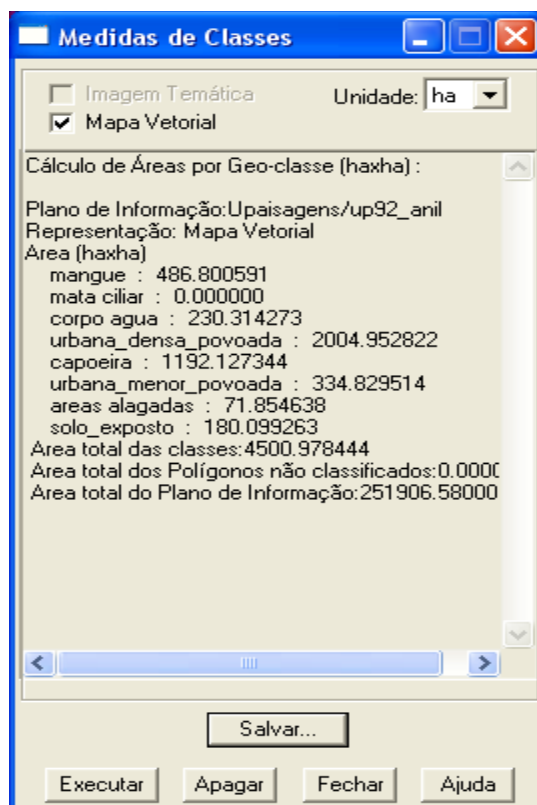


Figura 28 Unidades de paisagem nos anos de 1992 e 2000.

A diferença entre a área total deve-se a erro operacionais e inerentes ao sistema.

Usando a seguinte equação:

$$IPA = 1/D_D [(A_{mangue} + A_{encharcadas}) / (A_{urbanas} + A_{capoeira} + A_{solo exp})]$$

Temos:

$$IPA_{1992} = 1/1,47 ((486,80 + 71,85) / (2004,95 + 1192,13 + 180,10))$$

$$IP_{1992} = 0,112529$$

$$IPA_{2000} = 1/1,47 ((413,18 + 137,98) / (2629,28 + 1031,85 + 66,82))$$

$$\text{IPA}_{2000} = 0,100655$$

Portanto, podemos observar a piora na preservação ambiental na bacia do rio Anil entre os anos de 1991 e 2000, pelos mesmos motivos discutidos anteriormente quando se avaliaram as mudanças no uso do solo, ou seja, houve um aumento na ocupação nas áreas topograficamente disponíveis.

5.3.5 Fluxos Biogeoquímicos

Os fluxos totais e específicos foram calculados considerando-se a vazão do Rio Anil no período seco, como sendo 1 m³/s (FEITOSA, 1989), a área total da bacia 33 Km², e as concentrações médias dos compostos NH₄⁺, PO₄³⁺, O₂, analisados por LABOHIDRO (2001), nas áreas correspondentes aos segmentos avaliados, conforme Tabela 7.

Tabela 7 Áreas, vazões e concentrações por segmentos da bacia do Anil.

	Área Drenada (Km ²)	Vazão (m ³ /s)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	PO ₄ ³⁺ (µg/L)	O ₂ (mg/L)
Curso Baixo	33,0	1,0	0,53	41,0	4,23
Curso Médio	10,9	0,55	1,46	43,5	3,75
Curso Alto	7,41	0,22	5,25	85,0	2,10

Os resultados dos fluxos totais e específicos, calculados para os compostos em seus correspondentes segmentos são apresentados na Tabela 8, logo abaixo.

Tabela 8 Fluxos totais e específicos dos compostos avaliados, por segmentos do Rio Anil.

	Fluxos totais			Fluxos específicos		
	NH ₄ ⁺ (g/s)	PO ₄ ³⁺ (mg/s)	O ₂ (g/s)	NH ₄ ⁺ (g/s/Km ²)	PO ₄ ³⁺ (mg/s/Km ²)	O ₂ (g/s/Km ²)
Curso Baixo	0,53	41,0	4,23	0,016	1,242	0,128
Curso Médio	0,81	24,1	2,08	0,044	1,318	0,114
Curso Alto	1,18	19,1	0,47	0,159	2,572	0,064

Os resultados demonstram a existência de um gradiente crescente nos fluxos específicos de NH₄⁺ e PO₄³⁺ e decrescente para O₂, do Curso Alto em direção a foz do rio.

Para se saber qual é o incremento dos compostos correspondente a cada segmento, ou seja, quanto foi gerado, suprimido ou transformado em cada segmento, é necessário fazer-se o balanço de fluxos específicos, conforme descrito na metodologia. Os resultados são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 Contribuição dos compostos por segmentos.

	NH ₄ ⁺ (g/s/Km ²)	PO ₄ ³⁺ (mg/s/Km ²)	O ₂ (g/s/Km ²)
Curso Baixo	0,028	0,076	-0,015
Curso Médio	0,115	1,25	-0,050
Curso Alto	0,159	2,57	-0,064

O Curso Alto apresentou um maior incremento de nutrientes, seguido dos cursos Médio e Baixo, respectivamente, indicando que uma maior carga nutrientes é gerada nas porções mais a montante. Os valores negativos de oxigênio dissolvido indicam que este foi suprimido, provavelmente consumidos no processo de decomposição da matéria orgânica, sendo mais consumido onde é maior a quantidade de nutrientes gerada, ou seja, no Curso Alto seguido dos Médio e Baixo.

Portanto, estes resultados sugerem que na bacia do Rio Anil, a região do Tabuleiro Central, provavelmente contribua com um maior aporte de efluentes

domésticos, devendo ser priorizada nos processos de planejamentos e gestão, seguida dos cursos Médio e baixo.

5.3.6 Análise dos Testemunhos

5.3.6.1 Densidade Aparente e Teor de Água

A densidade aparente está diretamente relacionada com a porosidade do sedimento e o tempo da deposição, sendo condicionada pela matriz mineralógica e a granulometria da matriz sedimentar. Durante o processo de sedimentação o material depositado sofre ação da gravidade sobre as camadas superpostas, compactando-as e diminuindo sua porosidade, resultando no aumento da densidade aparente (BERNER, 1971).

Segundo mesmo autor, sedimentos ricos em material mineral apresentam altos valores de densidade aparente, ao passo que sedimentos ricos em matéria orgânica apresentam baixos valores.

Quando essencialmente minerais os sedimentos arenosos apresentam valores de densidade aparente superiores a 1 g/cm^3 . Sedimentos argilosos apresentam densidade aparente em torno de $0,5 \text{ g/cm}^3$, e sedimentos orgânicos que apresentam grande quantidade de água em sua estrutura ($> 90\%$) possuem densidades consideravelmente mais baixas que sedimentos minerais, com valores próximos a $0,3 \text{ g/cm}^3$.

Amostras de topos de colunas sedimentares em geral apresentam alto teor em água, possuem valores de densidade aparente considerados baixo, em torno de $0,2$ a $0,4 \text{ g/cm}^3$.

A distribuição da densidade aparente e teor de água ao longo dos perfis de sedimento nos cursos Baixo, Médio e Alto, estão apresentados nos Apêndices I, II e III, respectivamente. A Tabela 10, logo abaixo, apresenta a estatística básica destes dois parâmetros ao longo dos três testemunhos analisados.

O teor em água apresentou um comportamento inverso ao da densidade aparente, nos três testemunhos, demonstrando que a densidade nestes testemunhos

está diretamente relacionada com a quantidade de água, evidente na simetria existente entre os gráficos deste dois parâmetros, conforme pode ser visto nos Anexos I, II e III.

Tabela 10 Estatística básica em relação à densidade e teor de água ao longo dos testemunhos estudados.

	Densidade (g/cm ³)	Teor de água (%)
Curso Baixo		
n	64	64
Máx	0,92	44,25
Mín	0,39	21,16
Méd	0,63	37,84
DP	0,15	6,24
CV	23,80	16,49
Curso Médio		
n	55	55
Máx	0,79	46,51
Mín	0,34	24,75
Méd	0,52	37,10
DP	0,13	6,32
CV	25,00	17,03
Curso Alto		
n	26	26
Máx	1,09	39,61
Mín	0,40	10,34
Méd	0,79	26,03
DP	0,19	8,54
CV	24,05	32,80

No Curso Baixo a densidade aumentou progressivamente com a profundidade, de forma quase linear, com valores em torno de 0,4 g/cm³ no topo do testemunho, chegando a 0,9 na base, com valores médios em torno de 0,6 g/cm³.

O Curso Médio apresentou um comportamento semelhante ao Curso Baixo, sendo os dois, ambientes deposicionais típicos de áreas de manguezais, apresentando características relativamente homogêneas do topo até a base, sendo compactados pela ação da gravidade nas camadas depositadas, ao longo do tempo.

A densidade aparente no Curso Alto, diferentemente dos demais, não apresentou um aumento linear em direção a base do testemunho. O topo apresentou valores típicos desta camada, conforme discutido anteriormente, com densidades em

torno de $0,4 \text{ g/cm}^3$, aumentando para valores próximos a de sedimentos arenosos, intercalado com camadas de características de sedimentos argilosos até a base.

5.3.6.2 Elementos Traço

Os perfis da concentração de todos os elementos traço analisados ao longo dos testemunhos nos curso Baixo, Médio e Alto são apresentados nos Apêndices I, II e III respectivamente.

De uma maneira geral, as concentrações de todos elementos aumentaram da base para a superfície dos três testemunhos analisados, demonstrando um incremento no aporte de elementos traço ao longo do tempo.

O cádmio foi o único elemento que apresentou concentrações abaixo do limite de detecção do método nas camadas inferiores a 27 cm no Curso Baixo, e abaixo de 42 cm no Curso Alto.

A Tabela 11 apresenta a estatística básica para cada elemento ao longo dos três testemunhos analisados. Nesta Tabela, também estão representados padrões referenciais de contaminação para as legislações existentes nos EUA e Canadá, uma vez que não existem no Brasil.

No caso dos EUA, a agência ambiental federal EPA (Environmental Protect Agency) estabeleceu duas concentrações referências, baseado em valores médios obtidos revisões na literatura especializada (EPA, 1991). A chamada ERL (Effect Range Low) representa a menor concentração capaz de provocar efeitos prejudiciais em 10% dos dados revisados. A ERM (Effect Range Median) corresponde aos valores médios da revisão, considerados danosos aos organismos em geral. Em outras palavras, significa que concentrações abaixo da referencia ERL, não são consideradas tóxicas, ao passo que quando atingem valores superiores aos ERM, são considerados muito tóxicos.

O Canadá adota como valores de concentração de elementos traço referenciais para avaliar a contaminação, aqueles estabelecidos pelo Canadian Environmental Quality Guidelines (1995), calculados através de revisões da literatura especializada. De maneira semelhante a EPA dos EUA, esta agência usa duas concentrações na avaliação do grau de contaminação de elementos traço no sedimento. A primeira

chamada de ISQG (Interim Sediment Quality Guideline) corresponde concentração de áreas não contaminadas, e a segunda PEL (Probable Effect Level) que corresponde a menor concentração limite considerada capaz de provocar efeitos adversos. A agência canadense trabalha com três faixas de concentração de elementos traço. Valores: < ISQG que são raramente; entre ISQG e PEL são ocasionalmente; e > PEL são freqüentemente associados a efeitos biológicos adversos.

Apesar de as concentrações dos elementos traço terem aumentado ao longo do tempo, nenhum valor atingiu os limites de concentrações que podem ser reconhecidamente como contaminados pelas duas Agências Ambientais, usadas como referência neste trabalho (Tabela 11).

O mercúrio apresentou dois picos de concentrações ligeiramente maiores que as consideradas não contaminadas pela agência canadense, nos curso Baixo a 13 e 23 cm e no Alto a 16 e 36cm, embora não tenhamos algarismos significativos suficientes nos ISQG, para afirmar isto.

O Cádmiu apresentou um pico de concentração no Curso Alto em torno dos 5 cm de profundidades, com 1,12 µg/g, que ultrapassou os valores ISQG, considerado para áreas não contaminadas no Canadá, embora não tenha alcançado valores considerados como contaminados.

O arsênio apresentou concentrações pouco maiores que os considerados não contaminados nas normas dos EUA e Canadá, nos cursos Baixo e Médio. Apesar das concentrações deste elemento não atingirem valores reconhecidos como contaminados, deve-se dar atenção ao fato de que as concentrações no Curso Baixo têm aumentado muito nas camadas superficiais, podendo indicar uma tendência de contaminação em relação a este elemento.

O chumbo apresentou concentrações um pouco acima das consideradas não contaminadas no Canadá, no Curso Médio a aproximadamente 100 cm de profundidade, com 38,1 µg/g e na faixa entre 25 e 30 cm, com valores entre 18 e 20 µg/g. No Curso Alto a camada superficial atingiu a concentração de 35,5 µg/g fato que merece atenção.

O cromo apresentou valores médios ao longo do testemunho do Curso Médio próximos aos limites das concentrações ISQG, de áreas consideradas como não

contaminadas para o Canadá, chegando a valores pouco maiores em algumas camadas deste testemunho. Portanto, este metal merece atenção nesta área da bacia.

O níquel apresentou um valor um pouco maior (22,03 µg/g) que o estabelecido pela EPA como não contaminado (21,0 µg/g), a 3 cm de profundidade no curso médio, embora esteja longe do valor ERM, considerado como muito contaminado (52,0 µg/g).

O as concentrações do cobre ultrapassaram o valor do ISQG para o Canadá, em várias camadas ao longo do Curso Alto, atingindo maiores concentrações nas camadas superficiais, em torno de 30 µg/g. No Curso Médio as camadas superficiais também ultrapassaram estes valores, embora em menor magnitude, alcançando valores em torno de 20 µg/g. O enriquecimento por este elemento pode estar associado à contaminação por esgotos domésticos, uma vez que este tipo de efluente é conhecido como importante fonte Cu.

Por fim, zinco apresentou uma concentração de 131, 2 µg/g, pouco superior a ISQG no Curso Alto, em torno dos 25 cm de profundidade.

Apesar de as concentrações de alguns elementos terem ultrapassado os limites considerados como não contaminado pelas Agências Ambientais do Canadá e EUA, na maioria das vezes os valores ficaram muito próximos a este limite.

Além disso, as concentrações dos elementos traço não atingiram os valores que torna possível afirmar que o sedimento está realmente contaminado por estes elementos.

Em outras palavras, tomando-se como base os testemunhos analisados a bacia do Rio Anil, não pode ser considerada como contaminada pelos elementos traço avaliados neste trabalho, embora deva-se dar uma atenção especial ao arsênio que vem apresentando valores crescentes próximo aos limites de sedimentos não contaminados, nas camadas superficiais, sobretudo nos testemunhos dos curso Baixo e Alto.

Tabela 11 Estatística básica dos elementos traço ao longo dos testemunhos analisados.

		Hg (mg/Kg)	Cd (mg/Kg)	As (mg/Kg)	Pb (mg/Kg)	Cr (mg/Kg)	Ni (mg/Kg)	Cu (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)	Fe.10 ³ (mg/Kg)	Mn (mg/Kg)
Curso Baixo											
n		30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Máx		0,13	0,02	11,25	16,39	51,55	18,82	16,23	62,39	38,34	375,72
Mín		0,008	n.d.	3,87	3,07	12,54	4,36	3,59	14,71	10,15	124,77
Méd		0,04	0,00	7,71	10,35	36,23	13,36	11,03	43,93	26,79	242,64
DP		25,56	0,01	2,47	3,31	9,95	3,78	3,50	12,90	7,54	74,95
CV		57,37	137,88	32,02	31,99	27,45	28,31	31,72	29,37	28,16	30,89
Curso Médio											
n		30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Máx		0,07	0,05	10,64	38,16	64,92	22,03	20,53	79,09	39,46	384,59
Mín		0,03	0,01	3,65	11,88	28,09	7,65	6,92	30,98	18,27	169,28
Méd		0,05	0,02	7,31	19,35	47,55	15,93	15,03	62,81	31,30	272,07
DP		9,67	0,01	1,71	4,43	8,94	3,51	3,13	12,13	5,35	53,80
CV		20,25	35,04	23,38	22,90	18,79	22,05	20,82	19,31	91,28	1063,97
Curso Alto											
n		14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Máx		0,12	1,13	5,23	37,86	48,32	6,36	32,01	131,21	65,68	281,02
Mín		0,004	0,00	0,31	3,10	2,92	0,41	2,47	13,73	0,99	2,75
Méd		0,05	0,35	2,39	21,72	21,42	3,47	16,52	66,86	20,28	88,47
DP		36,08	0,30	1,36	10,51	13,04	1,74	7,25	34,57	17,59	82,89
CV		67,61	86,88	57,15	48,42	60,88	50,17	43,85	51,71	24,02	32,81
EUA											
	ERL	0,15	1,2	8,2	47,0	81,0	21,0	34,0	150,0		
	ERM	0,71	9,6	70,0	220,0	370,0	52,0	270,0	410,0		
Canadá											
	ISQG*	0,1	0,7	7,2	30,12	52,3	-----	18,0	124,0		
	PEL*	0,7	4,2	41,6	112	160	-----	108,0	271,0		

NOTA: * Valores referentes a sedimentos marinhos.

1 ERL - Effect Range Low, em µg/g

2 ERM - Effect Range Median, em µg/g

3 ISQG – Interim Sediment Quality Guideline, em µg/g

4 PEL – Probable Effect Level, em µg/g

5.3.6.3 Análise da Evolução Histórica da Contaminação nos Testemunhos

Conforme a metodologia proposta, a melhor profundidade, em relação às outras, no testemunho do Curso Baixo correspondente ao marco inicial da ocupação maciça da bacia do Anil, testadas através da correlação de Pearson (Tabela 12), foi 101,5 centímetros. Supondo que esta profundidade corresponde ao ano de 1970, conforme discutido anteriormente, a provável taxa de sedimentação calculada para o Curso Baixo foi de aproximadamente 3,0 cm/ano, e o testemunho conseguiu alcançar profundidades equivalentes ao ano de 1960.

Tabela 12 Valores de r de Pearson para os elementos traço no Curso Baixo.

Prof. (cm)	n	r _{sig.}	Hg	Cd	Pb	Cr	As	Ni	Zn	Cu
Todas	30	0,241	-0,441	** -0,507	-0,936	-0,837	-0,774	-0,854	-0,888	-0,877
101,5	26	0,260	-0,321	----	-0,942	-0,837	-0,725	-0,853	-0,907	-0,912
> 101,5	4	0,678*	0,178	----	-0,177	0,684	0,374	-0,682	0,715	0,723

* r_{sig.} para n=5

**n=15, r_{sig.}=0,351

Este valor parece razoável, de acordo com relatos de pessoas idosas residentes de São Luís, que afirmam que até a década de 60 entravam barcos de grande porte, transportando diversos produtos e matéria-prima para as indústrias existentes, indo aportar um pouco acima do que corresponde ao Curso Médio. A Foto 13 abaixo, tirada em 1950 (JORGE, 1950), mostra navios fundeados na foz do Rio Anil perto da localização correspondente ao Curso Baixo, nas proximidades do então Porto de São Luís.

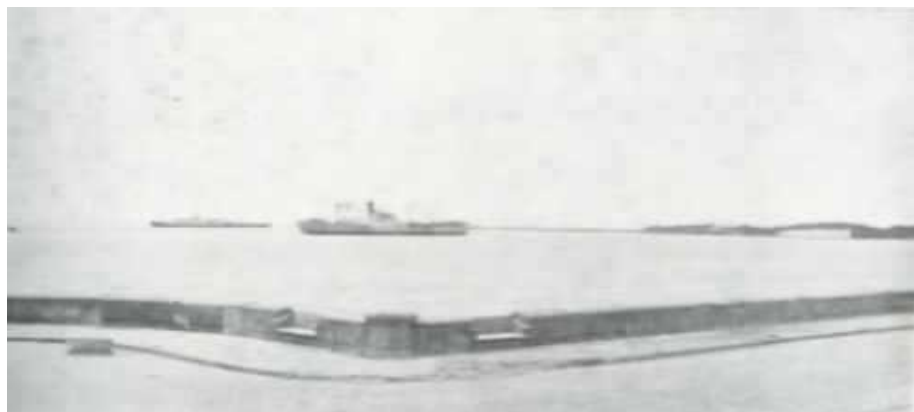
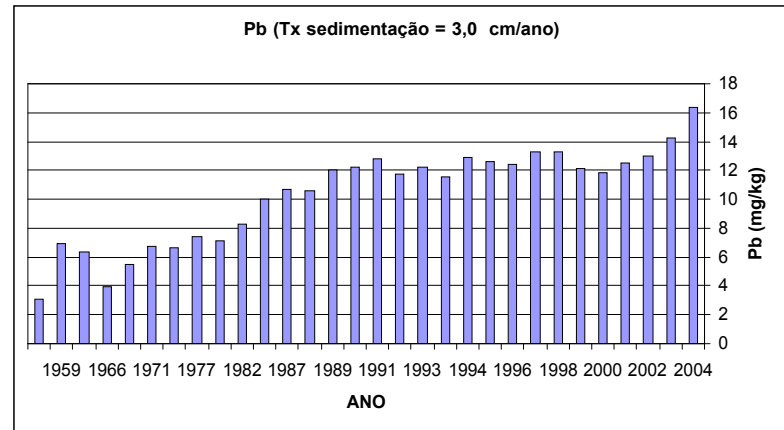
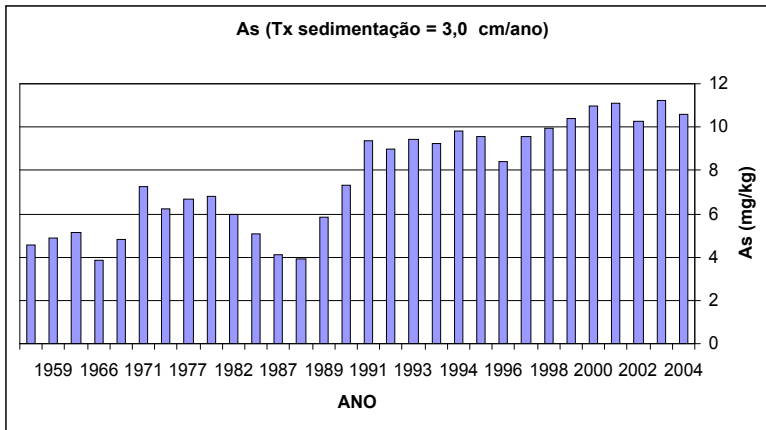
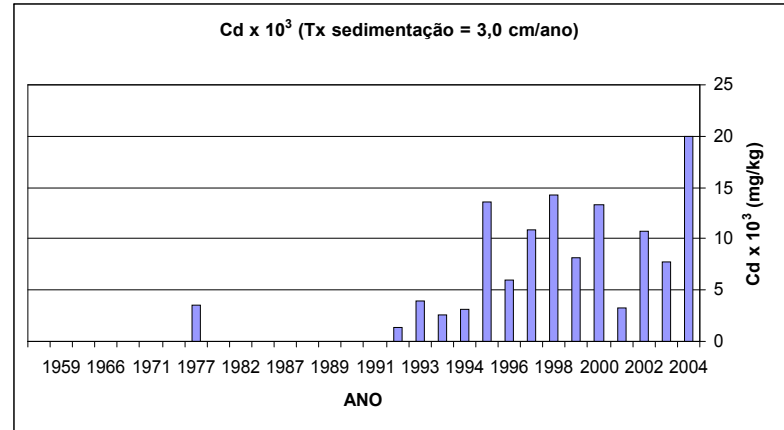
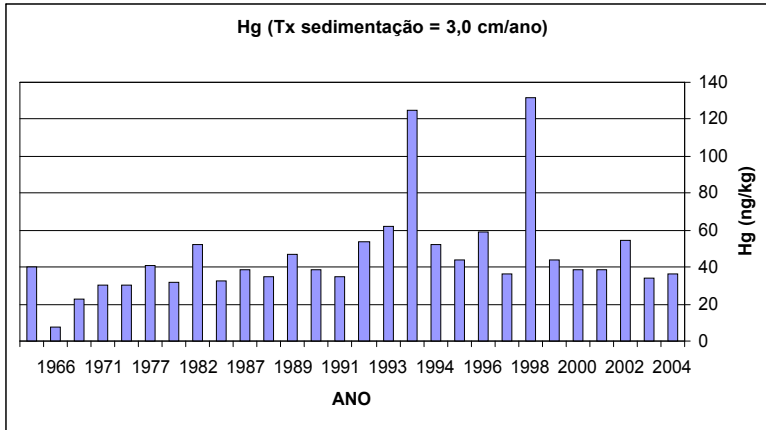


Figura 29 Navios fundeados na foz do Rio Anil no ano de 1950.

Nos dias atuais navios deste porte só conseguem aportar no Complexo Portuário do Itaqui, e ficam fundeados ao longo da baía de São Marcos, em frente às praias da Avenida Litorânea, portanto em locais afastados da foz do Anil.

Portanto, a partir da provável taxa de sedimentação calculada para o Curso Baixo, podemos observar a evolução cronológica do aporte de elementos traço para o sedimento, conforme Figura 18 abaixo.



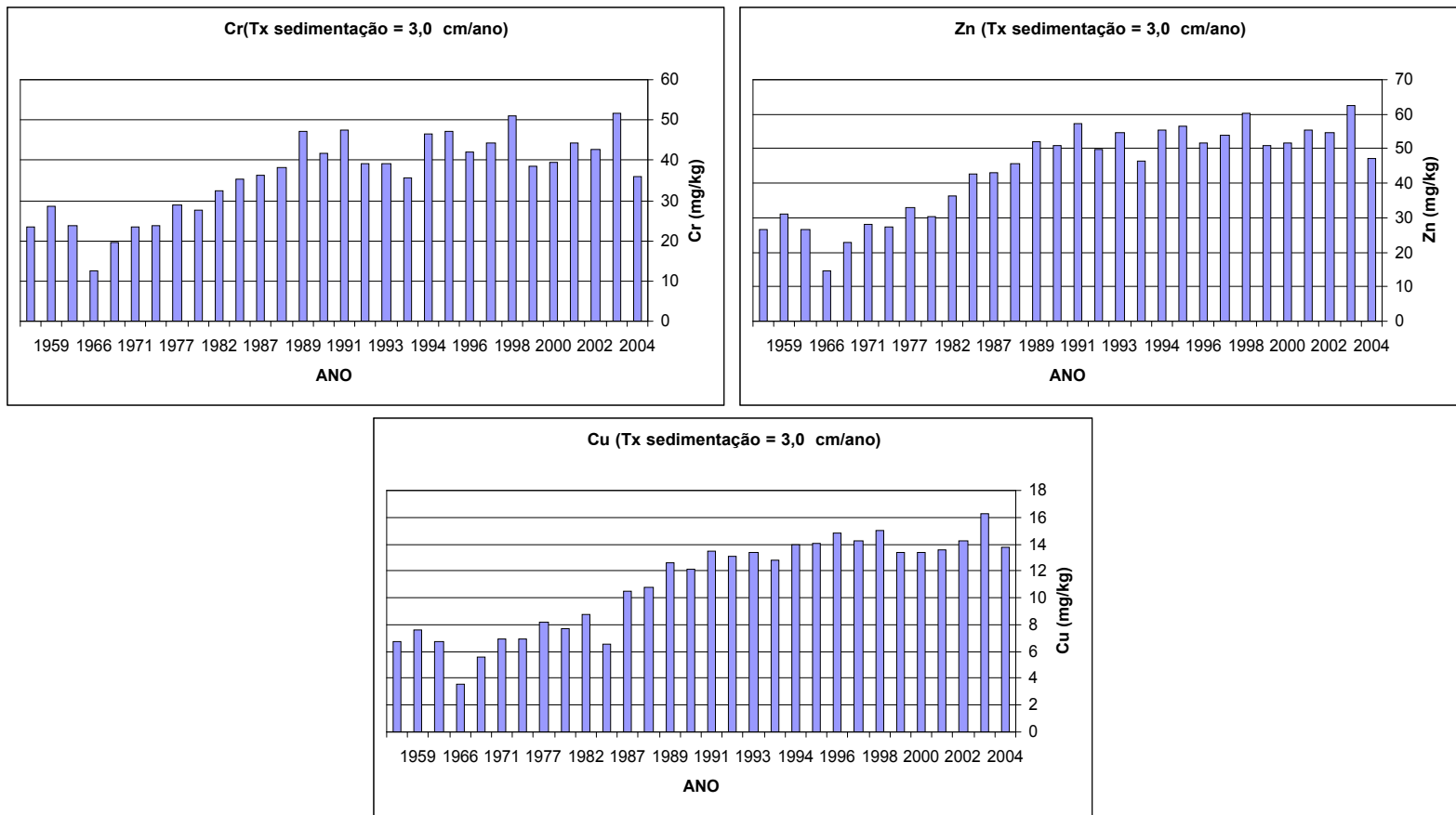


Figura 30 Evolução cronológica do aporte de elementos traço, para o sedimento no Curso Baixo.

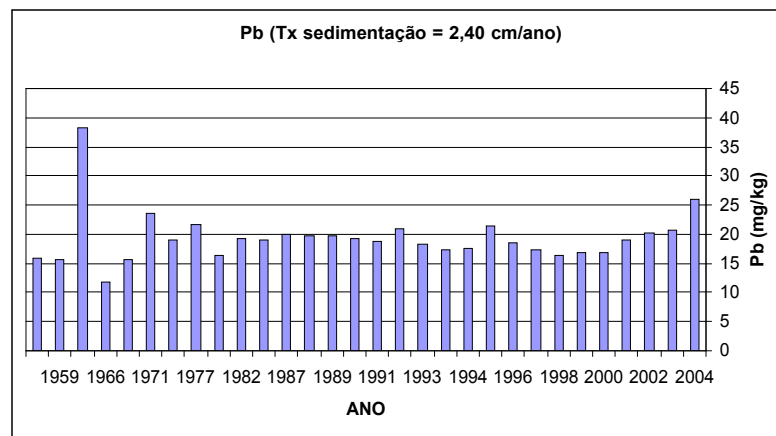
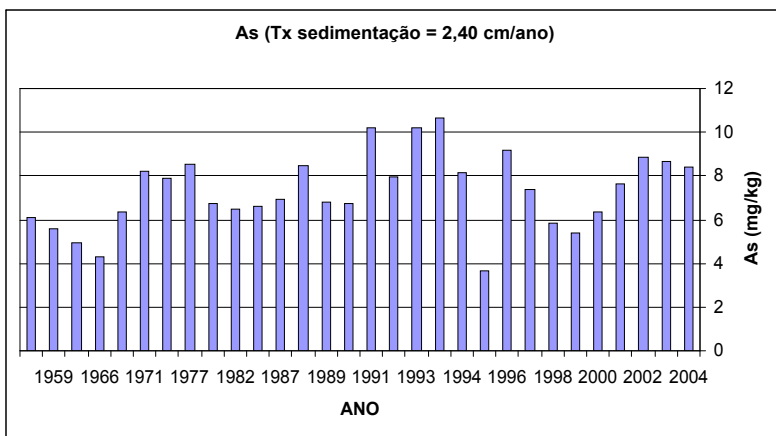
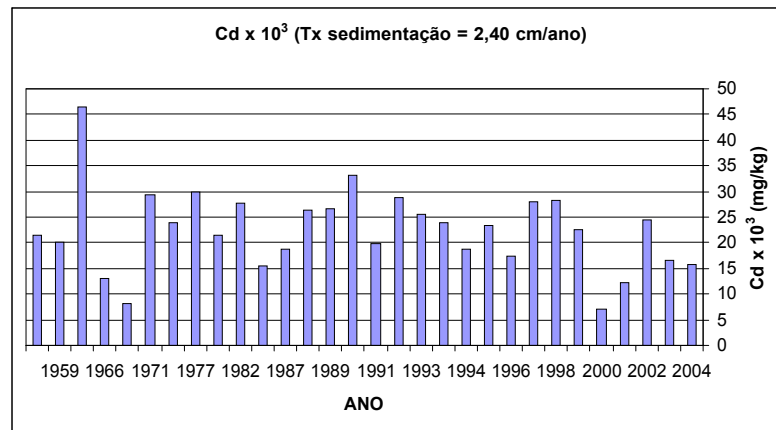
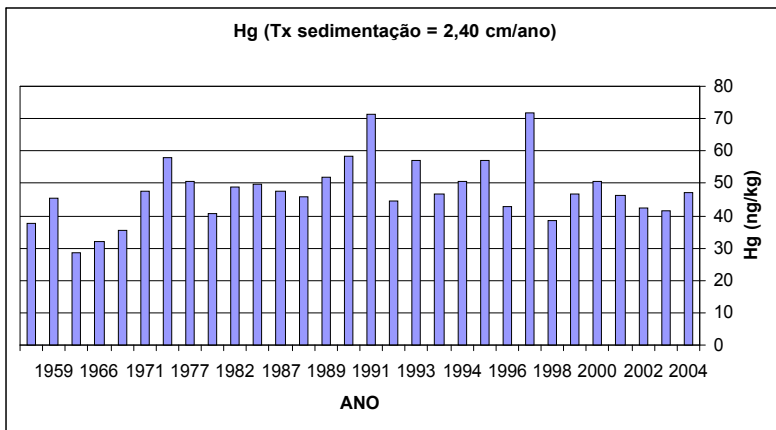
Para o Curso Médio, a melhor profundidade correspondente ao marco inicial da ocupação maciça da bacia do Anil, testadas através da correlação de Pearson (Tabela 13), foi 78,1 centímetros.

Tabela 13 Valores de r de Pearson para os elementos traço no Curso Médio.

Prof. (cm)	n	r_{sig.}	Hg	Cd	Pb	Cr	As	Ni	Zn	Cu
Todas	30	0,240	-0,380	0,194	0,045	-0,588	-0,382	-0,673	-0,678	-0,719
78,1	25	0,265	0,115	0,446	0,117	0,004	0,012	0,208	-0,169	-0,176
> 78,1	5	0,678	0,462	0,341	0,055	0,469	0,177	0,258	0,329	0,190

Sendo assim, partindo da mesma suposição, ou seja, tendo o ano de 1970 como marco inicial da ocupação maciça da bacia e supondo uma taxa de sedimentação constante, encontramos uma provável taxa de 2,4 cm/ano, com o testemunho alcançando profundidades equivalentes ao ano de 1955. Que conforme discutido no Curso Baixo, também parece razoável para este ponto.

A partir da suposta taxa de sedimentação calculada, podemos demonstrar a evolução cronológica do aporte de elementos traço para o sedimento do Curso Médio, conforme Figura 19, apresentada abaixo.



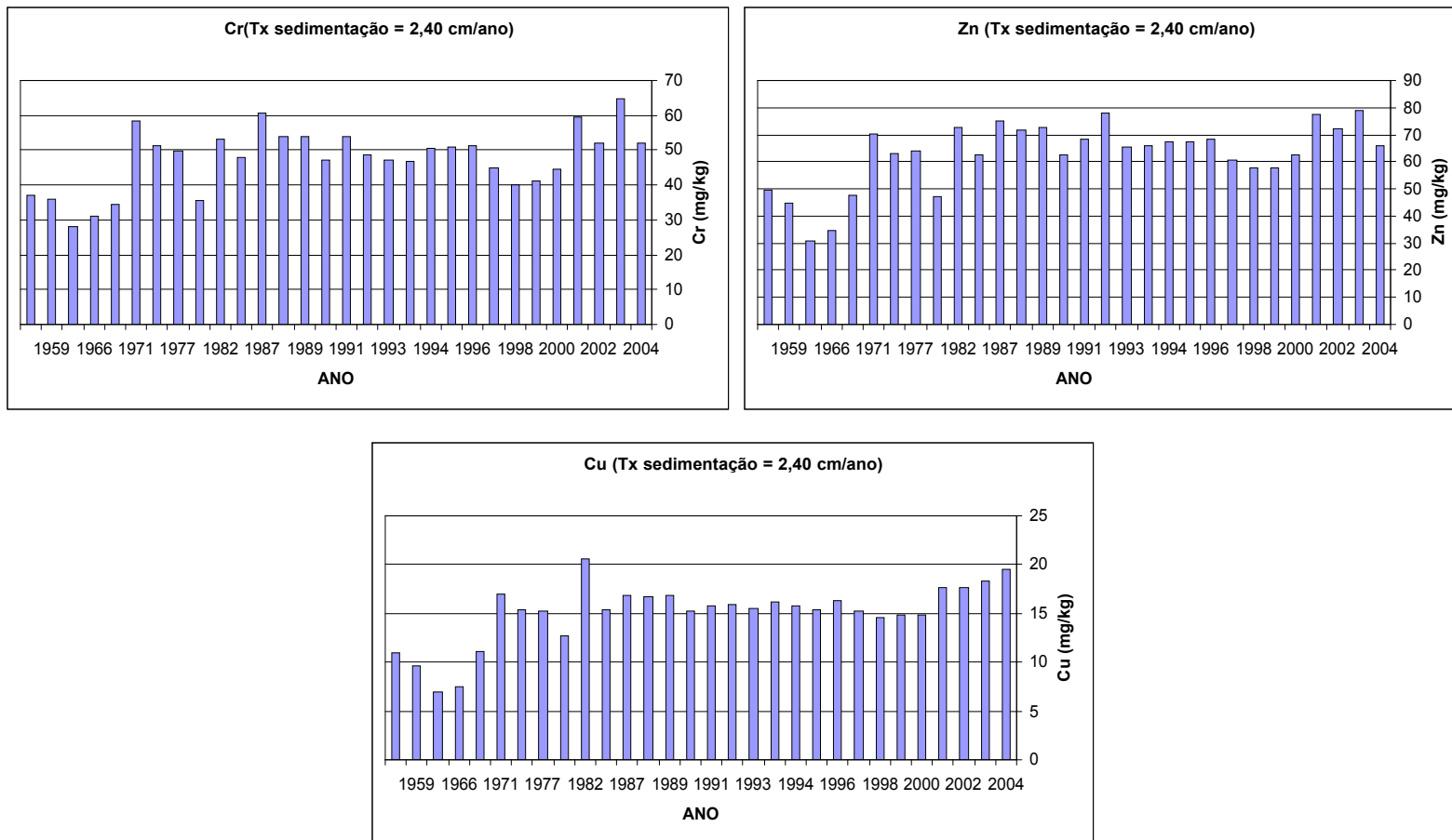


Figura 31 Evolução cronológica do aporte de elementos traço, para o sedimento no Curso Médio.

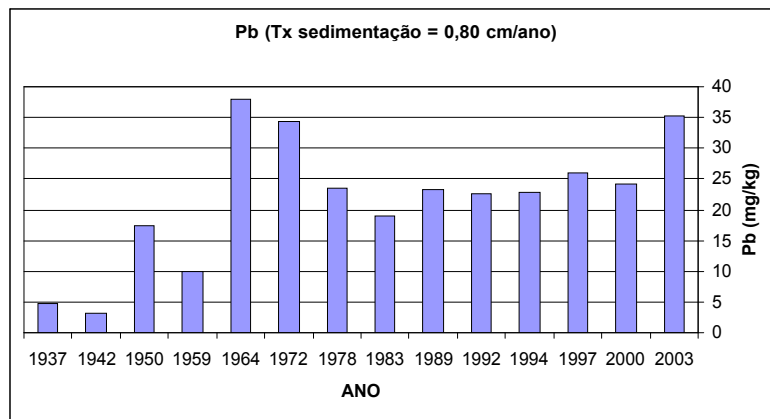
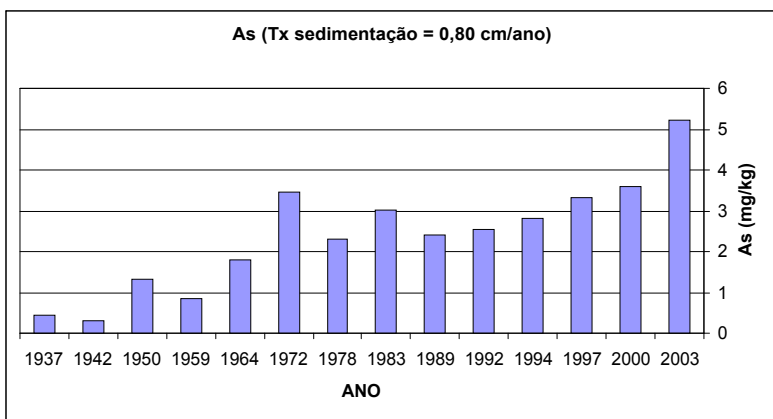
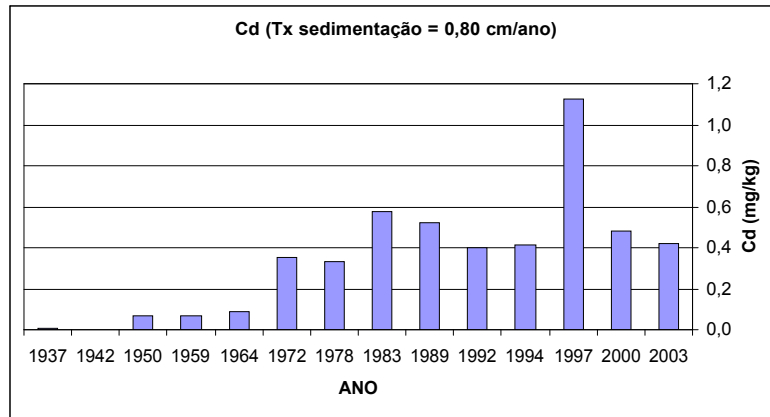
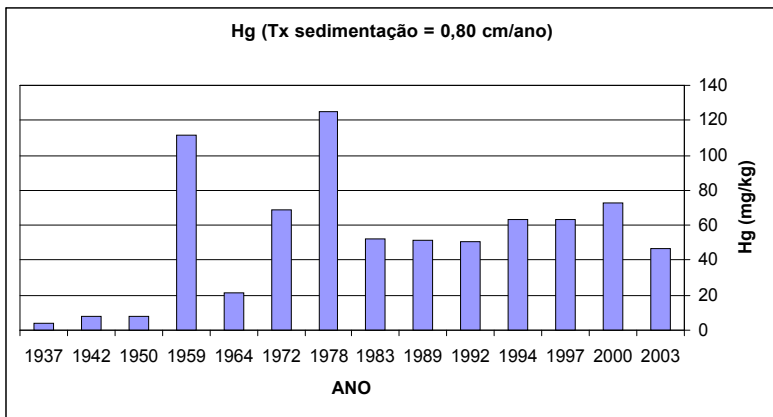
Conforme os cursos Baixo e Médio, a melhor profundidade correspondente ao marco inicial da ocupação maciça da bacia do Anil, encontrada através da correlação de Pearson (Tabela 14) no Curso Alto foi 25,3 cm.

Tabela 14 Valores de r de Pearson para os elementos traço no Curso Alto.

Prof. (cm)	n	r_{sig.}	Hg	Cd	Pb	Cr	As	Ni	Zn	Cu
Todas	14	0,365	-0,404	-0,784	-0,638	-0,828	-0,880	-0,641	-0,759	-0,773
25,3	9	0,472	0,840	-0,341	-0,026	-0,377	-0,495	0,075	0,178	-0,499
> 25,3	5	0,687	-0,611	-0,934	-0,800	-0,565	-0,828	-0,831	-0,768	-0,625

Desta forma, partindo das mesmas premissas discutidas para os outros testemunhos, a taxa de sedimentação provável no Curso Baixo foi de 0,8 centímetros por ano, com a base do testemunho correspondendo ao ano de 1937.

Os gráficos correspondentes à evolução cronológica do aporte de elementos traço para o sedimento do Curso Alto estão apresentados na Figura 20, logo abaixo.



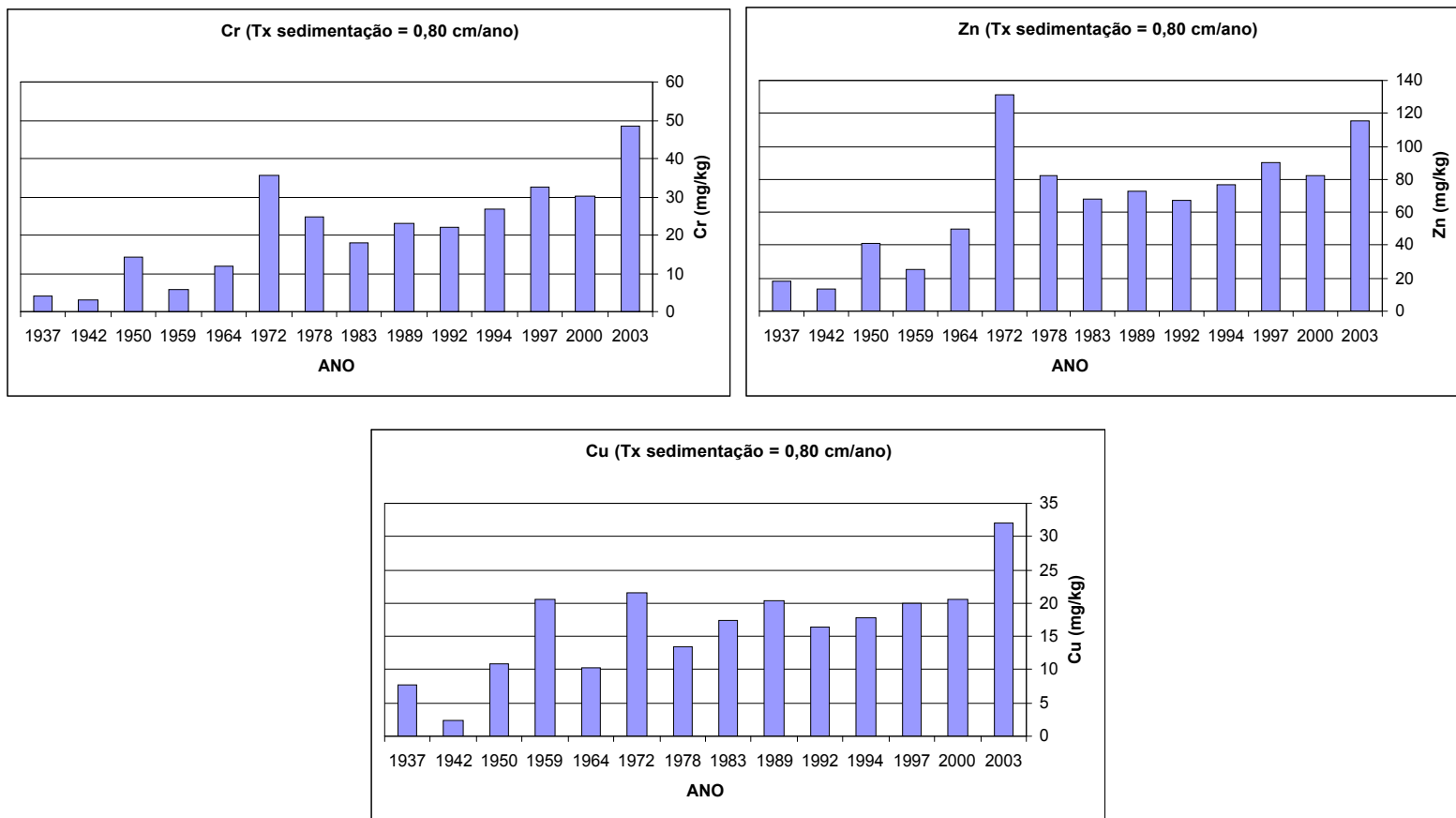


Figura 32 Evolução cronológica do aporte de elementos traço, para o sedimento no Curso Alto.

Comparando-se os três segmentos avaliados, no sentido de hierarquizar áreas que devem ser priorizadas em relação aos elementos traço, pode-se observar que de uma maneira geral, estes apresentaram maiores concentrações superficiais correspondentes aos últimos anos, no Curso Alto, dando a impressão que esta área deve ser priorizada em relação às demais.

Entretanto, deve-se levar em consideração que os três segmentos estão submetidos a diferentes taxas de sedimentação, conforme demonstrado anteriormente.

Desta forma, o Curso Alto que apresenta a menor taxa de sedimentação, tende a concentrar mais intensamente os elementos traço ao longo de sua coluna sedimentar, comparando-se com os demais segmentos.

Para tirarem-se conclusões mais consistentes sobre esta temática, recomenda-se calcular os fluxos de elementos traço ao longo dos testemunhos. Para tal, usamos a seguinte equação:

$$\text{Fluxo (M)}_{i \text{ cm}} = \text{Conc. (M)}_{i \text{ cm}} \times (\text{Densid.})_{i \text{ cm}} \times (\text{Tx. Sed.})_{i \text{ cm}}$$

Onde:

Fluxo (M)_{i cm} = Fluxo do elemento traço na profundidade (i)

Conc. (M)_{i cm} = Concentração do elemento traço na profundidade (i)

(Densid.)_{i cm} = Densidade do sedimento na profundidade (i)

(Tx. Sed.)_{i cm} = Taxa de sedimentação na profundidade (i)

Entretanto, neste trabalho convencionou-se a taxa de sedimentação como sendo constante, para efeito de cálculo aproximado. Logo, a taxa de sedimentação a ser empregada no cálculo, corresponde a aquelas calculadas anteriormente para os cursos Baixo, Médio e Alto. Os resultados dos fluxos médios de elementos traço ao longo dos testemunhos estão apresentados na Tabela 15, logo abaixo.

Tabela 15 Fluxos médios dos elementos traço em $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{ano}$, ao longo dos testemunhos analisados.

	Tx. Sed. (cm/ano)	Hg*	Cd	As	Pb	Cr	Ni	Cu	Zn
Curso Alto	0,8	30,2	0,195	1,34	12,8	11,8	2,0	9,53	38,4
Curso Médio	2,4	50,9	0,025	7,79	21,1	50,5	16,8	15,8	66,2
Curso Baixo	3,0	65,9	0,011	11,4	15,2	53,9	19,8	16,2	64,8

* ($\text{ng}/\text{cm}^2/\text{ano}$)

Como pode-se observar, os fluxos de elementos traço no Curso Alto foram muito menores que os encontrados nos demais segmentos, exceto para o Cd, contrariando conclusões pautadas apenas nos valores de concentração. O Curso Baixo apresentou os maiores fluxos de elementos traço, seguido do Curso Médio, com exceção do As, que foi maior no Curso Médio.

Portanto, baseado nos fluxos de elementos traço, pode-se concluir que o Curso Baixo deve ser priorizado, seguido do Médio e Alto.

Na verdade, é muito importante utilizar-se das duas abordagens, uma vez que as concentrações que são fundamentais em avaliações toxicológicas, e os fluxos ao longo dos testemunhos nos permitem reconstituir a evolução histórica do aporte de elementos traço.

5.3.6.4 Relação C/N

As altas taxas de sedimentação associada à elevada produtividade primária, características de ambientes estuarinos, favorecem o acúmulo na coluna sedimentar do carbono fixado fotossinteticamente (INGALL e CAPPELLEN, 1990; CANFIELD, 1994).

A análise da razão elementar C/N tem sido usada como um importante indicador das fontes de matéria orgânica para coluna sedimentar, apresentando vantagens em relação à razão C/P, pelo fato de pouco variar ao longo do tempo, além da facilidade analítica de determinação destes elementos em relação ao fósforo (MEYERS 1994). Este autor afirma que fósforo pode ser intensamente assimilado por algas com

mudanças sazonais, além de ser preferencialmente degradado por processos diagenéticos na matéria orgânica recém acumulada.

A matéria orgânica produzida por plânctons apresenta uma razão C/N entre 4 e 10, enquanto valores superiores a 20 são característicos de matéria orgânica produzida por vegetais superiores, de origem terrestre (INGALL e CAPPELLEN, 1990; MEYERS, 1994).

Apesar de ser considerado um bom indicador das fontes de carbono orgânico para o sedimento, MEYERS (1994) recomenda o uso da razão C/N em conjunto com outros indicadores desta natureza, como razões isotópicas e marcadores moleculares, para se tirar conclusões mais consistentes a cerca da origem da matéria orgânica sedimentar, uma vez que processos diagenéticos podem alterar a composição desta matéria orgânica recém depositada.

Os resultados da razão C/N ao longo dos três perfis de sedimento estão apresentados na Figura 21, abaixo.

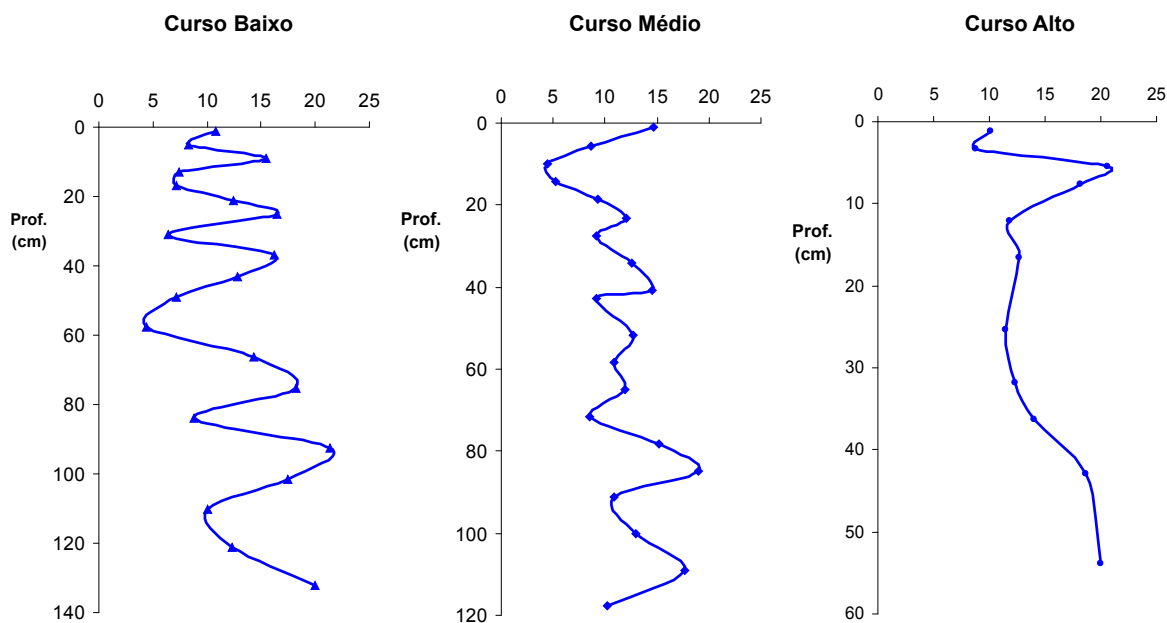


Figura 33 Razão C/N, ao longo dos testemunhos.

Os valores da relação C/N oscilaram muito ao longo dos testemunhos, sobretudo nos cursos baixo e médio, como pode ser observado na Tabela 16.

Tabela 16 Estatística básica da razão C/N ao longo dos testemunhos estudados.

Razão C/N			
	Curso Baixo	Curso Médio	Curso Alto
n	19	20	11
Máx	21,33	19,00	20,63
Mín	4,38	4,43	11,48
Méd	11,96	11,49	14,42
DP	4,71	3,67	8,73
CV	39,38	31,94	60,54

No Curso Baixo é notável a alternância de períodos de maior aporte de matéria orgânica de origem marinha, com valores de C/N na faixa entre 4 e 10, com períodos de aporte de origem continental, com valores em torno de 20, em especial nas camadas abaixo de 70 cm.

No Curso Médio também observamos um comportamento semelhante, embora os valores tenham oscilado em torno de 10, demonstrando uma maior influência do aporte de matéria orgânica de origem marinha algal.

Já no Curso Alto, houve uma predominância de valores da razão C/N acima de 10, valores típicos de matéria orgânica de origem continental, sobretudo nas profundidades em torno de 5 e abaixo de 40 centímetros.

É provável que o regime de marés, associado a eventos sazonais e períodos de intenso desmatamento ao longo da bacia do Anil, tenham contribuído com a alternância da origem sedimentar da matéria orgânica nos Cursos Baixo e Médio.

Os baixos valores da razão C/N nas camadas superficiais no testemunho do Curso Alto, podem indicar o aporte de matéria orgânica originária de efluentes domésticos (MEYERS e ISHIWATARI 1993), uma vez que esta região do tabuleiro central não recebe influencia das marés. Além disso, estudos realizados por LIAO *et al.* (1984) e LABOHIDRO (2001) apontaram um gradiente crescente de coliformes fecais e totais e, nutrientes da foz em direção ao chamado Curso Alto, e sugerem que esta região está mais contaminada por esgoto doméstico que as demais, a jusante.

5.3.6.5 Indicadores da contaminação fecal (esteróides)

A concentração de coprostanol no sedimento superficial do rio Anil apresentou valores que variaram entre 224 e 306 ng/g nos cursos baixo e médio, respectivamente.

Estes valores ficaram abaixo dos encontrados em outras áreas contaminadas no Brasil e no resto do mundo (Tabela 17), como o estuário do Rio Capibaribe, em Recife - PE, com valores entre 519 e 7.315 ng/g (FERNANDES, *et al.* 1999) e, as enseadas de Icaraí e Jurujuba, em Niterói - RJ, na faixa de 643 a 36.239 ng/g de coprostanol. Cabe destacar que estas áreas possuem diferentes taxas de sedimentação, portanto devem ser comparadas com ressalvas.

As concentrações de coprostanol encontradas nos cursos baixo e médio podem ser consideradas similares, na mesma ordem de grandeza, embora apresente um pequeno aumento no curso médio em relação ao baixo.

Estas duas estações recebem influência diária do regime de marés, que pode ser responsável pela homogeneização destas concentrações.

Tabela 17 Concentração de coprostanol no sedimento superficial em diversas regiões do mundo.

Área de estudo	Camada de sedimento (cm)	Ano da pesquisa	Faixa de concentração (ng/g)	Referência
Bacia de Santa Mônica, EUA	0-2	1985	500 - 5.100	Venkatesan e Kaplan, 1990
Barcelona, Espanha	0-3	1986-87	1.000 - 390.00	Grimalt <i>et al.</i> , 1990
Baía de Havana	0-3	1986-87	410 - 1.100	Grimalt <i>et al.</i> , 1990
Costa do Golfo do México, EUA	0-1	1988	47 - 7.510	Wade <i>et al.</i> , 1988
Costa sudoeste de Taiwan	0-4	1992	<5 - 820	Jeng <i>et al.</i> , 1996
Ria Formosa, Algarve, Portugal	n.i.	1994	100 - 41.800	Mudge e Bebianna, 1997
Baía de Guanabara, Rio de Janeiro	0-15	1993	92,9 - 2.824	Chaloux, 1995
Estuário Capibaribe, Recife	0-3	1994	519 - 7.315	Fernandes <i>et al.</i> , 1999
Litoral norte, São Paulo	0-15	1999	n.d. - 1.220	Kawakami, 1999
Baía de Guanabara, Rio de Janeiro	0-3	1996	335 - 40.003	Carreira, 2000
Enseada de Icaraí e Jurujuba, Niterói	0-5	2001	643 - 36.239	Santos, 2001
Estuário do Rio Anil, São Luís	0-2,2	2005	224 - 306	Este estudo

Fonte: modificado de SANTOS, 2001.

Infelizmente não foi possível a realização das análises de esteróides no sedimento do curso alto do Rio Anil.

Entretanto, é provável que as concentrações dos esteróides sejam maiores nesta região, em se tratando de um ambiente deposicional, que fica encharcado durante o ano inteiro, recebendo aporte de efluentes domésticos drenados de conjuntos e favelas, situadas nesta região do Tabuleiro Central. Além disso, esta região não recebe a influência da maré, que pode contribuir de maneira significativa com a diluição e dispersão destes compostos.

Esta hipótese está de acordo com os resultados de coliformes totais e fecais analisados por LIAO *et al.* (1984) e LABOHIDRO (2001), que encontraram um gradiente crescente da foz em direção às nascentes, no Curso Alto do Anil, e também com os baixos valores da razão C/N nas camadas superficiais do testemunho no neste ponto.

Os fluxos biogeoquímicos calculados anteriormente corroboram esta suposição, uma vez que os nutrientes NH_4^+ e PO_4^{3+} , também apresentaram esta mesma tendência, ao longo da bacia do Rio Anil, com um aporte crescente dos fluxos específicos da foz em direção às nascentes, reforçando esta hipótese.

Diversos autores têm sugerido que o uso de razões entre os esteróides são mais esclarecedoras para se diagnosticar o grau de contaminação fecal do ambiente (TAKADA e EGANHOUSE, 1998).

A razão coprostanol/colesterol, sugerida por GRIMALT *et al.* (1990), é comumente utilizada para estimar a proporção relativa de coprostanol que é formada através de processos diagenéticos (MUDGE e LINTERN, 1999; QUÉMÉNEUR e MARTY, 1992). Os valores desta razão acima de 0,2 indicam contaminação fecal, e de acordo com (MUDGE e LINTERN, 1999) e outros autores, valores maiores que a unidade são característicos de regiões próximas à despejo de esgoto.

Portanto de acordo com a razão colesterol/coprostanol, os cursos baixo e alto, que apresentaram os valores 0,21 e 0,27 respectivamente, ligeiramente superiores a 0,2, indicando contaminação fecal.

Outra razão utilizada é a coprostanol/(coprostanol+epicoprostanol), que quando atinge valores próximos à unidade, indica a predominância de origem fecal em relação às possíveis outras fontes desses esteróides (VENKATESAN, M.I. e KAPLAN, 1990).

Os valores encontrados para esta razão, indicam uma maior influência fecal no curso baixo em relação ao médio, onde encontramos os valores 0,87 e 0,49 respectivamente.

Santos (2001), estudando as enseadas de Icaraí e Jurujuba, em Niterói – RJ, encontrou valores na faixa de 0,29 - 0,73 para esta razão, com o valor máximo desta razão inferior ao encontrado neste trabalho no Anil.

MALDONADO *et al.* (2000) encontraram valores próximos à unidade da razão coprostanol/(coprostanol+epicoprostanol) em sedimentos superficiais da Costa de San Pedro (Califórnia, EUA).

Os resultados das análises de esteróides ao longo do testemunho no curso baixo do Rio Anil, apontaram um aumento do aporte fecal ao longo do tempo, com valores crescentes de concentração dos esteróides analisados em direção a superfície do sedimento, Tabela 18.

Tabela 18 Concentrações (em ng/g) e razões dos esteróides longo do perfil de sedimento no Curso Baixo do Rio Anil

Prof. (cm)	Coprostanol	Epicoprostanol	Colesterol	Cop/Colest	Cop/(Cop+Epi)
1	224	33	1071	0,21	0,87
9	129	24	179	0,72	0,84
17	13	4	543	0,02	0,76
21	17	4	107	0,16	0,82

As razões entre os esteróides também confirmam esta tendência, com valores da razão colesterol/coprostanol, superiores a 0,2 em torno dos primeiros 10 centímetros, embora o valor a 9 cm (0,72), seja maior que o da camada superficial (0,21), podendo indicar uma provável melhora nas condições sanitárias nos últimos anos.

A razão coprostanol/(coprostanol+epicoprostanol), indica uma predominância de esteróides de origem fecal para esse ponto, com valores próximos à unidade ao longo de todo o perfil, com valores crescente em direção à superfície.

Os resultados das análises dos esteróides ao longo do testemunho no curso médio (Tabela 19) indicaram piores condições fecais nas camadas abaixo da superfície, com maiores concentrações dos esteróides a 9,9 centímetros de profundidade.

Tabela 19 Concentrações (em ng/g) e razões dos esteróides ao longo do perfil de sedimento no Curso Médio do Rio Anil

Prof. (cm)	Coprostanol	Epicoprostanol	Colesterol	Cop/Coolest	Cop/(Cop+Epi)
1,1	306	324	1115	0,27	0,49
5,5	177	227	570	0,31	0,44
9,9	> 1.400	> 2.300	1812	> 0,77	>0,38
18,7	172	39	223	0,77	0,82
23,1	741	235	42	17,70	0,76

A razão colesterol/coprostanol apresentou valores que podem ser considerados como contaminados por poluição fecal, ao longo de todo o perfil de sedimento analisado, embora demonstrem condições muito piores na faixa de 10 a 25 centímetros de profundidade, em relação à superfície. A razão colesterol/coprostanol atingiu um valor muito superior à unidade a 23,1 cm, considerado como de sedimentos próximos a despejos de esgoto, sugerindo que neste período poderia haver um maior aporte de efluentes desta natureza.

Os valores da razão coprostanol/(coprostanol+epicoprostanol) nas profundidades de 18,7 e 21,3 centímetros, próximos a unidade, confirmam a predominância de esteróides de origem fecal nestas camadas.

Comparando-se os testemunhos analisados observamos que o testemunho do curso médio aparenta estar mais contaminado por poluição fecal em relação ao curso baixo, sobretudo nas camadas próximas a 20 centímetros, levando-se em consideração os maiores valores da razão colesterol/coprostanol.

Entretanto se compararmos a razão coprostanol/(coprostanol+epicoprostanol) ao longo dos testemunhos, podemos inferir que o curso baixo parece receber uma maior influência de efluentes de origem fecal, que o curso médio, provavelmente pela proximidades dos igarapés do Vinhais e Jaracati, que recebem uma grande carga de esgoto oriundo dos bairros localizados na margem direita, nas proximidades destes igarapés.

As piores condições em relação à poluição por esgoto domésticos nas camadas em torno do 20 cm, no testemunho do curso médio, podem refletir uma melhora nas condições sanitárias nos últimos anos neste ponto, mas também pode estar relacionado

a processos capazes de perturbar as camadas sedimentares, como por exemplo, a bioturbação, ou mudanças na taxa de sedimentação locais.

A ocupação mais recente na margem direita do Rio Anil na região do curso baixo, próximo à ilha onde foi coletado o testemunho, pode estar refletindo na poluição crescente em direção a superfície deste perfil de sedimento, em comparação ao curso médio que apresenta uma ocupação relativamente mais antiga.

Seria importante uma análise de mais fatias de sedimento ao longo dos testemunhos nos cursos baixo, médio e também alto, para que possamos avaliar com maior propriedade o estado de contaminação por esgoto doméstico, ao longo do estuário do Rio Anil.

5.4 CONDICIONAMENTO

5.4.1 Caracterização das Fontes Poluidoras

Um dos principais, se não o principal, problema relacionado à poluição na bacia do Anil na atualidade é o lançamento de efluentes domésticos *in natura* nos cursos d'água. Diante deste fato, buscou-se mapear as áreas que contribuem com o maior aporte deste tipo de efluente, considerando-se a distribuição da população e os serviços de esgoto sanitário por setores censitários, ao longo da bacia ambiental.

É importante destacar que esta abordagem de mapeamento de fontes poluidoras através de dados censitários por bacias hidrográficas é uma inovação deste trabalho, podendo ser aplicados em qualquer bacia que apresentem informações censitárias. Além disso, esta metodologia permite monitoramentos futuros em relação às melhorias ou prioridades nas condições sanitárias da bacia, sendo uma importante ferramenta para gestão pública.

A população total da bacia ambiental no ano de 2000, era de 319.735 habitantes, distribuídos de maneira heterogênea pelos 291 setores censitários que a compõem.

Os mapas de população total e de densidade demográfica (Figura 22) permitiram observar que as maiores concentrações estão localizadas na margem esquerda do rio principal e na região das nascentes do Anil, no Tabuleiro Central da Ilha.

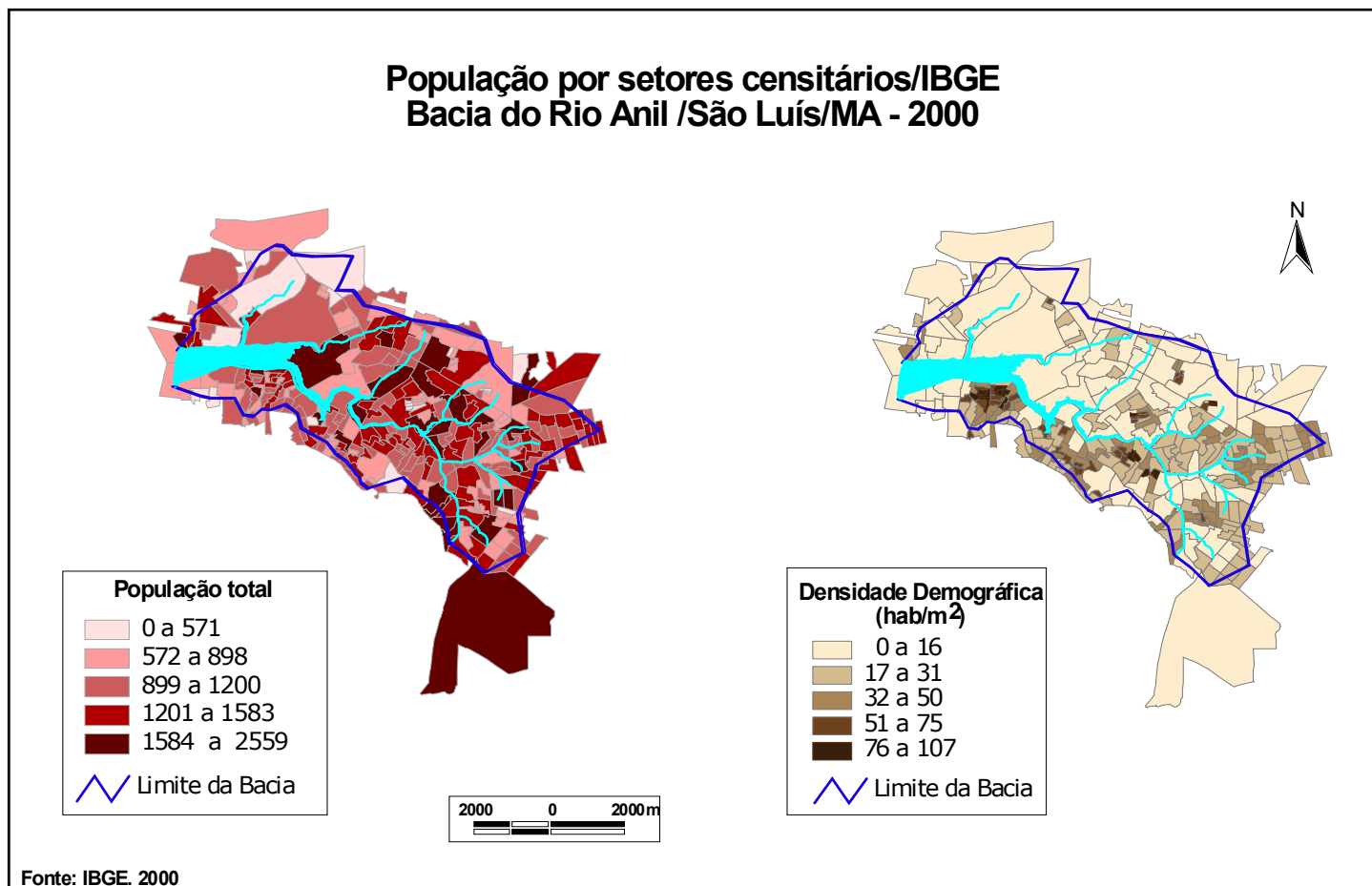


Figura 34 Distribuição da população da bacia ambiental por setores censitários, em 2000.

Embora a área de estudo esteja inserida numa capital estadual e, conforme discutido anteriormente tenha relevante importância regional, as condições de acesso aos serviços sanitários básicos não são tão evidentes. Um exemplo disso, conforme demonstra a Figura 23, é que uma parcela significativa dos domicílios não possuem banheiros.

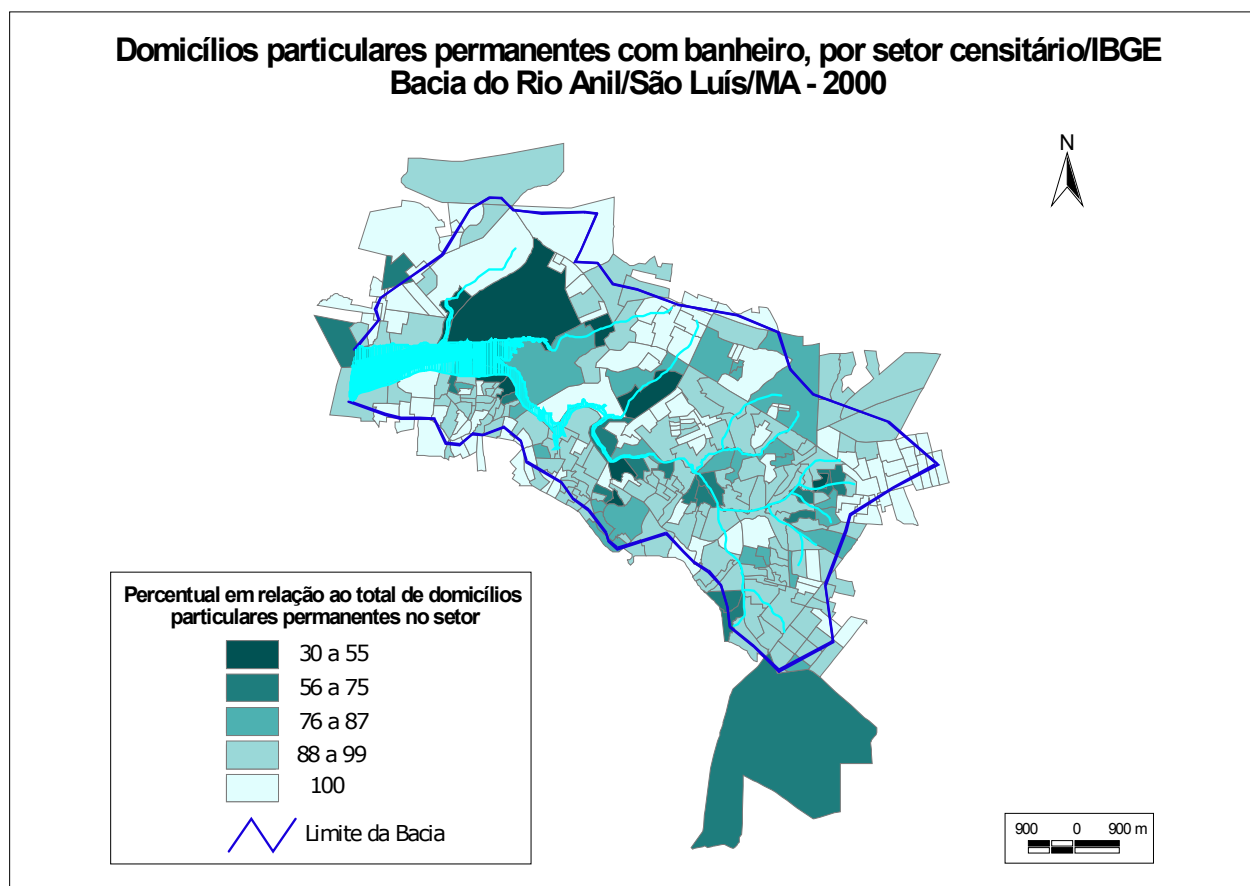


Figura 35 Percentual de domicílios com banheiro na bacia ambiental do Anil, em 2000.

O destino final dos efluentes sanitários dentre os domicílios que possuem banheiro está representado na Figura 24, onde considerou-se aqueles ligados à: rede geral de esgoto, lançados diretamente em rios, lagos ou mar, bem como em fossa rudimentares e/ou valas, conforme a classificação do IBGE.

Pôde-se observar que o maior percentual de domicílios ligados à rede geral está nos “bairros nobres”, situados à margem direita do rio, nos conjuntos habitacionais da porção nordeste do Tabuleiro Central e no centro histórico, à margem esquerda, próximo à foz. Com relação aos lançados diretamente em rios, lagos ou mares, que neste caso correspondem quase exclusivamente a lançados no rio, destacam-se os setores distribuídos ao longo da calha do rio, onde se concentram as moradias tipo palafitas. Os lançamentos dos efluentes em fossas rudimentares e/ou valas estão concentrados na margem esquerda e na área de correspondente ao Curso Alto da bacia ambiental.

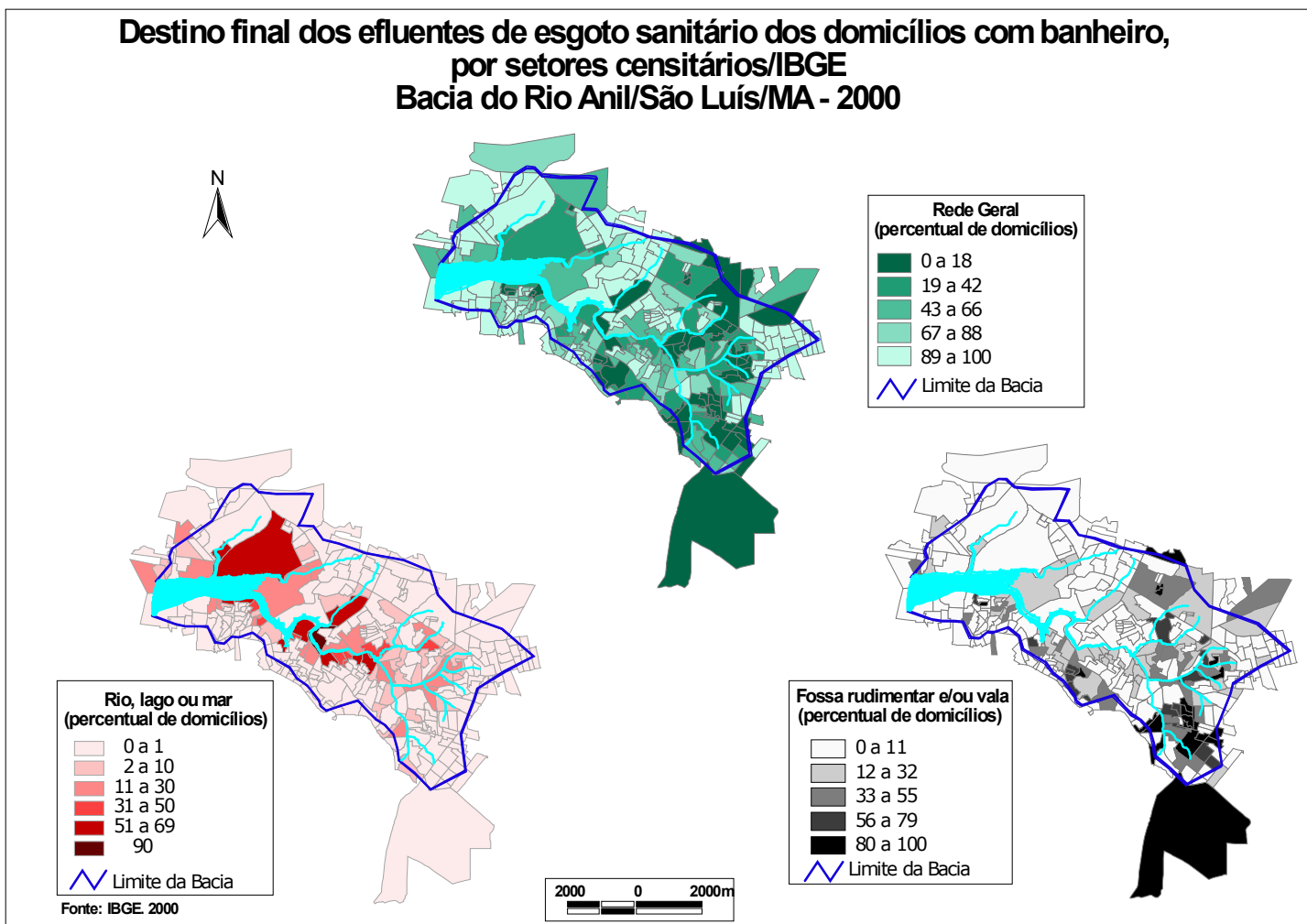


Figura 36 Destino final dos efluentes sanitários dos domicílios com banheiro na bacia ambiental do Anil, em 2000.

É importante destacar que embora existam setores na margem direita que apresentem condições sanitárias desfavoráveis, deve-se levar em consideração que esta região possui baixa densidade demográfica (Figura 22), o que minimiza os possíveis impactos.

Além disso, apesar de a margem esquerda, à montante do centro histórico, ser uma região densamente povoada e também apresentar um quadro sanitário desfavorável, é provável que a influência da maré, com dois ciclos diários movimentando grandes volumes de água, melhore a situação nesta área.

Por outro lado, a porção a montante, correspondente ao Curso Alto, é densamente povoada, é deficiente em serviços sanitários e não recebe a influência da maré, o que deve agravar as condições locais, sobretudo em se tratando da região das nascentes que deveriam ser legalmente preservadas.

Estes resultados estão de acordo com os fluxos biogeoquímicos calculados, calculados anteriormente, reforçando a hipótese de a maior contaminação por efluentes domésticos está localizada na região do Curso Alto do rio Anil. Portanto, nos processos de tomada de decisão, uma maior atenção deve ser dada a essa área.

Por fim, devemos considerar que apesar de uma parcela dos domicílios da bacia do Anil estarem ligados à rede geral de esgoto, estes efluentes não recebem nenhum tipo de tratamento, embora exista um estação de tratamento de esgoto no bairro do Jaracatí que até o presente momento não entrou em operação.

5.4.2 Qualidade das Águas

Numa tentativa de caracterizar o condicionamento relacionado à qualidade das águas, comparou-se os fluxos totais atuais de NH_4^+ , PO_4^{3-} e O_2 , calculados para o Curso Alto (porção doce), com os calculados a partir de concentrações consideradas como próximas aos níveis de base natural. Para isso utilizou-se os valores de concentrações no Rio Pedrinhas, São Luís – MA, analisadas pelo Prof. Dr. Ricardo Barbieri (UFMA) em 2002, conforme (Tabela 20). O Rio Pedrinhas pode ser considerado um rio típico da Ilha de São Luís ainda não impactado pela ação humana, com características geológicas

semelhantes ao Curso Alto do Rio Anil (Prof. Dr. Ricardo Barbieri, comunicação pessoal).

Tabela 20 Comparação das concentrações e fluxos de nutrientes entre o Rio Anil e Rio Pedrinhas.

	NH ₄ ⁺ (mg/L)	PO ₄ ³⁺ (µg/L)	O ₂ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (g/s)	PO ₄ ³⁺ (mg/s)	O ₂ (g/s)
Rio Anil (C. Alto)	5,25	85,00	2,10	1,18	19,06	0,47
Rio Pedrinhas	0,002	9,00	6,46	0,0003	1,98	1,42

Como podemos observar, os fluxos equivalentes aos níveis considerados como naturais (Rio Pedrinhas) chegaram a até quatro ordens de grandeza menor que os níveis atuais do Rio Anil, em relação ao NH₄⁺, e uma ordem de grandeza menor para o PO₄³⁺ e maior para O₂, respectivamente. Desta forma pode-se evidenciar uma perda considerável na qualidade das águas no presente em relação a prováveis níveis de base natural.

5.4.3 Índice de Preservação Ambiental nas Sub-bacias (IPA)

Os resultados da comparação do IPA entre as sub-bacias do Anil foram calculados mediante a seguinte equação:

$$IPA_{SB} = D_D (\text{Áreas de Manguezais} + \text{Cobertura Florestal}) / \text{Áreas Urbanizadas}$$

E estão apresentados na Tabela 21, logo abaixo.

Tabela 21 IPA nas sub-bacias do rio Anil.

Sub-bacias	Áreas Urbanizadas	Áreas de manguezais	Cobertura Florestal	Área das Sub-bacias	Índice de Preservação Ambiental
1	335,1	62,3	92,5	490,5	0,314
2	337,0	199,5	154,5	692,4	0,715
3	313,7	59,4	99,8	472,9	0,345
4	339,8	9,0	136,1	486,9	0,291
5	322,8	0,0	92,8	415,6	0,196
6	487,7	0,0	84,8	572,5	0,118
7	172,2	3,2	6,2	181,5	0,037
8	148,7	2,6	4,3	155,6	0,032
9	184,4	2,0	11,5	197,9	0,050
10	72,2	0,0	0,0	72,2	0,000

A localização das sub-bacias da bacia do Anil está representada na Figura 8 apresentada anteriormente, obtida de Dias (2005).

A sub-bacia 2 apresentou o melhor IPA. Nesta sub-bacia ainda existem extensas áreas de manguezais, relativamente preservadas, embora seja notável o avanço da urbanização em direção a estas áreas verdes, como pode ser visto na Foto 14. Esta área corresponde às proximidades dos bairros do Cohafuma e Recanto dos Vinhais, e sua preservação é de suma importância, tendo em vista que o restante da bacia apresenta poucas áreas verdes.

Dando seguimento a ordem decrescente de IPA, vêm as sub-bacias 3,1 e 4 que ainda apresentam algumas áreas verdes naturais. Estas sub-bacias apresentam áreas de manguezais, matas nativas e áreas de várzeas, sendo de fundamental importância para a recarga do Rio Anil.



Figura 37 Igarapé dos vinhais (Sub-bacia 2).

Os piores resultados foram encontrados nas sub-bacias 10, 8, 7 e 9, respectivamente. Estas áreas estão praticamente totalmente urbanizadas, e correspondem aos bairros da margem esquerda do Anil, sendo os bairros mais antigos e mais populosos da bacia, como pode ser observado na Figura 22 que mostra a distribuição demográfica. A Foto 15 evidencia o contraste existente entre a sub-bacias 10 e 9 (na porção leste da foto), quase que totalmente

urbanizada e um pedaço da sub-bacia 2 (a oeste da foto), com extensas áreas de manguezais.



Figura 38 Sub-bacias 10, 9 (porção leste da foto) e 2 (porção oeste da foto).

Estes resultados demonstram que a margem direita do Rio Anil apresentou melhores Índices de Preservação Ambiental. Esta margem concentra as áreas de manguezais que ainda restam na bacia e algumas áreas de várzeas (Figura 16). Esta porção da bacia corresponde aos bairros mais novos, que são atualmente os mais valorizados no mercado imobiliário, sendo que muitos destes ainda se encontram em franca expansão.

Portanto, uma atenção especial deve ser dada por parte do poder público, em relação à região da margem direita, no sentido de conter o processo de urbanização. Este fato pode dar força a uma proposta existente para transformar estas áreas de manguezais em uma unidade de conservação, muito embora se nada for feito neste sentido, é provável que estas áreas sejam rapidamente, aterradas e ocupadas.

5.4.4 Índice de Risco Ecológico Potencial (IREP)

Fator de Concentração (FC) e Grau de Contaminação (GC)

Para calcular o FC, primeiramente foi necessário determinar os níveis de base a serem empregados neste estudo. HAKANSON (1988) sugere que estes níveis de base podem ser locais ou globais. O primeiro deve ser obtido para

cada área, através do estudo de sedimentos profundos e o segundo através de estudo específicos existentes na literatura.

As concentrações consideradas Níveis de Base Local (NBL), obtidas através de análises de sedimentos profundos, devem alcançar profundidades equivalentes ao período pré-industrial (HAKANSON, 1980). Para a bacia do Anil, significa dizer que deveríamos atingir profundidades equivalentes ao início do século IXX. Usamos neste trabalho a base dos testemunhos, como nível de base local, entretanto, é pouco provável que tenhamos alcançado profundidades correspondentes a este período.

Diversos estudos sobre metais pesados adotam como níveis de base global os padrões globais de argila (PGA) publicados por TUREKIAN e WEDEPOHL (1961), o qual usaremos neste estudo de maneira comparativa.

Desta forma, os resultados dos FCs calculados para o sedimento no curso baixo do Rio Anil estão apresentados na Tabela 22, logo abaixo.

Tabela 22 Estimativa dos fatores de concentração e grau de contaminação no Curso Baixo do Rio Anil, baseados no nível de base local e padrão global de argila (PGA).

	C_i	C_o	FC	Classificação	$C_{o(PGA)}$	$FC_{(PGA)}$	Classificação
Hg	0,04	0,02	1,71	Moderado	0,04	0,90	Baixo
Cd	0,02	0,04	0,57	Baixo	0,03	0,66	Baixo
As	10,60	4,60	2,33	Considerável	13,00	0,82	Baixo
Pb	16,40	3,06	5,36	Considerável	20,00	0,82	Baixo
Cu	13,80	6,76	2,04	Considerável	45,00	0,31	Baixo
Zn	47,20	26,70	1,77	Considerável	95,00	0,50	Baixo
		GC	13,8			4,0	

Notas: C_i - concentrações médias de metais em mg/Kg na superfície do testemunho; C_o - concentrações médias de metais em mg/Kg na base do testemunho; $C_{o(PGA)}$ - padrões globais de argila em mg/Kg, segundo TUREKIAN e WEDEPOHL (1961); Classificação do FC: **Alto >6; Considerável 6-3; Moderado 3-1; Baixo <1** (HAKANSON, 1980;1988); GC - grau de contaminação por elementos traço no local avaliado.

Estes resultados demonstram diferenças significativas entre os FCs calculados a partir dos considerados níveis de base local (NBL) e padrões globais de argila (PGA). Os FCs calculados a partir deste último, foram classificados todos como baixo, ao passo que os calculados pelos NBL variaram entre baixo e considerável. O FC do cádmio foi classificado como baixo, o do mercúrio moderado e, os demais consideráveis. Portanto, uma

maior atenção deve ser dada em relação aos elementos As, Pb, Cu e Zn, neste ponto do rio.

O grau de contaminação (GC), apresentou valores diferentes, estando mais contaminado, em torno de 3 vezes, a partir dos NBL com 13,4 e, menos a partir dos PGA com GC igual a 4,0.

Os resultados dos FCs calculados para o sedimento no curso médio do Rio Anil estão apresentados na Tabela 23, logo abaixo.

Tabela 23 Estimativa dos fatores de concentração e grau de contaminação no Curso Médio do Rio Anil, baseados no nível de base local e padrão global de argila (PGA).

	C_i	C_o	FC	Classificação	$C_{o(PGA)}$	$FC_{(PGA)}$	Classificação
Hg	0,05	0,04	1,27	Moderado	0,04	1,18	Moderado
Cd	0,02	0,02	0,73	Baixo	0,03	0,53	Baixo
As	8,40	6,10	1,39	Moderado	13,00	0,65	Baixo
Pb	25,90	15,90	1,63	Moderado	20,00	1,30	Moderado
Cu	19,50	10,90	1,79	Moderado	45,00	0,43	Baixo
Zn	65,90	49,70	1,33	Moderado	95,00	0,69	Baixo
			GC	8,1		4,8	

Notas: C_i - concentrações médias de metais em mg/Kg na superfície do testemunho; C_o - concentrações médias de metais em mg/Kg na base do testemunho; $C_{o(PGA)}$ - padrões globais de argila em mg/Kg, segundo TUREKIAN e WEDEPOHL (1961); Classificação do FC: **Alto >6; Considerável 6-3; Moderado 3-1; Baixo <1** (HAKANSON, 1980;1988); GC - grau de contaminação por elementos traço no local avaliado.

Aos nos basearmos nos NBL todos os elementos traço apresentaram um FC classificado como moderado, exceto o Cd que foi baixo. As diferenças com relação aos valores baseados nos PGA foram o As, Cu e Zn, que foram classificados como baixo, enquanto para os NBL foram classificados como moderados.

O GC também foi diferente para as duas formas de se calcular os FCs, embora apresentem a mesma ordem de grandeza, o GC para os NBL foi quase o dobro do encontrado para os PGA, com 8,1 e 4,8, respectivamente

Os resultados dos FCs calculados para o sedimento no curso alto do Rio Anil estão apresentados na Tabela 24, logo abaixo.

Tabela 24 Estimativa dos fatores de concentração e grau de contaminação no Curso Alto do Rio Anil, baseados no nível de base local e padrão global de argila (PGA).

	C_i	C_o	FC	Classificação	$C_{o(PGA)}$	$FC_{(PGA)}$	Classificação
Hg	0,05	0,004	11,75	Alto	0,04	0,004	Baixo
Cd	0,42	0,004	98,73	Alto	0,03	0,004	Baixo
As	5,23	0,43	12,16	Alto	13,00	0,43	Baixo
Pb	35,30	4,70	7,51	Alto	20,00	4,70	Considerável
Cu	32,01	7,64	4,19	Considerável	45,00	7,64	Alto
Zn	115,73	18,46	6,27	Alto	95,00	18,46	Alto
		GC	140,6			31,2	

Notas: C_i - concentrações médias de metais em mg/Kg na superfície do testemunho; C_o - concentrações médias de metais em mg/Kg na base do testemunho; $C_{o(PGA)}$ - padrões globais de argila em mg/Kg, segundo TUREKIAN e WEDEPOHL (1961); Classificação do FC: **Alto >6; Considerável 6-3; Moderado 3-1; Baixo <1** (HAKANSON, 1980;1988); GC - grau de contaminação por elementos traço no local avaliado.

Os resultados entre os FCs calculados a partir dos NBL e PGA foram bem diferentes, exceto para o Zn que foi considerado alto nos dois casos. Os elementos Hg, Cd, As e Pb, que são reconhecidamente tóxicos, apresentaram FCs altos neste ponto do rio, com destaque para o Cd, ao passo que baseado nos PGA foram considerados baixo, os três primeiros e alto o último. O Cu apresentou FC considerável com base nos NBL e alto a partir dos PGA.

Os GC calculados das duas maneiras apresentaram resultados bem discrepantes, com diferentes ordens de grandeza. O curso alto parece estar bem mais contaminado pelos elementos traço em relação ao GC baseado nos NBL (GC = 140,6), em torno de 4,5 vezes maior que o GC calculado a partir dos PGA (GC = 31,2).

Os resultados dos FCs calculados a partir das médias entre as concentrações dos sedimentos nos cursos alto, médio e baixo, considerado FCs do Rio Anil estão apresentados na Tabela 25, logo abaixo.

Tabela 25 Estimativa dos fatores de concentração médios e grau de contaminação no Rio Anil, baseados no nível de base local e padrão global de argila (PGA).

	C_i	C_o	FC	Classificação	$C_{o(PGA)}$	$FC_{(PGA)}$	Classificação
Hg	0,04	0,02	2,10	Moderado	0,04	1,08	Moderado
Cd	0,15	0,02	7,50	Alto	0,03	5,07	Considerável
As	8,09	3,68	2,20	Moderado	13,00	0,62	Baixo
Pb	25,86	7,88	3,28	Considerável	20,00	1,29	Moderado
Cu	21,79	8,43	2,58	Moderado	45,00	0,48	Baixo
Zn	76,27	31,61	2,41	Moderado	95,00	0,80	Baixo
		GC	20,1			9,3	

Notas: C_i - concentrações médias de metais em mg/Kg na superfície do testemunho; C_o - concentrações médias de metais em mg/Kg na base do testemunho; $C_{o(PGA)}$ – padrões globais de argila em mg/Kg, segundo TUREKIAN e WEDEPOHL (1961); Classificação do FC: **Alto >6; Considerável 6-3; Moderado 3-1; Baixo <1** (HAKANSON, 1980;1988); GC – grau de contaminação por elementos traço no local avaliado.

Ao avaliarmos os resultados dos FCs calculados a partir dos NBL e PGA, generalizando para todo o Rio Anil, podemos observar novamente diferenças significativas para a classificação dos FCs, exceto para o Hg que foi classificado como moderado nos dois casos.

Se usarmos como referencia os NBL, o Rio Anil apresenta um FC alto para o cádmio, que é um elemento muito tóxico e considerável para o Pb, que também tem alta toxicidade. O Hg, As, Cu e Zn apresentaram FCs moderados.

Avaliando os FCs calculados a partir dos PGA, nenhum elemento foi classificado como alto. O Hg e Pb apresentaram FCs moderados, e os demais elementos (As, Cu e Zn) foram baixos.

O grau de contaminação foi maior, praticamente o dobro (GC = 20,1) baseado nos FCs calculados a partir dos NBL, em comparação ao calculado a partir dos PGA (GC = 9,3).

Os resultados dos fatores de concentração obtidos a partir dos cálculos usando os níveis de base local e padrões globais de argila, foram muito diferentes, como pode ser visto nas Figuras 25 e 26 abaixo.

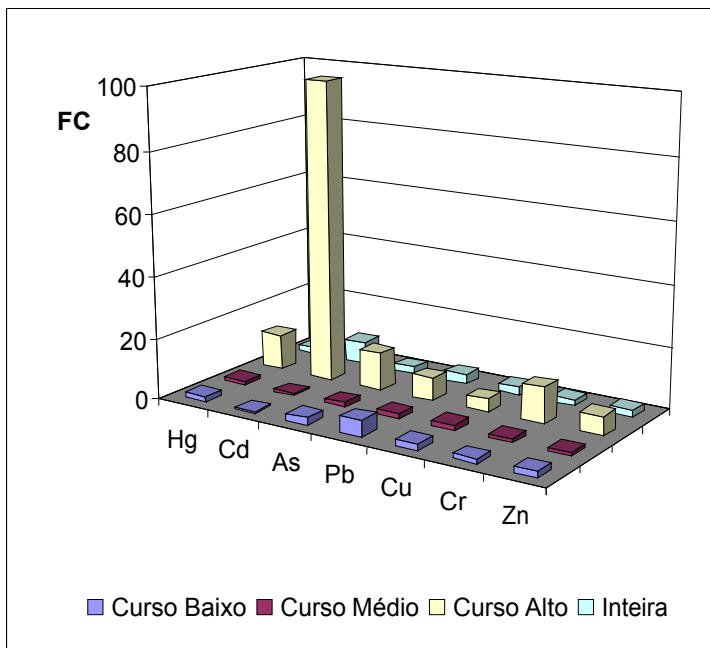


Figura 39 Fatores de concentração ao longo do Rio Anil, usando-se como base de cálculo os níveis de base local, para os elementos traço analisados.

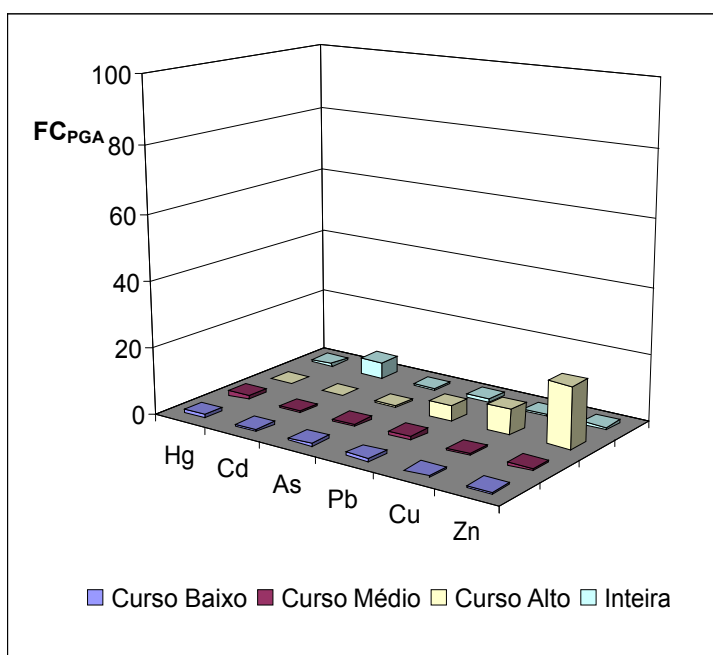


Figura 40 Fatores de concentração ao longo do Rio Anil, usando-se como base de cálculo os padrões globais de argila, para os elementos traço analisados.

Se compararmos os fatores de concentração calculados usando-se como base as duas referências para o Fe (Tabela 26), que é um elemento considerado de origem geogênica, podemos observar diferenças em muitas

ordens de grandeza. Este fato se justifica em função das formações Barreiras e Itapecuru, que compõem a geologia da Ilha do Maranhão, serem enriquecidas por ferro (CPRM, 1994). Portanto, é provável o uso dos Padrões Globais de Argila como referências, não sejam adequados para o caso em questão.

Tabela 26 Fatores de concentração de Fe ao longo do Rio Anil, calculados a partir dos níveis de base local e padrões globais de argila (PGA).

	Curso Baixo	Curso Médio	Curso Alto	Inteira
FC	1,63	1,36	43,5	15,5
FC_{PGA}	6.082	6.982	43.788	18.950

Outro fato que devemos levar em consideração, é que as análises dos elementos traço adotada neste estudo, não correspondem à fração total do sedimento, mas sim a chamada fração pseudo-total, que não é capaz de extrair os elementos aprisionados na estrutura cristalina do sedimento, ao passo que os valores do PGA, foram obtido através da extração total dos elementos.

Por fim, ao compararmos o grau de contaminação (GC), calculados a partir dos NBL e PGA (Figura 27), notamos que todos os pontos analisados apresentam maior grau de contaminação tendo-se como referencia os NBL.

Isso significa que apesar de os testemunhos, provavelmente não terem alcançado profundidades correspondentes aos níveis pré-industriais, ainda assim, o Anil apresentou-se mais contaminado.

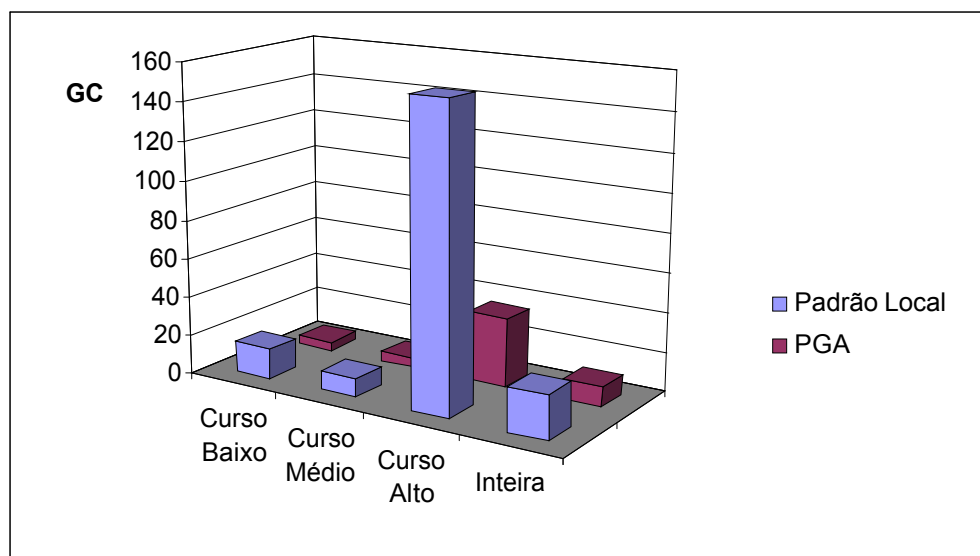


Figura 41 Grau de contaminação ao longo do Rio Anil usando-se como referencias os níveis de base local e padrões globais de argila.

Diante do exposto, decidimos adotar pára este estudo como referência os níveis de base local para elementos traço, calculados a partir da base dos testemunhos coletados.

Se compararmos os graus de contaminação ao longo do Rio Anil (Figura 27), usando-se a partir de agora, como referencia os níveis de base local, podemos constatar que o curso alto do rio está muitas vezes mais contaminado por elementos traço, que os outros pontos. Quase 10 vezes mais contaminado que o curso baixo e 17 em comparação ao médio.

Portanto uma atenção especial deve ser dada ao curso alto em relação à contaminação por elementos traço.

Numero de Bioprodutividade (NBP)

O numero de bioprodutividade para o Rio Anil foi calculado a partir da média das análises de clorofila *a*, realizadas por LABOHIDRO (2001), nos meses de janeiro (início do período chuvoso) e junho (final do período chuvoso). Os resultados apresentados na Tabela 27, correspondem aos cursos alto, médio e baixo empregados neste trabalho, e os do Rio Anil correspondem às concentrações médias entres estes três pontos.

Tabela 27 Valores de clorofila a (Cl-a) e número de bioprodutividade (NBP), ao longo do Rio Anil.

	Baixo	Médio	Alto	Rio Anil
Cl-a Janeiro	2,8	3,7	2,2	2,9
Cl-a junho	5,17	18,83	62,64	28,88
Cl-a Média	3,99	11,27	32,42	15,89
NBP	3,62	5,07	9,30	6,00

Se compararmos estes resultados obtidos com a classificação do estado trófico para lagos baseado no NBP, segundo HAKANSON (1984) *apud* CAMPOS (2000), conforme Tabela 28, veremos que o curso baixo do Anil pode ser considerado mesotrófico, o curso médio eutrófico e o alto hipertrófico. Se analisarmos os valores médios, o Rio Anil pode ser considerado eutrófico (Tabela 29). Estes resultados parecem estar de acordo com a realidade da área de estudo.

Tabela 28 Classificação do estado trófico o numero de bioprodutividade para lagos.

Estado Trófico	NBP
Oligotrófico	< 3,3
Mesotrófico	< 4,5
Eutrófico	< 6,5
Hipertrófico	> 6,5

Fonte: CAMPOS (2000).

Tabela 29 Estado trófico ao longo do Rio Anil.

Local	Estado Trófico
Curso Baixo	Mesotrófico
Curso Médio	Eutrófico
Curso Alto	Hipertrófico
Rio Anil	Eutrófico

Estes resultados também podem ser observados, nos valores de fluxos específicos de nutrientes calculados, que demonstraram um aporte decrescente de nutrientes do Curso Alto para o Baixo, com o consumo crescente de O₂ no mesmo sentido.

Fator de Resposta Tóxica (FRT), Risco Ecológico Potencial (REP) e Índice de Risco Ecológico Potencial (IREP)

A partir do NBP obtidos para este trabalho, calculamos os fatores de resposta tóxica (FRT), os riscos ecológicos potenciais (REP) e os índices de risco ecológico potencial (IREP), conforme descrito na metodologia, para os cursos baixo, médio e alto, bem como para o Rio Anil a partir dos valores médios dos três pontos ao longo do rio. Os resultados estão apresentados nas Tabelas abaixo.

Tabela 30 Estimativas do Risco Ecológico Potencial (REP), e Índice de Risco Ecológico Potencial (IREP), para o Curso Baixo do Rio Anil.

	FC	FTS	FRT	REP	Classificação
Hg	1,7	40	10	17,2	Baixo
Cd	0,6	30	7,5	4,3	Baixo
As	2,3	10	2,8	6,4	Baixo
Pb	5,4	5	1,4	7,4	Baixo
Cu	2,0	5	0,5	1,0	Baixo
Zn	1,8	1	0,3	0,5	Baixo
				IREP	36,8

Notas: Classificação do REP segundo HAKANSON (1980; 1988) - >160 alto; 160-80 considerável; 80-40 moderado; <40 baixo

Tabela 31 Estimativas do Risco Ecológico Potencial (REP), e Índice de Risco Ecológico Potencial (IREP), para o Curso Médio do Rio Anil.

	FC	FTS	FRT	REP	Classificação
Hg	1,3	40	3,6	4,5	Baixo
Cd	0,7	30	2,7	2,0	Baixo
As	1,4	10	2,0	2,7	Baixo
Pb	1,6	5	1,0	1,6	Baixo
Cu	1,8	5	1,4	2,5	Baixo
Zn	1,3	1	0,2	0,3	Baixo
				IREP	13,6

Notas: Classificação do REP segundo HAKANSON (1980; 1988) - >160 alto; 160-80 considerável; 80-40 moderado; <40 baixo

Tabela 32 Estimativas do Risco Ecológico Potencial (REP), e Índice de Risco Ecológico Potencial (IREP), para o Curso Alto do Rio Anil.

	FC	FTS	FRT	REP	Classificação
Hg	11,8	40	1,2	14,5	Baixo
Cd	98,7	30	0,9	91,4	Considerável
As	12,2	10	1,1	13,1	Baixo
Pb	7,5	5	0,5	4,0	Baixo
Cu	4,2	5	4,1	17,0	Baixo
Zn	6,3	1	0,1	0,7	Baixo
				IREP	140,7

Notas: Classificação do REP segundo HAKANSON (1980; 1988) - >160 alto; 160-80 considerável; 80-40 moderado; <40 baixo.

Tabela 33 Estimativas do Risco Ecológico Potencial (REP), e Índice de Risco Ecológico Potencial (IREP), para o Rio Anil.

	FC	FTS	FRT	REP	Classificação
Hg	2,1	40	2,5	5,3	Baixo
Cd	7,5	30	1,9	14,2	Baixo
As	2,2	10	1,7	3,7	Baixo
Pb	3,3	5	0,8	2,7	Baixo
Cu	2,6	5	2,0	5,1	Baixo
Zn	2,4	1	0,2	0,4	Baixo
				IREP	31,4

Notas: Classificação do REP segundo HAKANSON (1980; 1988) - >160 alto; 160-80 considerável; 80-40 moderado; <40 baixo

De um modo geral, os resultados do Risco Ecológico Potencial foram classificados como baixo para todos os elementos traço, nos três pontos analisados, com valores bem abaixo do limiar de 40, quando muda de classificação para moderado. A exceção foi o Cd no curso alto, que apresentou um valor de 91,4, representando um risco ecológico potencial considerável, em relação a este elemento neste ponto do rio.

O risco ecológico potencial também apresentou valores classificados como baixo, em relação às concentrações médias ao longo do Rio Anil.

Comparando os REPs nos três pontos avaliados ao longo do Rio Anil, é notável a diferença entre o curso alto em relação aos demais, estando em maior risco ecológico potencial, praticamente em relação a todos os elementos

traço analisado (Figura 28). Com destaque para o Cd, que apresentou o maior valor com um REP de 91,4 sendo classificado como considerável; seguido do Cu, Hg e As, que apesar de terem os REPs classificados como baixo, também merecem especial atenção, sobretudo o Hg e As, juntamente com o Cd, por serem bastante tóxicos.

O mercúrio no curso baixo também merece uma atenção, apesar de apresentar um REP considerado baixo neste local.

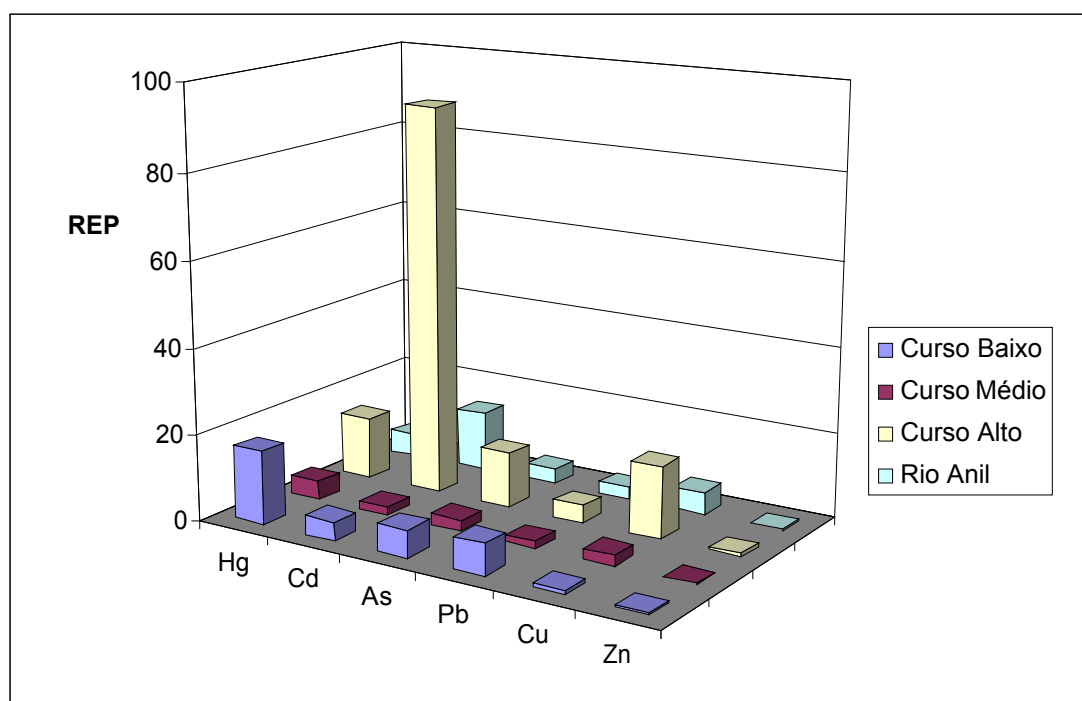


Figura 42 Riscos Ecológicos Potenciais ao longo do Rio Anil.

Comparando-se os GCs e os IREPs ao longo do Rio Anil (Tabela 34), notamos que o curso alto está mais contaminado e apresenta um risco ecológico potencial para os elementos analisados, seguidos do baixo e por fim o médio.

Tabela 34 Valores do Grau de Contaminação (GC) e do Índice de Risco Ecológico Potencial ao longo do Rio Anil.

Áreas	GC	IREP
Curso Baixo	13,8	36,8
Curso Médio	8,1	13,6
Curso Alto	140,6	140,7
Rio Anil	20,1	31,4

Portanto, em relação à contaminação por metais pesados, a região do curso alto do Rio Anil deve ser priorizada, em relação aos demais, com destaque para ao cádmio, o que reforça boa parte das observações feitas anteriormente em relação a caracterização das fontes de efluentes domésticos.

Um estudo mais aprofundado, sobretudo em relação aos níveis de base local para os metais traço e ao estado trófico dos pontos analisados, se faz necessário para reforçar esta afirmação.

Se compararmos o GC e IREP no Rio Anil, obtido através das médias das concentrações ao longo do rio, com outras áreas costeiras no Mar Báltico e no Estado do Rio de Janeiro (Tabela 35), notamos que apesar de o Rio Anil apresentar um IREP menor que a maioria das áreas avaliadas, este rio apresenta um elevado Grau de Contaminação, sendo o segundo maior entre estas áreas.

Tabela 35 Valores do Grau de Contaminação (GC) e do Índice de Risco Ecológico Potencial em áreas costeiras no Mar Báltico, no estado do Rio de Janeiro e no Estuário do Rio Anil.

Áreas	GC	IREP
Husum IV ¹	17	192
Kallriga I ¹	10	42
Tjarnokilen ¹	8	41
Langokilen ¹	8	30
Starekilen ¹	7	38
Baía de Guanabara ¹	28	36
Laguna de Maricá ²	3,7	2,7
Laguna de Guarapina ²	3,0	5,8
Laguna de Itaipu ²	3,0	13,9
Laguna de Piratininga ²	6,15	3,5
Estuário do Rio Anil	20,1	31,4

Fontes: 1 – CAMPOS (2000); 2 – FONSECA (2002)

Este fato sugere que a bacia do Anil pode ter uma quantidade considerável de metais, porém estes não representam um grande risco ecológico, provavelmente por não estarem potencialmente biodisponíveis, ou mesmo pelo fato de os elementos mais representativos não corresponderem aos mais tóxicos, com exceção para o Cd no curso alto.

5.4.5 Índice de Qualidade de Vida (IQV)

Diferentemente dos índices empregados até o momento neste trabalho, o Índice de Qualidade de Vida (IQV) leva em consideração diversos aspectos sócio-econômicos em sua equação, conforme descrito na metodologia.

Para efeito de comparação entre os valores do IQV calculados para os setores censitários da bacia ambiental do Anil, adotamos a classificação da qualidade de vida estipulada por AZEVEDO *et al.* (2005a) conforme Tabela 36.

Tabela 36 Classificação da qualidade de vida de acordo com o IQV, segundo AZEVEDO *et al.* (2005a).

Classificação da Qualidade de Vida	Faixa de valores do IQV
Péssima	0 – 0,1999
Ruim	0,20 – 0,3999
Aceitável	0,40 – 0,5999
Boa	0,60 – 0,7999
Ótima	0,80 – 1,0

Desta forma, a qualidade de vida na bacia ambiental do Rio Anil está distribuída espacialmente de acordo com a Figura 29, logo abaixo.

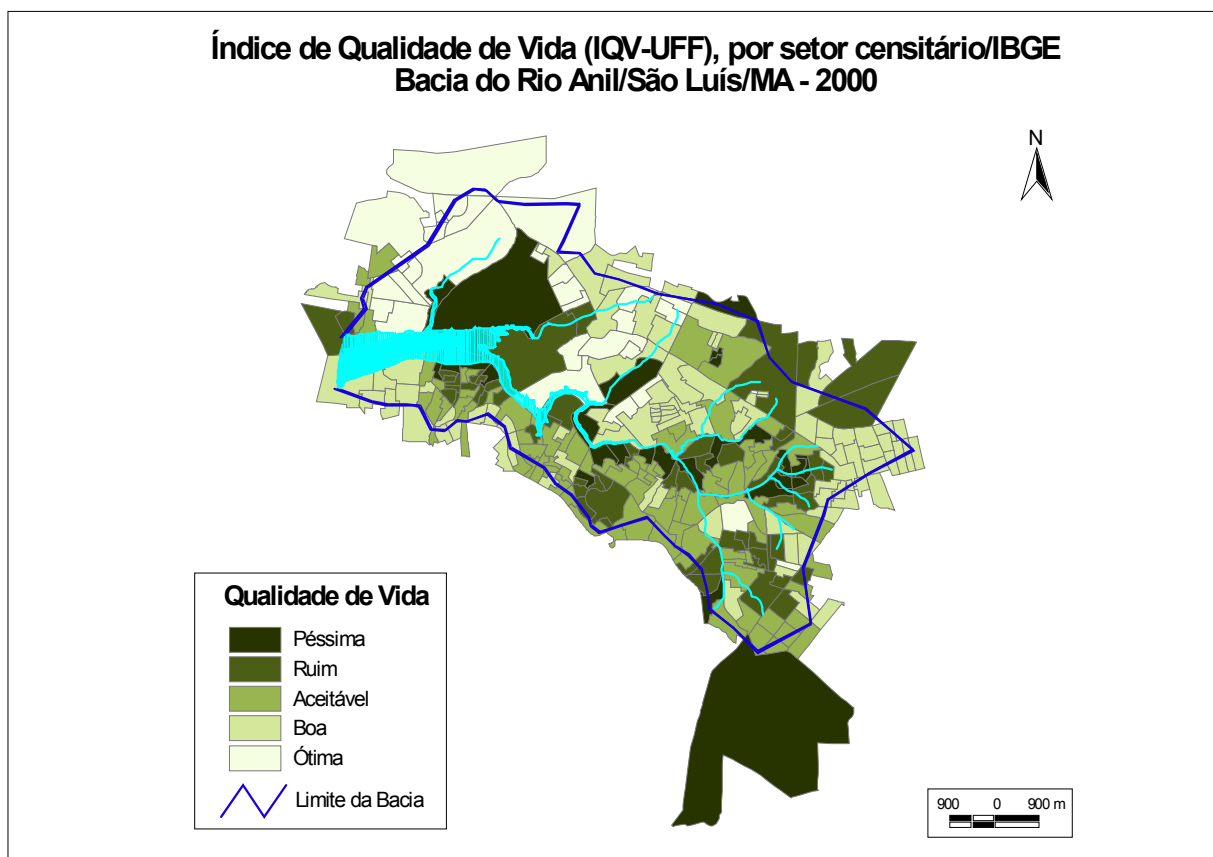


Figura 43 Qualidade de vida ao longo da bacia do Rio Anil.

Estes resultados demonstram que a qualidade de vida é pior nos bairros localizados nas margens do Anil, e na região do Tabuleiro Central junto as nascentes, onde se concentram as palafitas e ocupações irregulares, respectivamente, ressaltando que estas áreas são consideradas como Áreas de Preservação Permanente, definidas no Código Florestal.

Por outro lado, podemos observar que os bairros com melhores condições de vida, chamados de “bairros nobres” estão concentrados na porção noroeste da bacia, correspondendo aos bairros do São Francisco e Renascença I, II e III.

Estes resultados estão de acordo com todas as observações feitas anteriormente em relação a maior criticidade das porções relativas ao Curso Alto, e a margem esquerda do rio principal a montante do Centro Histórico (próximo à foz), sobretudo se levarmos em consideração a densidade demográfica, apresentada anteriormente na Figura 22.

Ao analisarmos o percentual dos setores censitários da bacia em relação à qualidade de vida (Tabela 37), podemos perceber que aproximadamente 70% dos setores estão entre os classificados como Ótimo, Bom e Aceitável.

Tabela 37 Percentual da qualidade de vida por setores censitários na bacia ambiental do Rio Anil.

Qualidade de Vida	Percentual de Setores
Ótima	10,7
Boa	30,6
Aceitável	28,9
Ruim	20,3
Péssima	9,6

Entretanto, apesar de apenas 30% dos setores serem considerados como tendo uma qualidade de vida Ruim e Péssima, estes se encontram justamente nas áreas da bacia ambiental mais densamente povoadas.

5.5 INDICADORES DE IMPACTOS

Os impactos podem ser evidenciados através de alterações nas atividades humanas ao longo da bacia do Rio Anil, em decorrência do condicionamento ambiental provocado pelas pressões investigadas. Estas alterações são capazes de gerar custos e benefícios para a população diretamente afetada

5.5.1 Análise Custo-Benefício (ACB)

Os custos associados aos impactos decorrentes do incremento na ocupação da bacia do Rio Anil podem ser avaliados através de oportunidades perdidas, como por exemplo:

- Redução na disponibilidade hídrica para consumo
- Redução dos recursos pesqueiros
- Redução da navegabilidade, em decorrência do assoreamento
- Redução de áreas para lazer
- Redução do turismo

Além do aumento direto de custos com saúde pública, entre muitos outros fatores que representem perdas econômicas decorrentes da degradação ambiental na bacia.

Por outro lado, benefícios podem ser observados, em função do processo de ocupação da bacia do anil, como por exemplo:

- Aumento nos preços hedônicos (valor de imóveis)
- Melhorias no acesso a infra-estrutura (pavimentação, água, luz, esgoto, transporte)
- Redução no tempo de viagem, ou proximidade das oportunidades de trabalho

Como podemos observar, os custos e benefícios citados, além de outros possíveis, são afetados diretamente pela disponibilidade (qualidade e quantidade) ambiental. Neste sentido, a melhoria desta disponibilidade tende a reduzir os custos e maximizar os benefícios.

Entretanto, via de regra, os benefícios enumerados são muito mais dependentes de políticas públicas governamentais do que da qualidade ambiental, propriamente dita.

Procuramos fazer um exercício no sentido de mensurar os impactos na bacia do Rio Anil, tomando-se como base a qualidade das águas do Anil relativo aos aspectos sanitários, utilizando a metodologia proposta por BIDONE *et al* (2002), descrita no capítulo Materiais e Métodos. Para tanto buscamos estimar os custos necessários para a melhoria da qualidade das águas do Anil, na suposição de que direta ou indiretamente afetem o bem-estar da população residente na bacia.

Segundo comunicação pessoal, o Prof. Arthur Ribeiro Bastos, engenheiro civil fundador da Companhia de Água e Esgoto do Estado do Maranhão (CAEMA), descreve que no início da década de 90 foi idealizado e concebido, pelo Governo do Estado, um projeto básico que previa a construção de três estações de tratamento de esgoto ao longo da bacia do Rio Anil.

Uma estação seria construída no bairro da Alemanha que receberia o esgoto coletado dos bairros da margem esquerda do rio até a Camboa e de parte dos bairros do Tabuleiro Central.

Outra estação seria construída no bairro dos Vinhais e receberia esgoto dos bairros dos Vinhais, Bequimão, Angelim, COHAMA, COHAJOLI, COHASERMA, COHAJAP localizados na porção norte da margem direita, além do Olho D'água que pertence à outra bacia hidrográfica.

Por fim, uma estação no bairro do Jaracati que receberia esgoto dos bairros do São Francisco, Ponta D'areia, Renascença I e II, Calhau, Alto do Calhau, os chamados "bairros nobres" correspondentes à porção noroeste da margem direita, e mais alguns bairros da região das praias.

O tipo de tratamento adotado seria o anaeróbico de fluxo ascendente, com tecnologia sofisticada. O resultado desta estação é o tratamento bacteriológico de 100%, com o uso de ozônio e redução em até 85% da carga de sólidos. Com a tecnologia adotada, o lodo gerado pode ser usado na agricultura e o gás metano, produzido pelo processo anaeróbico, poderia ser aproveitado, em princípio para mover a frota de veículos da própria CAEMA.

Das três estações concebidas apenas a estação do Jaracati, foi construída, com financiamento do BID, no valor de R\$ 7.500.000,00 (preço em 2001). As obras foram finalizadas no ano de 2003. Apesar de construída, esta estação nunca entrou em operação, devido a problemas com a rede coletora de esgotos.

Devemos destacar que conforme os resultados apresentados neste trabalho esta porção da bacia é a que apresenta melhores condições sanitárias, ambientais e sócio-econômicas, sendo talvez, a de menor prioridade em relação às outras estações propostas.

Somando-se os custos de construção das estações e dos interceptores, faltaria em torno de R\$ 100.000.000,00 para as três estações estarem funcionando normalmente, o que segundo o engenheiro, seria capaz de levar as águas do Anil ao padrão CONAMA 357/05.

Entretanto, não estão incluídos custos adicionais associados ao melhoramento de moradias (sistema hidráulico e sanitário), rede coletora, programas de educação ambiental, manutenção, entre outros.

Por outro lado, para tornar possível que as águas alcançassem os níveis próximos dos naturais, seria necessário a remoção das populações que hoje moram nas palafitas e nas ocupações irregulares na região das nascentes, a construção de avenidas marginais estabelecendo limites físicos ao avanço em

direção a calha do rio, aquisição de equipamentos de manutenção e limpeza, entre outros. Arthur Bastos estima que custo total para alcançar esta meta ficaria em torno de no mínimo 1,5 bilhões de reais.

Portanto, segundo a metodologia proposta por BIDONE *et al.* (2002), no caso da qualidade das águas do Rio Anil o Custo das Medidas de Proteção (CPM) para se atingir um Padrão Físico de Sustentabilidade (PFS) seria de aproximadamente 100 milhões de reais (Figura 30). Entretanto, para se atingir os Padrões Físicos (PF) próximos aos Níveis de Base Natural (NBN) seria necessário um investimento da ordem de 1,5 bilhões de reais, a ser pago por toda a sociedade, sem a garantia de obtenção de êxito.

É importante considerar que no Brasil, as aplicações de recursos em programas de recuperação de ecossistemas degradados, em geral envolvem inadequações técnicas, administrativas, desvios, etc.

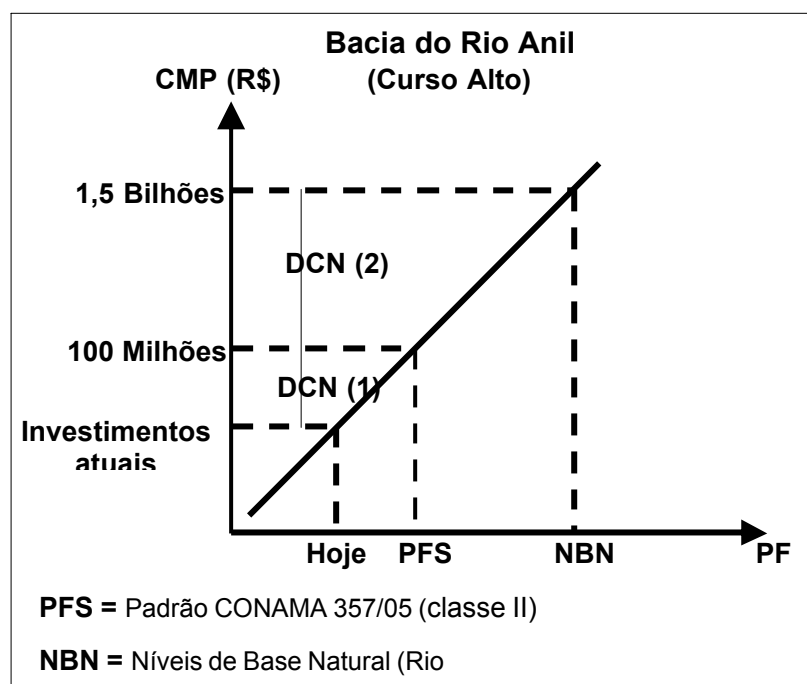


Figura 44 Modelo de Análise Custo Benefício (ACB), para o caso das águas do Rio Anil (adaptado de BIDONE, et al., 2002).

A diferença entre os custos necessários para levar as águas do Anil aos níveis naturais, e os valores dos investimentos atuais pode ser considerado como uma Depreciação do Capital Natural (BIDONE e LACERDA, 2002), e

este passivo ambiental, da ordem de bilhões de reais atuais, provavelmente será deixado na “conta” das futuras gerações.

O modelo poderia incluir, entre outros, questões relacionadas ao abastecimento de águas. As águas do Anil por muito tempo abasteceram uma parcela significativa dos moradores desta bacia. Entretanto, a partir da década de 80, passou-se a captar águas na bacia do Rio Itapecuru, fora da Ilha de São Luís, o que tem tornado muito oneroso os investimentos para a captação e manutenção do sistema adutor. Além disso, atualmente este sistema está em fase de duplicação com o projeto chamado ITALUÍS II, representando mais custos para a sociedade.

Considerando-se apenas a vazão de 0,22 m³/s calculada para o Curso Alto da bacia do Anil, que equivale a aproximadamente 20.000 m³/dia, seria possível abastecer cerca de 20.000 residências no Curso Alto.

Entre diversos outros aspectos que poderíamos considerar, está a perda de áreas para lazer da população. Em São Luís, é muito comum escutarmos histórias dos mais velhos, que faziam piqueniques nas áreas verdes, sobretudo na região correspondente ao Curso Alto, onde se passavam dias agradáveis, sendo possível banhar e nadar em suas águas límpidas. Atualmente estas áreas estão totalmente descaracterizadas por ocupações desordenadas e as águas onde outrora se banhavam hoje não passam de valas com esgotos a céu aberto. Portanto, para as presentes gerações de filhos e netos dos que podiam desfrutar destes serviços ambientais, resta viajar para localidades do interior, fora da ilha de São Luís, sendo necessário desembolsar consideráveis recursos da renda familiar para gastos com transporte e hospedagens, entre outros. Esta é um claro exemplo de passivo ambiental deixado por gerações anteriores para as presentes gerações.

Por fim, deve-se considerar que os custos de recuperação do meio ambiente via de regra são muito maiores que aqueles que deveriam ser gastos com a prevenção sendo, em geral, 10 a 50 vezes maiores segundo WORLD BANK (1992) *apud* BIDONE e MORALES (2004). Isso pode nos dar uma idéia das oportunidades econômicas perdidas, sobre tudo em se tratando de áreas carentes em investimentos na esfera social.

5.6 INDICADORES DE RESPOSTAS

Após a avaliação dos indicadores sócio-ambientais propostos nesta Tese, com destaque para os baixos valores de IQV para uma parcela significativa da população residente na bacia do Rio Anil, pode-se constatar a insuficiência de uma efetiva implantação de políticas públicas na área de estudo.

A implantação do projeto relacionados à construção de três estações de tratamento de esgoto ao longo da bacia do Rio Anil, poderia contribuir de maneira significativa para a melhoria da qualidade das águas do Anil. Entretanto, das três projetadas, foi construída apenas aquela localizada no setor que reúne as melhores condições sócio-ambientais, demonstrando a carência de planejamentos, com estudos capazes de estabelecer prioridades, ou hierarquizar áreas, por parte dos gestores públicos locais.

As ações no sentido de conter a ocupação desordenada na bacia, sobretudo na Área de Preservação Permanente, que são fundamentais para o equilíbrio da bacia, além de serem protegidas por Lei Federal, tem se mostrado insuficientes. Vale ressaltar que o Município de São Luís não possui um Código Municipal de Meio Ambiente, o que dificulta em muito as ações locais.

Existe uma proposta por parte da sociedade organizada para a criação de uma Unidade de Conservação (UC) na bacia do Anil, incluindo as áreas de várzeas ainda existentes na região próximo às nascentes, e os manguezais. Esta proposta deve estar acompanhada de um programa de desocupação da região das nascentes e recomposição das matas de várzeas, mata ciliar e áreas de manguezais.

6 CONCLUSÕES

Os indicadores adotados neste estudo apresentaram resultados satisfatórios no sentido de auxiliar o processo de tomada de decisão, uma vez que foi possível estabelecer prioridade em relação a áreas e natureza dos prováveis poluentes.

De uma maneira geral, constatou-se que a poluição por esgoto doméstico deve ser priorizada no processo de planejamento e gestão, em relação aos elementos traço, embora alguns elementos traço, como o cobre, façam parte da composição deste efluente.

A região do Curso Alto, localizada no Tabuleiro Central, deve ser considerada como prioritária em relação às demais por reunir piores condições sanitárias, com maiores fluxos específicos de nutrientes, maiores valores de IREP, pior qualidade de vida, além de estar localizada próximo às nascentes do Anil, sendo Áreas de Preservação Permanente, que deveriam ser legalmente protegidas.

O emprego de esteróides em estudos deste tipo pode representar uma importante ferramenta na caracterização da poluição de origem humana. Neste sentido, para se tirar maiores conclusões no caso do Anil, seria necessário um estudo mais aprofundado, incluindo análise destes compostos com maior resolução de profundidades nos testemunhos, e áreas como o Curso Alto.

O estudo de elementos traço ao longo dos perfis de sedimento pode ser considerado como importante ferramenta alternativa para estimativas da taxa de sedimentação, sobretudo quando se conhece o histórico de ocupação da área estudada, sendo esta abordagem uma inovação deste trabalho.

A caracterização das fontes poluidoras, usando-se informações por setores censitários do IBGE, empregados neste trabalho, demonstrou ser uma poderosa ferramenta na gestão de bacias hidrográficas urbanas, além servir como instrumento de monitoramento dos parâmetros avaliados a partir dos próximos censos, sendo também uma inovação apresentada neste trabalho.

Os resultados apresentados neste trabalho reforçam a necessidade de se proteger as poucas áreas naturais ainda existentes na bacia do Anil, em sua

maioria protegidas por Lei, uma vez que a ocupação desta bacia parece estar bem próxima ao seu ponto de saturação. A criação de uma Unidade de Conservação na bacia do Anil, associado à programas de recomposição das matas ciliares e manguezais, pode representar um passo importante neste sentido.

Os custos monetários para a recuperação da qualidade das águas do Rio Anil, parecem ser muito altos, sobretudo se levarmos em consideração que dificilmente os investimentos permitirão a restauração aos níveis de base original.

7 REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, E. H. **Aplicação do sensoriamento remoto e da geoestatística no estudo de variáveis físico-químicas e biológicas nas águas do estuário do rio Anil, São Luís, Maranhão-Brasil**. São Luís, 2004. 53f. Monografia (Graduação em Ciências Aquáticas) Departamento de Oceanografia e Limnologia. Universidade Federal do Maranhão.

ALMEIDA, C.A. **A qualidade de vida no Estado do Rio de Janeiro**. Niterói: EDUFF, 1997. 127p.

ATAÍDE, J. C. **Degradação da Bacia do Rio Anil**. São Luís, 1999. 71f. Monografia (Graduação em Geografia). Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maranhão.

AZEVEDO, J.; BIDONE, E.D. ; FERNANDES, M.C. ; CARIDE, C.J.F. Avaliação do Índice de Qualidade de Vida, através da análise de caso da bacia ambiental do Rio Imboassú, Município de São Gonçalo – RJ. **Revista da Pós-graduação em Geografia**. Rio de Janeiro, UFRJ/PPGG-IGEO, 2005a. (no prelo)

AZEVEDO, J., BIDONE, E.D., FERNANDES, M. C., CARIDE, C. J.F. Proposta metodológica para análise de dados socioeconômicos e ambientais para planejamento e definição de políticas públicas. **Cadernos EBAPE.BR / Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas**. Rio de Janeiro, 2005b. (em submissão)

BELFORT, J. F. **A verticalização na Cidade de São Luís – O processo de crescimento vertical nos bairros do Bequimão e Maranhão Novo**. São Luís, 1998. 88f. Monografia (Graduação em Geografia) Departamento de Geografia, Universidade Federal do Maranhão.

BERNER, R. **Principles of Chemical Sedimentology**. [s.l.] : McGraw-Hill, Inc., 1971. 257p.

BIDONE, E.D.; MORALES, P.R.D. **Desenvolvimento Sustentável e Engenharia - E nfoque Operacional**. Rio de Janeiro, Fundação Ricardo Franco, 2004. 247 p.

BIDONE. E. D.; LACERDA, L. D. The link between socio-economic and natural indicators into a driver-pressure-state-impact-response framework case stud: Guanabara Bay basin, Rio de Janeiro, Brazil. *In: LOICZ Report & studies, No. 21 – South American Basin*. 2002. 216 p

BIDONE, E.D.; MADDOCK, J.E.L.; CASTILHOS, Z.C. A Practical Method to Internalize Environmental Impacts into Cost-Benefit Analysis. **Environmental Practice**, v.4, n.1, p.31-35. 2002.

BITTON, C. **Ferramentas estatísticas e modelo de simulação dos processos ambientais das lagoas costeiras de Piratininga e Guarapina.** Niterói, 2000. 233p. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal Fluminense.

BOWEN, R. E.; RILEY, C. Socio-economic indicators and integrated coastal management - Environmental, Coastal and Ocean Sciences (ECOS), **Ocean & Coastal Management**. v.46, p. 299 –312, 2003.

CAMPOS, A. N. **Ensaio de adaptação e utilização de um “Índice de Risco Ecológico Potencial” para controle da contaminação por metais pesados em ambiente costeiro tropical: Baía de Guanabara, RJ – Brasil.** Niterói, 2000. 157f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental) Departamento de Geoquímica. Universidade Federal Fluminense.

CANADIAN ENVIRONMENTAL QUALITY GUIDELINES **Protocol for derivation of Canadian sediment quality guidelines for the protections of aquatic life.** Ottawa: Canadian Council of Ministers of the Environment 1995 – CCME EPC 98E. 1995. 35p.

CANFIELD, D.E. Factors influencing organic carbon preservation in marine sediments. **Chemical Geology**, v.114, p. 315-329, 1994.

CARREIRA, R., WAGENER, A.L.R., FILEMAN, T. e READMAN, J. Distribuição de coprostanol (5b(H)-coleston-3b-ol) em sedimentos superficiais da Baía de Guanabara: indicador da poluição recente por esgotos domésticos. **Química Nova**, v.24, n.1, p. 37-42, 2001.

CAVE, R.R.; LEDOUX, L.; TURNER, K.; JICKELLS, T.; J. E. ANDREWS, J.E.; DAVIES, H. The Humber catchment and its coastal area: from UK to European Perspectives. **The Science of the Total Environment**. V. 314-316, 2003. p. 31-52.

COSTA, C. A. C. **Aplicação do Sensoriamento remoto para avaliar as mudanças ocorridas na várzea da bacia do Rio Anil na Ilha de São Luís – MA.** São Luís, 2001. 21f. Monografia (Graduação em Biologia) Departamento de Biologia, Universidade Federal do Maranhão.

COSTA, F. P. **O processo de invasão em São Luís – Maranhão: o caso da Vila Izabel Cafeteira.** São Luís, 1995. 72f. Monografia (Graduação em Geografia) Departamento de Geografia, Universidade Federal do Maranhão.

CPRM. **PROGRAMA LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS BÁSICOS DO BRASIL. São Luís. Folha SA.23-Z-A. Cururupu. Folha AS.23-X-C. Estado do Maranhão.** In: Neves, T. L., Araújo, C. C., Camozzato, E., Ramgrad, G. E. – Escala 1:250.000. – Brasília : CPRM, 1994. 114 p.

CUNHA, G. **Maranhão 1908.** Rio de Janeiro : Spala Editora, 1987.

D'ABEVILLE, C. **História da missão dos padres capuccinhos – Na Ilha do Maranhão e sua circunvizinhanças**. São Paulo, SP: Ed. Siciliano, 2002. 363p. Coleção Maranhão Sempre (publicado originalmente em 1614).

DIAS, T.R. **Influência da ocupação e uso do solo sobre a qualidade dos recursos hídricos na área da bacia hidrográfica do Rio Anil**. São Luís, 2005. 66 f Monografia (Graduação em Ciências Aquáticas) – Departamento de Oceanografia e Limnologia. Universidade Federal do Maranhão.

DGA – **Proposta para um sistema de indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. Edição Direcção Geral do Ambiente. Lisboa. 2000. 225 p.

EEA (European Environment Agency) **Europe s Environment: the second assessment**. Environmental Assessment Report, 2. Copenhagen : EEA, 1998.

ELLIOT, M. - Biological pollutants and biological pollution - an increasing cause for concern. **Marine Pollution Bulletin**. 2003, v.46, p. 275 –280, 2003.

EPA, (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). **Method 821/R-91-100**, Washington, D.C : Office of Water, 1991.

FEIJÓ, C. A. *et al.* **Contabilidade Social: o novo sistema de contas nacionais do Brasil**. Rio de Janeiro: Ed. CAMPUS, 2001. 356 p

FEITOSA, A. C. **Evolução morfogenética do litoral da Ilha do Maranhão**. Rio Claro, 1989. 196f. Dissertação (Mestrado em Geografia) Departamento de Geografia. Universidade do Estado de São Paulo.

FERNANDES, M.B., SICRE, M.A., CARDOSO, J.N.e MACEDO, S.J. Sedimentary 4-desmethyl sterols and n-alkanols in a eutrophic urban estuary, Capibaribe River, Brazil. **Sci. Total Environ.**, v.231, p.1-16. 1999.

FIQUENE, L. A. M. **Problema habitacional do Maranhão**. São Luís, MA: SUPLAN – Universidade Federal do Maranhão, 1971. 76p.

FONSECA, M. C. **Avaliação de Índice de Risco Ecológico Potencial para a contaminação por metais pesados, caso das lagoas do leste fluminense**. Niterói, 2002. 116f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental) Departamento de Geoquímica. Universidade Federal Fluminense.

FRIEND, A.; RAPPORT, D. **Towards a Comprehensive Framework for Environment Statistics: A Stress-Response Approach**. Ottawa: Statistics Canada catalogue 11-510, 1979. 90p.

GIUPPONI, C.; MYSIAK, J.; FASSIO, A.; COGAN, V. MULINO-DSS a computer tool for sustainable use of water resources at the catchment scale. **Mathematics and Computers in Simulation**, v. 64, p. 13–24, 2004.

GOMES, C. M. T. **Percepção sócio-ambiental dos conjuntos habitacionais da COHAB-Anil em São Luís – MA**. São Luís, 1997. 56p. Monografia

(Graduação em Geografia) Departamento de Geografia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís.

GRIMALT, J.O., FERNANDEZ, P., BAYONA, J.M. & ALBAIGES, J. Assessment of fecal sterols and ketones as indicators of urban sewage inputs to coastal waters. **Environ. Sci. Technol.**, v.24, p.357-363. 1990.

GUEVARA-RIBA, A.; SAHUQUILLO, A.; RUBIO, R.; RAURET, G. Assessment of metal mobility in dredged harbour sediments from Barcelona, Spain. **Science of the Total Environment**, v. 321, p. 241-255, 2004.

HAKANSON, L. An Ecological risk index pollution control. A sedimentological approach. **Water Research**. v.4, p.975-1001, 1980.

HAKANSON, L.; JANSSON, M. **Principles of Lake Sedimentology**. Berlin : Spring-Verlag, 1983. 316p.

HAKANSON, L. Metal monitoring in coastal environments. In: SEELIGER, U. LACERDA, L.D., PATCHINEELAM, S.R. (Eds). **Metals in coastal of Latin America**. Berlin: Spring-Verlag, 1988. 316p.

HATCHER, P. G.; MCGILLIVARY, P. A. Sewage contamination in the New York Bight. Coprostanol as an indicator. **Environ. Sci. Technol.**, v. 13, n. 10, p. 1225 – 1229, 1979.

HATJE, V., BIDONE, E.D. and MADDOCK, J.L. Estimation of the natural and anthropogenic components of heavy metal fluxes in fresh water Sinos River, Rio Grande do Sul State, South Brazil. **Environmental Technology**, v.19, p.483-487, 1998.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Anuário estatístico do Brasil**. Rio de Janeiro : IBGE, 2001. 519p.

_____. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**: Brasil 2002. Rio de Janeiro: IBGE, 2002a. 191P.

_____. **ESTATCART**: Sistema de recuperação de informações georeferenciadas. Versão 1.0. Rio de Janeiro: IBGE, 2002b. CD-ROM.

INGALL, E.D. e CAPPELLEN, P.V. Relation between sedimentation rate and burial of organic phosphorus and organic carbon in marine sediments. **Geochim. Cosmochim. Acta**, v.54, p.371-386, 1990.

ISO 11466:1995 (E). **SOIL QUALITY - Extraction of trace elements soluble in aqua regia**. International Organization for Standardization, Genebra, 1995.

ITAPARY, J. **A Falência do Ilusório: Memória da Companhia de Fiação e Tecidos do Rio Anil**. São Luís : Alumar. 1995.

JORGE, M.M. (Org.) **Álbum do Maranhão**. São Luís : [s.n.], 1950. 63p.

LABMET/UEMA – Laboratório de Meteorologia da Universidade Estadual do Maranhão. **Média Climatológica – Período (1961-1990)**. São Luís, 2001. (informação verbal).

LABOHIDRO. **Estudo da poluição química e biológica na Ilha de São Luís – MA: rios Anil e Bacanga**. Relatório Final. São Luís: LABOHIDRO-UFMA, 1983. 47p. (Relatório Técnico)

LABOHIDRO. **Subsídios para o uso econômico-sustentável da Bacia do Rio Anil, Ilha de São Luís – MA**. Relatório Final. LABOHIDRO – UFMA, São Luís, 2001. 28p. (Relatório Técnico)

LACERDA, L.D.; KREMER, H.H.; KJERFVE, B.; SOLOMONS, W.; MARSHALL CROSSLAND, J.I. e CROSSLAND, C.J. **SOUTH AMERICAN BASINS - LOICZ Global Change Assessment and Synthesis of River Catchment – Coastal Sea Interaction and Human Dimensions..** Netherlands: LOICZ International Project Office, 212p. 2002. (LOICZ Reports and Studies, No. 21).

LAGO, A. B. P. **Estatística histórico-geográfica da província do Maranhão** (publicado originalmente em 1822). Coleção Maranhão Sempre. Ed. Siciliano, São Paulo, 2001. 123p.

LIAO, P. D. L.; BEZERRA, J. M.; BASTOS, O. C.; BARRETO, G. M. C. Análise dos indicadores bacterianos de poluição dos Rios Anil e Bacanga, na Ilha de São Luís, Estado do Maranhão, Brasil. **Revista de saúde Pública**. v. 18, p:278-87, 1984.

LOIOLA, R.S. **Complexidade na Ocupação do solo urbano de São Luís: o bairro do Jaracatí**. São Luís, 2002. 61f. Monografia (Graduação em Geografia). Departamento de Geografia. Universidade Federal do Maranhão.

MACÊDO, L.A.A. e ROCHA, A.A. Lançamentos de esgotos em manguezais: considerações sobre aspectos ecológicos sanitários da Ilha de São Luís. **Rev. DAE**. v. 45, n. 140, Dez., p. 67-72, 1995.

McCALLEY, D.V.; COOKE, M.; NICLESS, G. Effect of Sewage Treatment on Fecal Sterols. **Water Research**, v. 15, n. 8, p.1019-1025. 1981.

MALDONADO, C., VENTEKATESAN, I.M., PHILLIPS, C.R. e BAYONA, J.M. Distribution of Trialkylamines and Coprostanol in San Pedro Shelf sediments adjacent to a sewage outfall. **Marine Pollution Bulletin**, v. 40, n.8, p.680-687, 2000.

MEIRELES, M. M. **História do Maranhão**. Coleção Maranhão Sempre. Ed. Siciliano, São Paulo, 2001. 392p.

MEYERS, P.A.; ISHIWATARI, R. Lacustrine organic geochemistry-an overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediment. **Organic Geochem.**, v. 20; n. 7, p. 867-900, 1993.

MEYERS, P.A. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. **Chemical Geology**, v.144, p.289-302, 1994.

MYSIAK, J.; GIUPPONI, C.; ROSATO, P. Towards the development of a decision support system for water resource management. **Environmental Modelling & Software**. v.20, p. 203–214, 2005.

MORAES, J. **Guia de São Luís do Maranhão**. 2ª Ed. São Luís, MA: Editora Legenda, 1989. 306p.

MUDGE, S. M.; LINTERN, D. G. Comparison of sterol biomarkers for sewage with other measures in Victoria Harbour, B. C., Canada. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.48, p. 27–38, 1999.

MUDGE, S.M. e BEBIANNO, M.J.,. Sewage contamination following an accidental spillage in the Ria Formosa, Portugal. **Marine Pollution Bulletin**, v.34, n.3, p. 163-170, 1997.

NEWTON, A. Evaluation of eutrophication in the Ria Formosa coastal lagoon, Portugal. **Continental Shelf Research**. V. 23, p.1945–1961, 2003.

NINA, M. A. G. **A ocupação das margens do Rio Anil pelos palafitados no bairro da Alemanha: uma abordagem sócio-ambiental**. São Luís, 1999. 61f. Monografia (Graduação em Geografia). Departamento de Geografia. Universidade Federal do Maranhão.

NOBRE, M.; AMAZONAS, M.C. **Desenvolvimento sustentável: a institucionalização de um conceito**. Brasília. Edições do IBAMA, 2002. 368p

OECD (Organization for Economic Co-operation and Development). **Environmental indicators: towards sustainable development**. Paris : OECD Publications.1998. 130 p.

OECD Organization for Economic Co-operation and Development). **Draft synthesis report: group on state of the environment workshops on indicators for use in environmental performance reviews**. Paris : OECD, 1993. 176 p. Doc ENV/EPOC/SE (96).

PEREIRA NETO, F. P. **Avaliação da degradação da Cobertura de manguezais da Ilha do Maranhão utilizando sensoriamento remoto**. São Luís, 2001. 30f. Monografia (Graduação em Biologia) Departamento de Biologia. Universidade Federal do Maranhão.

PINEIRO Jr., J. R. **Estrutura da comunidade de peixes do estuário do rio Anil, Ilha de São Luís – MA**. São Luís, 2003. 31f. Monografia (Graduação em Biologia). Departamento de Biologia. Universidade Federal do Maranhão.

PORTELA, F. R. **Caracterização e problemática ambiental dos rios Anil, Bacanga e Tibiri no Município de São Luís – MA**. São Luís, MA, 2002. 89p. Monografia (Graduação em Geografia). Departamento de Geografia. Universidade Federal do Maranhão.

QUÉMÉNEUR, M.; MARTY, Y. Sewage influence in a macrotidal estuary: fatty acids and sterol distributions. **Estuarine Coastal Shelf Sci.**, v.34, p.347-363, 1992.

RAMOS, R. J. S. **Estudo Sócio Ambiental na Área da Ocupação Santa Júlia no bairro da Vila Palmeira – São Luís – MA**. São Luís, 2001. 70f. Monografia (Graduação em Geografia). Departamento de História e Geografia. Universidade Estadual do Maranhão.

RAMOS, T.B., Utilização de indicadores na gestão e avaliação ambiental. *In: Gestão Ambiental e Desenvolvimento Sustentável – ENCONTRO NACIONAL DO COLÉGIO DE ENGENHARIA DO AMBIENTE (ENCEA), 2*, Universidade Católica Portuguesa. **Anais...**, Porto : [s.n.], 2002. 13 p.

REBELO-MOCHEL, F. Mangroves on São Luís island, Maranhão, Brazil. *In: Kjerfve, B., Lacerda, L.D. and Diop E.H.S. Mangrove ecosystem studies in Latin America and Africa*. UNESCO, Paris. 1997. p.145-153.

RIBEIRO Jr., J. R. **Formação do Espaço Urbano de São Luís**. 2^a ed. Revista, FUNC – São Luís. 150p. 2001.

RIO BRANCO, R.G. **O processo de ocupação irregular por populações de baixa renda no conjunto IPASE**. São Luís, 1998. 92f. Monografia (Graduação em Geografia). Departamento de Geografia. Universidade Federal do Maranhão.

ROGERS, S.I.; GREENAWAY, B.A. A UK perspective on the development of marine ecosystem indicators. **Marine Pollution Bulletin**, v.50, p. 9-19, 2004.

RUTKOWSKI, E. Bacia Ambiental: unidade de gestão das águas. Rio de Janeiro: **BIO**, v. 30, p. 32-34. 2004, Abr./Jun.

SANTOS, C. A. O. **Estudo Sócio-Econômico da Vila Jaracati**. São Luís, 1995. 50 f. Monografia (Graduação em Geografia). Departamento de Geografia. Universidade Federal do Maranhão.

SANTOS, E. S. **Análise do impacto de efluentes domésticos nas enseadas de Icarai e Jurujuba – esteróides como marcadores**. Niterói, 2001. 144f. Dissertação (Mestrado em Geociências). Departamento de Geoquímica. Universidade Federal Fluminense.

SCHEREN, P. A. G. M.; KROESE, C.; JANSEN, F.J.J.G.; HORDIJK, L.; PTASINSK, K.J. Integrated water pollution assessment of the Ebrie' Lagoon, Ivory Coast, West Africa. **Journal of Marine Systems**, v.44, 2004. p.1-17.

SEMA. **Macrozoneamento do Golfão Maranhense**. Governo do Estado do Maranhão, Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Gerenciamento Costeiro, 1998.

SERRA, C. L. M., CAVALCANTE, P. R. S., ALVES, L. M. C., NASCIMENTO, A. R., DINIZ, S. C. C. S. Avaliação de parâmetros físicos e químicos e pesquisa de *Vibrio parahaemolyticus* em águas do estuário do rio Anil (São Luís, Estado do Maranhão). **Acta Scientiarum**, v. 25, n. 2, p. 262-266, 2003.

SILVA, R. **Diagnóstico preliminar sobre o lixo no bairro Vila Palmeira em São Luís – MA**. São Luís, 1998a. 65f. Monografia (Graduação em Geografia). Departamento de Geografia. Universidade Estadual do Maranhão.

SILVA, Z. M. **Expansão e evolução urbana da cidade de São Luís – MA: o processo de verticalização nos bairros do Renascença I e II**. São Luís, 1998b. 59 f. Monografia (Graduação em Geografia). Departamento de Geografia. Universidade Federal do Maranhão.

TAKADA, H. e EGANHOUSE, R.P. Molecular markers of anthropogenic waste. **In: R.A. Meyers (Editor), Encyclopedia of Environmental Analysis and Remediation**. New York : John Wiley & Sons, Inc., 1998. p. 2883-2940

TROVÃO, J. R. **Transformações sociais e econômicas no espaço rural da Ilha do Maranhão**. Rio Claro, 1997. 405 f. Tese (Doutorado em Geografia) Departamento de Geografia. Universidade Estadual de São Paulo.

TUREKIAN , K. K.; WEDEPOHL, K. H. Distribution of the Elements in Some major Units of the Earth's Crust. **Bulletin of Geological Society. Am**, v.32, p.157-192, 1961.

TURNER. R.K; ADGER., W.N.; LORENZONI, I. **Towards Integrated Modeling and Analysis in Coastal Zones: Principles and Practices**. Netherlands: LOICZ International Project Office, 1998. 122p. (LOICZ Report & Studies, n.11).

VENKATESAN, M.I.; SANTIAGO, C.A. Sterols in ocean sediments: novel tracers to examine habitats of cetaceans, pinnipeds, penguins and humans. **Marine Biology**, v.102, p.431-437. 1989.

VENKATESAN, M.I.; KAPLAN, I.R. Sedimentary coprostanol as an index of sewage addition in Santa Monica Basin, southern California. **Environ. Sci. Technol.**, v. 24, p.208-214, 1990.

WCED. **Our common future.** World Commission on Environment and Development (Brundtland Commission); Oxford : Oxford University Press (ed.), 1987. 400p.

APÊNDICES

Souza, Bruno de Brito Gueiros.

Caracterização de Indicadores Sócio-Ambientais na Bacia do Rio Anil, São Luís – MA, como Subsídio à Análise Econômico-Ambiental do Processo de Desenvolvimento.

158f.:il.,30 cm.

Tese (Doutorado em Geociências - Geoquímica Ambiental) – Universidade Federal Fluminense, 2005.

1. Bacia do Rio Anil. 2. Indicadores sócio-econômicos. 3. Índice de Preservação Ambiental. 4. Índice de Risco Ecológico Potencial. 5. Índice de Qualidade de Vida.