

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE MESTRADO EM GEOGRAFIA

*Contribuição ao Estudo de Poluição Ambiental
por Metais Pesados:
a área do Banhado da Estiva dos Pregos*

Eliane dos Santos

Orientadora: Dra. Sandra de Arruda Furtado

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

*ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Utilização e Conservação
de Recursos Naturais*

Florianópolis, SC
Agosto, 1992

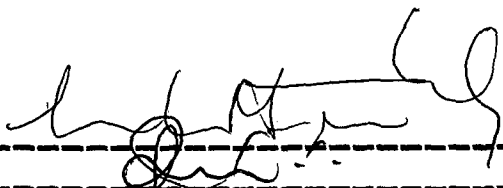
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE MESTRADO EM GEOGRAFIA**

***Contribuição ao Estudo de Poluição Ambiental
por Metais Pesados:
a área do Banhado da Estiva dos Pregos***

Eliane dos Santos

Dissertação submetida ao Curso de Mestrado em Geografia,
Área de Concentração: Utilização e Conservação de Recursos
Naturais, do Departamento de Geociências do Centro de
Ciências Humanas da UFSC, em cumprimento parcial dos
requisitos para obtenção do título de Mestre em Geografia.

APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA
Em / /19



Marta Basso

Orientador

**Florianópolis, SC
Agosto, 1992**

Agradecimentos

A prof. Dra. Sandra de Arruda Furtado pela forma profissional e amiga como orientou este trabalho e incentivo transmitido durante esta jornada.

Ao prof. Dr Roldão Roosevelt Urvêdo de Queiroz do Departamento de Química da UFSC pela valiosa orientação nos trabalhos de laboratório.

Ao Geólogo Edson pelo apoio incansável nas coletas de campo e estímulo constante no decorrer deste trabalho.

A Lucia pelo cuidado na elaboração dos mapas, a Eliete pelo apoio na digitação e montagem do texto, a Maria Virginia pelo zelo e dedicação na orientação das referências bibliográficas e correções.

Ao Geólogo Ricardo por sua contribuição à execução do tratamento estatístico dos dados e incansável ajuda na montagem deste trabalho.

Ao Geólogo Francisco pelo apoio prestado durante as viagens de campo na pessoa do Sr. Newton de Pieri, que gentilmente nos cedeu a lancha para coleta das amostras.

Ao Eng^o de Minas Djalma que tão solícitamente nos cedeu a impressora.

Ao Fundo Rotativo de Fomento à Pesquisa Científica e Tecnológica - FUNCITEC da Secretaria de Estado da Tecnologia Energia e Meio Ambiente pelo apoio financeiro.

Aos amigos e colegas do DNPM - Florianópolis que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, bem como pelo apoio financeiro para a sua edição final.

Aos amigos e colegas do DNPM - Brasília pelo apoio financeiro à realização das análises químicas.

A Amália por sua amizade e "apoio logístico" para que este trabalho pudesse ser concluído.

Ao Gabinete do Deputado Julio Garcia que prontamente nos atendeu sempre que solicitado.

A minha família, que apesar de distante, esteve sempre presente nas horas mais necessárias.

A minha filha Aline Rachel pela paciência que teve ao longo de todos os finais de semana que não pudemos compartilhar.

ÍNDICE

índice de Figuras.....	i
índice de Tabelas.....	ii
índice de Fotografias.....	iii
Anexos.....	v
Resumo.....	vi
Abstract.....	vii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO SÓCIO ECONÔMICO	8
3. MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1. Preparo e Análise das Amostras	24
4. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO	27
4.1. Cristalino	27
4.2. Planície Costeira	31
4.3. Clima e Hidrografia	41
5. CARACTERIZAÇÃO DAS FONTES DE POLUIÇÃO E SEUS EFLUENTES	53
5.1. Depósito de Rejeitos Carbonosos do Banhado da Estiva dos Pregos	54
5.2. Complexo Termelétrico Jorge Lacerda	61
5.2.1. Arraste Hidráulico e Disposição das Cinzas	63
5.2.2. Drenagem das Pilhas de Carvão	66
5.2.3. Sistema de Refrigeração	67
5.2.4. Sistema de Tratamento de Água	68
5.2.5. Outros Efluentes	68
5.3. Lavador de Capivari	69
5.4. Entrepasto de Carvão	71
5.5. Minerações de Carvão a Montante da Área	71
6. ELEMENTOS QUÍMICOS - AÇÃO NOS ECOSSISTEMAS	75
6.1. Caracterização do Carvão	76
6.2. Toxicidade dos Elementos Químicos	80

6.3	Importância dos Sedimentos na Mobilização dos Elementos Químicos	83
7.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	87
7.1.	Análise dos Mapas de Isotopos	87
7.1.1.	Ferro	89
7.1.2.	Níquel	91
7.1.3.	Manganês	93
7.1.4.	Cobre	95
7.1.5.	Chumbo	97
7.1.6.	Cobalto	99
7.1.7.	Zinco	101
7.1.8.	Cadmio	103
7.1.9.	Cromo	105
7.1.10.	Alumínio	107
7.1.11.	Mercúrio	107
7.2.	Análise das Correlações	109
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	113
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Mapa de Localização da Área de Estudo (Fig. 1).....	2
2.	Mapa da Rede de Drenagem (Fig. 2).....	42
3.	Precipitação total mensal, em mm, para as quatro estações meteorológicas utilizadas (Fig. 3).....	45
4.	Média de temperatura máxima mensal, em ° C, para as três estações meteorológicas utilizadas (Fig. 4)	46
5.	Média de temperatura mínima mensal, em ° C, para as três estações meteorológicas utilizadas (Fig. 5)	47
6.	Mapa de isoteores de Ferro (Fig. 6).....	90
7.	Mapa de isoteores de Níquel (Fig. 7).....	92
8.	Mapa de isoteores de Manganês (Fig. 8).....	94
9.	Mapa de isoteores de Cobre (Fig. 9).....	96
10.	Mapa de isoteores de Chumbo (Fig. 10).....	98
11.	Mapa de isoteores de Cobalto (Fig. 11).....	100
12.	Mapa de isoteores de Zinco (Fig. 12).....	102
13.	Mapa de isoteores de Cádmio (Fig. 13).....	104
14.	Mapa de isoteores de Cromo (Fig. 14).....	106
15.	Mapa de isoteores de Alumínio (Fig. 15).....	108
16.	Mapa de isoteores de Mercúrio (Fig. 16).....	110

ÍNDICE DE TABELAS

1.	Distribuição da População Municipal de Tubarão (TABELA 1).....	8
2.	Evolução da População Economicamente Ativa - PEA (TABELA 2).....	9
3.	Estrutura Fundiária do Município de Tubarão (TABELA 3).....	10
4.	Utilização das Terras no Município de Tubarão (TABELA 4).....	11
5.	Distribuição da População Municipal de Laguna (TABELA 5).....	14
6.	Evolução da População Economicamente Ativa - PEA (TABELA 6).....	15
7.	Utilização das Terras no Município de Laguna (TABELA 7).....	15
8.	Valores médios de temp. máx., temp. mín., prec. total, umidade relativa e direção dos ventos na Estação Meteorológica de Laguna (TABELA 8).....	41
9.	Valores médios de temp. máx., temp. mín., prec. total, umidade relativa e direção dos ventos na Estação Meteorológica de Orleans (TABELA 9).....	43
10.	Valores médios de temp. máx., temp. mín., prec. total, umidade relativa e direção dos ventos na Estação Meteorológica de Urussanga (TABELA 10).....	43
11.	Valores médios de prec. total na Estação Meteoro- lógica de Tubarão (TABELA 11).....	44
12.	Concentração da Indústria Carbonífera por Bacia Hidrográfica (TABELA 12).....	52
13.	Concentrações médias dos elementos-traço em ppm, nas cinzas da Usina Jorge Lacerda (TABELA 13).....	64
14.	Resultados Analíticos dos Elementos Químicos (TABELA 14).....	88

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

1. Coleta de sedimento do fundo da lagoa da Manteiga (Foto 1).....	21
2. Coleta e acondicionamento do material retirado com auxílio de amostrador (Foto 2).....	22
3. Morfologia típica de corpos graníticos com vegetação de gramíneas nas encostas dos morros (Foto 3)	29
4. Detalhe do Sambaqui de Jaboticabeira, construído em cima de matacões de granito (Foto 4).....	32
5. Detalhe de um depósito marinho de conchas situado na margem da lagoa de Garopaba do Sul (Foto 5).....	35
6. Antigas áreas lagunares com sedimentação arenosa argilosa com quantidades variáveis de conchas calcáreas (Foto 6).....	36
7. Vegetação típica de planície costeira, representada por gramíneas (brachiárias) relictos de coqueiros (Foto 7).....	39
8. Detalhe de vegetação existente na planície costeira, com preservação de relictos da Mata Atlântica, como figueira-do-mato e coqueiro (Foto 8).....	40
9. Vista aérea de parte da área de estudo destacando-se, em primeiro plano, o morro granítico onde ocorre o Sambaqui de Jaboticabeira (Foto 9).....	51
10. Parte do banhado da Estiva dos Pregos com as lagoas da área de lavra (Foto 10).....	55
11. Lavador da Empresa Coque Catarinense instalado no banhado da Estiva dos Pregos para beneficiamento dos rejeitos carbonosos (Foto 11).....	56
12. Detalhe do dique construído com a cinza oriunda das Usinas Termelétricas e recoberto com argila (Foto 12).....	58

13. Vista de detalhe das lagoas da área de lavra de rejeitos carbonosos (Foto 13).....	59
14. Rompimento da cobertura de argila que recobre o dique construído a base de cinzas e rejeitos (Foto 14).....	60
15. Vista geral do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda I, II, III e IV, em construção (Foto 15).....	62
16. Bacias de decantação do lavador Boa Vista da Cia. Nacional de Mineração de Carvão do Barro Branco, às margens do rio Rocinha (Foto 16).....	72
17. Detalhe da lagoa ácida onde estão depositados os rejeitos carbonosos (Foto 17).....	78

ANEXOS

Anexo 1 - Mapa Geológico

Anexo 2 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo

Resumo

A área de estudo se caracteriza por conter vários focos poluidores relacionados a extração e utilização do carvão mineral. No banhado da Estiva dos Pregos ocorre mineração de rejeitos carbonosos e bastante próximo, o Complexo Termelétrico Jorge Lacerda e o Lavador de Capivari. Outras fontes poluidoras estão relacionadas às lavouras de arroz, curtumes, fecularias e rejeitos urbanos.

A área a sul do banhado da Estiva dos Pregos, onde ocorrem as lagoas de Garopaba do Sul e da Manteiga, recebe a descarga dos efluentes através do rio-Tubarão, também caracterizado como outro foco poluidor devido a exploração de carvão mineral que ocorre no seu alto curso. Neste contexto, os elementos-traço, dentre estes aqueles altamente tóxicos, conhecidos na literatura como metais pesados podem ser depositados e acumulados nas lagoas que integram o sistema lagunar.

Neste estudo foi utilizada a técnica de extração parcial com HNO₃ e HCl 0,3M em sedimentos para determinar as concentrações de Fe, Mn, Al, Zn, Cu, Pb, Se, As, Cr, Co, Ni, Hg e Cd.

Os resultados obtidos, mostram que as concentrações médias de todos os elementos, à exceção do As e Se que estão abaixo do limite de detecção para a técnica empregada neste estudo, excedem o limite máximo permitido para água de abastecimento segundo a legislação do CONAMA (1988) e OMS de 1984 (Agudo et al. 1987).

Ocorrem picos de concentração de determinados elementos que traduz a presença de fontes poluidoras. Al, Cu, Pb, Zn e Fe ocorrem em altas concentrações no banhado da Estiva dos Pregos. Pb, Co, Mn, Ni e Hg assumem valores medianamente altos nas lagoas de Garopaba do Sul e da Manteiga. A região de Congonhas, área de intenso cultivo de arroz apresenta altas concentrações de Ni, Cu, Al, Co, Fe, Mn, Hg.

Abstract

The study area includes various polluted foci related to coal extraction and exploitation. Waste carbon mining occurs in the "Estiva dos Pregos" Bog and near "Jorge Lacerda" Thermoelectric Complex and "Capivari" plant. Other pollution sources are related to rice farming, tanneries, flour factories and urban waste.

The area in the South of "Estiva dos Pregos" Bog, where "Garopaba do Sul" and "Manteiga" lagoon are located, receives the discharge of effluents from "Tubarão" river, also characterized as another pollution focus due to the coal extraction at its source. In this context the trace elements, those that are highly toxic, cited in the literature as heavy metals, can be deposited and accumulated in the lagoons that form the Lagoon System.

In this research the partial extraction technique with HNO_3 and $\text{HCl } 0,3\text{M}$ was utilized in sediments to determine the concentration of Fe, Mn, Al, Zn, Cu, Pb, Se, As, Cr, Co, Ni, Hg e Cd.

The results indicate that median concentrations of all elements, except for As and Se, which are lower than detection limit technique used in this study, exceeds the upper limit established for public water supply, according to the CONAMA and OMS legislation (1986 and 1984 respectively).

The high concentration levels of such elements in different points in the area, indicates the presence of pollution sources. Al, Cu, Pb, Zn and Fe occur in high concentration in the "Estiva dos Pregos" Bog. Pb, Co, Mn, Ni and Hg occur in medium high values in the "Garopaba do Sul" and "Manteiga" lagoons. The "Congonhas" region, with intensive rice farming, shows high concentration of Ni, Cu, Al, Co, Fe, Mn, Hg.

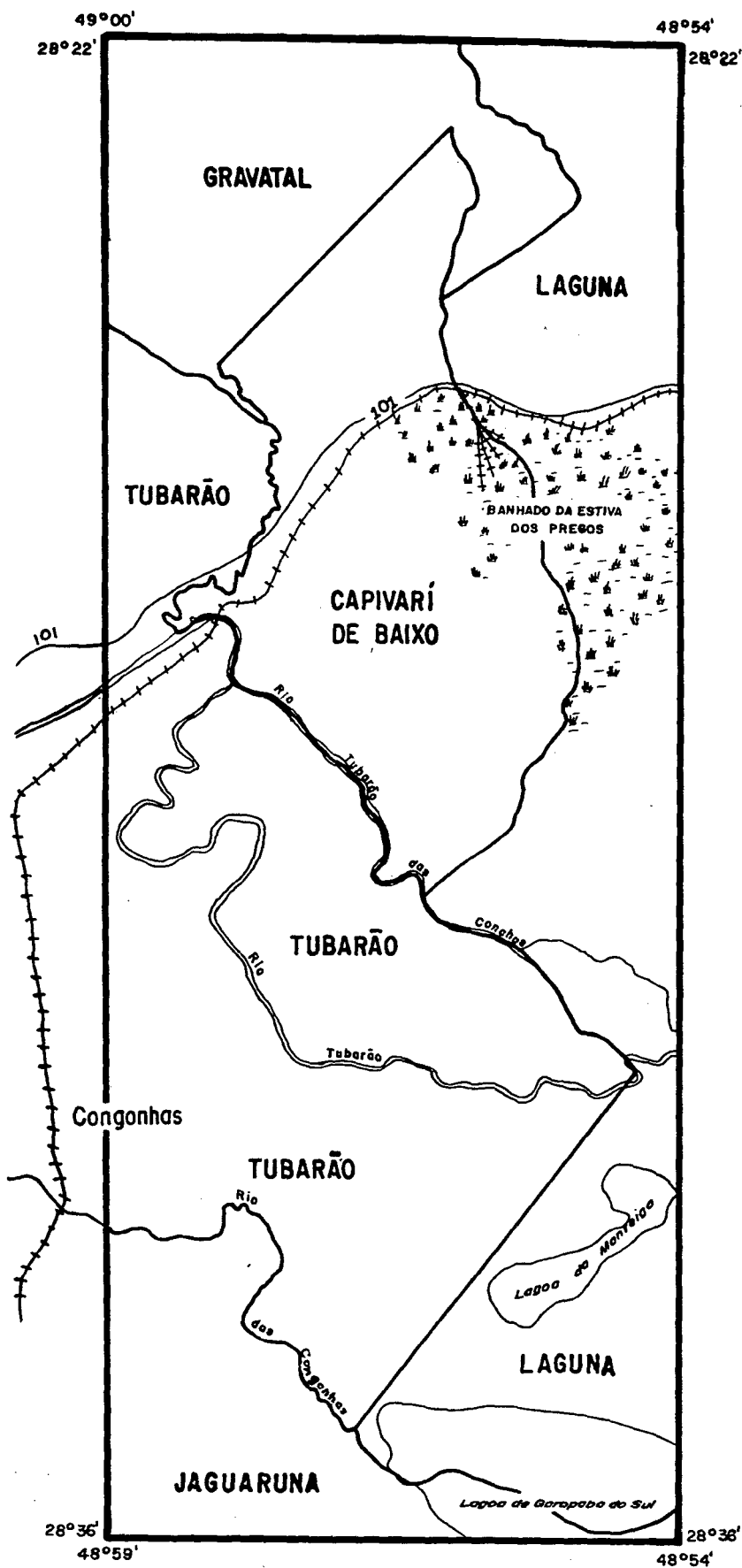
1. INTRODUÇÃO

A área em estudo, na qual se insere o conhecido banhado da Estiva dos Pregos, localiza-se no litoral sul do Estado de Santa Catarina, abrangendo parte dos municípios de Tubarão, Laguna e Capivari de Baixo, emancipado em 01.04.1992 e porções menores dos municípios de Gravatal e Jaguaruna (Fig. 1).

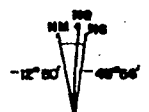
O rio Tubarão, um dos principais rios formadores da bacia do Tubarão, adentra a área estudada em sua porção centro-norte e constitui o principal curso de água, possuindo ligações, pelo menos indiretas, com todas as lagoas que compõem o amplo sistema lagunar. A lagoa da Manteiga ocupa a porção centro sul da área, enquanto a lagoa de Garopaba do Sul está apenas parcialmente presente, na extremidade sul (Fig. 1).

Dentre várias áreas críticas sob o ponto de vista ambiental, o banhado da Estiva dos Pregos assume um caráter peculiar devido à presença de vários focos poluidores. Ocorre mineração ativa no depósito de rejeitos carbonosos do banhado, e associado a este, beneficiamento de carvão no lavador da extinta Companhia Siderúrgica Nacional (CSN). Na área está situado também o Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, pertencente à ELETROSUL, com forte emissão de efluentes gasosos e particulados finos. Outras fontes poluidoras como as atividades relacionadas às lavouras de arroz, curtumes, feculárias e rejeitos urbanos, também devem ser mencionadas. Salienta-se ainda, que no alto curso do rio Tubarão ocorre uma intensa exploração de carvão mineral, com a área estudada representando um receptáculo de toda esta drenagem superficial e possivelmente subterrânea.

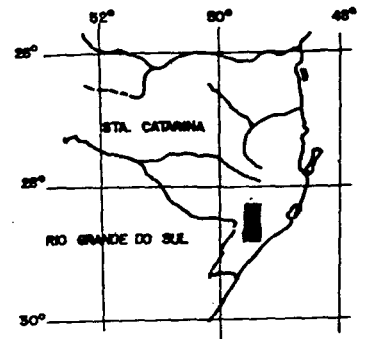
Diversos trabalhos elaborados na região carbonífera e também no município de Tubarão, apontam fatos significativos sobre a questão ambiental da área:



DECLINAÇÃO MAGNÉTICA-1974



A DECLINAÇÃO MAGNÉTICA
CRESCER 9,6 ANUALMENTE



- +++++ Estrada de ferro
- BR
- Divisa municipal
- Lagoas e Rios

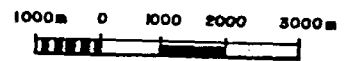


Fig 1 - Mapa de Localização da Área de Estudo

- a degradação ambiental é notadamente acentuada quando examinada a qualidade do recurso hídrico. Estudos promovidos na região (Peters; Souza, 1980), atestam amostras de água e sedimentos com teores de elementos-traço acima do máximo permissível na legislação;

- a poluição originada pela lixiviação das camadas carbonosas, agrotóxicos, efluentes urbanos e industriais e também do lixo doméstico, contribuem decisivamente para o processo de degradação dos recursos hídricos superficiais (Gothe, 1989). Além de abastecer a população do município, o rio Tubarão também é utilizado para a dessedentação de animais, irrigação, pesca artesanal, recreação e diluição de despejos oriundos de diversas fontes;

- a mortandade de 225 toneladas de peixes em dezembro de 1984 e, que segundo notícia veiculada na imprensa estadual provocou intoxicação em mais de cem pessoas, foi atribuída à concentrações tóxicas de elementos-traço provenientes da estocagem, beneficiamento e usos do carvão, dos efluentes de fecularias, bem como do uso inadequado de agrotóxicos e outros biocidas;

- concentração de cinzas como material particulado na atmosfera e deposição observada na área que circunda o Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, atingindo até a periferia do município de Tubarão e impedindo o trânsito de veículos à noite (Diário Catarinense, 1977). Como causa provável para tal fenômeno foi apontada a ineficiência dos filtros eletrostáticos instalados pela ELETROSUL nas usinas termelétricas;

- anomalias em peixes, tais como cegueira, são atribuídas a defensivos agrícolas, resíduos das fecularias e rejeitos de mineração (Bortoluzzi, 1987);

- malformações em recém-nascidos (anencefalia) e distúrbios respiratórios na população, atribuídos à presença de elementos tóxicos no ar e água. A má qualidade do ar e seus reflexos negativos na saúde da população é reconhecida mundialmente, pois a queima do carvão em termelétricas libera

poeiras, SO_x, NO_x, partículas em suspensão, O₃, CO₂, Hg, Se, F, S, B, Cr, V, rádionuclídeos e compostos aromáticos polinucleares (Kagey; Wixson, 1983). Estes autores salientam ainda que estes elementos, dependendo do tamanho das partículas em suspensão, causam irritações no sistema respiratório e pulmonar.

Com o objetivo de dimensionar o nível de qualidade do ar, a ELETROSUL iniciou em 1986, um programa de monitoramento, com a instalação de quatro estações em bairros do município de Tubarão (ELETROSUL, 1990). Os parâmetros monitorados são o material particulado e o dióxido de enxofre, poluentes emitidos em maior quantidade por usinas termelétricas que utilizam carvão mineral. O relatório apresentado pela Empresa em 1989, conclui que o padrão de qualidade anual do ar para material particulado não foi ultrapassado em nenhuma estação; embora a maior média (63 ug/m³) correspondendo a 79% do padrão (80 ug/m³), foi registrada na Estação Capivari, próxima ao banhado da Estiva dos Pregos e ao Complexo Termelétrico. A concentração máxima de material particulado em 24 horas, só foi ultrapassada uma vez no ano e também na Estação Capivari. O padrão para dióxido de enxofre também foi ultrapassado na Estação Capivari, no mês de julho.

Esse estudo recomendou a conclusão da nova chaminé de 150 m em substituição às quatro atuais de 65 m para as usinas I e II e um programa de amostragem de material particulado nos dutos de gases e chaminés para avaliar a eficiência real dos precipitadores eletrostáticos.

Nos municípios de Capivari de Baixo e Tubarão, a degradação ambiental ocasionada pela extração e utilização do carvão mineral, aliada ao despejo de efluentes originados da indústria de beneficiamento da mandioca (fecularias) é acentuada. O Projeto Pró-Lacustre realizado pela FATMA em 1980, cadastrou 88 fecularias no município de Tubarão, e concluiu que a água gerada naquele processo, corresponde à carga de esgoto produzida por uma cidade de um milhão e trezentos

mil habitantes. Esse efluente é drenado para a rede hidrográfica da área representando uma demanda bioquímica de oxigênio (DBO) de 68038,44 kg/dia e de 91,116 kg/dia de ácido cianídrico. O pH é ácido, 3,5 a 4,0 e 80% dos sólidos totais são representados por matéria orgânica. Essa fração é a responsável pela carga poluidora do efluente, pois as bactérias para metabolizar a matéria orgânica, consomem o oxigênio dissolvido na água, acarretando a morte da fauna por asfixia.

Em trabalho realizado pela FATMA sobre os aspectos ambientais do sistema lagunar Santo Antonio, Imarui e Mirim são ressaltados os agrotóxicos, amplamente utilizados nas lavouras de arroz, fumo, mandioca e feijão, os quais depositam-se principalmente na zona superficial do solo, e interferem no desenvolvimento dos microorganismos responsáveis pelo fornecimento de nutrientes às plantas (FATMA, 1983). Os processos naturais de autodepuração do solo não são capazes de eliminar toda a quantidade de pesticidas introduzida neste. O principal mecanismo de contaminação da água é ocasionado pela erosão das terras agrícolas e despejos industriais das fábricas que produzem estes pesticidas. Quando esses alcançam a água são rapidamente assimilados pelos sedimentos de fundo, plancton, algas e invetebrados aquáticos (Garrels; Mackenzie; Hunt, 1975).

A área de estudo é relativamente plana, com cotas topográficas um pouco acima do nível do mar. Além de ser a convergência da drenagem, a baixa circulação das águas permite que substâncias tóxicas como os metais pesados, possam ser depositados e acumulados no sistema lagunar situado à jusante do banhado da Estiva dos Pregos.

Os elementos-traço associados ao material carbonoso e que são separados da fração orgânica por processos físicos e, na combustão vão constituir as cinzas, são de fundamental importância ambiental.

Na área em estudo, a lixiviação e a erosão por ação das águas pluviais sobre as pilhas de estéreis, rejeitos

carbonosos e carvão dispostos nos pátios de estocagem da extinta Companhia Auxiliar de Empresas Elétricas Brasileiras - CAEEB, Lavador de Capivari e Complexo Termelétrico Jorge Lacerda promovem o assoreamento das drenagens. Os efluentes líquidos oriundos das atividades relacionadas ao aproveitamento do carvão mineral nas usinas termelétricas e no banhado da Estiva dos Pregos, possuem alta carga tóxica que polui os cursos d'água, por incorporação dos elementos-traço, sob a forma de íons solúveis. A predominância na região do vento nordeste, propicia o empilhamento das cinzas volantes em extensas áreas do município de Tubarão. Estas cinzas concentram um número elevado de metais tóxicos, que também podem ser arrastados para o sistema hídrico, em decorrência da ação das águas pluviais.

A poluição hídrica carregada pelo rio Tubarão é oriunda de diversas fontes situadas à montante, inclusive o banhado da Estiva dos Pregos. Os diversos córregos, riachos e canais que drenam a região fluem para o rio Tubarão, que por sua vez deságua no Complexo Lagunar.

Do ponto de vista ambiental, o estudo de metais em ecossistemas aquáticos é útil e importante, pois entre eles se incluem os metais pesados cujo acúmulo é perpetuado na cadeia trófica.

Os mecanismos de transporte de metais da água para o sedimento são ainda muito pouco conhecidos e, segundo Lacerda; Souza; Pestana (1988), a quase totalidade de metais emitidos por uma fonte poluidora pode ser complexada à matéria orgânica e arrastada para o sedimento em poucas horas deixando a água com concentrações equivalentes àsquelas anteriores à emissão. Considerando os níveis extremamente baixos de elementos-traço encontrados no oceano, apesar do contínuo fornecimento das fontes terrestres, é possível deduzir que os sedimentos são os permanentes adsorvedores dos metais.

A disponibilidade dos elementos-traço para os processos metabólicos - portanto a sua toxicidade -, está in-

timamente relacionada ao tipo de composto químico com o qual este elemento-traço está ligado.

Neste estudo, a amostragem foi realizada através de sedimento de corrente, o qual de acordo com Forstner; Wittmann (1983), fornece melhores informações sobre as fontes de poluição. Vários metais encontram-se depositados nos sedimentos, alguns sob a forma de sulfetos, devido à ação redutora das bactérias presentes na matéria orgânica abundante na área. Entretanto, os metais podem vir a ser mobilizados por vegetais e animais, devido às mudanças nas condições físico-químicas, tornando-se disponíveis para as cadeias alimentares costeiras.

Este trabalho visa contribuir para o conhecimento da problemática ambiental da área, perseguindo os seguintes objetivos:

- Caracterizar a intensidade das fontes de poluição através da análise de amostras de sedimentos de corrente, localizadas à jusante e à montante dos possíveis focos poluidores;
- Determinar a contribuição de cada fonte poluidora em relação ao conteúdo de Pb, Cd, Zn, Co, Mn, Fe, Hg, Ni, Cr, Al, As, Cu e Se presentes nos sedimentos amostrados;
- Discutir a mecânica de distribuição destes elementos na área e a sua repercussão no sistema lagunar;
- Apontar os outros possíveis focos poluidores e discutir a sua influência na distribuição das concentrações dos elementos analisados.

2. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO SÓCIO ECONÔMICO

O município de Tubarão possui uma área de 353 Km², incluída a área de Capivari de Baixo, e apresenta uma estrutura econômico-social significativa no contexto do Estado, constituindo o polo administrativo-econômico da Associação dos Municípios da região de Laguna (AMUREL). Dentre as atividades desenvolvidas destacam-se mineração de não metálicos, energia, agricultura, cerâmica, pesca e turismo.

Dados do Censo de 1970 e 1980 revelam que a população do município de Tubarão era constituída por 75.320 habitantes, distribuídos principalmente na área urbana (SANTA CATARINA, 1990b). O aumento populacional nos últimos quarenta anos recenseados, bem como o êxodo da zona rural estão expressos na Tabela 1.

TABELA 1 - Distribuição da População Municipal de Tubarão

Anos	Urbana	%	Rural	%	Total
1950	12.500	40,98	17.989	58,98	30.498
1960	29.275	63,79	16.617	36,21	45.892
1970	51.054	76,36	15.812	23,64	66.876
1980	64.508	85,74	10.729	14,26	75.320
1990	81.702	91,81	7.283	8,18	88.985

FONTE: Fundação IBGE - Censo Demográfico de SC-1970 e 1980
Estimativa SEPLAN/SC 1990

A crescente urbanização foi impulsionada, em meados dos anos setenta, pela construção de grandes obras, tais como as Usinas Termelétricas Jorge Lacerda III e IV. No final do ano de 1990, com a paralisação da construção da Usina IV, cerca de 2700 empregados ligados às empreiteiras foram demitidos. O lavador de Capivari, operado pela extinta Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), está atualmente

paralisado, o que provocou a demissão de 400 empregados. Também ocorreram demissões significativas na Rede Ferroviária, nas empresas da área cerâmica e em mineradoras o que agravou extremamente o desemprego na região. Segundo estimativas da Prefeitura Municipal de Tubarão cerca de 15.000 pessoas perderam o emprego no período que compreende o final do ano de 1990 e meados de 1991.

Na tabela 2 é possível observar que a atividade agropecuária no município envolve apenas cerca de 4,7% da população, enquanto que a parcela empregada nas indústrias da região atinge 34,3%. A maior concentração (60,8%) da População Economicamente Ativa (PEA) está no setor terciário, no comércio e prestação de serviços.

TABELA 2 - Evolução da População Economicamente Ativa

Setor	1960		1970		1980		1989	
	PEA	%	PEA	%	PEA	%	PEA	%
Primário	7310	47,35	2615	16,16	1729	6,64	1402	4,77
Secundário	1627	10,54	3984	24,63	8770	33,68	10082	34,35
Terciário	6502	42,11	9580	59,21	15537	59,68	17862	60,86
TOTAL	15439		16179		26036		29346	

FONTE: Fundação IBGE - Censo Demográfico de SC - 1970 e 1980
Estimativas CEAG-SC-1989

Dos 1211 estabelecimentos agropecuários cadastrados pelo Censo do IBGE relativo ao ano de 1980 (IBGE, 1984), 82,7% possuem área menor que 20 hectares caracterizando uma estrutura de minifúndios, fato que vem se mantendo praticamente constante ao longo do período referido na Tabela 3.

TABELA 3 - Estrutura Fundiária do Município de Tubarão

Área (ha)	: NO de Estabelecimentos		
	: 1970	: 1980	: 1985
Até 20	: 1171	: 861	: 1002
20 - 50	: 188	: 144	: 148
50 - 100	: 41	: 38	: 38
100 - 500	: 11	: 09	: 18
500 ou mais	: 05	: 04	: 05
TOTAL	: 1416	: 1056	: 1211

FONTE: Fundação IBGE - Censo Agropecuário SC - 1970 e 1980
Sinopse Preliminar do Censo Agropecuário
de SC - 1985

Nestes minifúndios, conforme os censos do IBGE, há uma tendência à utilização de culturas temporárias, com alta produtividade por hectare conjugada à criação de animais de pequeno porte e/ou bovinocultura leiteira, empregando mão-de-obra familiar. Através da Tabela 4 pode-se constatar que o uso do solo com pastagens naturais supera a área destinada às lavouras temporárias. Dados colhidos junto a Prefeitura Municipal de Tubarão mostram que a área utilizada com pastagens plantadas, artificiais, culturas permanentes e temporárias varia de período a período, o que demonstra a alternância do uso do solo como prática adotada na região (TUBARÃO, [1988]).

A produção agrícola cadastrada nos anos de 1989/ 1990 atingiu 16.200 toneladas de arroz, 16.044 toneladas de mandioca, 1235 toneladas de fumo e 1116 toneladas de feijão que correspondem à 79,3% da renda gerada pela agricultura no município. No mesmo período, os dados obtidos na Prefeitura mostram que o rebanho bovino contava com 19.483 cabeças, principalmente de gado leiteiro, e o rebanho de suínos com 2974 cabeças.

TABELA 4 - Utilização das Terras no Município de Tubarão

Utilização das Terras	1970		1980		1985	
	Área(ha)	Z	Área(ha)	Z	Área(ha)	Z
Lavouras Temporárias	6453	28,8	4412	22,6	9009	36,0
Lavouras Permanentes	326	1,4	200	1,0	456	1,8
Pastagens Naturais	7111	31,8	9012	46,2	(x)	(x)
Pastagens Plantadas	1698	7,5	2049	10,5	(x)	(x)
Matas/Florestas Nat.	1134	5,0	1154	5,9	(x)	(x)
Matas/Florestas Plantadas	524	2,3	713	3,6	(x)	(x)
Produtivas e Utilizadas:						
em descanso	2367	10,6	707	3,6	(x)	(x)
inprodutivas	2765	12,3	1237	6,3	(x)	(x)
TOTAL	22368		19484		9465	

FONTE: Fundação IBGE, Censo Agropecuário de SC - 1970 e 1980.

Sinopse Preliminar do Censo Agropecuário de SC - 1985

(x) Dados não disponíveis

O município de Tubarão conta com 560 empresas do setor secundário que empregam 5657 pessoas, segundo dados obtidos junto à Federação das Indústrias de Santa Catarina-FIESC (1989). Predominam as indústrias de transformação (mobiliário, vestuário e calçados) com 199 estabelecimentos e 789 pessoas ocupadas. Subordinadamente, mas de importância considerável, comparecem as indústrias de produtos alimentícios, madeira, metalurgia, mecânica, química e têxtil totalizando 196 estabelecimentos e 1439 pessoas ocupadas.

Através dos dados extraídos do Cadastro Industrial elaborado pela FIESC (1989), a lavra e o beneficiamento de bens minerais não-metálicos, existentes na região, como o granito, quartzo, fluorita, argila, areia, cascalho e água mineral ocupam uma parcela significativa, com 2359 pessoas, representando 42% do total de trabalhadores.

O setor terciário representado pelo comércio e prestação de serviços é o que acumula a maior concentração de empregos (60,8%) e a sua expansão é significativa no município de Tubarão. Nos demais municípios, como Jaguaruna e Laguna

ainda persiste a economia primária tripartida na agricultura, pesca e pecuária.

Quanto ao comércio, existem no município 1080 estabelecimentos responsáveis pela comercialização dos produtos primários produzidos pela pecuária e agricultura, máquinas e equipamentos agrícolas, fertilizantes e defensivos, revenda de automóveis e autopeças, materiais para construção, móveis, eletrodomésticos, medicamentos e vestiário (FIESC, 1989).

Os dados referentes ao recém-criado município de Capivari de Baixo foram obtidos dos documentos constantes do processo de emancipação que tramitou na Assembléia Legislativa do Estado de Santa Catarina.

O distrito de Capivari de Baixo criado em 14.10.1986, conquistou sua emancipação do município de Tubarão, através de um plebiscito popular realizado em 15.03.1992. O novo município foi criado pela Lei Nº8556 de 30.03.1992, devendo ser instalado após a eleição para Prefeito e Vereadores a ser realizada em 03.10.1992. A sua área compreendida em aproximadamente 46,8 Km² está encravada no município de origem conforme é visualizado no mapa de situação (Fig. 1).

A população de Capivari de Baixo é formada por migrantes das comunidades vizinhas, onde predominavam descendentes açorianos. Dados de 1980, fornecidos pelo escritório do IBGE/SC, atestam uma população de 12.290 habitantes, sendo 11289 urbanos e 1001 rurais; atualmente sua população está estimada em torno de 25.000 habitantes.

O aumento populacional e o crescimento econômico em Capivari de Baixo deve-se à instalação da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) em 1942 e em 1960 da Sociedade Termelétrica de Capivari (SOTELCA), atual Centrais Elétricas do Sul do Brasil S.A. (ELETROSUL) que propiciaram, com a sua presença, a instalação de uma variada rede de estabelecimentos industriais e comerciais.

Na atualidade, Capivari de Baixo conta com 43 indústrias destacando-se as de transformação, como confecções

de malhas e similares, mobiliário, cerâmicas, química, calçados e estruturas metálicas; existem 267 estabelecimentos comerciais e 102 estabelecimentos prestadores de serviço principalmente aqueles ligados ao ramo da construção civil e reparação em veículos automotores, com venda de peças e equipamentos.

No setor primário desenvolve-se a atividade agropastoril em 130 propriedades com destaque para o rebanho leiteiro e a cultura da mandioca, arroz, milho e feijão.

Duas grandes empresas marcaram o desenvolvimento de Capivari de Baixo: o Complexo Termelétrico Jorge Lacerda que produz 66% da energia consumida no Estado e o Departamento da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), conhecido como Lavador de Capivari, cuja finalidade principal é a produção de carvão metalúrgico. A implantação gerou empregos direta e indiretamente, com ampliação do parque industrial e setor de comércio, arrecadação de impostos, vilas habitacionais, locais de lazer e outros. As atividades que envolvem o uso do carvão representadas pelo setor de geração de termelétricidade, lavra e beneficiamento, empregam 680 pessoas, excluindo-se os empregados contratados pelas empreiteiras que constroem a Usina IV. Em contrapartida, a mineração e beneficiamento de rejeitos carbonosos, finos de carvão e a concentração de pirita realizada no banhado da Estiva dos Pregos, aliado ao beneficiamento e uso do carvão energético e metalúrgico, estão comprometendo seriamente a bacia hidrográfica do rio Tubarão com reflexos negativos na atividade pesqueira (FATMA, [1981?]) contribuindo decisivamente para a poluição das áreas situadas à jusante. A lixiviação decorrente, com o carreamento de elementos tóxicos, provoca a mortandade de peixes e crustáceos (Peters; Souza, [1980]). Conforme salientam Valeriano; Reis, (1985), as culturas de banana e milho são afetadas, ocorrendo um decréscimo anual de 45% da produção, com o comprometimento sócio-econômico das comunidades envolvidas nessas atividades produtivas.

O município de Laguna possui uma área de 353 Km² e, a exemplo de Tubarão, também integra a microrregião de Laguna, fazendo parte da AMUREL-Associação dos Municípios da Região de Laguna. A população de 43.534 habitantes, segundo estimativa da Secretaria de Planejamento do Estado de Santa Catarina (SEPLAN), para o ano de 1989, distribuía-se com 79,67% na zona urbana e 20,33% na zona rural conforme pode ser visualizado na TABELA 5.

TABELA 5 - Distribuição da População Municipal de Laguna

ANOS	URBANA	%	RURAL	%	TOTAL
1970	17.449	49,79	17.593	50,21	35.042
1980	28.327	71,68	11.192	28,32	39.519
1989	34.684	79,67	8.850	20,33	43.534

FONTE: Fundação IBGE, Censo Demográfico de SC - 1970 e 1980
Estimativas SEPLAN-SC 1989.

Da População Economicamente Ativa (PEA) o setor primário foi o que apresentou uma queda significativa ao longo do período apontado na TABELA 6, enquanto que no setor secundário houve um crescimento bastante acentuado, podendo servir como indicador do processo de urbanização à medida que a atividade deste setor é desenvolvida geralmente na sede municipal. Dados extraídos do Diagnóstico Municipal de Laguna editado em 1990, mostram que o setor primário é constituído por 808 estabelecimentos - 96% caracterizados como minifúndios - que ocupam 40,4% do total de terras agrícolas.

TABELA 6 - Evolução da População Economicamente Ativa-PEA

SETOR	1970		1980		1989	
	PEA	Z	PEA	Z	PEA	Z
Primário	2711	32,35	1831	17,69	1448	12,19
Secundário	1146	13,67	2651	25,61	3246	27,32
Terciário	4525	53,98	5870	56,70	7187	60,49
TOTAL	8382		10352		11881	

FONTE: Fundação IBGE - Censo Demográfico de SC - 1970 e 1980
Estimativas CEAG-SC - 1988

A cultura de subsistência (principalmente milho e mandioca, arroz e cana-de-açúcar) convive com a bovinocultura de corte, o que pode explicar a participação expressiva das pastagens naturais (52,48%) na utilização do solo. (TABELA 7).

TABELA 7 - Utilização das Terras no Município de Laguna

UTILIZAÇÃO DAS TERRAS	1970		1980		1985	
	Área(ha)	Z	Área(ha)	Z	Área(ha)	Z
Lavouras Temporárias	1752	15,57	1038	9,44	2149	15,56
Lavouras Permanentes	517	4,60	193	1,76	105	0,76
Pastagens Naturais	4239	37,68	5766	52,48	(x)	(x)
Pastagens Plantadas	186	1,65	767	6,98	(x)	(x)
Matas/Flor. Naturais	992	8,82	663	6,03	(x)	(x)
Matas/Flor. Plantadas	138	1,22	456	4,15	(x)	(x)
Produtivas não Utilizadas:						
- em descanso	2519	22,39	555	5,05		
- improdutivas	908	8,07	1550	14,11		
TOTAL	11251		10988		13814	

FONTE: Fundação IBGE, Censo Agropecuário de SC - 1970 e 1980
Sinopse Preliminar do Censo Agropecuário de SC-1985
(x) Dados não disponíveis

Nos últimos anos, segundo informações colhidas junto à Prefeitura Municipal, não ocorreram alterações significativas na produção agropecuária, à exceção do plantio de arroz irrigado que obteve um grande incremento no volume da produção.

O rebanho bovino conta com 10157 cabeças principalmente de gado de corte e o rebanho de suínos com 1178 cabeças.

A produção pesqueira de Laguna, totalizando 57,4% de peixes pescados na microrregião e 44,5% relativos a camarões e siris, constitui a maior fonte empregatícia e de renda, uma vez que este município caracteriza-se como grande importador de produtos agrícolas de primeira necessidade, notadamente nos períodos de temporada turística, quando há um considerável aumento de população (SANTA CATARINA, 1990a). O pleno desenvolvimento da atividade de pesca é devido à existência de condições favoráveis, onde 33% do território municipal é ocupado por lagoas.

O município não possui uma estrutura industrial definida com alguns gêneros se destacando em função dos seus níveis de produtividade. A indústria de transformação está assentada basicamente em microempresas ou empresas de pequeno porte voltadas ao pescado, confecções e processamento da fécula de mandioca e de arroz, e secundariamente nas olarias, madeiras, móveis e pequenos engenhos de farinha (IBGE, 1974).

Especificamente no caso de Laguna, o turismo é uma das suas principais atividades econômicas, com o comércio e prestação de serviços estando voltados ao atendimento desta demanda. Assim, o comércio conta com 227 estabelecimentos e 758 pessoas empregadas principalmente no setor de vestuário e mantimentos. Os serviços são representados por alojamento e alimentação, com significativos níveis de absorção de mão-de-obra no período de temporada de verão.

O município de Jaguaruna possui uma área de 410 Km² e uma população de 14.972 habitantes distribuídos na área

urbana (62,75%) e na área rural (37,25%), segundo estimativa da Secretaria de Planejamento do Estado de Santa Catarina, para o ano de 1989. O processo de deslocamento da população rural para a zona urbana iniciou em 1970, conforme atestam os dados do Censo de 1970-1980 (IBGE, 1974).

Atualmente a População Economicamente Ativa - PEA do município, distribui-se de maneira uniforme nos tres setores da economia. Dados extraídos do estudo da Produção Agrícola Municipal editado em 1987, mostram que no setor primário o destaque é para a lavoura de mandioca e arroz que participam com 32,5% e 28,4% respectivamente, do total produzido na microrregião.

Na pecuária ocorre uma produção significativa de bovinos, leite e ovos, enquanto que na pesca o destaque é para a produção de peixes, 36,68% da microrregião.

Quanto aos recursos minerais, o município possui reservas apreciáveis de concheiros naturais, areia e argila que são utilizados para ração de aves, construção civil e cerâmicas (olarias) respectivamente.

No setor secundário a transformação de produtos minerais não-metálicos, principalmente olarias, com 52 estabelecimentos e 162 pessoas empregadas conforme dados do IBGE (1974), representou o gênero de transformação mais importante do ano de 198, seguido de produtos alimentares, madeira e extração de minerais. Neste setor predominam as micro e pequenas empresas com uma média de tres pessoas empregadas por unidade produtiva.

No setor terciário a maior parte das empresas é de pequeno porte, salientando-se o comércio como a atividade que possui o maior número de estabelecimentos e pessoal empregado (IBGE, 1974).

O município, apesar do forte potencial turístico que possui, é carente em serviços que proporcionam uma base infraestrutural para o pleno desenvolvimento desta atividade, sendo portanto pouco explorado.

O município de Gravatal possui uma área de 229 Km² e integra a microregião de Laguna. O processo de urbanização crescente, observado em outros municípios, também se repete em Gravatal. Dados obtidos do Censo Demográfico de Santa Catarina 1970-1980 (IBGE, 1974), mostram que em 1970, 12% da população era urbana e, em 1989 este percentual cresceu para 30%.

A nível de População Economicamente Ativa - PEA a estimativa da Secretaria de Planejamento do Estado De Santa Catarina (SEPLAN) para o ano de 1989, mostrava que dos 3697 trabalhadores, 24% estavam envolvidos com atividade agropecuária, 31% com a indústria e 45% com comércio e prestação de serviços.

O setor primário, apesar de importante gerador de riquezas, não representa a principal base econômica do município. Predominam as propriedades com até 50 hectares (98% caracterizam-se como minifúndios) ocupando 81% do total das terras agrícolas do município. Estas terras são utilizadas principalmente para pastagens (naturais e plantadas), e secundariamente para lavouras temporárias. Na atividade agrícola destacam-se as culturas da cana-de-açúcar, fumo, arroz, mandioca, milho, banana e feijão. As frutas cítricas alcançaram em 1987, segundo dados colhidos junto à Prefeitura de Gravatal, uma boa produtividade o que confirma o potencial existente para este cultivo, juntamente com o pêssego.

Gravatal possui nas águas termo-minerais a maior fonte de renda do turismo, principalmente do ramo hoteleiro. Ainda ocorrem jazidas de granito, riolito, quartzo e argila com utilização na indústria cerâmica e construção civil. O município se caracteriza com um grande produtor e exportador de minerais in natura para os municípios vizinhos.

No setor secundário, predominam as indústrias do vestuário e têxtil com 12 estabelecimentos, secundariamente a indústria de transformação de produtos minerais não metálicos com 9 estabelecimentos e o maior número de pessoal ocupa-

do, 150 pessoas segundo dados colhidos junto à Prefeitura Municipal de Gravatal para o ano de 1989.

O setor terciário representado pelo comércio e prestação de serviços, assume no município de Gravatal importância primordial para o progresso sócio-econômico. É responsável pelo emprego de 45% do total de trabalhadores no município, concentrados na sua maior parte na atividade de prestação de serviços (hotelaria e restaurantes), apesar de existir um número bem maior de estabelecimentos comerciais. Dados obtidos no cadastro da Prefeitura Municipal de Gravatal mostram que houve um crescimento constante no número de estabelecimentos comerciais, existindo no ano de 1989, 110 estabelecimentos comerciais com 250 pessoas empregadas e 28 estabelecimentos de prestação de serviços com 750 pessoas ocupadas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão descritos os trabalhos que foram realizados visando a caracterização da área em estudo quanto ao meio físico, identificação e distribuição dos elementos químicos relacionados a extração e utilização do carvão mineral e suas implicações no sistema lagunar.

Para a fotointerpretação da área em estudo, foram utilizadas quarenta e nove fotografias aéreas preto e branco, na escala 1:25.000 resultantes de um vôo executado pela Cruzeiro do Sul, no ano de 1978. Na interpretação estereoscópica dos pares de fotos, são eliminadas as faixas laterais por apresentarem distorções, e a análise é concentrada onde o recobrimento é total.

As unidades identificadas na fotointerpretação, foram reduzidas à escala 1:50.000 e plotadas em uma base cartográfica, reproduzida a partir das plantas topográficas de Laguna e Garopaba do Sul, editadas em 1976, pelo IBGE.

Estas informações, adicionadas àquelas obtidas através de caminhamentos por toda a área e aos dados de sondagens efetuadas por empresas mineradoras, foram utilizadas para a confecção dos mapas geológico e de uso e ocupação do solo.

Com o propósito de avaliar a poluição por elementos-traço nos sedimentos dos rios e lagoas da área estudada foram realizadas campanhas de campo, tendo sido coletadas vinte e nove amostras em junho de 1991.

A amostragem foi realizada no perímetro da área em foco, bem como fora deste. As amostras foram coletadas no rio Tubarão, à montante e à jusante do município homônimo, na área de lavra dos rejeitos carbonosos no banhado da Estiva dos Pregos, em áreas intensamente cultivadas da região de Congonhas, situada a sudoeste do município de Tubarão e fora do perímetro da área de estudo e nas lagoas da Manteiga e Garopaba do Sul.

Foram amostrados os sedimentos do leito vivo dos rios, aluviões recentes, fundo das lagoas e solos colúviais (Foto 1). Os pontos de amostragem situam-se à montante e à jusante dos depósitos de carvão, canais centrais e principais afluentes, canais de drenagem, nas desembocaduras, nas proximidades dos focos de poluição e na convergência de canais. As curvas e meandros foram evitados, por se constituírem em zonas de concentração natural (Maranhão, 1982). A localização desses pontos de amostragem é apresentada no mapa da rede de drenagem (Fig. 2).



Foto 1 - Coleta de sedimento do fundo da lagoa da Manteiga

As amostras foram retiradas do leito dos rios e lagoas com o auxílio de um amostrador denominado Busca-Fundo marca Estwing (Foto 2).



Foto 2 - Coleta e acondicionamento do material retirado com auxílio do amostrador.

Para as amostras obtidas em menor profundidade foi utilizado um prato esmaltado e bacia plástica para evitar o perigo de contaminação da amostra. O sedimento e a água contendo material particulado suspenso foram acondicionados em sacos plásticos; a quantidade mínima amostrada foi de 1 kg. As técnicas utilizadas na coleta e preservação do sedimento obedeceram àquelas descritas no Guia Técnico da Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental - CETESB (Agudo et al., 1987).

A representação gráfica dos resultados analíticos é obtida a partir da construção de mapas de isoteores para cada elemento químico analisado. O mapa representa os teores do elemento em todos os pontos amostrados e através de curvas, unem-se os pontos de igual valor.

Para a construção destes mapas foi utilizado o método dos triângulos de Thiessen, tendo em vista o caráter irregular da função (concentração de elementos-traço) a ser representada, bem como o desconhecimento da expressão matemática que a caracterize. Na sua interpretação é levado em consideração que os máximos e mínimos coincidem necessariamente com os valores obtidos para os pontos, o que nem sempre é real; o traçado de alguma isolinha resulta bastante indeterminado em algumas partes, especialmente naquelas que se fecham sobre si mesmas, e os máximos e mínimos relativos desaparecem.

Para evidenciar as possíveis relações existentes entre um grupo de amostras e os elementos químicos analisados, de maneira a avaliar qualitativa e quantitativamente o comportamento dos poluentes e identificar os focos poluidores, foi realizado um estudo estatístico.

Neste estudo, foi calculado o coeficiente de correlação linear, utilizado para detectar a correlação existente entre duas variáveis. Diversos estudiosos, entre estes Guerra (1988), admitem como valor aceitável o coeficiente $+0,8$ ou $-0,8$, enquanto que Maranhão (1982), utiliza o coeficiente $+0,7$. Para este autor, valores abaixo de $+0,3$ expressam uma fraca correlação entre as variáveis.

A área de estudo foi compartimentada e os pontos agrupados de maneira a aglutinar porções afins em termos de uso e ocupação do solo.

Para cada conjunto, após tratamento estatístico dos dados, foram elaboradas matrizes de correlação para os pontos situados no rio Tubarão (5, 9, 10, 11, 12, 13 e 25); nas lagoas da Manteiga e de Garopaba do Sul (15, 16, 17, 19 e 22); e nas áreas de intenso cultivo de arroz (18, 21, 26, 27,

28 e 29). Apesar do pequeno número de amostras foram evidenciadas fortes correlações.

3.1. Preparo e Análise das Amostras

No laboratório os sacos plásticos com as amostras foram furados para escorrer a água e abertos para a secagem ao ar. Os sedimentos ainda úmidos foram desagregados, quarteados e expostos ao ar para continuar o processo de secagem natural. Estes sedimentos foram peneirados a úmido, em peneira de teflon, na fração silte e argila (<63 mesh) e homogeneizados em gral de porcelana para obtenção do sedimento fino. Luoma ; Bryan (1971) entre outros autores atestam que sedimentos com esta granulometria são facilmente obtidos em quantidades operacionais e que os elementos-traço são acumulados em quantidade expressiva nessa fração. Numerosos estudos como por exemplo Forstner ; Salomons (1981) tem utilizado e sugerido o uso dessa fração, de modo a uniformizar os resultados e assim permitir melhores comparações.

As técnicas analíticas que utilizam ácidos fortes para extração de elementos-traço, são capazes de liberar a totalidade dos elementos presentes e associados às diversas fases, atacando inclusive àqueles incorporados à rede cristalina dos minerais. Entretanto, como nesse estudo a proposta é determinar a quantidade de elementos-traço potencialmente disponíveis para o ambiente, foram utilizados os ácidos clorídrico e nítrico em baixas concentrações (Malo, 1977).

Esta técnica extrai os elementos-traço associados principalmente com os óxidos e hidróxidos de Fe/Mn que constituem a fase redutível; àqueles associados à matéria orgânica (substâncias húmicas) que constitui a fase oxidável; os adsorvidos na superfície dos argilo-minerais (fase trocável) e àqueles da fase carbonática onde a co-precipitação de elemen-

tos-traço pode ocorrer por elevação brusca do pH (Forstner ; Wittmann, 1983). Os elementos-traço associados aos sulfetos são pouco afetados por esse ataque. A fase carbonática e a residual - onde os elementos-traço estão associados às redes cristalinas dos minerais - não são consideradas disponíveis para os organismos aquáticos. As condições lixiviantes desse ataque refletem àquelas atuantes no meio, considerando que na área de estudo o pH é ácido, na faixa de 2,5 a 3,5. Entretanto, nas áreas à jusante do banhado da Estiva dos Pregos e próximas às lagoas, o pH assume valores da ordem de 6,0 a 6,5, de modo que as concentrações obtidas para aquelas amostras refletem condições lixiviantes muito mais agressivas do que aquelas ocorrentes na natureza.

Para solubilização, foi colocado $1,0000 \text{ g} \pm 0,1 \text{ mg}$ de amostra em um cadinho de porcelana que foi seca em estufa com ar circulando à temperatura de 40°C e após adicionado 35 ml do extrator HCl 0,3 M. A extração, que consiste na digestão por ácido, foi feita com agitação mecânica horizontal (250 agitações/minuto) durante 30 minutos. Após a extração é retirado o líquido extrator e guardado. O processo é repetido para obter a segunda extração com as mesmas quantidades e, após, os dois líquidos extratores são filtrados em conjunto em um papel de granularidade média. Deste modo foram extraídos Cr, Cd, Co, Zn e Al. Esta técnica é recomendada por Malo (1977) que utiliza HCl 0,3 M com duas extrações, por conduzir a uma maior eficiência, alcançando valores de 95% para Co, Cd, Pb e Zn. Para Mn, Ni, Cr e Fe o percentual de extração varia de 60% a 80%. Entretanto, como certos elementos são insolúveis, caso do cloreto de Pb, foi utilizado para extração de Pb, Ni, Mn, Fe, Cu, As e Hg, HNO₃ 0,3 M em duas extrações. A vantagem da utilização deste ácido é que seus nitratos são solúveis e não produzem interferência no valor da concentração do elemento-traço presente, quando da análise pelo método da absorção atômica.

Na preparação das amostras foi utilizado o laboratório do Departamento de Química da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). As análises químicas foram realizadas pela Divisão de Laboratórios da Empresa Geologia e Sondagens Ltda (GEOSSOL), em Belo Horizonte.

Assim, pelo método Plasma ICP, utilizando um equipamento marca ARL modelo 35000 C e usando chama de argônio foram dosados Al e Cr. Por espectrofotômetro de absorção atômica por geração de vapor a frio (sem chama), em equipamento Varian Techtron modelo AA-175 com corretor de varredura e fotomultiplicador R955 foram determinados Hg e Pb. Para a determinação de As e Se foi acoplado ao equipamento já mencionado, um gerador de hidretos marca Varian Techtron mod. 64. Os outros elementos foram determinados por espectrofotômetro de absorção atômica com chama de Ar-acetileno, utilizando um equipamento Varian Techtron modelo AA-6.

4. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO

Neste capítulo serão abordados os aspectos geológicos, geomorfológicos, do solo e vegetação referentes à área em estudo, onde ocorrem dois ambientes distintos representados por rochas do embasamento e depósitos da Planície Costeira.

4.1. Cristalino

As rochas graníticas afloram na porção norte e, secundariamente em outras porções, como parte de massas maiores ou, como pequenas "ilhas" emersas na sedimentação quaternária conforme pode ser visualizado no mapa geológico (Anexo 1).

Esses granitóides da área são isótopos, homogêneos, granulação média a grosseira, equigranulares e com cor predominante rosa. A mineralogia básica é representada por quartzo, feldspato, plagioclásio e biotita (Horbach; Marimon, 1982).

Estas rochas fazem parte de uma faixa de aproximadamente 150 km, alongada no sentido NS que se estende desde as proximidades de Biguaçu, ao norte, até os arredores de Criciúma, ao sul. Amplas porções dessa faixa apresentam características comuns, como ausência de foliação secundária, à exceção de restritas zonas de falhas, contatos bruscos com as encaixantes, composição quase que exclusiva de granitos "stricto sensu" e extensivo desenvolvimento de alterações tardi-magmáticas e mineralizações conexas (Silva, 1987). Estas mineralizações estão representadas pela cassiterita, fluorita e em áreas mais localizadas por columbita/tantalita e topázio. Alguns domínios apresentam um caráter francamente alcalino e com alto conteúdo em sílica e teores bastante elevado de F e

Rb (Horbach ; Marimon op. cit.).

A esse conjunto de granitóides já foram atribuídos diferentes nomes tais como Grupo Pedras Grandes (Teixeira et al., 1966), Suite Intrusiva Tabuleiro (Horbach ; Marimon, 1982) e Suite Intrusiva Pedras Grandes (Silva, 1987). As controvérsias surgem principalmente em razão da dificuldade de posicionar espacialmente os granitóides em relação às encaixantes e suas relações de contato, bem como da complexidade em estabelecer correlações entre os vários tratos rochosos.

De acordo com Morgental (1984), o comportamento tectônico destes granitos sugere que estas rochas foram submetidas aos mesmos esforços distensivos e compressivos que atuaram em todo o sudeste catarinense desde o Proterozóico até o Cenozóico, o que provocou um sistema binário de alinhamentos estruturais. Alguns destes falhamentos podem ser visualizados no mapa geológico (Anexo 1). Já no restante da área devido à espessa cobertura de sedimentação cenozóica depositada sobre o substrato granítico estes falhamentos não são reconhecidos diretamente.

Datações realizadas por Basei (1980), forneceram uma isócrona de 570 ± 21 Ma, o que coloca essas rochas no Pré-Cambriano Superior. Para Basei;Teixeira (1987) a idade de 550 Ma representaria o valor provável para o clímax desse magmatismo, pois coincidiria com importante evento termal regional registrado na maioria das determinações K-Ar em minerais separados.

Sobre estes granitóides desenvolve-se um relevo bastante dissecado em formas de topo convexo (Foto 3), enquadrado na Unidade Geomorfológica Serras do Tabuleiro - Itajaí pertencente à Região Geomorfológica Serras do Leste Catarinense (Justus ; Machado ; Franco, 1986).

A drenagem que busca o litoral com nítido controle estrutural promoveu uma erosão do tipo diferencial, resultando em vertentes bastante íngremes. Esse relevo desenvolve-se também a partir de rochas pré-cambrianas e terrenos gra-

níticos, que ocorrem na porção norte e leste da área, com cotas que variam de 50 m a 300 m, com máximo de 365 m e mínimo de 50 metros.

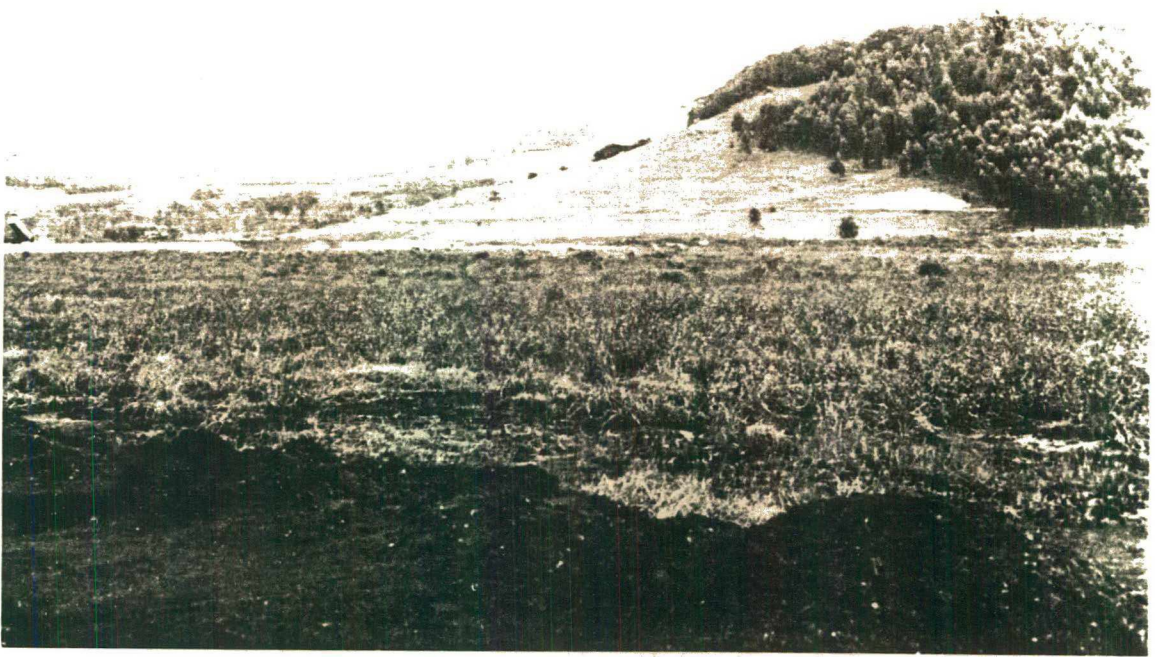


Foto 3 - Morfologia típica de corpos graníticos com vegetação de gramíneas nas encostas dos morros (à direita). Ao fundo e em primeiro plano, as cristas enquadradas na Unidade Serras do Tabuleiro - Itajaí e à esquerda equipamentos utilizados na extração e transporte dos rejeitos carbonosos.

Onde predominam rochas cristalinas, de acordo com o Levantamento Exploratório de Solos realizado pela equipe técnica do Projeto RADAMBRASIL (Ker et al., 1986), os solos são representados por Unidades enquadradas como Podzólico-Vermelho-Amarelo-Álico, associados aos Cambissolos Distróficos e Litólicos Distróficos.

Os solos Podzólico-Vermelho-Amarelo são bem desenvolvidos, em geral cascalhentos, de baixa fertilidade natural e com alta saturação em alumínio, na sua forma trocável. Portanto, o uso agrícola é fortemente limitado dominando a utilização com pastagens naturais.

Os Cambissolos Distróficos apresentam um horizonte A proeminente ou moderado e um horizonte B incipiente. Ocorrem nas pequenas elevações em áreas de drenagem relativamente boa. Apesar das limitações de uso agrícola, devido à elevada pedregosidade, são utilizados com cultivos anuais ao nível de pequenas propriedades rurais.

A exemplo dos Cambissolos, os solos Litólicos Distróficos são também pouco profundos e possuem o horizonte A diretamente assentado sobre a rocha. A sua utilização principal é com pastagens naturais, apesar de também serem usados na produção de culturas anuais como por exemplo milho, feijão e batata.

A vegetação que se desenvolve nas encostas dos morros graníticos é de gramíneas, conhecidas popularmente como vassoura e língua-de-gato, associadas à árvores de médio porte visualizadas na Foto 3. Estas árvores são representadas pela espécie das Myrtaceae (mirtáceas), entre as quais o *Myrcia multiflora*, variedade *glaucescens* (cambui) e arbustos da espécie *Rubiacaceae* (Teixeira et al., 1986). Esta vegetação atual é resultante da destruição parcial da cobertura vegetal primária, devido à ação antrópica que devastou florestas para a implantação de culturas cíclicas.

Nas cotas mais elevadas são encontrados ainda espécimes vegetais da denominada Mata Atlântica, que segundo Klein (1978) se caracteriza por uma vegetação "com árvores cujos troncos são geralmente tortuosos, relativamente baixos e encimados por copas largas". A composição é bastante complexa em virtude da grande variabilidade dos solos e dos microclimas. Considerando porém, a floresta no seu conjunto, Klein (op. cit.) menciona a predominância da canela preta (*Ocotea Cat-*

harinensis) associada ao aguáí ou caxeta amarela (*Chrysophyllum viride*) e o palmitheiro (*Euterpe edulis*).

A vegetação que ocorre nestes granitóides está representada de forma genérica no mapa de uso e ocupação do solo (Anexo 2).

4.2 Planície Costeira

A Planície Costeira ocupa mais de 80% da área e é representada por sedimentos de características litológicas distintas, que denota deposição em ambientes de sedimentação diversos durante o Quaternário.

Esses depósitos são representados por turfeiras, areias quartzosas pobres em ferro, areias quartzosas ricas em óxido de ferro e matéria orgânica, areias quartzosas conchíferas, argilas cinzas, pretas, castanhas, esverdeadas e cascalhos (Martin et al., 1988). Na planície costeira, como um todo, também ocorrem restos culturais de antigas civilizações, conhecidas amplamente na literatura especializada como sambaquis (Foto 4), onde a maioria dos emersos data do Holoceno.

Na área ocorre o sambaqui da Jaboticabeira, que ocupa atualmente uma área de 47.251 m², constituindo um depósito com formato de um morro elevado situado ao sopé da ilha granítica no extremo sudoeste da área (Anexo 1). Detalhe desse sambaqui, parcialmente destruído devido à lavra predatória, pode ser observado na Foto 4 .

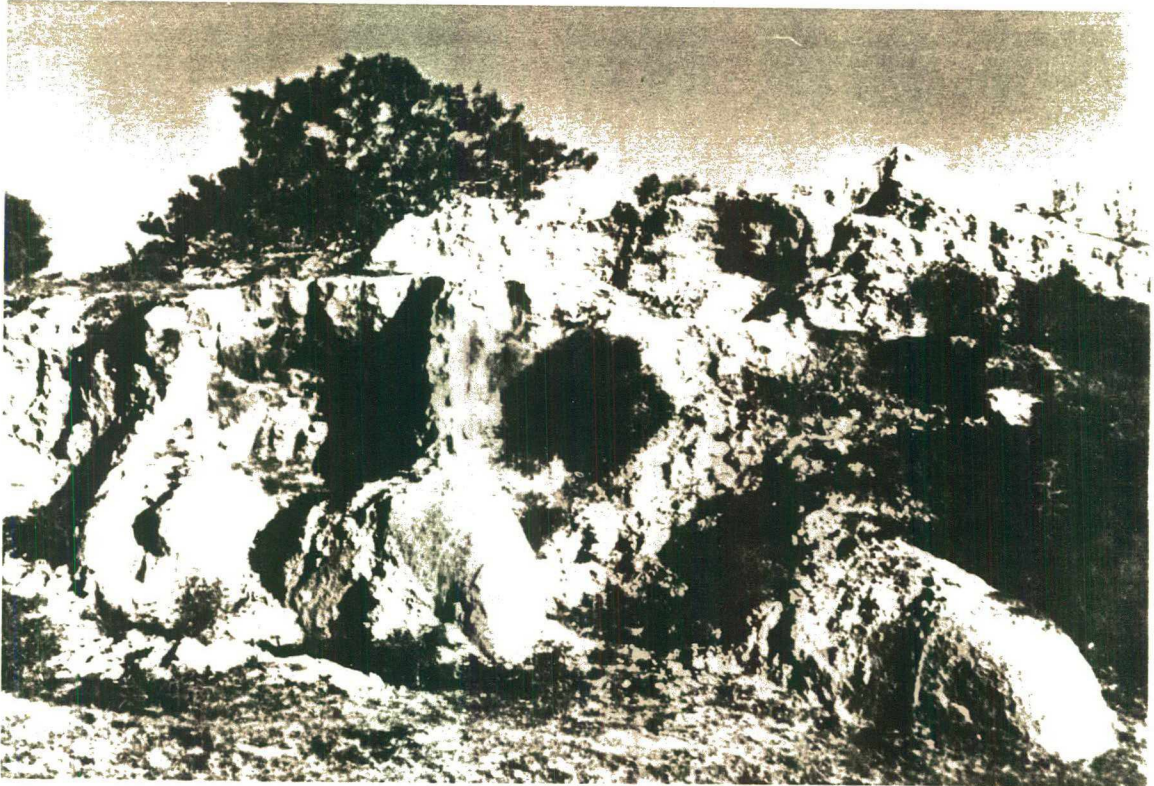


Foto 4 - Detalhe do Sambaqui de Jaboticabeira, construído em cima de marcações de granito. As escavações observadas são resultantes de sucessivas extrações clandestinas.

Entre os depósitos da Planície Costeira podem ser diferenciados os depósitos continentais e os transicionais.

Os depósitos continentais são representados pelos sedimentos gravitacionais de encosta (colúvios e alúvios), que ocorrem no sopé dos morros, de natureza essencialmente terrígena, constituídos por material de origem alúvio-coluvionar e aluvial desenvolvido durante o Quaternário. Andreis ; Bossi (1978) atribuem aos sedimentos aluviais da planície fluvial do rio Mampituba uma idade do Pleistoceno Superior com posterior retrabalhamento "em virtude do rebaixamento do ní-

vel-base de erosão".

Estes depósitos são pouco representativos na área (Anexo 1), sendo mais conspícuos na porção norte, nas encostas do embasamento cristalino e nos seus vales encaixados, sendo formados por conglomerados, arenitos e lamitos (Gomes Júnior, F.C. 1987).

Os depósitos transicionais incluem os terraços marinhos pleistocênicos, os flúvio-lagunares e os fluviais de idade holocênica.

Próximo ao Sambaqui da Jaboticabeira e de ocorrência bastante restrita na área, ocorre um depósito de areias claras, bem selecionadas (Anexo 1), com uma idade de 120.000 A.P., correspondentes ao Pleistoceno Superior (Martin et al., 1988). Os depósitos de areias claras constituem terraços de provável origem marinha rasa, em virtude da presença de tubos de *Callichirus*, cujo habitat corresponde à zona inframaré; depósito semelhante ocorre na lagoa de Garopaba do Sul na forma de um campo de dunas fósseis.

No mapa geológico (Anexo 1), é possível constatar que na área a sedimentação flúvio-lagunar é a mais representativa, ocorrendo nas extensas planícies de inundação (várzeas) dos cursos médio e inferior dos rios Tubarão, Capivari e Tubarão das Conchas.

De acordo com Gomes Junior (1991) esta sedimentação é caracterizada por depósitos argilo-arenosos, originada por eventos regressivos do mar dos últimos 5.100 A.P.. A configuração lagunar nesta época possivelmente era bem diferente do que hoje se observa: as inúmeras lagoas e lagunas atuais compunham um único corpo, que aos poucos foi sendo individualizado por processos de colmatação.

Estes depósitos são subdivididos em sedimentos ricos em matéria orgânica e aqueles com concentração expressiva de conchas.

Furos de sondagem realizados nas proximidades da Lagoa da Manteiga, demonstra que nos 0,6 m iniciais são en-

contradas camadas de argilas, castanho-escuro, com turfa sobreposta às camadas de areia e argila cinza contendo conchas (Corbelini, 1989).

Na localidade do banhado da Estiva dos Pregos, próximo à lavra do depósito de rejeitos carbonosos, ocorrem turfeiras a poucos centímetros de profundidade com espessuras de 0,6 m a 3,10 m, verificadas em sondagens por Ely (1989). Gomes Júnior (1987) datou turfas desta região e apresentavam uma idade de 2.660 ± 170 anos A.P.

Os sedimentos flúvio-lagunares contendo quantidades variáveis de conchas calcárias ocorrem em várias porções, à jusante da lavra do depósito de rejeitos carbonosos, entre o terraço fluvial do rio Tubarão e a sedimentação lagunar, nas proximidades da ilha granítica e próximo às margens das lagoas da Manteiga e Garopaba do Sul. Um detalhe de um depósito de conchas calcárias, com atividade de lavra é observado na foto 5.

Próximo à Lagoa da Manteiga, furos de sondagem revelaram depósitos de conchas a uma profundidade média 1.20 m e com uma espessura entre 0,3 m a 0,6 m, associados com matriz areno-argilosa, constituída de areia fina, bem selecionada e argila cinza (Corbelini, 1989).

Datações realizadas pelo método C14 em diversos concheiros naturais apresentaram valores de 4.200 ± 200 anos A.P. (Martin et al., 1988).



Foto 5 - Detalhe de um depósito marinho de conchas situado na margem da lagoa de Garopaba do Sul.

As conchas calcárias formam um expressivo depósito na localidade de Jaboticabeira (Foto 6) e de acordo com Gomes Junior (1991) foram depositadas em função da hidrodinâmica em terraços lagunares ou nas proximidades da "ilha" granítica que aflora no local. Explica ainda "que em função das fases regressivas do nível relativo do mar, a laguna se compartimentou, surgindo novos terraços e por conseguinte novos locais de deposição".

Um terraço fluvial localizado na planície de inundação do rio Tubarão foi identificado através de fotos aé-

reas e, observações de campo revelam ser este formado por sedimentos fluviais, arenosos, de granulometria variada, entremeados com sedimentos argilosos.



Foto 6 - Antigas áreas lagunares com sedimentação areno-argilosa com quantidades variáveis de conchas calcáreas (porções esbranquiçadas). Na porção superior, à direita, está a Lagoa de Garopaba do Sul e à esquerda, a Lagoa da Manteiga. Sobre os sedimentos turfosos observam-se extensas áreas de plantação de arroz.

Quanto à geomorfologia, domina a Planície Costeira onde os modelados de acumulação são representados pelas planícies lagunares amplamente distribuídas na porção central e noroeste da área. No extremo sul da área, próximo à Lagoa de Garopaba do Sul ocorrem depósitos marinhos e eólicos.

A área da Planície Costeira é plana, apresentando um pequeno declive em relação à planície lagunar recente, resultante da variação do nível do mar. Por apresentar uma declividade muito fraca de 0° a 2° (Justus; Machado; Franco, 1986) e grande variação textural (depósitos arenosos, argilo-arenosos e argilosos) aliada ao nível elevado do lençol freático, o escoamento superficial é lento e difuso. Nestas zonas alagadiças as cotas variam entre 2 m e 4 m propiciando o aparecimento de zonas pantanosas relacionadas à ressecação de antigas áreas lagunares que podem ser favoráveis à deposição de turfas como verificado no banhado da Estiva dos Pregos.

As planícies colúvio-aluvionares que margeiam os morros presentes na porção norte e leste da área e os vales dos rios Tubarão e Capivari são formadas por depósitos de origem continental. De acordo com Martin et al. (1988), esses depósitos originam modelados planos ou convexos e estão representados por cones de dejeção, leques aluviais e colúvios de composição heterométrica provenientes das encostas.

Na planície aluvial dos rios Capivari, Tubarão e Tubarão das Conchas os depósitos fluviais quaternários estão representados basicamente por areias, cascalhos e sedimentos siltico-argilosos de planície de inundação, terraços e depósitos de calha fluvial.

O rio Tubarão principal rio que drena a área em estudo, comporta-se como um sistema fluvial meandrante, caracterizando-se no seu alto curso por apresentar vale profundo em forma de "V", encostas íngremes e leito com rápidos e corredeiras. No seu médio curso, apresenta vertentes suavizadas pela dissecação em colinas e fundo plano. No baixo curso, este rio apresenta baixo gradiente e predominam os processos de sedimentação dando origem à amplas planícies.

Segundo Pimienta (1958), o rio Tubarão, após a formação de restingas "... começou a aterrar as lagunas protegidas das ações marinhas, formando um delta intralagunar. A baixa planície deltáica que se acha sedimentada, preencheu

desde o início os antigos golfos vasados no cristalino, por volta da cidade de Tubarão e essa planície agora se estende para as lagoas do norte”.

Os depósitos flúvio-lagunares, oriundos em parte da sedimentação depositada através dos rios que alimentam as lagoas costeiras e da progressiva colmatação dos corpos lagunares se desenvolveram ao longo das lagoas da Manteiga e Garopaba do Sul que se interligam às lagoas situadas mais a leste (Lagoas do Mirim, Santo Antônio e Imaruí) fora da área em estudo, porém integrantes do sistema lagunar.

Nestas planícies, de acordo com o Levantamento Exploratório dos Solos realizado pela equipe técnica do Projeto RADAMBRASIL (Ker et al., 1986), os solos orgânicos se desenvolvem sobre os sedimentos aluvionares e lagunares. São hidromórficos e provenientes de acumulações orgânicas em ambientes mal drenados. Apresentam horizonte A turfoso e teores de carbono orgânico superiores a 12% no horizonte superficial. É nesse tipo de solo que se desenvolve a vegetação de banhado em condições extremamente redutoras.

A classe Gleissolo é constituída por solos medianamente profundos, mal drenados e com permeabilidade muito baixa. Na área, este solo ocorre nas porções deprimidas sujeitas às inundações e nas margens dos cursos d'água. Apresentam um horizonte superficial com excesso de umidade, que é o principal fator limitante de uso, apesar de se prestarem muito bem às culturas adaptadas a essa condição, como por exemplo, arroz de várzea, que ocupa grande extensão de terras na área estudada (Anexo 2), sendo para isso convenientemente drenados. A divisão glei-húmico e glei pouco-húmico refere-se aos teores de carbono orgânico nos primeiros 20 cm, superior a 4% e menor que 4% respectivamente.

Nas planícies de inundação do rio Tubarão das Conchas, predominam estes solos pouco desenvolvidos geneticamente, possuindo um horizonte A rico em matéria orgânica em função das áreas depressivas em que se encontram, sujeitas à

deposições sucessivas.

A vegetação que ocorre nas planícies costeiras está representada principalmente por pastagens naturais, artificiais e culturas; localmente encontram-se preservados relictos de vegetação mais robusta, como coqueiros, figueira-do-mato, entre outras (Foto 7 e Foto 8).



Foto 7 - Vegetação típica da Planície Costeira, representada por gramíneas (brachiárias) e relictos de coqueiros (mata nativa).

O capim-angola, capim-gordura e capim-taboa, representantes das pastagens artificiais, além de "serem mais resistentes ao pisoteio do gado, fornecem forragem verde durante todo o ano" (Klein; Pastore; Coura Neto, 1986). Convivendo com a pastagem natural, ocorrem espécies vegetais do tipo ar-

bustivo, samambaias e também árvores de médio porte. A alternância das pastagens com culturas como o arroz é prática comum, ocorrendo em intervalos de quatro a cinco anos. Estas pastagens ocupam grandes porções na região do baixo rio Tubarão e ao longo do rio Capivari (Anexo 2). Às margens das lagoas, rios e canais o aguapé é bem desenvolvido.



Foto 8 - Detalhe da vegetação existente na planície costeira, com preservação de relictos da Mata Atlântica, como figueira-do-mato e coqueiro.

Grande parte da cobertura vegetal presente nas zonas baixas, excluindo-se as pastagens, é representada pela vegetação de banhado com as duas fases bem caracterizadas. O banhado baixo, emerso somente nas marés baixas e geralmente ocupado por *Spartina alterniflora*, *Sagitaria* sp; e o banhado alto, atingido apenas pela maré alta e ocupado por *Spartina*

patens, *Typha* sp e *Salicornia* sp nas depressões salgadas, com ocorrência de espécies intermediárias (Biro, 1965 apud Valeriano; Kux, 1982).

4.3 Clima e Hidrografia

Na abordagem dos aspectos climáticos da área de estudo, foram coletados os dados das estações meteorológicas de Urussanga, Orleães, Laguna e Tubarão, esta na localidade de Rio do Pouso (DNAEE, 1987). As três primeiras são operadas pelo Departamento Nacional de Meteorologia (DNEMET) - a de Urussanga em convênio com a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Difusão de Tecnologia de Santa Catarina (EPAGRE), enquanto a de Tubarão é operada pelo Departamento Nacional de Águas e Esgotos (DNAEE). A localização das estações meteorológicas é apresentada no mapa da rede de drenagem (Fig 2). Os dados referentes à temperatura, precipitação, umidade relativa e direção dos ventos das estações selecionadas estão expressos nas tabelas de 8 a 10.

TABELA 8 - Valores médios obtidos no período 1925-1985, na estação meteorológica de Laguna. Anos observados: 60 para os dados de prec. total; 59 para os dados de temp. máx., temp. mín. e umidade relativa e 25 para os dados de direção dos ventos.

Meses	Média Temp. Máx. OC	Média Temp. Min. OC	Prec. Total (mm)	Umidade Relativa (%)	Direção dos Ventos
JAN	27,4	20,6	120,3	81,4	NE
FEV	27,5	20,9	129,8	82,2	NE
MAR	26,6	20,1	142,6	82,3	NE
ABR	24,5	17,8	125,4	81,1	NE
MAI	22,1	15,4	111	82,1	NE
JUN	20,2	13,5	94,4	82,7	NE
JUL	19,5	12,8	99,2	83	NE
AGO	19,6	13,2	128,1	83,4	NE
SET	20,2	14,3	136,1	84,6	NE
OUT	21,8	16	120,3	82,9	NE
NOV	23,7	17,5	104,4	80,7	NE
DEZ	25,7	19,1	95,8	80,1	NE

Fonte: Banco de Dados, EPAGRE (1991)

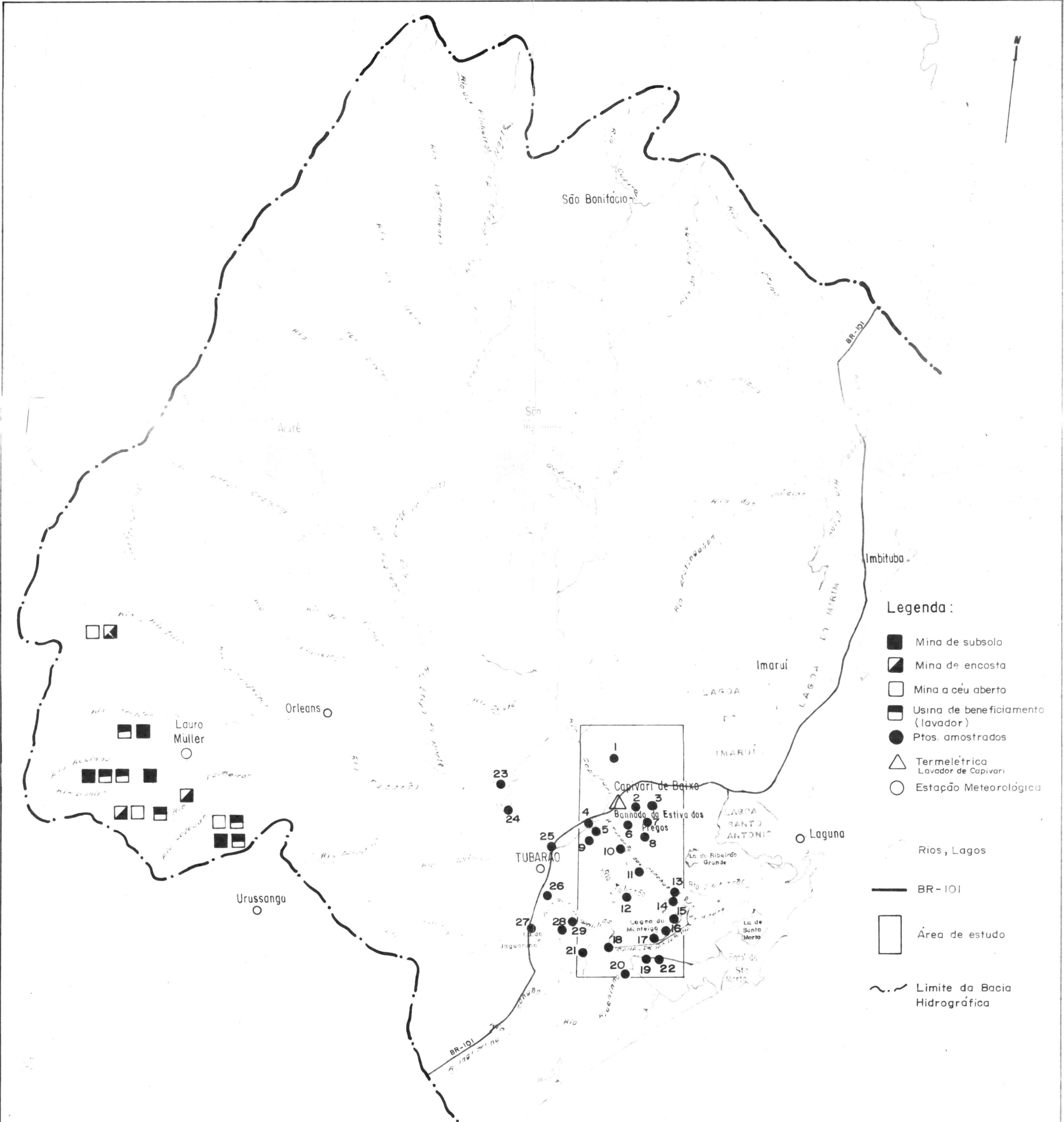


Fig. 2 - **MAPA DA REDE DE DRENAGEM**

FONTE: Projeto RADAMBRASIL Bases cartográficas das fis. SG.22-ZD, 1982, SH.22-XA/XB, 1981, na escala 1:250.000 (modificado pela autora).

6.400m 0 6.400m
ESCALA APROXIMADA

TABELA 9 - Valores médios obtidos no período 1924-1984, na estação meteorológica de Orleans. Anos observados: 55 para os dados de prec. total; 53 para os dados de temp. máx. e temp. mín.; 28 para os dados de umidade relativa e 3 para os dados de direção dos ventos

Meses	Média Temp. Máx. OC	Média Temp. Mín. OC	Prec. Total (mm)	Umidade Relat. (%)	Direção dos Ventos
JAN	31,2	16,5	167,2	83	SE
FEV	30,5	16,9	167,8	84,5	S
MAR	29,3	16,1	156,7	86,1	SE
ABR	26,1	13	93,5	84,8	S
MAIO	24,1	10,3	87,3	84,8	S
JUN	22,3	8,5	78,5	86,7	S
JUL	22,3	7,8	89,9	84,7	S
AGO	23,3	9	116,6	84,9	S
SET	24,5	10,6	135,4	84,9	S
OUT	26,4	12,7	131,5	83,9	S
NOV	28,4	14,2	107,2	83,2	S
DEZ	30,2	15,7	137,6	83,5	S

Fonte: Banco de dados - EPAGRE (1991)

TABELA 10 - Valores médios obtidos no período 1924-1985, na estação meteorológica de Urussanga. Anos observados: 63 para os dados de temp. máx., temp. mín., prec. total e umidade relativa e 6 para os dados de direção dos ventos

Meses	Média Temp. Máx. OC	Média Temp. Mín. OC	Prec. Total (mm)	Umidade Relat. (%)	Direção dos Ventos
JAN	30,3	18	193,8	79,7	SE
FEV	30	18,4	194,2	82,2	NE
MAR	29	17,4	167,8	83	SE
ABR	26,5	14,3	102,8	88,3	SE
MAIO	24,5	11,4	87,4	84	NE
JUN	22,4	9,5	84,6	84,4	SW
JUL	22,3	8,8	88,5	82,9	SW
AGO	22,9	9,8	113,7	81,4	SW
SET	23,8	11,6	124,7	80,9	NE
OUT	25,2	13,5	123,6	79,6	SE
NOV	27,4	14,9	119,5	78,6	SE
DEZ	29,3	16,7	136	77,7	SE

Fonte: Banco de Dados - EPAGRE (1991)

A tabela 11 só apresenta dados de precipitação total, uma vez que a estação meteorológica de Tubarão não registra as outras medidas. Os dados de precipitação pluviométrica indicam o inverno como o período mais seco (meses de maio a julho), enquanto a maior incidência de chuva ocorre em setembro e no verão (meses de dezembro a março).

TABELA 11 - Valores médios obtidos no período 1939-1984, estação meteorológica de Tubarão. 47 anos de observação.

Meses	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Prec. Total (mm)	125	162	146	81	68	68	73	92	107	103	91	112

Fonte: Banco de dados - EPAGRE (1991)

A estação de Laguna que se situa na zona litorânea e bastante próxima à área em estudo, apresenta um comportamento distinto das demais, com maior incidência de chuva nos meses de fevereiro, março e abril (Fig. 3). As temperaturas mais elevadas são registradas nos meses de dezembro a março e embora os verões sejam quentes, não registram média de temperaturas máximas superiores à 31°C (Fig. 4). No inverno, a média da temperatura mínima é inferior à 7°C sendo junho, julho e agosto os meses mais frios (Fig. 5).

Das três estações utilizadas para analisar os dados térmicos da área, conforme pode ser constatado pelos gráficos de valores médios de temperatura, Laguna é aquela que apresenta os invernos menos rigorosos e os verões mais amenos. A amplitude térmica estudada, com base na variação das temperaturas médias mensais das estações consideradas, é moderada, em torno de 7,9°C anuais conforme dados obtidos junto à Empresa de Pesquisa Agropecuária e Difusão de Tecnologia de Santa Catarina (EPAGRE).

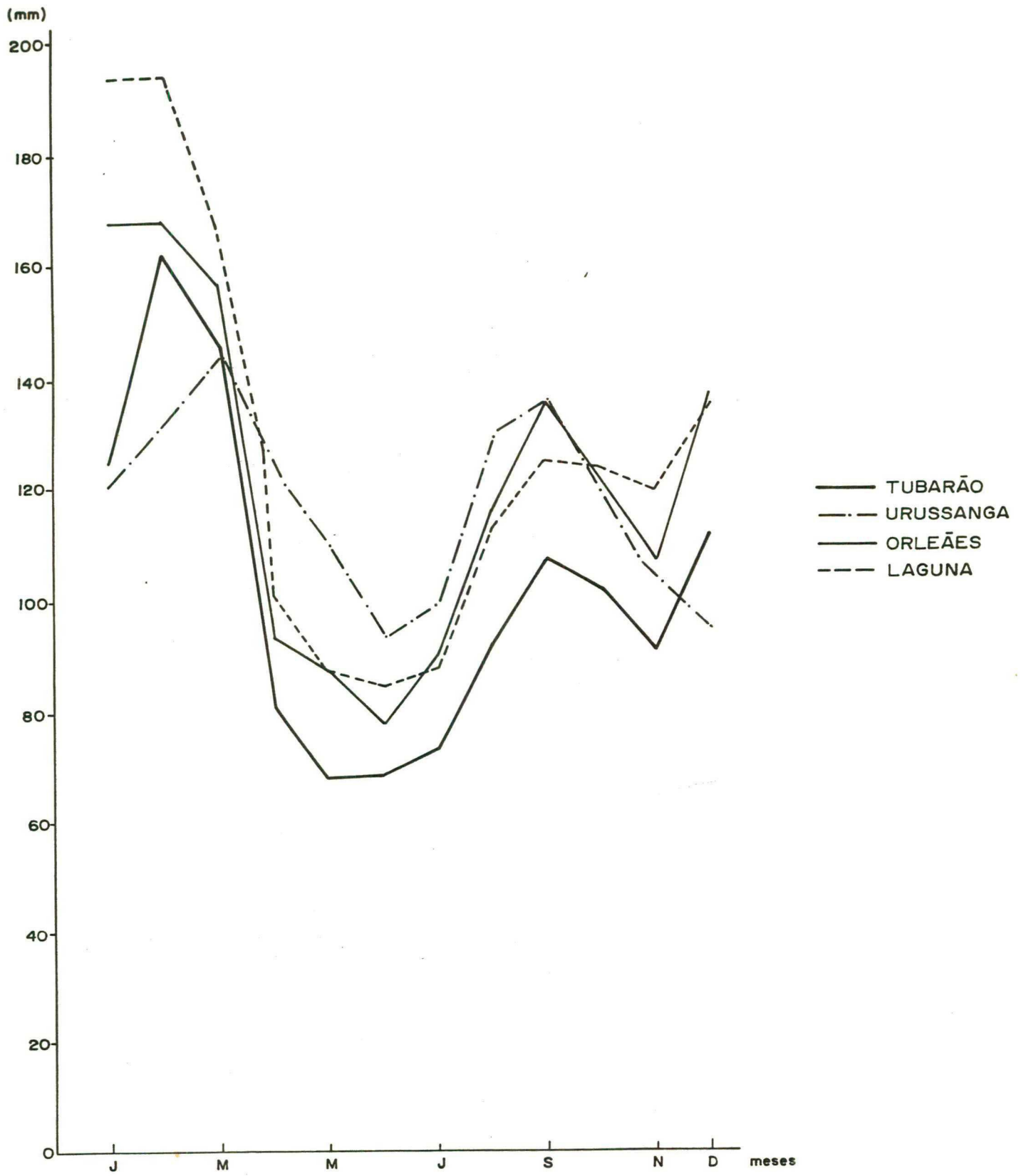


Fig. 3 - Precipitação Total Mensal, em mm, para Quatro Estações Meteorológicas Utilizadas

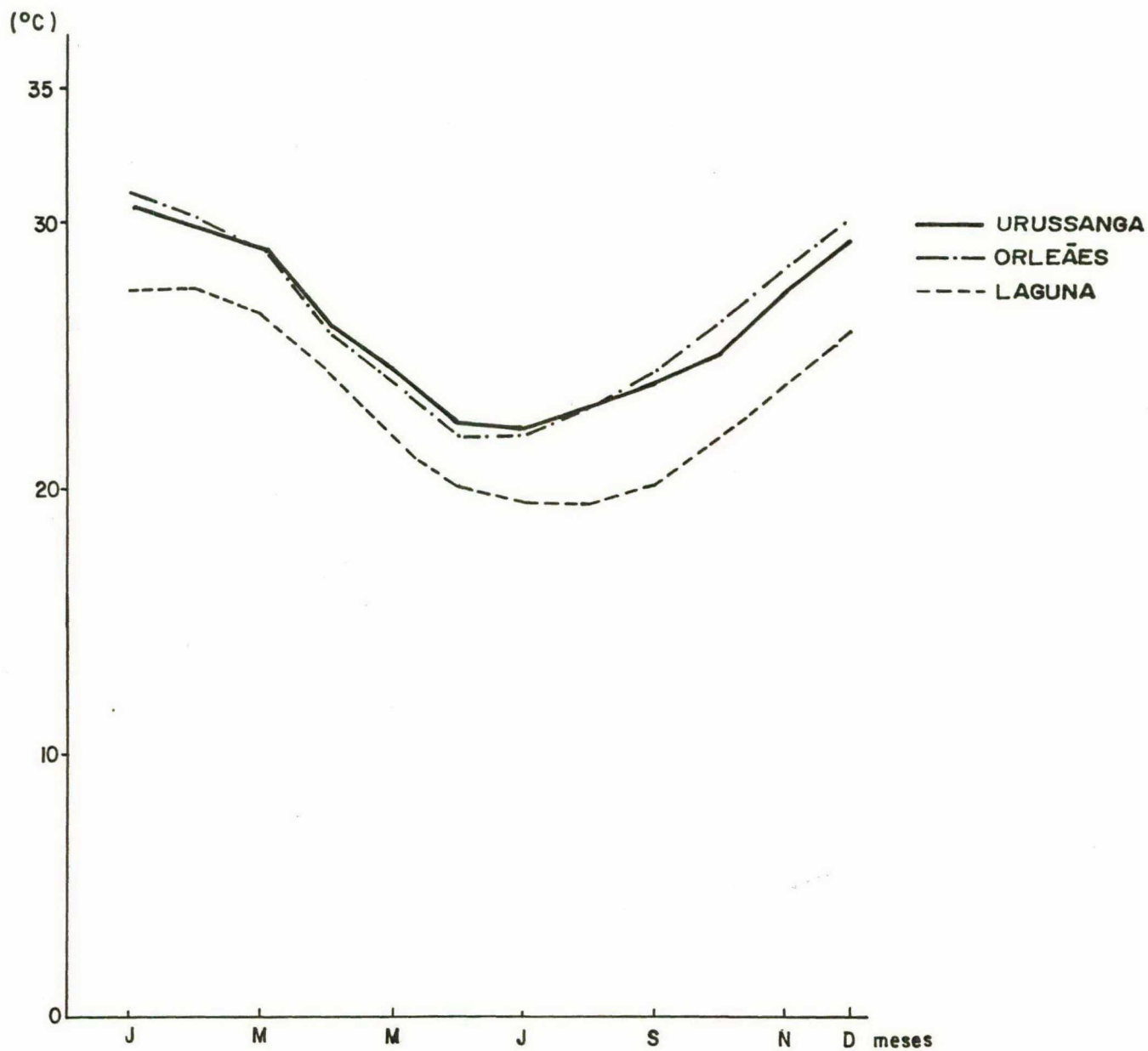


Fig. 4- Média de Temperatura Máxima Mensal, em °C, para as Tres Estações Meteorológicas Utilizadas

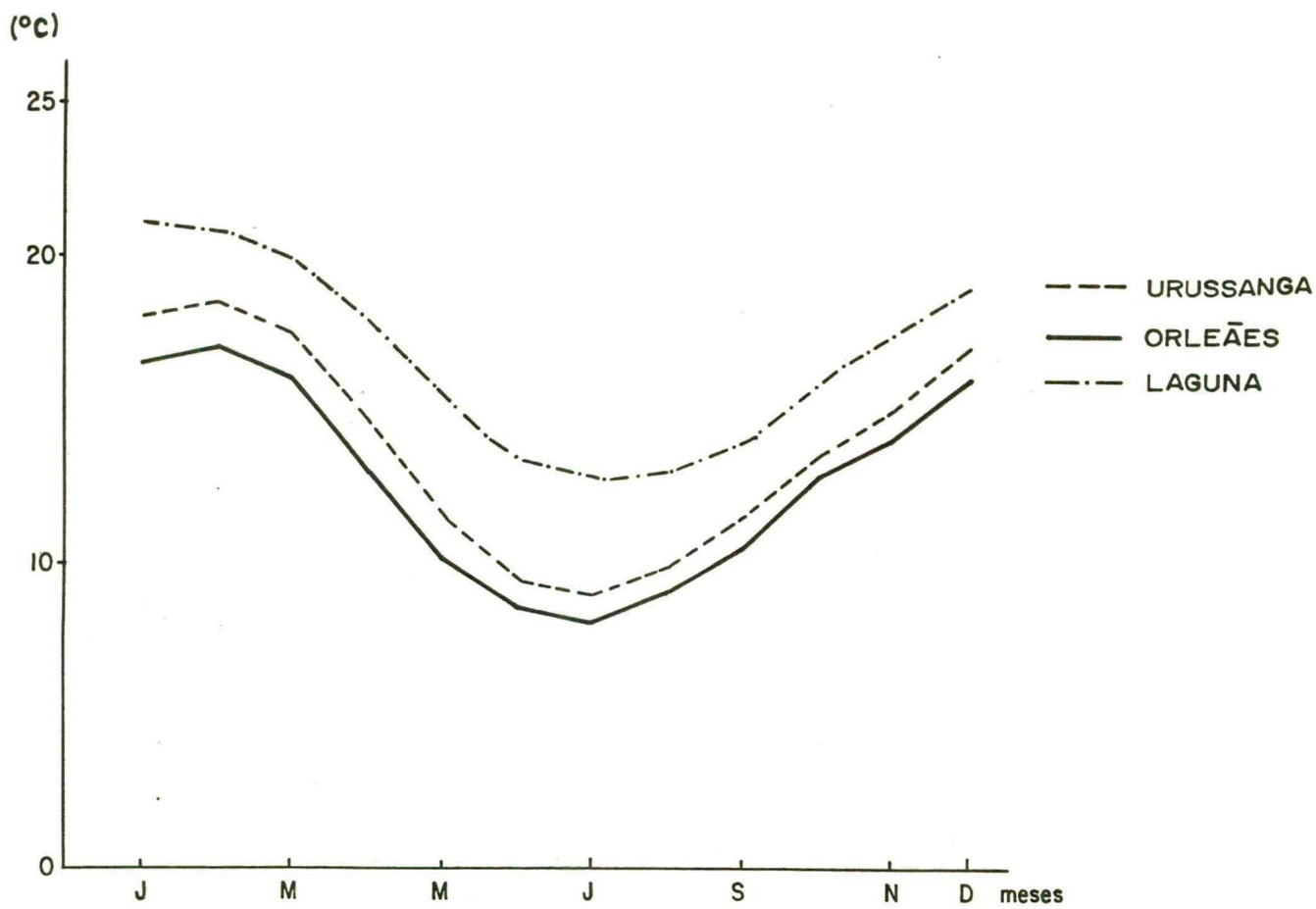


Fig. 5 - Média de Temperatura Mínima Mensal, em °C, para as Tres Estações Meteorológicas Utilizadas

O índice de umidade relativa média anual das estações meteorológicas de Orleães, Laguna e Urussanga é de 82,7%.

Na estação de Laguna a direção predominante dos ventos registrada ao longo da série histórica de quarenta e sete anos é nordeste. Dados colhidos junto ao Gabinete de Planejamento da Prefeitura do município de Tubarão atestam que o vento dominante na região é nordeste com 37,5%, enquanto o sul representa 15,6% e o sudoeste 13,2%.

Os principais rios formadores da bacia do Tubarão, são os rios Braço do Norte, Capivari, Una e Tubarão com a área em estudo inserida neste contexto.. O rio do Una forma uma sub-bacia, desaguando na Lagoa de Santo Antônio.

A bacia do Tubarão ocupa uma área de 5.100 km², é assimétrica, com uma maior extensão na vertente norte, onde os afluentes principais são os rios Oratório, Laranjeiras, Capivari e Braço do Norte, enquanto que a vertente Sul, é representada pelos rios Palmeiras, Azambuja e Armazém.

Os rios Capivari e Braço do Norte que nascem nos terrenos graníticos ao norte, apresentam um relativo paralelismo bem como uma orientação geral NS, conforme pode ser observado no mapa da rede de drenagem (Fig. 2).

O rio Tubarão apresenta um padrão geral subden- drítico, nasce nos planaltos da Serra Geral, a 1.400 m de altitude, a partir da união dos rios Rocinha e Bonito. (Fig. 2).

Em suas nascentes, ocorrem extensas áreas de lavra a céu aberto bem como depósitos de rejeitos na superfície o que ocasiona um abaixamento no pH e contribui de forma a degradar a qualidade da água do rio nesta porção. A contribuição diluidora do rio Braço do Norte ocorre a partir do curso médio do Tubarão.

Ao norte do médio curso do rio Tubarão, concentram-se as instalações industriais de beneficiamento de carvão pré- lavado, de geração de termelétricidade e da lavra de rejeitos carbonosos do Banhado da Estiva dos Pregos.

O rio Tubarão, após cortar a cidade homônima, bifurca-se em dois canais naturais, denominados Tubarão e Tubarão das Conchas. O padrão do canal fluvial do rio Tubarão é meandrante, sendo conhecido na região como "rio morto" pois recebe uma imensa carga de dejetos sólidos, esgotos domésticos e efluentes industriais. As suas águas são lodosas, escuras e a circulação é muito lenta.

Já no canal do Tubarão das Conchas a água circula rapidamente, é relativamente clara e grande porção de seu trecho foi retificado. Após a localidade de Madre, os dois braços de rio se unem, indo desaguar na Lagoa de Santo Antônio (Fig. 2).

A drenagem local da área ao sul do município de Tubarão, é controlada pelos rios Tubarão e Tubarão das Conchas que estão situados em uma várzea, cuja superfície tem cota muito próxima ao nível de base destas drenagens, conferindo à área um caráter alagadiço. Segundo Pimienta (1958), "o rio trocou, certamente, muitas vezes de leito e ao sul do curso atual subsiste um antigo trajeto localizado pelas lagunas de Garopaba do Sul e de Santa Marta. Na saída da laguna de Garopaba, o rio encontrava, além disso, um acesso direto para o mar, que se colmatou sob o efeito das ações marinhas". Ainda, de acordo com Pimienta (op. cit.), a bacia hidrográfica do rio Tubarão por ser muito íngreme à montante, somente em períodos de enchente é que transporta uma certa carga sólida. Assim, para este autor, "se a enchente chega à desembocadura da laguna em período de vento Nordeste (mais representativo na região), as águas são despejadas no mar, com seu débito sólido através da laguna. Mas, se o vento soprou do sul ao tempo da enchente, a subida do nível das águas, na laguna, compensa a que se produz, no curso inferior, onde a corrente é represada, depositando pequena carga sedimentar, até então mantida em suspensão".

De acordo com os dados fornecidos pelo Gabinete de Planejamento da Prefeitura Municipal de Tubarão, a vazão do

rio Tubarão varia em função das chuvas e da maré que bloqueia suas águas. A descarga média mensal varia de 44 m³/s (junho) até 152 m³/s (fevereiro). Esta amplitude decorre da fraca intensidade de chuvas na primavera, da alta taxa de infiltração de água no solo neste período e conseqüente saturação nos meses de verão. Os mínimos são registrados nos meses de maio a julho.

Na área em estudo ocorrem ainda as lagoas da Manteiga com 2,77 km² e a Lagoa de Garopaba do Sul de 18,20 km² (Foto 6). Estas fazem parte do amplo sistema lagunar da planície costeira catarinense, correspondendo a um conjunto de 47 lagoas que ocupam uma área de 342,69 km² (Peters; Souza, 1980). As lagoas da Manteiga e Garopaba do Sul, situadas à jusante do banhado da Estiva dos Pregos, estão interligadas às lagoas Mirim, Santo Antonio e Imarui formando o ecossistema lagunar.

Além dos rios formadores da bacia e das lagoas que compõem o sistema lagunar, a área é banhada por inúmeros riachos, córregos e canais que coletam toda a água de superfície. A maior parte destes canais desagua no rio Tubarão das Conchas. A foto 9 mostra um desses canais, o Jaguaruna, situado entre os arrozais e a área de gramíneas.

Dos córregos presentes na área em estudo, o dos Matutos até 1987 cortava o depósito de rejeitos carbonosos da Estiva dos Pregos e drenava toda a carga poluente, através do canal da pirita para o rio Tubarão. Concomitante com a construção de um dique para isolar a área de lavra e assim confinar o foco de poluição gerado nas etapas de extração e beneficiamento dos rejeitos carbonosos, o córrego foi desviado para o lado do depósito.



Foto 9 - Vista aérea de parte da área em estudo destacando-se, em primeiro plano, o morro granítico onde ocorre o Sambaqui de Jaboticabeira. O canal de Jaguaruna está situado entre os arrozais (parte superior da foto) e a área de gramíneas. São observadas também áreas de extração de conchas (porções esbranquiçadas).

No sul do Estado de Santa Catarina, as bacias de Tubarão e Araranguá são amplamente referenciadas como de poluição alarmante. Entretanto, uma comparação entre as bacias de Araranguá, Urussanga e Tubarão mostra que enquanto a bacia do Araranguá contribui com 13 milhões de toneladas de carvão (ROM) - extraídas de 21 minas de sub-solo e 4 a céu aberto - a bacia do Tubarão com produção de apenas 3 milhões de toneladas, mostra uma carga poluente semelhante (ELETROBRÁS, 1989). Pode-se inferir que seja decorrente do expressivo número de

minas a céu aberto e da presença de usinas termelétricas (TABELA 12).

TABELA 12 - Concentração da Indústria Carbonífera por Bacia Hidrográfica

Bacia Hidrográfica	Área de Drenagem (km ²)	Prod. ROM 86 (10 ³ t)	Nº Minas Subsolo	Nº Minas Céu Aberto	Nº Usinas Benef.	Pot. Gerac. Termelétr.	Nº Usinas Térmicas
Araranguá	2.800	13.087	21	4	18	—	—
Urussanga	600	1.071	8	—	5	—	—
Tubarão	5.100	3.054	11	11	7	482	3

Fonte: ELETROBRÁS, 1989

5. CARACTERIZAÇÃO DAS FONTES DE POLUIÇÃO E SEUS EFLUENTES

Os 26.000 ha que compreendem a área em estudo estão inseridos na bacia hidrográfica do rio Tubarão, onde as atividades de lavra e beneficiamento de carvão mineral desempenham um papel fundamental no tocante à geração de focos de poluição. Entretanto, estas atividades desenvolvem-se a uma distância considerável da área em questão, à exceção de uma lavra de rejeitos carbonosos que ocorre no denominado banhado da Estiva dos Pregos. A poluição oriunda destas atividades, apesar da distância do foco gerador, atinge a área estudada através da interdigitação da rede hidrográfica; atualmente até as nascentes do rio Tubarão, representadas pelos rios Rocinha e Bonito, acham-se comprometidas quanto à qualidade de suas águas pela descarga de efluentes com alto teor de elementos tóxicos (FATMA, [1981?]). Neste capítulo serão caracterizados os focos do depósito de rejeitos carbonosos do banhado da Estiva dos Pregos e usina de beneficiamento, situados dentro da área; Complexo Termelétrico Jorge Lacerda; Lavador de Capivari e entreposto de carvão, nas imediações da área e, minerações a céu aberto e subterrâneas desenvolvidas nas nascentes do rio Tubarão.

Outras fontes de poluição também contribuem com uma gama muito variada de parâmetros agressores ao meio, como por exemplo o lixo doméstico e industrial que é descarregado no rio Tubarão, bem como os agrotóxicos utilizados amplamente na agricultura local, caracterizada principalmente pela cultura do arroz irrigado.

A poluição das águas residuais urbanas - aí incluindo as águas domésticas, águas residuais industriais e águas pluviométricas urbanas - é fundamentalmente de caráter orgânico biodegradável, podendo ocorrer elementos tóxicos ou pouco biodegradáveis provenientes das águas residuais indus-

triais que são conduzidas à rede fluvial sem tratamento prévio. Estas águas possuem também uma alta contaminação biológica. A contaminação por águas residuais domésticas causa um incremento da DBO e de coliformes fecais enquanto que as águas que carregam resíduos sólidos urbanos apresentam um incremento da temperatura e mineralização (condutividade), da DBO, elementos tóxicos, íon amônio (NH_4) e dióxido de carbono.

A utilização intensa de adubos e fertilizantes naturais ou artificiais, produzem em muitas zonas um incremento notável de nitratos que além de seu caráter tóxico e pouco biodegradável, tem um efeito cumulativo. A contaminação da água por práticas agrícolas abusivas causa um incremento da DBO, íon NO_3 , salinidade, pH e uma diminuição da relação Na/K.

Estes parâmetros acima apontados não foram analisados no presente estudo, tendo em vista o objetivo específico de retratar a poluição gerada pelos processos de beneficiamento, lavra de carvão mineral e rejeitos carbonosos através da detecção de elementos-traço.

5.1 Depósito de Rejeitos Carbonosos do Banhado da Estiva dos Pregos

O processo de formação do depósito de rejeitos carbonosos situado no banhado da Estiva dos Pregos, iniciou no ano de 1943, operado pela Companhia Siderúrgica Nacional (CSN). Os rejeitos sólidos são constituídos por finos de carvão, rejeitos carbonosos e piritosos oriundos do processo de beneficiamento do carvão pré-lavado (CPL), proveniente das minas de carvão da região carbonífera, através do Lavador Central de Capivari. O transporte era realizado por via férrea e os rejeitos depositados no final dos ramais, no local denominado Estiva dos Pregos. Atualmente, o depósito ocupa uma área

de cerca de 45 ha de um total de 300 ha do banhado. Parte do banhado da Estiva dos Pregos é apresentado na Foto 10.



Foto 10 - Parte do banhado da Estiva dos Pregos com as lagoas da área de lavra. Na porção inferior direita os rejeitos carbonosos parcialmente emersos. Ao fundo, o Complexo Termelétrico Jorge Lacerda.

Em 1978, a Carbonífera Metropolitana S/A instalou no referido local uma Usina para recuperação e concentração da pirita, destinada à Indústria Carboquímica Catarinense (ICC). Esta Usina beneficiou os rejeitos provenientes do banhado da Estiva dos Pregos como também o de outras áreas de mineração daquela empresa, situadas no município de Criciúma. As atividades da Usina foram encerradas em fevereiro de 1985.

O "lavador-concentrador" instalado na beira do banhado, produzia efluentes ácidos, lama contendo finos argilosos e piritosos, que eram lançados por canalizações em depó-

sitos a céu aberto, com acumulação parcial em local próximo à Usina. Em 1985, após a obtenção da Licença Ambiental de Operação junto à Fundação de Amparo a Tecnologia e ao Meio Ambiente (FATMA), a Empresa Coque Catarinense Ltda iniciou a lavra e o beneficiamento do rejeito a partir da porção emersa do depósito, gerando finos energéticos, concentrado piritoso e rejeito carbonoso (Foto 11). O concentrado piritoso ainda é comercializado com a Indústria carboquímica Catarinense (ICC), enquanto o carvão energético é destinado às empresas de energia elétrica, cimenteiras e cerâmicas.

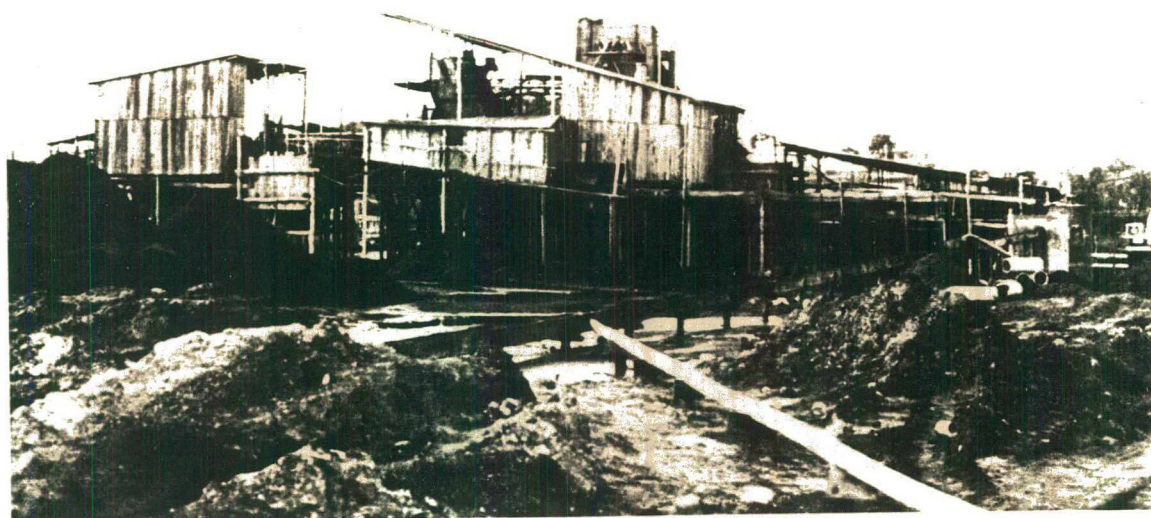


Foto 11 - Lavador da Empresa Coque Catarinense instalado no banhado da Estiva dos Pregos para beneficiamento dos rejeitos carbonosos.

Semelhante às lavras a céu aberto, a lavra e o beneficiamento de rejeitos carbonosos geram além dos efluentes líquidos com alto teor de sólidos e de elevada acidez, rejeitos sólidos tais como finos de carvão, rejeitos piritosos e carbonosos.

Estes rejeitos gerados após beneficiamento, são dispostos na forma de pilhas sobre áreas já mineradas atingindo uma espessura máxima de 0,5 m após compactação. Para evitar ao máximo o contato com as águas pluviais, foi implantado um sistema de drenagem que desvia estas águas para as bacias de captação, com consequente utilização das mesmas no processo de beneficiamento.

Quanto aos efluentes líquidos, a solução adotada para remoção dos sólidos em suspensão foi a decantação em bacias, seguido da recirculação da água para a Usina. Entretanto, para ocorrer uma expressiva sedimentação do material em suspensão, com vistas a clarificar a água, é necessário um longo tempo de detenção. No entanto, isto eleva a possibilidade de ocorrer a oxidação da pirita aumentando a acidez, sulfatos, ferro e elementos-traço presentes nos efluentes. A água utilizada no lavador é captada no canal de desvio que liga com o córrego dos Matutos e é recirculada no processo, não havendo, via de regra, lançamentos de efluentes líquidos na rede hidrográfica local.

A lavra que está sendo desenvolvida no depósito de rejeitos carbonosos é limitada em profundidade pela cota 4,5 m, ou seja, 1,5 m acima do nível do lençol freático. Como não existe cobertura estéril para ser retirada, os cortes de extração iniciam a partir da borda do depósito com largura aproximada de 15 m. Após a execução de aproximadamente 80m do primeiro corte, inicia-se o segundo corte e assim sucessivamente, até atingir o limite extremo do depósito. Concomitante às operações de lavra, está sendo realizada uma tentativa de recuperação da área, com recobrimento de argila e plantio de gramíneas por hidrosemeadura.

Visando isolar a área de depósito de rejeitos carbonosos, e lagoas de decantação de modo a não comprometer a área à jusante do banhado, em vista da elevada acidificação da água, quantidade de sólidos dissolvidos e elementos-traço carregados, como constatado em vários trabalhos de mineração de carvão, foi contruído um dique circundando a área minerada. (Fotos 12 e 13).

A construção do dique iniciou em 1987 e atualmente, as operações de lavra e beneficiamento do material carbonoso estão compreendidas no seu interior. O material utilizado para a construção do dique são cinzas oriundas da queima do carvão na Usina Termelétrica Jorge Lacerda e recoberto por argila.



Foto 12 - Detalhe do dique construído com a cinza oriunda das Usinas Termelétricas e recoberto com argila. À esquerda, o córrego dos Matutos que teve seu curso canalizado e desviado para fora do dique.

Esta cinza, apesar de possuir um caráter básico, contém uma série de elementos químicos tóxicos, que quando em contato com o meio ácido podem ser solubilizados em quantidades expressivas para o meio ambiente (DNPM, 1988).

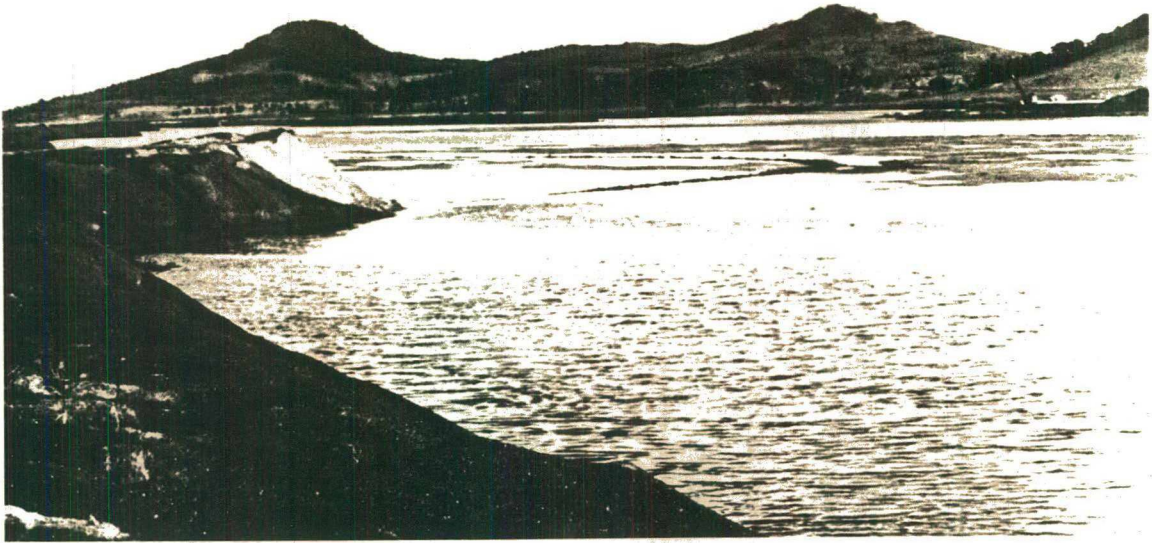


Foto 13 - Vista de detalhe das lagoas da área de lavra de rejeitos carbonosos. À esquerda e ao fundo, parte do dique que circunda estas áreas, constituído por cinzas, porção esbranquiçada, e recoberto por rejeito mais grosseiro.

Com a construção do dique, as águas fluviais que atravessavam a área de lavra foram desviadas por meio de canais que passam ao seu redor e deságuam à jusante do rio Turbarão das Conchas.

Entretanto, a ausência de impermeabilização do fundo das lagoas de decantação e rompimentos localizados no dique que circunda as áreas de lavra/beneficiamento podem possibilitar a ocorrência de infiltração de águas ácidas no len-

col freático (Foto 14). Este rompimento possivelmente é devido à percolação de água superficial, pouca compactação e ausência de cobertura vegetal na camada de argila.

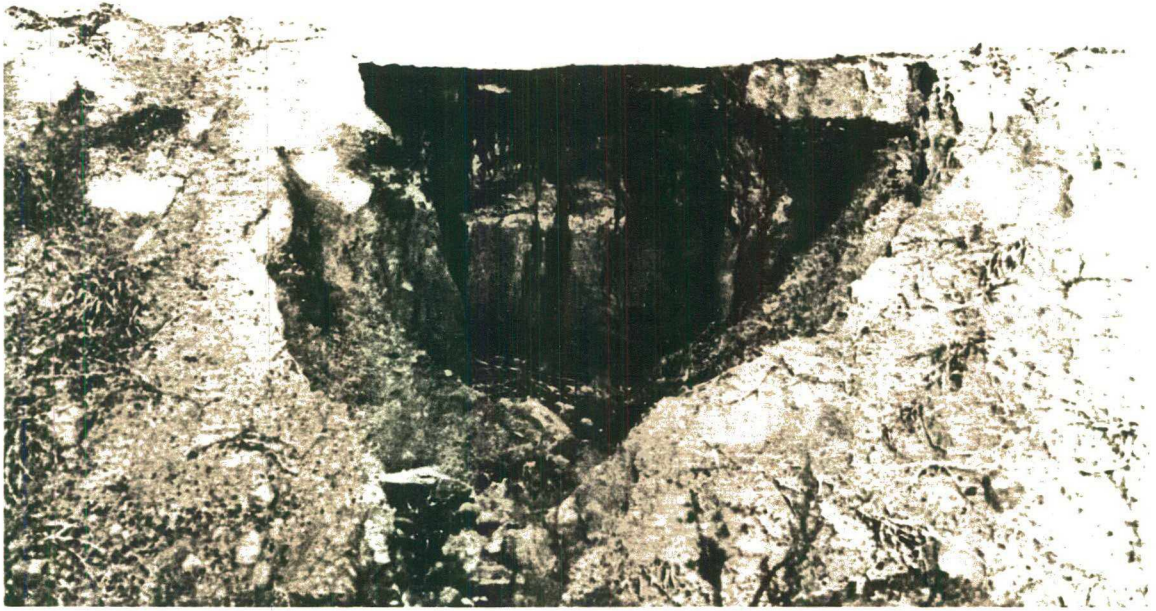


Foto 14 - Rompimento da cobertura de argila (marrom) que recobre o dique construído à base de cinzas (esbranquiçado) e rejeitos (preto). Esses rompimentos ocasionaram fugas de água poluída.

A lavra realizada no depósito da Estiva dos Pregos expõe os rejeitos antes submersos, provoca o aumento de oxigenação. Desse modo, a pirita que ocorre associada ao carvão, em presença de oxigênio e água tem a sua instabilidade aumentada de modo significativo. Em uma primeira etapa, é produzido sulfato ferroso e ácido sulfúrico que irão reagir com os demais materiais presentes que ocorrem associados ao car-

vão, aumentando a taxa de acidez no meio. O ácido dissolve os elementos-traço e possibilita a sua ocorrência em altas concentrações no meio aquático, como constatado em vários trabalhos realizados nas áreas de mineração a céu aberto de Siderópolis.

A intensificação do processo de degradação das áreas à jusante do banhado da Estiva dos Pregos ocorreu principalmente no início das atividades de mineração em 1978, realizadas pela Carbonífera Metropolitana S.A., para concentração da pirita, e posteriormente, em 1985, pela Coque Catarinense, para recuperação dos finos de carvão.

5.2 Complexo Termelétrico Jorge Lacerda

Os dados aqui apresentados sobre esse foco poluidor, bem como as atividades de beneficiamento de carvão correlatas, foram integralmente extraídos de um estudo elaborado pela ELETROBRÁS e entidades ligadas ao setor de lavra, beneficiamento, transporte, estocagem e utilização do carvão em usinas termelétricas. Esse documento (ELETROBRÁS, 1989) avalia e propõe medidas mitigadoras dos impactos ambientais decorrentes do aproveitamento do carvão mineral nessas usinas para geração de energia.

O Complexo Termelétrico Jorge Lacerda é composto por seis unidades; duas de 50 MW, duas de 66 MW e duas de 125 MW totalizando 482 MW de capacidade instalada, com expansão prevista para 832 MW com a Unidade IV, ainda em construção (Foto 15). Para sua operação o Complexo consome carvão energético CE-4500, resultante do beneficiamento do CPL no Lavador de Capivari.

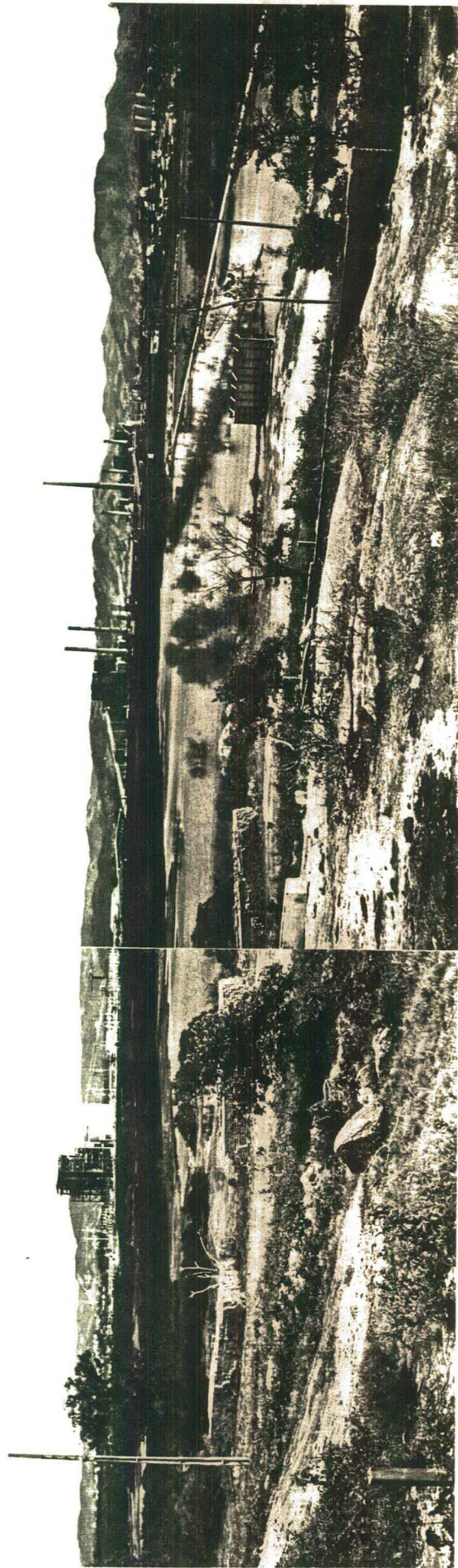


Foto 13 - Vista geral do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda I, II, III e IV, em construção (à esquerda da Foto). Em primeiro plano a bacia de decantação dos efluentes líquidos.

5.2.1 Arraste Hidráulico e Disposição das Cinzas

A água de arraste utilizada para extrair as cinzas resultantes da combustão do carvão que se alojam no fundo da caldeira, constitui-se em um efluente poluidor. Esse efluente líquido após ser conduzido à bacia de sedimentação onde permanece por várias horas, pode ser parcialmente recirculado e/ou despejado nos rios, após tratamento para controlar contaminantes solúveis.

O Complexo Termelétrico Jorge Lacerda possui cinco bacias de sedimentação para remoção dos sólidos dos efluentes líquidos oriundos do transporte das cinzas, da drenagem das pilhas de carvão e do lodo do sistema de tratamento de água.

As propriedades físico-químicas destas cinzas são decorrentes de vários fatores, tais como a composição da matéria-prima, grau de beneficiamento de moagem, tipo de caldeira, projeto e operação, bem como do sistema de extração e manuseio das cinzas.

Grande parte da cinza gerada é emitida como cinza volante, em torno de 85%, e o restante, 15%, corresponde à cinza residual. Na TABELA 13 estão representadas as concentrações médias dos elementos-traço nas cinzas da Usina Jorge Lacerda que refletem a composição química do carvão utilizado, à exceção dos elementos voláteis.

A lixiviação das cinzas e a absorção seletiva de elementos como Cd, As, Cr, Cu, Ni, Se e Hg concentrando teores altamente tóxicos nos solos pode reduzir sensivelmente a produtividade de certas culturas bem como ocasionar intoxicação de animais e homens pela ingestão de plantas contaminadas. As lavouras de arroz que se desenvolvem em áreas situadas ao sul do Complexo Termelétrico são seriamente afetadas quando ocorre um abaixamento do pH a valores menores que 4,0, o que

impede o vegetal de retirar os nutrientes adsorvidos às partículas do solo como o H, Al, N, Mn e Mg.

TABELA 13 - Concentrações médias dos elementos-traço em ppm, nas cinzas da Usina Jorge Lacerda

ELEMENTOS	CINZAS RESIDUAIS	CINZAS VOLANTES GROSSEIRAS	CINZAS VOLANTES ULTRA-FINAS	SOLO MÉDIO
As	1	13	160	1 a 60
B	82	100	128	x
Ba	440	445	520	x
Be	12	12	18	x
Br	130	130	130	x
Cd	0,30	0,40	0,60	0,3 a 1,5
Ce	120	120	120	x
Co	20	19	17	1 a 40
Cr	182	150	178	15 a 1000
Cu	63	56	63	2 a 100
F	14	25	100	até 200
Hg	0,05	0,05	0,16	até 0,01
Mn	190	210	180	1 a 850
Mo	8	7	20	x
Ni	64	61	51	x
Pb	28	26	200	2 a 200
Se	0,93	3,6	6,7	x
Sn	15	8	30	x
Sb	1,5	1,4	1,97	x
Th	130	130	130	x
Ti	7800	7800	7800	x
Zn	210	233	900	10 a 300
U	3,4	3,4	3,4	x
V	280	310	320	x

Fonte: FUNDATEC, 1987

No transporte considerado úmido, as cinzas volantes e as residuais são misturadas a um jato d'água e conduzidas à bacia de sedimentação que pode servir como depósito final ou intermediário, até sua condução para um aterro. Mesmo no transporte considerado à seco existe consumo de água, pois para a cinza ser disposta em aterro, deve ser umedecida até um teor de 10 a 12% de umidade (por peso) visando melhorar tanto

as condições de manuseio como diminuir a ocorrência de pó. Neste processo, somente no local de disposição final, por lixiviação das cinzas pela água da chuva, haverá geração de efluentes líquidos. As cinzas volantes destinadas à venda, geralmente são retiradas por via seca, para manter as propriedades de cimentação, neste caso não ocorrendo efluentes líquidos.

O grau de poluição do efluentes líquidos oriundos da bacia de sedimentação de cinzas depende das concentrações e do grau de solubilização dos elementos químicos presentes no material. Nas cinzas volantes os elementos parcialmente volatilizados durante combustão à baixa temperatura aderem à superfície e, em contato com a água produzem ácido sulfúrico aumentando a acidez, o que acelera a lixiviação daqueles elementos. Entretanto, com alta temperatura de combustão, o enxofre presente volatiliza e o pH do efluente poderá chegar a 10. Neste caso, o excesso de basicidade do efluente pode ser considerado um poluente pois elementos como Se, As, Mo, Hg e Cd são altamente solúveis em meio básico (pH = 10).

As cinzas volantes adsorvem na superfície maior concentração de elementos-traço em proporção às cinzas residuais e, quando transportadas hidraulicamente, apresentam maior potencial de lixiviação desses elementos. Assim, a solubilização das cinzas volantes difere das cinzas residuais, sendo que a velocidade depende do pH do efluente. "Para a maior parte dos elementos como Al, Cr, Cu, Fe, Zn e Hg na forma de sulfatos a solubilidade máxima ocorre a pH de 1,0 e decai logaritmicamente até o pH de mínima solubilidade, em geral entre 8 e 10, à exceção dos elementos já mencionados". (ELECTROBRÁS, 1989).

Os tratamentos existentes e utilizados em países mais desenvolvidos para a remoção dos elementos-traço presentes nos efluentes das bacias de cinzas fundamentam-se no fato de que a solubilidade dos íons metálicos é função do pH, sendo necessário estabelecer um pH intermediário ideal em fun-

ção dos metais que serão removidos prioritariamente. A bacia de sedimentação cumpre o papel de clarificar o efluente por decantação da fração mais fina, o que ocorre a uma velocidade muito baixa. Devido ao longo tempo de permanência requerido, os processos de lixiviação se acentuam com a liberação dos elementos tóxicos e, quando este efluente é lançado à rede hidrográfica, podem ser esperadas concentrações destes elementos acima dos limites permitidos pela legislação vigente.

Em países onde as pressões ambientais são mais intensas, as usinas termelétricas têm procurado diminuir o volume de efluente líquido ou operar com descarga zero no meio ambiente. Desta forma, podem trabalhar em circuito fechado durante anos, necessitando somente de uma pequena descarga que é submetida a tratamento químico (precipitação e absorção em carvão ativado) para a remoção de elementos tóxicos. O efluente para a drenagem neste caso representa somente 2% da vazão circulante contra os 100% no caso de sistemas abertos (ELETRÓBRÁS, 1989).

5.2.2 Drenagem das Pilhas de Carvão

O efluente líquido originado da percolação da água pluvial no pátio de estocagem de carvão a céu aberto das seis unidades do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, apresenta características físico-químicas bastante variáveis. Elevada acidez, teor de sólidos dissolvidos e elementos-traço são os poluentes desse efluente. E, os fatores que afetam a acidez (devido à presença de substâncias ou íons que em solução aquosa são capazes de aumentar a concentração hidrogeniônica), e a conseqüente lixiviação dos elementos das pilhas de carvão dependem da concentração de enxofre na pirita, tamanho e forma da pilha, método de beneficiamento do carvão antes da estocagem, condições climáticas, concentração de CaCO_3 e de outros

neutralizantes no carvão, bem como do tempo de residência da água de infiltração na pilha de carvão.

Para tratamento desta drenagem que deve ser coletada e desviada de outras águas que tem acesso ao pátio de estocagem, deve ser realizada a neutralização (adição de cal) e precipitação química, isoladamente ou em conjunto, com o efluente oriundo das cinzas.

5.2.3. Sistema de Refrigeração

Este sistema tem por finalidade resfriar e condensar o vapor que retornará à caldeira, podendo utilizar a água apenas uma vez e descartá-la no meio ambiente ou recircular o fluido refrigerante com retirada de uma parcela do mesmo para o meio. No caso de sistema com circuito aberto um efeito poluente importante é o acréscimo de 30 a 80C na água devolvida ao curso d'água (ELETROBRÁS, 1989).

Quando ocorre a recirculação da água, a concentração de determinados sais de Ca, Mg (CO₃, HCO₃, SO₄ e Cl) é aumentada ocasionando incrustações que diminuem a troca de calor com a atmosfera e por consequência da Usina, havendo necessidade de repor uma quantidade de água com baixo teor de sais dissolvidos. Assim, as características químicas da purga da torre de refrigeração dependerão das características da água captada, tratamento químico que esta água recebe, poluentes presentes no ar e que são captados na torre e da presença de inseticidas, herbicidas e compostos fenólicos naturais que ao se combinarem com o cloro formam compostos tóxicos que dão forte gosto à água.

O líquido do sistema de refrigeração da torre deve ser tratado em separado quando são utilizados cromatos como anticorrosivos. O cromo hexavalente é altamente tóxico aos seres vivos e para sua remoção é necessária redução do pH

a valores inferiores a 3,0, adição de SO_2 e elevação do pH a valores entre 8,0 e 9,0, ocorrendo a precipitação imediata do Cr^{3+} na forma de hidróxidos (ELETROBRÁS, 1989). O efluente final apresenta teores mínimos de cromo trivalente e assim, pode ser lançado ao rio. Compostos fosfatados e à base de zinco podem também ser utilizados como anticorrosivos e a sua eliminação do efluente ocorre por simples precipitação a pH elevado.

5.2.4 Sistema de Tratamento de Água

A operação das termelétricas requer água tratada, que é obtida através da floculação e decantação gerando um lodo com alto teor de sólidos dissolvidos. Uma parcela da água é desmineralizada pelo processo de troca iônica para uso no circuito de vapor. Os poluentes provêm dos sais dissolvidos, do teor de sólidos e dos produtos que intervêm no processo regenerativo dos trocadores iônicos que têm a propriedade de permitir a troca de um íon insolúvel por um íon H^+ solúvel, reduzindo desta forma o perigo de incrustações. Para regeneração destes trocadores iônicos são utilizadas soluções de hidróxido de sódio e ácido clorídrico, que em um tanque de neutralização tem dosada a soda ou o ácido até atingir um pH neutro para assim ser feita a descarga no corpo receptor.

5.2.5 Outros efluentes

Os efluentes considerados de caráter esporádico e não prioritário, mas que também devem ser monitorados, constituem aqueles oriundos da limpeza de caldeiras, pré-aquecedores e outros equipamentos, esgotos sanitários com presença de coliformes fecais e teor de sólidos dissolvidos, descargas de

laboratórios, derrames e vazamentos de caráter acidental.

5.3 Lavador de Capivari

A operação de beneficiamento ou lavagem do carvão bruto (ROM - run of mine) separa o carvão de outros materiais que ocorrem associados, como por exemplo a pirita, siltitos, arenitos, folhelhos, calcários e argilas. Em valores médios, o carvão de Santa Catarina apresenta um conteúdo de 3% a 8% de enxofre (ELETROBRÁS, 1989).

O sistema de produção de carvão adotado no Estado obedece a duas etapas:

- O carvão bruto (ROM) sofre uma lavagem primária nos pré-lavadores instalados nas bocas das minas, com uma redução do teor de cinzas de 60% a 65% para 32% a 33% enquanto que o poder calorífico fica em torno de 5200 Kcal/kg, denominado CPL. A fração coqueificável é de 5,4% com teor de cinzas de 18%. Os rejeitos gerados neste pré-beneficiamento correspondem a 76% do carvão bruto.

Estes podem ser agrupados em três classes denominadas R1, R2 e R3. O rejeito R1 é retirado em primeiro lugar por jigagem e contém a maior porção de pirita (FeS_2), que constitui a matéria prima para obtenção do concentrado piritoso destinado à Indústria Carboquímica Catarinense (ICC).

Os rejeitos R2 e R3 são constituídos essencialmente por siltitos e quimicamente classificados como silicatos e aluminatos; o R2 é de granularidade mais fina que o R3. Estes produtos finais somente podem ser utilizados para pavimentação de vias urbanas quando da não ocorrência de material piritoso. A qualidade e quantidade de estéreis resultantes depende da eficiência dos pré-lavadores, sendo que atualmente, em algumas unidades mineiras, o R3 já não é mais produzido, gerando apenas o R1 e o R2.

Os produtos obtidos nos pré-lavadores são o CPL (fração mais grosseira), finos energéticos e finos metalúrgicos, sendo estes últimos utilizados nas diversas coquerias instaladas na região carbonífera.

- Na etapa final de beneficiamento no Lavador de Capivari o carvão passa por uma classificação e nova britagem, sendo então enviado para uma instalação de beneficiamento completa incluindo jigues, ciclones, lavadores a meio denso, hidrociclones, classificadores e recuperadores magnéticos.

Os produtos finais gerados nesta segunda e última etapa compreendem 25% de carvão metalúrgico, o que representa menos de 5% do ROM, e carvão energético CE-4500, 42%, e CE-5200, 30% do total.

Os carvões metalúrgicos e CE-5200 são transportados até o Porto de Imbituba onde são destinados aos consumidores como siderurgias e indústrias cimenteiras. O carvão CE-4500 é usado no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda para geração de energia.

A instalação do Lavador de Capivari S.A., companhia de economia mista subsidiária da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), ocorreu em 1943, e, segundo dados extraídos do Informativo Anual da Indústria Carbonífera (1988) possui uma capacidade instalada de 800 t/h de CPL.

A poluição gerada nos processos de beneficiamento ocorre principalmente devido à água que é utilizada na jigagem, pois o carvão quando britado produz uma fração fina que é arrastada pelas águas, ocasionando uma grande quantidade de sólidos em suspensão. A outra componente ambiental diz respeito à quantidade de rejeitos sólidos e sua disposição final inadequada com exposição ao ar e emissão de odores, material particulado e combustão espontânea, percolação de água com aumento de acidez e dissolução de elementos-traço.

5.4 Entrepósito de Carvão

A estocagem do carvão é realizada em pilhas dispostas a céu aberto. O pátio de estocagem operado pela extinta Companhia Auxiliar de Empresas Elétricas Brasileiras (CAEEB) situa-se nas adjacências do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda e abriga toda a produção de CE-4500 e CE-5200 resultante do beneficiamento do CPL realizado no Lavador de Campivari.

Atualmente, a estocagem e comercialização deste carvão está sob a responsabilidade do Sindicato Nacional das Indústrias Extrativas de Carvão (SNIIEC), juntamente com a ELETROSUL que consome o CE-4500 enquanto que o CE-5200 destina-se às cimenteiras.

As águas pluviais percolam as pilhas, lixiviam os produtos de oxidação de pirita residual e dão origem a uma descarga ácida com alto teor de sólido em suspensão. Estas águas são fortemente poluídas pois a oxidação da pirita quando exposta à umidade gera ácido sulfúrico e compostos de ferro (ELETROBRÁS, 1989). Outro impacto ambiental verificado na estocagem do carvão é a emissão de poeiras fugitivas à atmosfera.

5.5 Minerações de Carvão a Montante da Área

Nos municípios de Lauro Muller e Orleães ocorrem várias minerações de carvão, tanto a céu aberto como em sub-solo. Essas minerações situadas à montante da área em estudo dentro da bacia hidrográfica do rio Tubarão, têm acopladas à usina de beneficiamento (pré-lavadores) e bacias de decantação, áreas com exposição de rejeitos situadas nas proximidades das nascentes do rio Tubarão, conforme pode ser visua-

lizado no mapa da rede de drenagem (Fig. 2). A foto 16 mostra um detalhe do sistema de decantação comumente adotado pelas empresas mineradoras da região carbonífera.

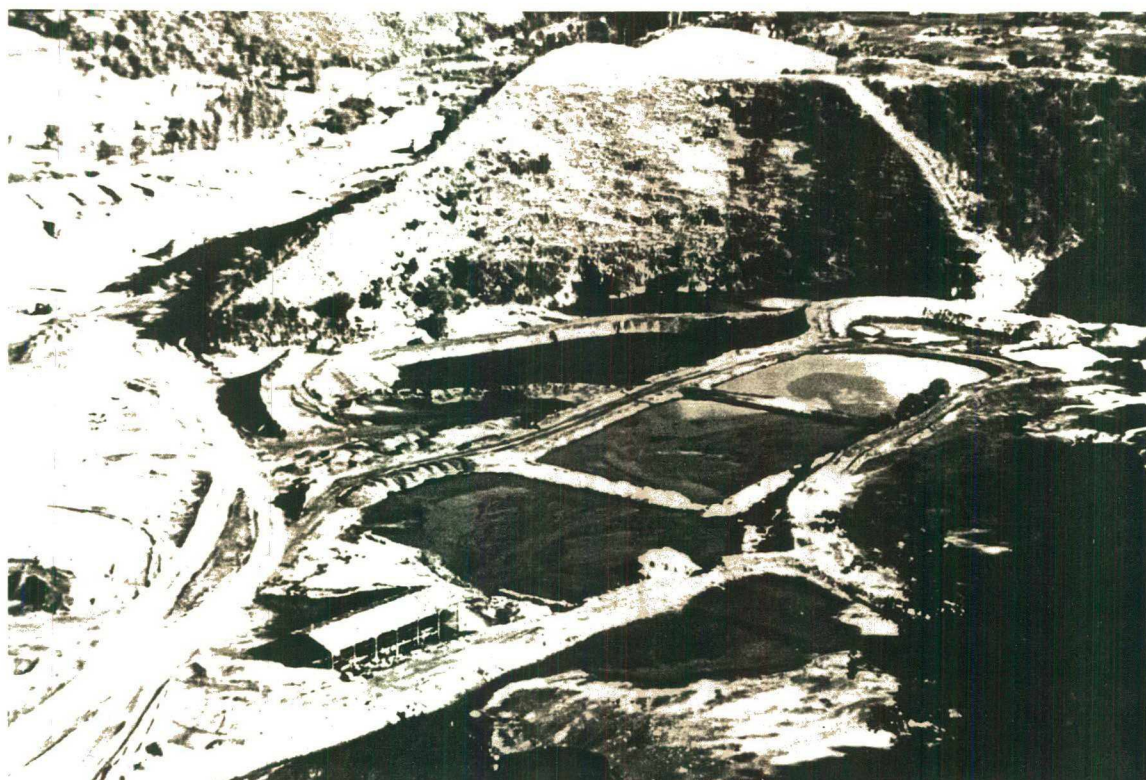


Foto 16 - Bacias de decantação do lavador Boa Vista da Cia. Nacional de Mineração Carvão do Barro Branco, às margens do rio Rocinha. O circuito é fechado e o efluente clarificado é bombeado da última bacia para o Lavador. Ao fundo, antigos depósitos de rejeitos, sem controle, continuam até hoje poluindo o rio.

A mineração a céu-aberto na bacia do rio Tubarão ocupa uma área de 500 hectares e compreende minerações abandonadas e em atividade, enquanto a área coberta por rejeitos e beneficiamento atinge 250 hectares (ELETROBRÁS, 1989).

A lavra a céu-aberto possui como componente ambiental de grande importância a total movimentação do capeamento, como a retirada da camada do solo e exposição do material piritoso. As águas, ao percolarem grandes superfícies ex-

postas e, em contato com o ar, elevam o seu nível de acidez lixiviando os metais associados ao carvão e rejeito carbonoso. Soma-se a este fato a acentuada erosão decorrente das atividades de mineração, pela infiltração das águas superficiais, o que provoca o assoreamento dos cursos d'água, ampliando as áreas degradadas e os tempos de contato do material piritoso com o oxigênio e a água. A textura de um solo atingido por mineração a céu-aberto apresenta-se completamente alterada com perda de fertilidade conduzindo à desertificação.

A exposição das camadas carbonosas ao ar, nas áreas de mineração a céu-aberto, gera também forte poluição da atmosfera devido à combustão espontânea dos rejeitos piritosos com emissão de odores, como vapor d'água, CO, SO₂ e H₂S e partículas ácidas. Os estudos efetuados pela ELETROBRÁS (1989), atestam que a maior concentração de poluentes no ar ocorre em Tubarão devido às emissões do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda. Os poluentes são captados pelos ventos existentes entre 1 e 2 Km da superfície, transportados e dispersos por dezenas de quilômetros da Usina. A utilização de chaminés elevadas evita que a concentração destes poluentes (principalmente SO₂ e material particulado) atinja altas concentrações a nível do solo. Quantitativamente, não varia o SO₂ lançado à atmosfera, mas os efeitos locais são minorados (ELETROBRÁS, 1989).

A mecanização da mineração iniciada após 1974 propiciou o manejo de maiores volumes de carvão e, com isto, um aumento da produção. Entretanto, a seletividade na extração de carvão bruto diminuiu, implicando em uma maior quantidade de rejeitos. A acumulação exponencial de rejeitos veio acarretar sérios problemas.

Atualmente, as unidades mineiras consideradas de grande porte, como por exemplo a mina Itanema (Carbonífera Treviso), mina 3FG (Carbonífera Barro Branco), operam o circuito de lavagem do carvão bruto com recirculação de água, não sendo esta lançada na rede hidrográfica.

Entretanto, existem lavadores clandestinos e empreiteiras que lavram o carvão que seria considerado anti-econômico para a instalação de uma mina, dado a sua posição espacial e espessura da cobertura. Estas empreiteiras muitas vezes resistem à implantação do sistema de controle da poluição, tendo em vista a pequena vida útil da jazida. O efluente do beneficiamento dos lavadores clandestinos normalmente é conduzido ao rio sem prévio tratamento, seja para a sedimentação ou para a adição de cal visando aumentar o pH.

Na mineração de subsolo, seja ela realizada manualmente ou utilizando equipamentos (processo semi-mecanizado ou mecanizado) o lençol freático é de alguma forma interceptado e as águas que afluem para dentro da mina devem ser recalçadas à superfície. Assim, as minas constituem um sumidouro para as águas subterrâneas que ali percolam, podendo frequentemente ocasionar o desaparecimento dos cursos d'água, rebaixamento do lençol freático em poços de abastecimento e até subsidência provocada por abatimento dos tetos das galerias. Este fenômeno ocorre quando da extração em demasia dos pilares de segurança, ou quando estes foram originalmente subdimensionados. Geralmente, este fato se dá quando da exaustão da jazida ou do aproveitamento irregular dos pilares, no recuo da frente de lavra. Os pilares restantes não suportam o peso das camadas sobrejacentes e sofrem fadiga, abatendo desta forma o teto das galerias.

Ainda deve ser considerada a poluição aérea que quando ocorre na superfície ocasiona vibrações devido ao desmonte por explosivos e liberação de material particulado e gases de exaustão.

6. ELEMENTOS QUÍMICOS - AÇÃO NOS ECOSISTEMAS

Os elementos químicos que tem ocorrência natural na atmosfera e que são componentes da crosta e do solo em concentrações restritas, da ordem de parte por milhão - ppm ou menores que 0,1% são denominados elementos-traço. Segundo Batley (1989), são aqueles elementos que usualmente ocorrem em baixas concentrações nas rochas, solos, água, atmosfera e biota, sendo que alguns são tóxicos ao ser humano mesmo a baixas concentrações com o Pb, Cd, Hg e As. Incluídos nesse conjunto, estão elementos metálicos de peso elevado, o que derivou, provavelmente, a denominação de metais pesados, comumente utilizada na literatura.

Orsini (1980), estabelece uma classificação para os elementos químicos baseada no número atômico. Assim, Be, Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu e Zn são denominados elementos leves pois o seu número atômico é menor que trinta; Sr, Zr, Cd, Sn, Sb e Ba são médios; enquanto que Pt, Hg, Pb e Bi são pesados, com número atômico maior que sessenta. Muitos desses elementos são íons metálicos de grande significado biológico e essenciais ao bom funcionamento dos organismos, como Mn, Fe, Co e Zn (Anderson, 1977 apud Crouse et al., 1983).

Os metais são incorporados ao meio a partir de fontes naturais, provenientes de uma ação não intencional do homem, como aquelas resultantes do intemperismo mecânico e químico que age sobre as rochas e cujo produto final é carregado pelos rios, do suprimento do fundo do mar, transporte pela atmosfera e suprimento costeiro proveniente da ação das ondas.

As descargas oriundas das atividades humanas e principalmente industriais são a maior fonte de acréscimos de metais, com a mineração, fundição e refino desempenhando os principais papéis na dispersão acentuada através do meio ambiente. A contaminação por elementos-traço alcança atualmente dimensões mundiais, sendo observada tanto em países desenvol-

vidos como naqueles em desenvolvimento devido à expansão industrial.

Comparando as taxas tóxicas de elementos-traço com as concentrações naturais destes nas rochas, solos e sedimentos, Forstner (1983) afirma que haverá um enriquecimento devido à ação antropogênica, para Pb, Hg, Cd, Cu e Zn.

Os sistemas aquáticos - principalmente os lagunares - caracterizados como sistemas altamente produtivos mas extremamente susceptíveis à agressão de poluentes químicos, sofrem sério risco de contaminação por elementos-traço devido ao seu caráter cumulativo e a sua capacidade de translocação através da cadeia trófica.

A introdução de rejeitos industriais e urbanos nos sistemas aquáticos continentais e por consequência nos ecossistemas das lagoas costeiras e praias causa uma contínua degradação e, na maioria dos casos, é bastante difícil determinar os mecanismos biológicos de respostas destes ecossistemas a estas agressões.

A mineração de carvão que ocorre nas nascentes do rio Tubarão, o rebeneficiamento de rejeitos carbonosos no banhado da Estiva dos Pregos, os efluentes líquidos e gasosos emitidos pelo Complexo Termelétrico Jorge Lacerda e a disposição inadequada dos rejeitos sólidos estão causando sério comprometimento na qualidade da água e do ar da região.

O conhecimento dos elementos químicos que ocorrem associados ao carvão, das reações que se processam em contato com o oxigênio e a água e dos produtos gerados é de fundamental importância para estimar a mobilidade e eventual disponibilidade do poluente para incorporação na biota.

6.1 Caracterização do Carvão

Os carvões são compostos por material orgânico, sólido e combustível, originado a partir de massa vegetal de-

positada em ambientes subaquáticos redutores que ao sofrer transformações graduais, passam ao estágio de turfa, linhito, hulha, antracito e grafita devido ao enriquecimento relativo em carbono fixo, processo denominado de carbonificação. Em menores quantidades, ocorre uma associação inorgânica representada por sulfetos e cinzas. Estes materiais incombustíveis ocorrem associados à fração orgânica, fazendo parte da camada, em leitos estratificados, o que dificulta a sua separação por métodos convencionais.

A constituição mineralógica das cinzas é representada por uma fase vítrea principal, de natureza sílico-aluminosa e secundariamente por mullita, quartzo, hematita e magnetita (Kihara, 1983). Na sua constituição ocorre ainda Ca, Mg, álcalis, óxidos de Ti, Mn, Sr, P, V e Li e pequenas proporções de elementos-traço. O alto teor de cinzas do carvão energético nacional, 40 a 60% (ELETROBRÁS, 1989), implica em uma maior quantidade de resíduos sólidos e, em consequência, custos mais elevados de equipamentos de controle de poluição do ar e maiores exigências de áreas para a disposição dos resíduos.

A origem dos sulfetos presentes no carvão ainda não está perfeitamente definida, provavelmente pelo fato de ocorrerem de diferentes maneiras e em vários períodos da história evolutiva da camada carbonosa.

Os sulfetos são representados pela pirita e marcassita. O sulfeto mais comum é a pirita (FeS_2), em estrutura isométrica; já a marcassita, cujo polimorfo é menos frequente que a pirita, é menos densa e estável e portanto mais sujeita à oxidação. Como alteração destes minerais ocorrem a melanterita (sulfato hidratado de ferro) e a jarosita (sulfato básico de potássio e ferro) e secundariamente a coquimbíta ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$), halotriquita ($\text{Fe Al}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$) e a copiapita ($(\text{Fe, Mg})\text{Fe}_4(\text{SO}_4)_6(\text{OH})_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$) (Branco, 1982).

Além do enxofre presente nos sulfetos, ocorre ainda sulfato de cálcio e enxofre orgânico. O enxofre presente na pirita é o sulfeto mais frequente e é aquele que mais contamina o ciclo hidrológico, sendo responsável pela formação do SO_2 volátil e o ácido sulfúrico que acidifica as águas. A foto 17 mostra um detalhe da lagoa ácida, onde o tom avermelhado é originado pela presença de ácido sulfúrico.



Foto 17 - Detalhe da lagoa ácida onde estão depositados os rejeitos carbonosos. A reação de oxidação e hidrolização da pirita gera ácido sulfúrico em primeira instância o que confere o tom avermelhado à água destas lagoas.

O carvão ainda possui associado elementos-traço que são tóxicos em concentrações da ordem de ppm. Análises realizadas em diversos carvões do sul-catarinense constataam, entre outros, a presença de Cr, Co, Cu, Hg, As, Pb, Mn, Ni,

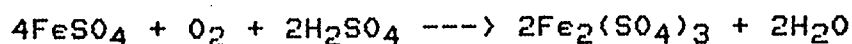
Cd, Zn, Be e Al com concentrações variando de lugar para lugar, mesmo dentro de uma mesma jazida (ELETROBRÁS, 1989).

A exposição dos rejeitos carbonosos ao ar é indispensável para oxidação da pirita, pois rejeitos enterrados ou mesmo constantemente submersos em água não se oxidam, ou são muito pouco oxidados, pois a difusão do O_2 na água é 10.000 vezes menor que no ar (Kagey; Wixson, 1983).

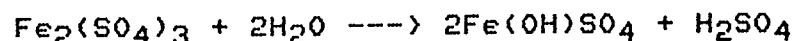
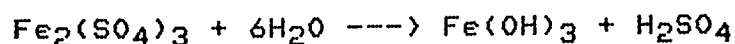
Autores como Krauskopf (1972) entre outros, mostram que a reação inicial de oxidação da pirita ocorre em presença de oxigênio e água, conforme a equação:



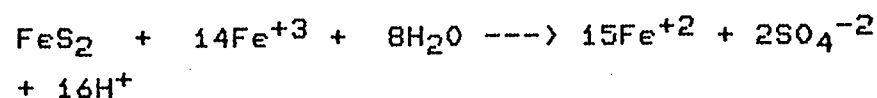
A oxidação do sulfato ferroso produz sulfato férrico:



O sulfato férrico pode sofrer hidrolização resultando em ácido sulfúrico e hidróxido férrico ou sulfato férrico básico:



O sulfeto em contato com Fe_3 oxida facilmente para sulfato:



Assim, a oxidação de um mol de pirita produz dois moles de ácido sulfúrico e a partir daí desencadeia um processo crescente de sulfatos férricos e ferrosos e mais ácido sulfúrico, além de reações secundárias entre os sulfatos, ácidos e demais compostos presentes nas argilas, calcários, arenitos, siltitos, folhelhos e outros estratos associados à camada de carvão mineral.

A formação de ácido sulfúrico diminui os valores de pH e aumenta a taxa de acidez mantendo dissolvido na água grande parcela de elementos-traço liberados durante a oxidação da pirita.

A relação existente entre a concentração do elemento-traço no carvão, na drenagem do carvão e nos rejeitos, depende do pH do efluente e do grau de lixiviação de cada metal, refletindo portanto a diferença de solubilidade.

Além dos processos físicos e químicos da oxidação da pirita, a atividade bacteriana também é de grande importância na formação do ácido sulfúrico, pois atua como catalisadora na reação de oxidação, propiciando a transformação do íon ferroso em férrico.

6.2 Toxicidade dos Elementos Químicos

Muitos elementos originários da crosta terrestre são essenciais às funções bioquímicas e fisiológicas. Esses elementos segundo Crouse et al. (1983) tem como incumbência transferir as funções necessárias para a vida biológica e são compartimentados dentro das células vivas. Essa compartimentação pode ser a nível subcelular ou macromolecular podendo os organismos vivos selecionarem, transportarem e compartimentarem aqueles elementos que atuam decisivamente nos processos de oxidação, redução, catalização e estruturação enquanto se protegem contra as interações biologicamente tóxicas.

De acordo com Lüttig; Snezhko (1987), os elementos considerados essenciais ao homem - embora possam também ser considerados tóxicos quando presentes em grandes quantidades - são regulados por processos metabólicos que os mantêm assim em níveis adequados de equilíbrio nos animais e no homem. Aqueles considerados não essenciais, não são regulados por estes processos e podem ser armazenados em quantidades crescentes em alguns tecidos. No homem é reconhecida a importância do Na, Mg, Ca e K existindo outros metais importantes como o Fe, Mn, Co, Cu, Zn e Mo. Como acentuam esses autores o Cu, Zn, Fe e Co desempenham importantes funções nos organis-

mos, compondo o sistema doador de elétrons e funcionando como pontes nos complexos enzimáticos.

Alguns autores distinguem os macroelementos essenciais dos microelementos utilizando o critério da maior ou menor quantidade presente em tecidos vivos. Crouse et al. (1983) ressaltam que um dado elemento pode ser (e muitos elementos são) essencial, terapêutico, tóxico e/ou carcinogênico a depender da sua concentração e forma química.

Anderson (1977 apud Crouse et al., 1983), a partir de uma modificação na tabela de recomendação das quantidades diárias de vitaminas e minerais essenciais ao organismo humano emitida pela Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos, propõe o seguinte esquema de classificação para os elementos:

a. Macronutrientes essenciais (100 mg/dia ou mais são necessários): Ca, Cl, Mg, P, K, Na e S;

b. Micronutrientes essenciais (não é necessário mais do que poucas miligramas por dia): Cr, Co, Cu, F, I, Fe, Mn, Mo, Se e Zn;

c. Micronutrientes que podem ser considerados essenciais: Ni, Si, Sn e V;

d. Contaminantes traços (alguns estão sendo investigados pela possível essencialidade): Cd, Pb, Hg, Al e As.

Os elementos-traço considerados essenciais passam a ser tóxicos quando a sua incorporação ao organismo é excessiva, ultrapassando os níveis de concentração considerados normais. Esses elementos geralmente ocorrem em pequenas quantidades no ambiente e a sua concentração nos organismos é naturalmente superior àquela encontrada no meio.

Apesar da discrepância entre diversos autores sobre os elementos reconhecidos como traços, Orsini (1980) utilizando o grau de toxicidade, classifica-os na seguinte ordem: Pb, Cd, Cu, Ni, Zn, Co, As, Se e Hg considerados de alta toxicidade; Be, Sn, Bi e Sb, de média toxicidade; Al, Ti, Ba, Sr, Zr, Nb e V como levemente tóxicos. Dentre esses ele-

mentos, o carvão e sedimentos associados contém significativas concentrações de As, B, Cd, Pb, Hg, Mo e Se considerados pela classificação acima como de alta toxicidade (Kagey ; Wixson, 1983).

Vários estudos tem sido realizados sobre os poluentes do carvão e seus efeitos adversos à saúde humana, notadamente em países europeus e América do Norte como por exemplo Braunstein; Copenhauer; Pfunder (1981). Todavia, esses estudos limitam-se a alguns poluentes específicos e, com raras exceções, desconsideram o fato de que esses poluentes não existem sozinhos e portanto, interagem com as substâncias presentes no meio, como matéria orgânica, ácidos húmicos e ácidos fúlvicos, além das bactérias.

De acordo com Kagey; Wixson (1983) o beneficiamento do carvão não elimina os elementos-traço, apenas redistribui Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn, As, Hg, Mn, Se e Co, que se separam da fase orgânica. Esta operação reduz o teor de enxofre e concentra especialmente Mn, Co, Ni e Zn, enquanto que As, Pb, Mo, Cd e Se são em parte removidos, podendo afetar a qualidade da água em que são lançados, caso não sejam tratados apropriadamente.

Segundo Bryan (1976 apud Forstner, 1983)) a toxicidade dos poluentes metálicos em relação à biota pode ser afetada por diversos fatores. Dentre estes é de suma importância a forma como o metal está presente na água. Como componente inorgânico, pode estar como íon solúvel, íon complexado, íon quelatado ou molécula. Como orgânico, pode estar associado ao material particulado como precipitado, adsorvido ou colóide.

A presença de outros elementos-traço ou substâncias pode estabelecer fenômenos de sinergismo ou antagonismo resultando em uma diminuição ou aumento de toxicidade. Goldstein (1988), afirma que a variação do pH, temperatura, oxigênio dissolvido, luz, salinidade, bem como as condições fisiológicas e o comportamento dos organismos afetados repre-

sentam fatores que também interferem na toxicidade do elemento.

Nos efluentes de natureza química complexa não é possível estimar os efeitos que as várias substâncias tóxicas apresentam sobre a biota aquática. A atividade biológica daquelas substâncias é devida principalmente às interações entre componentes da mistura, não podendo ser identificada uma única substância como responsável por um determinado efeito. Desta forma, a abordagem de controle dos efluentes através de substâncias específicas para as quais a legislação existente estabelece padrões numéricos de emissão, possui como limitação a grande quantidade de substâncias possíveis de serem lançadas no ambiente e a impossibilidade do estabelecimento de padrões de emissão que abranjam o universo das atividades industriais (Walsh et al., 1980 apud Goldstein, 1988).

Como alternativa, pesquisadores propõem testes de toxicidade nos quais os organismos aquáticos representativos das comunidades biológicas de corpos d'água receptores, são expostos a várias concentrações de efluentes. Nessa abordagem, a toxicidade, característica inerente a uma substância ou a mistura de substâncias químicas e que é evidenciada sobre os organismos vivos, é a única variável a ser controlada (USEPA, 1985 apud Goldstein, 1988).

6.3 Importância do Sedimento na Mobilização dos Elementos Químicos

Segundo Lu ; Chen (1977) a composição química de um sistema de água natural é determinada pela interação dos componentes de natureza física, química, biológica e/ou humana que reage com o ambiente geológico e aquele alterado pelo homem. Para estes autores, a ação antrópica introduzindo mudanças no sistema é fundamental na determinação da química da

água.

Apesar da água superficial ser a melhor medida para se avaliar, monitorar e controlar a poluição por metais pesados, estando diretamente relacionada aos efeitos tóxicos no organismo, ocorrem fortes flutuações nas concentrações dos elementos-traço (Forstner, 1983). Para o mesmo autor, as oscilações nestas concentrações são atribuídas a muitas variáveis, dentre elas mudanças nas condições redox, pH, temperatura, variações diárias e sazonais nos fluxos de água e descargas locais de efluentes.

As maiores dificuldades quando se trabalha com água superficial são as de amostragem inadequada, armazenamento e procedimentos analíticos. Martin et al. (1980 apud Forstner, 1983) afirmam que "muito dos valores cotados de metais traços nas águas naturais citados em bibliografia, são altos unicamente por contaminação durante amostragem e análise". Optou-se então por amostrar sedimentos de corrente, à medida que estes reproduzem informações que refletem áreas mais amplas, não sendo tão pontuais quanto a amostra de água superficial; além disto, os procedimentos de análise laboratorial são mais simples e os resultados obtidos são confiáveis para a maior parte dos regimes climáticos (Howarth ; Thornton, 1983).

A composição dos sedimentos de corrente representa uma aproximação estreita dos produtos de intemperismo e erosão do solo e rocha da área fonte situada à montante do local estudado. Segundo Thornton ; Webb (1979 apud Howarth ; Thornton, 1983) a amostragem realizada nestes sedimentos pode ser utilizada como guia na determinação da qualidade da água, pois existe uma estreita relação entre a sua composição e a dos constituintes solúveis associados à corrente.

Os sedimentos de granulometria inferior a 80 mesh, basicamente argilas, possuem forte capacidade de adsorção dos metais contidos na solução aquosa (Forstner, 1983). Os metais presentes na água como hidróxidos, carbonatos e sulfatos complexos tendem a ser adsorvidos mais fortemente na su-

perfície das argilas do que os íons metálicos livres (Thorton, 1983).

Os elementos-traço podem permanecer na água intersticial na forma de íons livres ou como íons complexados ou ainda podem incorporar-se à matéria insolúvel orgânica ou inorgânica de sólidos autigênicos (Lu ; Chen, 1977). Esses elementos podem também fazer parte da estrutura cristalina dos sedimentos, neste caso não interessando para estudos de poluição metálica antropogênica.

Os adsorventes inorgânicos mais comuns são os óxidos/hidróxidos metálicos, argilas e areias, enquanto que o adsorvente orgânico consiste de vegetais, animais e películas húmicas na superfície dos minerais. Entre os inorgânicos, os óxidos/hidróxidos metálicos possuem alta afinidade pelos íons por causa da sua carga e superfície reativa combinada com sua grande área superficial. Em águas naturais os óxidos de Fe, Mn, Al e Si são os mais importantes; enquanto que em sistemas aquáticos, com alta concentração de substâncias húmicas, a adsorção de elementos-traço por películas orgânicas, sobre as superfícies dos minerais, é bastante significativa.

Lu ; Chen, (1977), consideram que a interfície sedimento/água representa o sítio de importantes interações que afetam grandemente o comportamento dos elementos-traço na água.

Processos químicos e físico-químicos como adsorção, troca catiônica, precipitação, co-precipitação, complexação e floculação retém no sedimento os metais trocáveis e os associados à diversos substratos como os óxidos/hidróxidos de Fe/Mn, carbonatos, sulfetos e matéria orgânica (Forstner ; Patchineelam, 1980 apud Pestana ; Lacerda, 1989).

A presença de matéria orgânica depositada nos sedimentos favorece a mobilização de vários elementos sob a forma de sulfetos insolúveis. Qualquer modificação nas condições físico-químicas reinantes no meio (pH, Eh, teor orgânico, salinidade) tende a liberar total ou parcialmente as frações

metálicas potencialmente móveis associadas ao substrato sedimentar ou ocasionar a sua desorção das partículas sólidas (Tessier et al., 1979 apud Pestana ; Lacerda, 1989).

A fração metálica presa no retículo cristalino dos minerais pode ser considerada quimicamente inerte, não estando portanto disponível para os processos metabólicos. Enquanto que para os elementos maiores no ambiente aquático existe uma predominância de um equilíbrio simples solução-mineral, já para os elementos-traço o comportamento é muito mais complexo. O equilíbrio destes é determinado por mecanismos como co-precipitação, efeitos na superfície e interações com fases orgânicas (Lu ; Chen, 1977).

Mudanças nas condições redutoras para oxidantes podem aumentar fortemente a mobilidade de metais como Mo, U, V e Se e em menor grau Hg, Cu e Cd, provavelmente também o Zn, Co, Ni e Pb. A mobilidade do Mn e Fe se reduz sob condições oxidantes (Fizmann; Pfeiffer; Lacerda, 1984).

Segundo Batley (1989), a mobilidade geoquímica em resposta à acidificação ambiental aumentará consideravelmente se o Al, Mn e Zn e em menor grau o Cd, Co e Ni estiverem também presentes na fração não residual do sedimento. Os elementos que formam espécies aniônicas, tais como As, Se e Mo são apreciavelmente solubilizados a partir da descarga de cinzas volantes de sistemas de lagoas de decantação, em condições de pH neutro ou alcalino.

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1. Análise dos Mapas de Isotéores

Os resultados analíticos das 29 amostras compreenderam a determinação de elementos considerados maiores como o Fe, Mn e Al e de elementos-traço Cr, Cu, Co, Ni, Zn, Cd, Hg e Pb, que são expressos em parte por milhão - ppm na Tabela 14. O As e Se não foram detectados pela técnica empregada neste estudo.

De acordo com Angino (1983) este tipo de resultado expressa a concentração dos elementos dissolvidos sob condições lixiviantes na interface água-sedimento onde ocorrem reações que se dividem em três categorias: gás-líquido, líquido-sólido e adsorção-dessorção.

Os resultados referentes aos teores desses elementos foram comparados com os teores máximos permissíveis para água de abastecimento segundo a legislação do CONAMA (1988) e da Organização Mundial da Saúde - OMS de 1984, citada no Guia de coleta e preservação de amostras de água (Agudo et al. 1987), e com os limites máximos recomendados para a preservação da vida aquática e para água de irrigação segundo o Water Quality Sourcebook (Neely et al., 1979).

Da análise dos mapas de isotéores pode-se inferir o comportamento dos elementos poluentes no ambiente, o seu grau de dispersão em relação às fontes poluidoras, bem como a distribuição espacial, ressaltando os pontos de máxima e mínima concentração, o que é realizado para os onze elementos determinados analiticamente.

TABELA 14 - Resultados Analíticos dos Elementos Químicos

Pontos	Cu	Pb	Zn	Co	Mn	Fe	Cr	Al	Ni	Cd	Hg
1	15,00	17,00	38,00	8,00	542,00	10000,00	0,00	1357,00	0,00	0,00	0,12
2	15,00	4,00	35,00	3,00	17,00	3340,00	1,70	2190,00	15,00	0,00	0,08
3	13,00	3,00	56,00	1,00	12,00	4400,00	8,40	1958,00	4,00	1,00	0,10
4	15,00	13,00	23,00	6,00	325,00	4100,00	1,70	1192,00	8,00	0,00	0,10
5	6,00	12,00	12,00	0,00	17,00	1240,00	0,00	1238,00	0,00	0,00	0,10
6	28,00	11,00	51,00	1,00	88,00	3260,00	0,00	5724,00	5,00	1,00	0,05
7	6,00	18,00	40,00	0,00	9,00	9000,00	2,20	1193,00	2,00	0,00	0,09
8	2,00	8,00	21,00	2,00	4,00	3780,00	0,00	512,00	8,00	0,00	0,06
9	10,00	4,00	23,00	5,00	74,00	2760,00	2,10	2333,00	0,00	0,00	0,06
10	9,00	9,00	27,00	3,00	94,00	4400,00	0,00	4479,00	8,00	0,00	0,06
11	5,00	0,00	12,00	23,00	53,00	2120,00	0,00	1975,00	1,00	1,50	0,06
12	7,00	8,00	33,00	2,00	106,00	3000,00	1,60	864,00	2,00	0,25	0,15
13	12,00	6,00	20,00	2,00	220,00	3260,00	0,00	1163,00	14,00	0,75	0,13
14	14,00	6,00	43,00	7,00	173,00	4900,00	0,00	2151,00	2,00	0,75	0,15
15	0,00	6,00	5,00	15,00	57,00	1480,00	0,00	281,00	6,00	0,50	0,07
16	0,00	6,00	5,00	2,00	82,00	365,00	0,00	293,00	0,00	0,00	0,14
17	2,00	6,00	12,00	2,00	102,00	833,00	0,00	474,00	6,00	0,00	0,14
18	8,00	8,00	6,00	1,25	108,00	3340,00	0,00	2195,00	6,00	1,25	0,28
19	2,00	0,00	6,00	0,00	433,00	2200,00	0,00	757,00	12,00	0,00	0,10
20	4,00	0,00	13,00	2,00	57,00	1440,00	0,00	587,00	9,00	0,00	0,09
21	6,00	4,00	11,00	6,00	160,00	950,00	0,00	393,00	1,00	0,00	0,12
22	0,00	4,00	7,00	2,00	425,00	1280,00	0,00	239,00	0,00	0,00	0,06
23	0,00	6,00	0,00	0,00	135,00	896,00	1,60	481,00	0,00	0,00	0,10
24	3,00	9,00	29,00	21,00	367,00	2380,00	0,00	739,00	0,00	0,00	0,10
25	2,00	0,00	8,00	10,00	31,00	1480,00	0,00	1856,00	0,00	1,00	0,09
26	8,00	6,00	13,00	10,00	130,00	4640,00	1,60	1939,00	2,00	1,00	0,07
27	13,00	4,00	36,00	12,00	165,00	2380,00	1,50	5832,00	21,00	0,00	0,08
28	10,00	8,00	24,00	12,00	172,00	4500,00	0,00	2735,00	3,00	1,25	0,10
29	6,00	9,00	28,00	6,00	174,00	2540,00	0,00	1683,00	2,00	0,00	0,09
MEDIA	7,28	6,03	23,83	5,66	149,03	4478,07	0,77	1648,72	4,97	0,36	0,10
ld	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,25

- Valores expressos em parte por milhão - ppm

- Os valores expressos como zero representam quantidades abaixo do limite de detecção para a técnica utilizada.

- ld - limite de detecção.

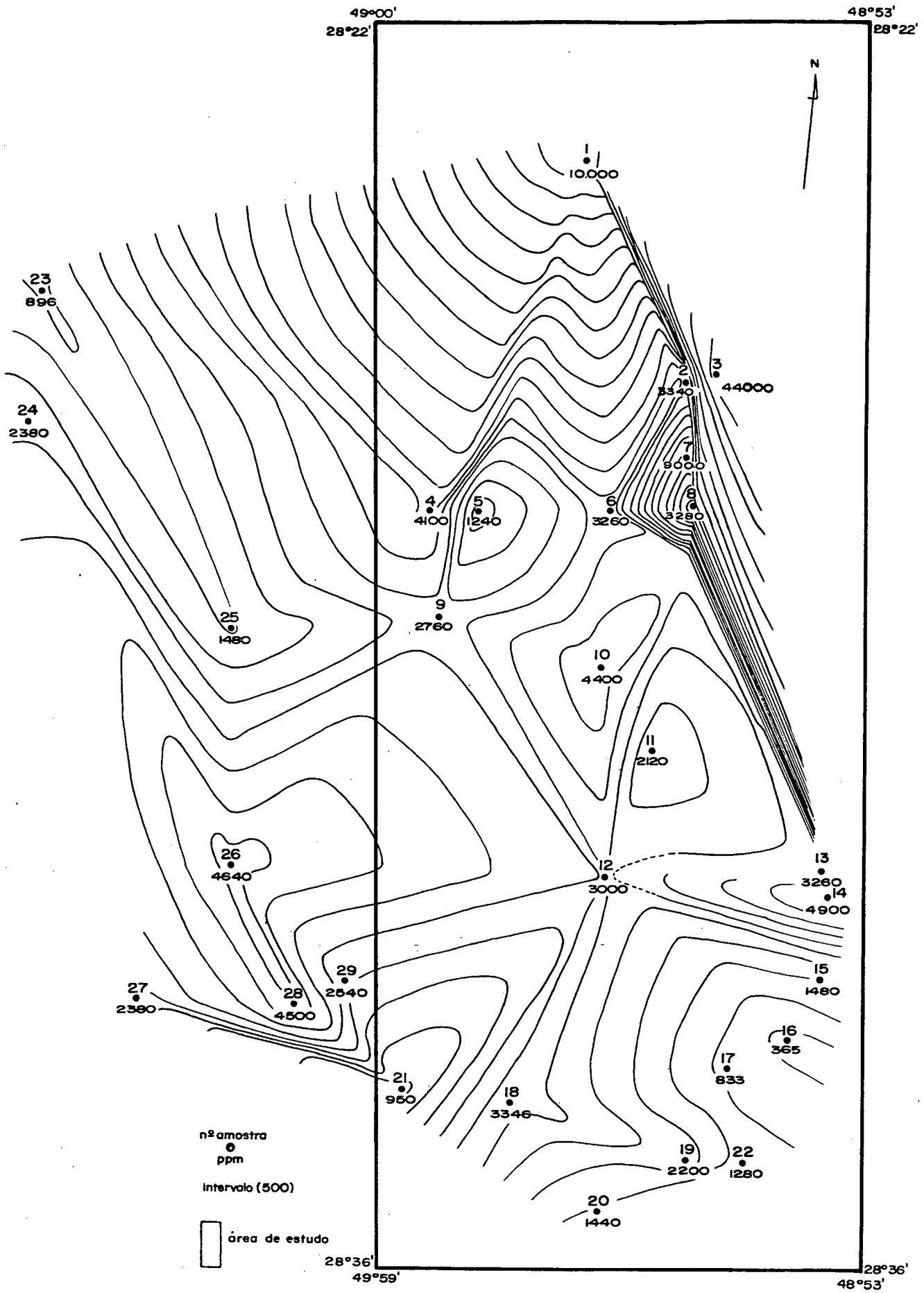
7.1.1. Ferro

No mapa de isoteores de ferro (Fig. 6) os pontos 3 e 16 expressam a máxima e mínima concentração, 44.000 ppm e 365 ppm respectivamente. O intervalo adotado para a construção do referido mapa é de 500 ppm e o valor médio calculado para as 29 amostras corresponde à 4478 ppm. Este valor médio ultrapassa 14.900 vezes o valor máximo permitido para águas de abastecimento (CONAMA, 1988) e proteção à vida aquática (Neely et al., 1979) que é de 0,3 ppm. Para água de irrigação em solos ácidos é admitido o valor de 5 ppm (Neely et al., op. cit.).

O banhado da Estiva dos Pregos compreende os pontos 2,3 e 7 e, coincidentemente, é nesta área que ocorre o maior teor de ferro, 44.000 ppm. Na porção sul do banhado, este teor decresce para 9.000 ppm (ponto 7). Entretanto, no ponto 2 o teor é bem menor correspondendo à 3340 ppm.

Nos pontos 25,5,9 e 12 localizados no rio Tubarão, o teor de ferro aumenta gradativamente de 1480 p.p.m. no ponto 25 até 3.000 ppm no ponto 12 situado na porção final deste rio. No rio Tubarão das Conchas o ponto 10 com teor de 4400 ppm de ferro, possui valor muito próximo daqueles valores observados nos pontos 26 (4640 ppm) e 28 (4500 ppm) localizados em áreas intensamente cultivadas com arroz da região de Congonhas. Tal situação se repete nos pontos 14 com 4900 ppm, que resulta de amostra coletada em afluente do rio Tubarão que também drena áreas com intenso cultivo, e 4 com 4100 ppm, situado a oeste das usinas termelétricas e próximo às suas bacias de decantação.

Nas lagoas da Manteiga (pontos 15,16 e 17) e de Garopaba do Sul (pontos 19 e 22) os valores encontrados variam de 2200 ppm no ponto 19 ao valor mínimo de 365 ppm no ponto 16. Nestas áreas, o pH está na faixa de 6,0 a 6,5 e a concentração neste elemento é baixa, quando comparado com os pontos



**FIG.6 -MAPA DE ISOTEORES
FERRO**

1500m 0 1500 3000m

amostrados no rio Tubarão e nas áreas de cultivo, talvez devido ao baixo conteúdo de ácidos orgânicos. Neste tipo de ambiente, o ferro pode estar quase que na sua totalidade precipitado como hidróxido insolúvel (Krauskopf, 1972).

7.1.2. Níquel

O valor médio dos pontos analisados para níquel corresponde a 4,97 ppm que ultrapassa em 199 vezes o limite máximo permissível para água de abastecimento (CONAMA, 1988) que é de 0,025 ppm. Para solos ácidos a água de irrigação não deve conter mais de 0,2 ppm de níquel, enquanto que em solos alcalinos (pH 6,0 a 8,5) o limite é de 2,0 ppm (Neely et al., 1979).

No mapa de isoteores de níquel (fig. 7) se observa que na área de lavra do banhado da Estiva dos Pregos compreendido pelos pontos 2,3 e 7, o maior valor ocorre no ponto 2 com 15 ppm.

A contribuição do rio Tubarão representado pelos pontos 25,5,9 e 12 é quase nula pois o níquel só foi detectado no ponto 12 com 2ppm. O rio Tubarão das Conchas (pontos 10 e 11), que recebe a contribuição da drenagem de montante representada pelos pontos 6 (5 ppm) e 8 (8 ppm), apresenta teores mais elevados. Esta drenagem atravessa as áreas onde estão localizados o banhado da Estiva dos Pregos e o Complexo Termelétrico.

O ponto 13 localizado após a confluência dos rios Tubarão e Tubarão das Conchas sobressai pelo valor de 14 ppm.

Dos pontos amostrados nas lagoas da Manteiga (15, 16 e 17) e de Garopaba do Sul (19 e 22) somente nos pontos 16 e 22 o níquel não foi detectado, no entanto, concentrações de 6 ppm, 7 ppm e 12 ppm foram registradas nos pontos 15,

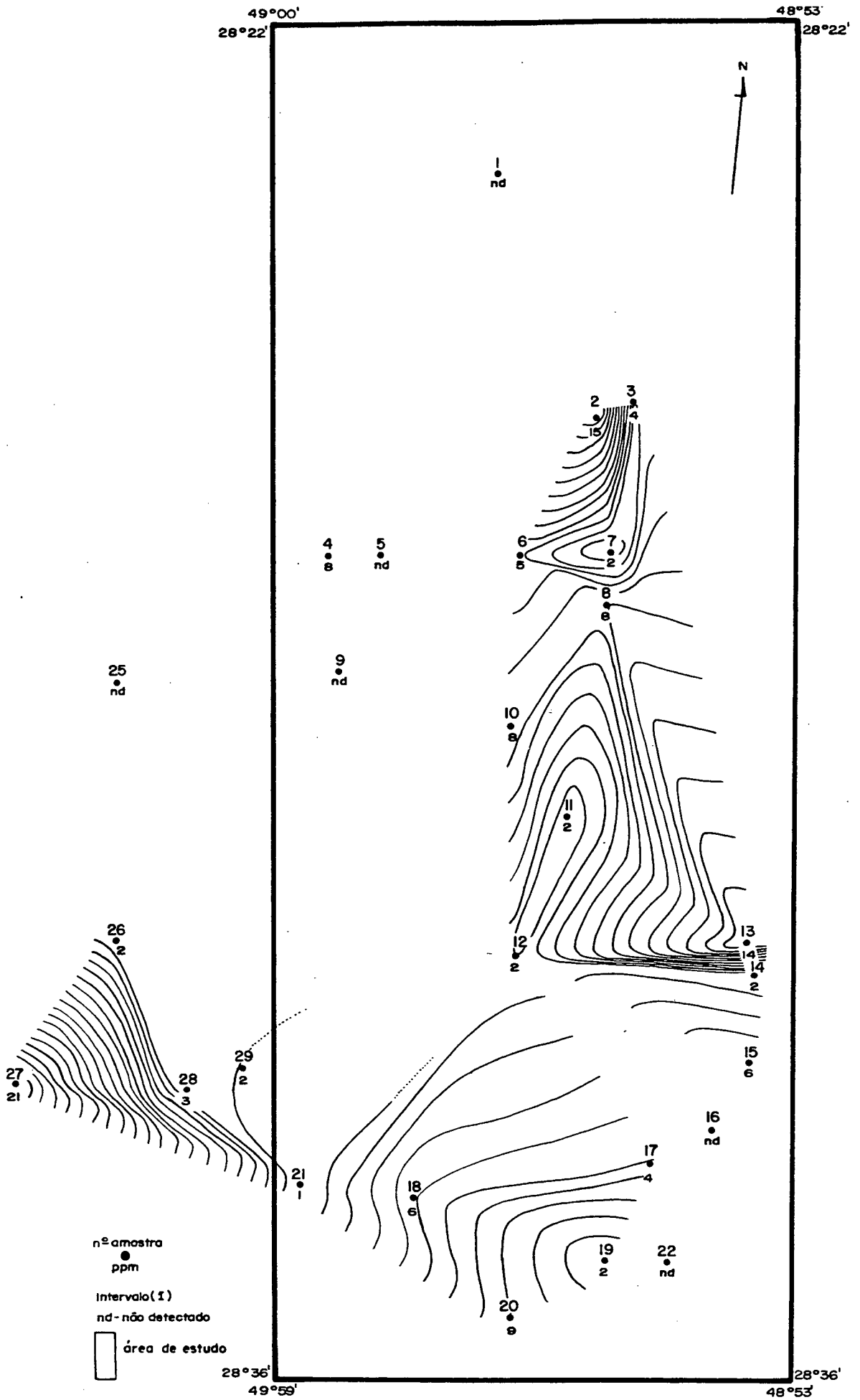


FIG.7 -MAPA DE ISOTEORES NÍQUEL

1500m 0 1500 3000m

17 e 19.

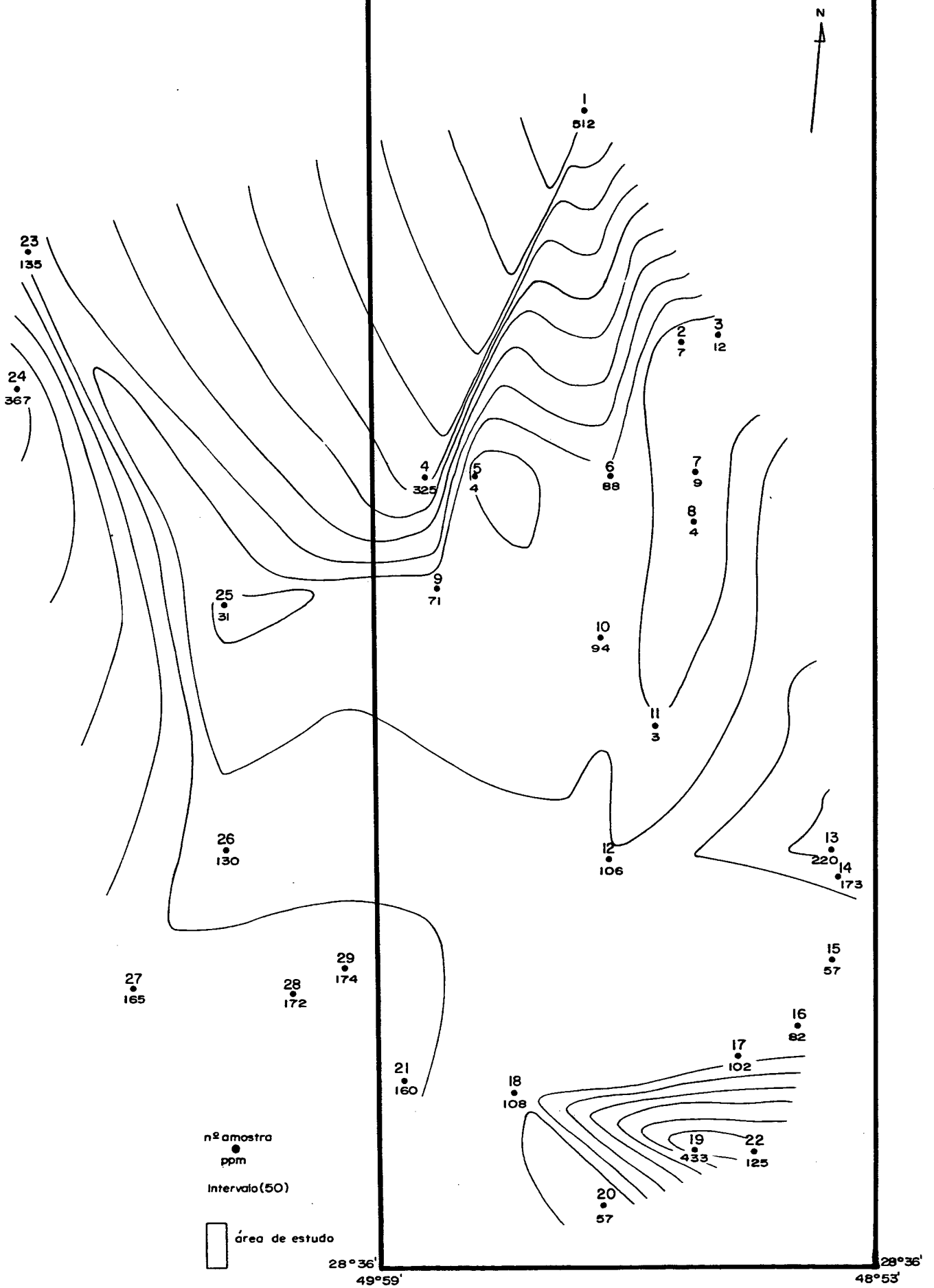
Na porção inferior oeste do mapa de isoteores, o ponto 27, localizado em áreas de intenso cultivo, é o de maior teor com 21 ppm, sendo que as concentrações decrescem para os pontos 26, 28, 29 e 21 no sentido do escoamento da drenagem superficial.

7.1.3. Manganês

O valor médio para as 29 amostras é de 149,03 ppm. O limite máximo permitido pelo CONAMA (1988) e a Organização Mundial da Saúde - OMS (1984) para o manganês em água de abastecimento é de 0,1 ppm. A Norma Técnica Alimentar - NTA 60 do Estado de São Paulo adota um valor ainda menor, 0,05 ppm para a potabilidade da água. Em todas as 29 amostras analisadas esses limites foram ultrapassados.

A análise do mapa de isoteores de manganês (Fig. 8) mostra que os maiores valores estão localizados próximos às rochas do substrato granítico (pontos 1, 23 e 24) e no ponto 4 coletado no rio Capivari, que está localizado próximo às bacias de decantação das usinas termelétricas e também recebe a drenagem de montante oriunda das áreas expostas do Cristalino.

Altos valores também são encontrados nos pontos 19 e 22 amostrados na lagoa de Garopaba do Sul que apresentam teores de 433 ppm e 425 ppm, respectivamente. A lagoa da Mantega mostra, entretanto, menores teores neste elemento (pontos 15, 16 e 17). Nestes ambientes, a concentração de manganês é alta devido provavelmente à oxidação lenta do Mn^{+2} a Mn^{+4} envolvendo várias etapas, ou ainda pelo fato dessa oxidação requerer faixas de pH maiores em relação ao ferro (Forstner; Wittmann, 1983). Nestas áreas, onde ocorre influência marinha e alto conteúdo em matéria orgânica, o manganês pode ser fa



**FIG.8 -MAPA DE ISOTEORES
MANGANÊS**

1500m 0 1500 3000m



cilmente remobilizado, o que talvez explique os altos valores encontrados, diferindo do comportamento do ferro, anteriormente citado.

É interessante notar que no banhado da Estiva dos Pregos, os teores encontrados para manganês são baixos.

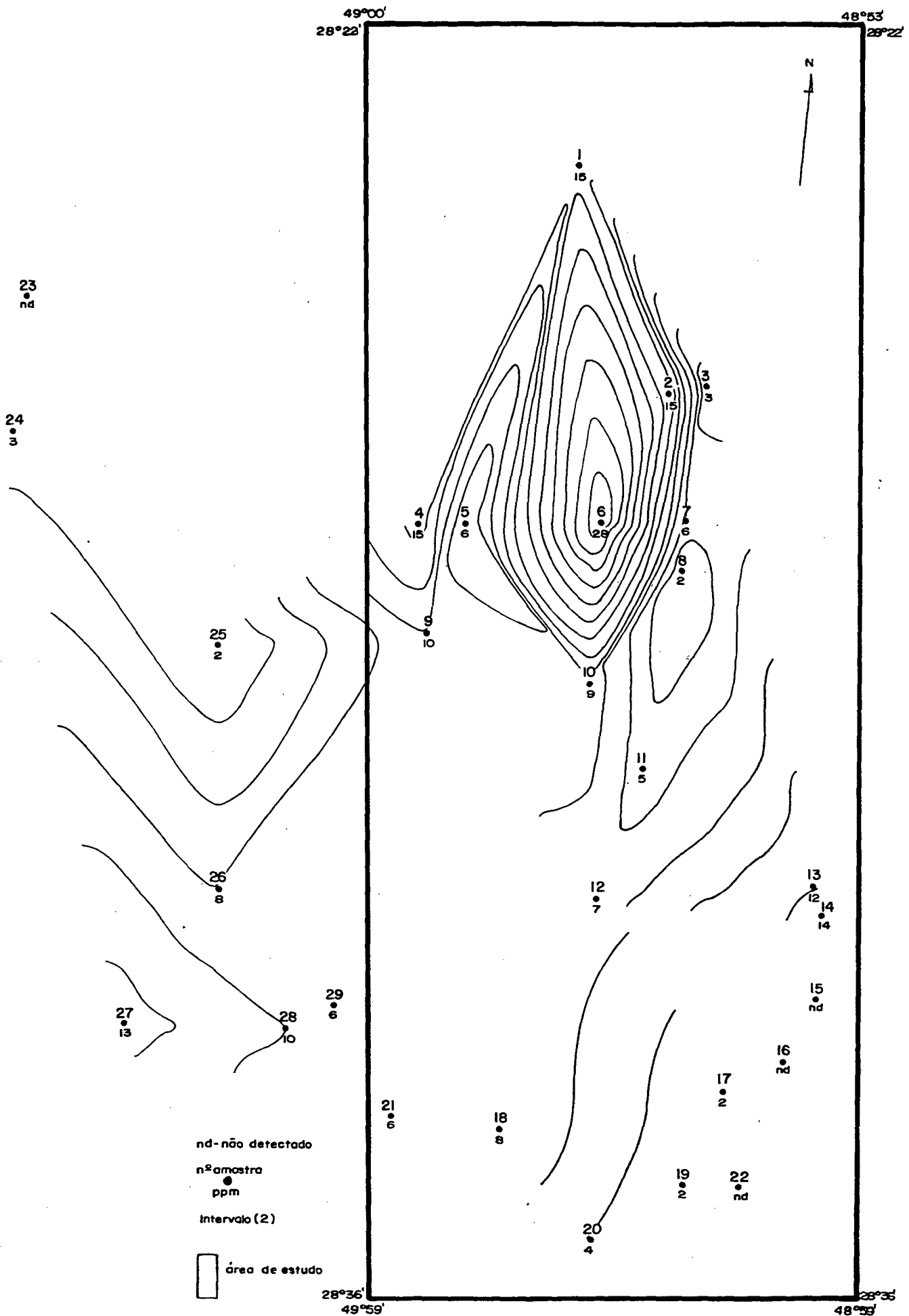
No rio Tubarão (pontos 25, 5, 9 e 12) os valores tendem a aumentar gradativamente, à exceção do ponto 5, em direção à confluência dos rios Tubarão e Tubarão das Conchas (ponto 13).

Nas áreas de intensa atividade agrícola, representadas pelos pontos 21, 26, 27, 28 e 29 o comportamento do manganês é uniforme, medianamente alto e também semelhante ao ponto 14.

7.1.4. Cobre

O valor médio de 7,28 ppm ultrapassa em 364 vezes o limite de cobre permitido na água de abastecimento pelo CONAMA (1988) e Organização Mundial da Saúde - OMS (1984), de 0,02 ppm e 1 ppm, respectivamente. Para a proteção da vida aquática o limite é de 0,005 ppm enquanto que para água de irrigação em solos ácidos e alcalinos é de 0,2 e 5,0 ppm respectivamente (Neely et al., 1979).

No mapa de isoteores de cobre (Fig. 9), os valores mais altos foram encontrados no interior do banhado da Estiva dos Pregos, ponto 2 com 15 ppm; ponto 6 com 28 ppm situado ao sul do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda; e, nos pontos 1, localizado em áreas de cultivo de arroz próximas às rochas graníticas e 4, também com 15 ppm ao sul das bacias de decantação das usinas termelétricas. Autores como Krauskopf (1972) salientam que em ambientes ácidos e ricos em matéria orgânica, como ocorre nos pontos 2, 6 e 4, os processos de oxi-redução são intensos, o que permite a mobilização do cobre



**FIG.9 -MAPA DE ISOTEORES
COBRE**

pela sua complexação à ácidos húmicos e fúlvicos. O cobre também está presente como fase residual - estrutura cristalina dos minerais primários -, geralmente constatado em solos (Mc Laren; Crawford, 1973 apud Davies, 1983) e outros sedimentos (Tessier et al., 1979 apud Forstner, 1983). Este cobre residual não foi extraído pela metodologia utilizada.

Em outras áreas de cultivo de arroz o teor de cobre é igualmente alto. O ponto 27 apresenta o valor de 13 ppm, decrescendo no sentido do escoamento da drenagem (pontos 26, 28, 29 e 21). É interessante notar que o ponto 14, situado no extremo leste da área, acompanha o alto teor em cobre, à semelhança do constatado no mapa de isotores de ferro.

No rio Tubarão e Tubarão das Conchas, pontos 2, 5, 9, 10, 11 e 12, as concentrações de cobre são baixas, à exceção do ponto 13 com 12 ppm, na confluência dos dois rios.

7.1.5. Chumbo

O valor médio de 6,03 ppm de chumbo para as amostras analisadas ultrapassa 201 vezes o limite máximo estabelecido pelo CONAMA (1988) para água de abastecimento que é de 0,03 ppm enquanto que a concentração limite para a proteção da vida aquática é de 0,02 ppm. A água utilizada para irrigação em solos ácidos e alcalinos não pode exceder 5,0 e 10,0 ppm, respectivamente (Neely et al., 1979).

A distribuição do chumbo observada no mapa de isotores (Fig. 10) mostra valores que variam entre 17 ppm (ponto 1) e quantidades abaixo do limite de detecção. Valores baixos estão relacionados à área da lagoa de Garopaba do Sul (pontos 19, 20 e 22). Outros valores extremamente baixos são encontrados ao longo do rio Tubarão (ponto 25) e Tubarão das Conchas (ponto 11).

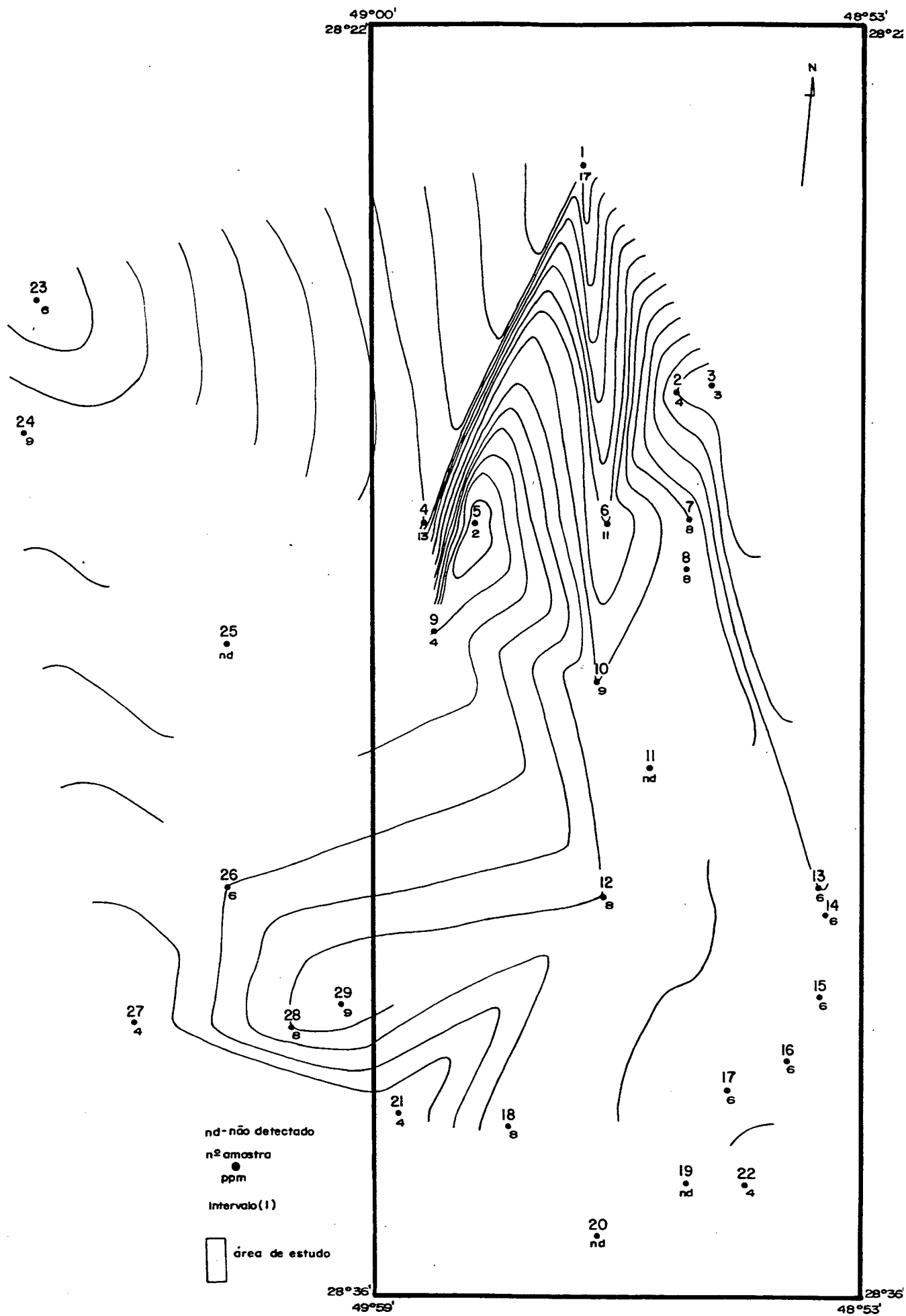


FIG.10 -MAPA DE ISOTEORES

CHUMBO

1500m 0 1500 3000m

Na lagoa da Manteiga (pontos 15, 16 e 17) a distribuição do chumbo é uniforme, o que também se constata na drenagem que parte da lagoa em direção ao ponto 13, confluência com o rio Tubarão das Conchas.

A sudoeste do mapa, em área de intenso cultivo de arroz, os valores são moderadamente altos, o que se repete no extremo norte da área (ponto 23 e 24), também áreas agrícolas. Exceção a esse comportamento ocorre no ponto 1 que apresenta 17 ppm.

Valores altos ocorrem no ponto 4, situado ao sul das bacias de decantação do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda e, no ponto 6, ao sul das usinas termelétricas.

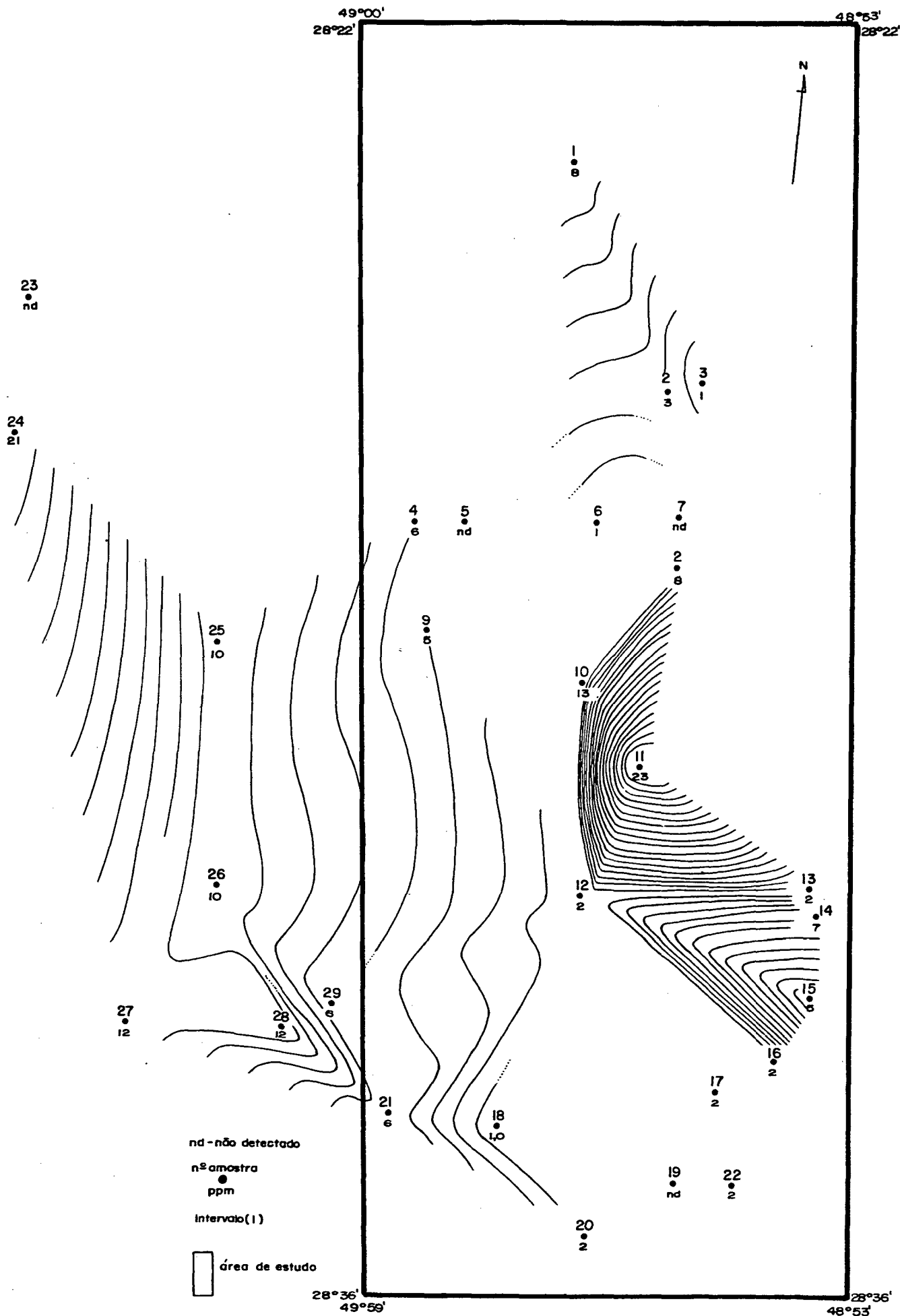
É interessante notar que no banhado da Estiva dos Pregos, pontos 2, 3 e 7, o chumbo não foi detectado em quantidades apreciáveis.

7.1.6. Cobalto

O valor médio obtido para as 29 amostras é de 5,66 ppm, que ultrapassa 28 vezes o valor máximo de 0,2 ppm permitido para água de abastecimento (CONAMA, 1988).

No mapa de isoteores de cobalto (Fig. 11) o ponto 11 localizado no rio Tubarão das Conchas é o de maior concentração. Entretanto, todos os outros pontos próximos apresentam baixo teor, como por exemplo os pontos 8, 10, 12 e 13. O mesmo comportamento é observado no ponto 15, coletado na margem direita da lagoa da Manteiga, com teor de 15 ppm, que se destaca quando comparado com os pontos 14, 16 e 17 e aqueles amostrados na lagoa de Garopaba do Sul (19 e 22).

Apesar dos pontos 24, 1 e 23 localizarem-se próximos às áreas graníticas, os teores entre eles diferem, variando de 21 ppm no ponto 24 a 8 ppm no ponto 1, enquanto que no ponto 23 o cobalto não foi detectado.



**FIG.II -MAPA DE ISOTEORES
COBALTO**

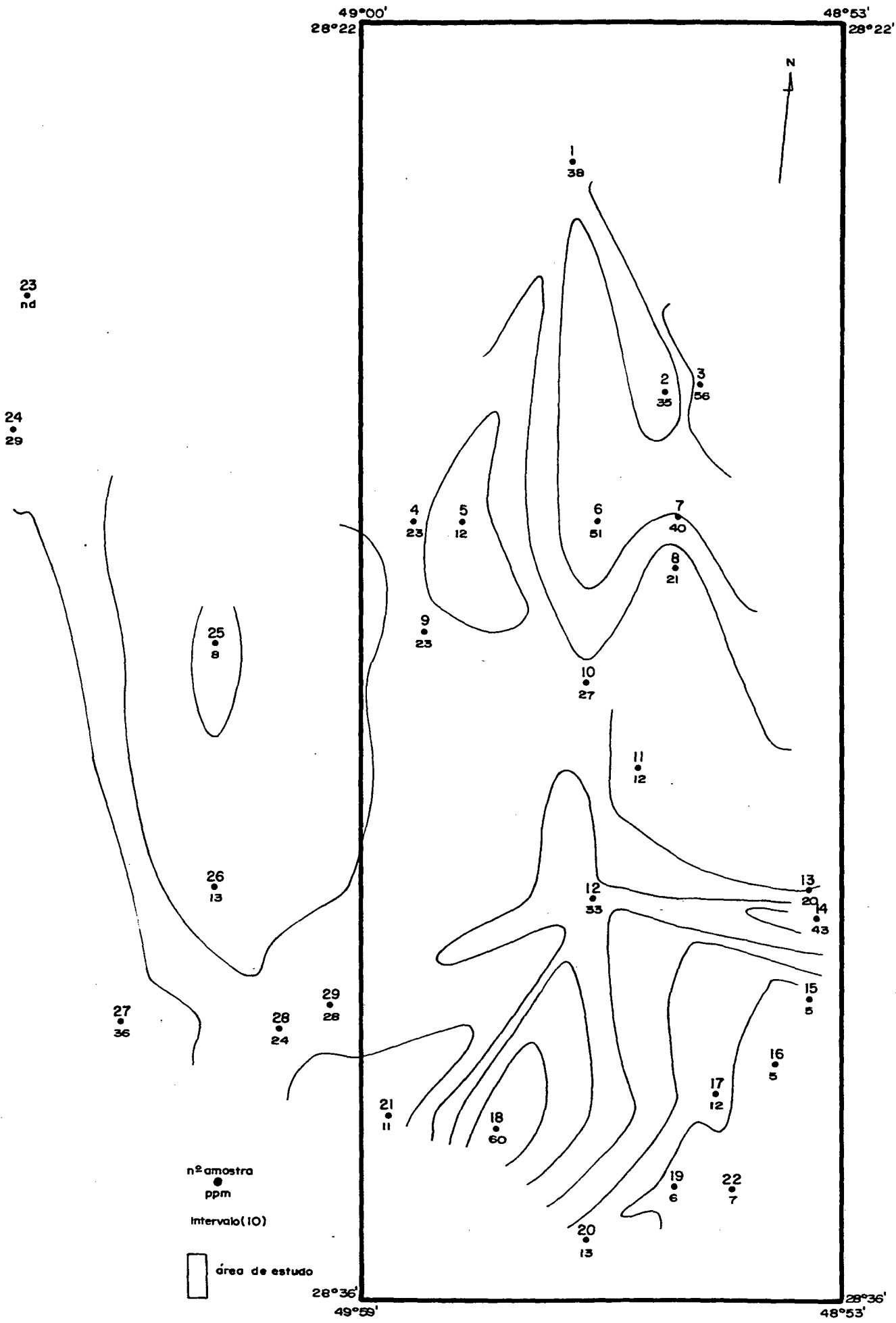
No banhado da Estiva dos Pregos compreendido pelos pontos 2, 3 e 7, a concentração deste elemento é extremamente baixa.

Nas áreas onde predominam atividades agrícolas (pontos 26, 27, 28, 29 e 21) os teores são relativamente altos e decrescem de 12 ppm nos pontos 27 e 28 para 10 ppm no ponto 26 e 6 ppm nos pontos 21 e 29.

7.1.7. Zinco

O limite de 0,18 ppm permitido para águas de abastecimento (CONAMA, 1988), é excedido em 132 vezes pela média dos pontos amostrados que é de 23,83 ppm. Para preservação da vida aquática o limite é de 0,03 ppm enquanto que para água de irrigação em solos ácidos é de 2,0 ppm e em solos alcalinos a tolerabilidade aumenta para 10 ppm (Neely et al., 1979).

As concentrações de zinco observadas no mapa de isoteores (Fig. 12) alcançam os maiores valores nos pontos 18, 6, 3 e 7. Destes, os pontos 3 e 7 com 56,0 ppm e 40,0 ppm, respectivamente, localizam-se no banhado da Estiva dos Pregos, enquanto o ponto 6 com 51,0 ppm, situa-se ao sul do Complexo Termelétrico. O ponto 18 amostrado no rio das Congonhas com 60 ppm, pode representar a contribuição antropogênica resultante da utilização de defensivos agrícolas nas áreas de cultivo situadas a oeste, e representadas pelos pontos 21, 27, 28, 29 e 26, à semelhança do ponto 14, que também está localizado em área de forte influência agrícola. É interessante frisar que para as áreas de cultivo de arroz o padrão do zinco é extremamente semelhante ao do cobalto. Como estes dois elementos apresentam diferentes comportamentos geoquímicos, a sua associação está possivelmente relacionada à ação antrópica, com a utilização de defensivos agrícolas.



**FIG.12 -MAPA DE ISOTEORES
 ZINCO**

Os valores mais baixos foram detectados nas lagoas da Manteiga (pontos 15, 16 e 17) e lagoa de Garopaba do Sul (pontos 19 e 22).

No rio Tubarão e Tubarão das Conchas, os valores de zinco são variáveis.

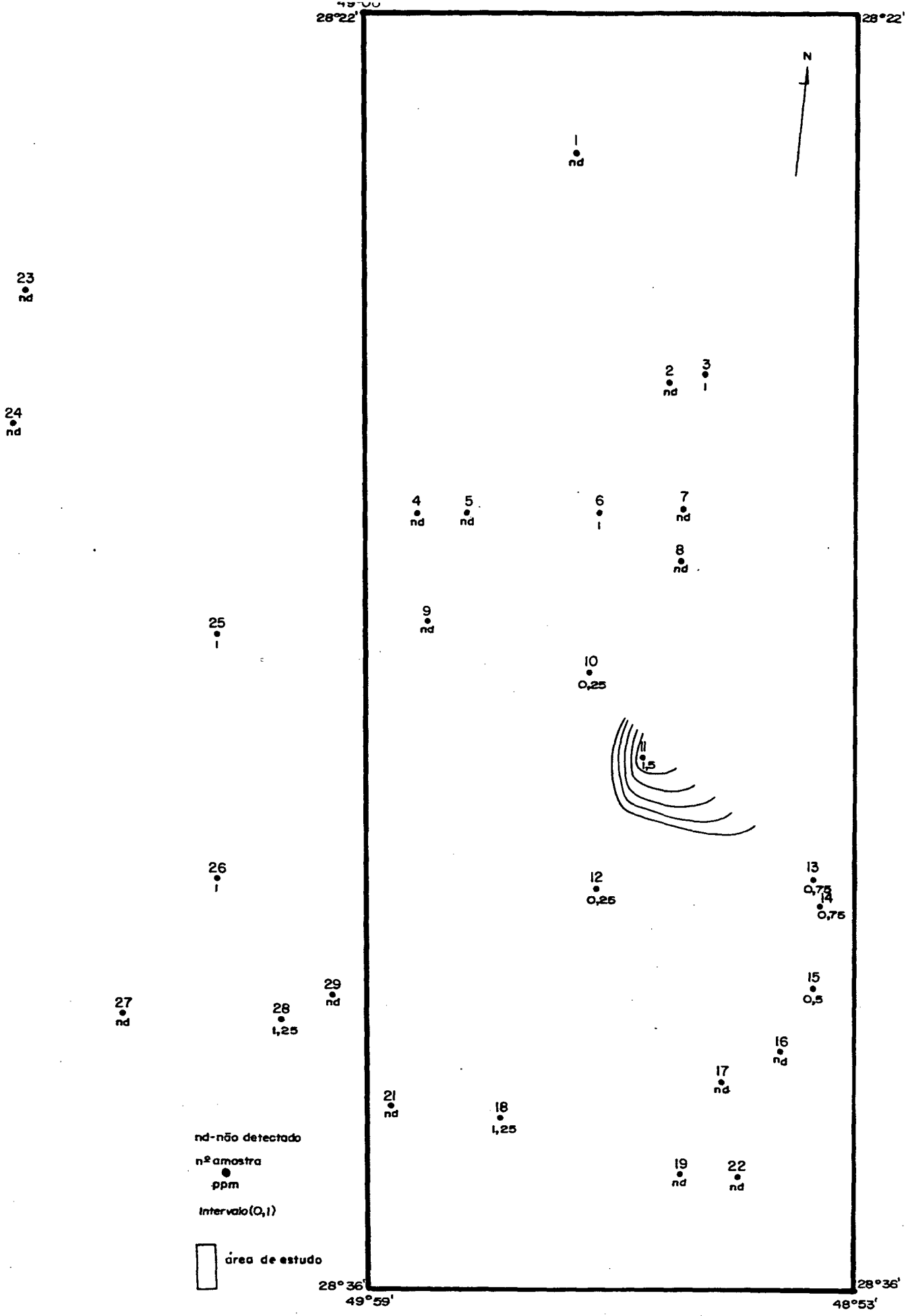
Os pontos 1, 24 e 23 localizados próximos às rochas graníticas, apresentam teores muito distintos com 38 ppm e 29 ppm respectivamente, sendo que no ponto 23 o zinco não foi detectado.

7.1.8. Cádmio

Para água de abastecimento a Organização Mundial da Saúde - OMS (1984), estabelece 0,005 ppm como valor máximo permissível, enquanto que para o CONAMA (1988), o valor é ainda menor, ou seja 0,001 ppm. Este valor é ultrapassado em 360 vezes pela média dos pontos amostrados, isto é, 0,36 ppm. Para a proteção da vida aquática o limite permissível é de 0,0002 ppm, enquanto que a água para irrigar solos ácidos e alcalinos não pode conter mais que 0,01 e 0,05 ppm de cádmio, respectivamente (Neely et al., 1979).

No mapa de isoteores de cádmio (Fig 13) se observa que dos pontos amostrados no banhado da Estiva dos Pregos, somente o ponto 3 apresentou o teor de 1 ppm, cujo valor volta a se repetir no ponto 6 situado ao sul do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda .

A concentração de 1,5 ppm que representa o valor máximo detectado nas amostras para este elemento, ocorre no ponto 11 localizado no rio Tubarão das Conchas. No rio Tubarão foi constatado o valor de 1,0 ppm no ponto 25. A partir do ponto 11, os teores decrescem para 0,25 ppm (pontos 10 e 12) e 0,75 ppm (pontos 13 e 14).



**FIG.13 - MAPA DE ISOTEORES
CÁDMIO**

1500m 0 1500 3000m

Nas lagoas da Manteiga e de Garopaba do Sul, somente no ponto 15 foi detectada concentração de 0,5 ppm de cádmio.

Nas áreas de intensa atividade agrícola, o teor de cádmio alcança valores de 1,25 ppm nos pontos 18 e 28 e de 1,0 ppm no ponto 26.

7.1.9. Cromo

O limite de detecção do cromo para a técnica utilizada é de 1,0 ppm. Conforme pode ser visualizado no mapa de isoteores para este elemento (Fig 14), um grande número de amostras apresentam valores menores que o deste limite.

O teor máximo permitido de 0,05 ppm (CONAMA, 1988) para a água de abastecimento foi ultrapassado em 15 vezes pelo valor médio de 0,77 ppm calculado para os pontos amostrados. Para proteção da vida aquática o limite máximo permissível é de 0,04 ppm (Neely et al., 1979).

O banhado da Estiva dos Pregos que compreende os pontos 2, 3 e 7, sobressai como a área que apresenta a concentração máxima, de 8,4 ppm no ponto 3, 1,7 ppm no ponto 2 a 2,2 ppm no ponto 7.

Concentrações de 2,1 ppm e 1,6 ppm foram detectadas nos pontos 9 e 12 situados no rio Tubarão e, no ponto 4 situado a oeste das usinas termelétricas e próximo às suas bacias de decantação.

Os pontos 26 e 27, localizados em áreas cultivadas com arroz, com teores de 1,6 ppm e 1,5 ppm representam outra área de concentração.

28°22'

N

23
●
nd

24
●
nd



4
●
1,7

5
●
nd

6
●
nd

8
●
nd

25
●
nd

9
●
2,1

10
●
nd

11
●
nd

26
●
1,6

12
●
1,6

13
●
nd

14
●
nd

27
●
1,5

28
●
nd

29
●
nd

15
●
nd

16
●
nd

nd-não detectado

n^o amostra
●
ppm

Intervalo (0,01)

área de estudo

21
●
nd

18
●
nd

17
●
nd

19
●
nd

22
●
nd

20
●
nd

28°36'
49°59'

28°36'
48°53'

FIG.14 - MAPA DE ISOTEORES CROMO

7.1.10. Alumínio

O valor médio de 1648,72 ppm ultrapassa os limites adotados pelo CONAMA (1988), e Organização Mundial da Saúde - OMS (1984), de 0,1 ppm e 0,2 ppm, respectivamente. A concentração máxima permitida de alumínio em solos ácidos para água de irrigação é de 5,0 ppm, enquanto que para a proteção da vida aquática é de 0,1 ppm (Neely et al., 1979).

No mapa de isoteores (Fig. 15) o teor de alumínio presente nos pontos 2, 3 e 7, do banhado da Estiva dos Pregos, varia de 958 ppm a 2190 ppm. Ao sul do Complexo Termelétrico o alumínio assume um maior valor, 5724 ppm, no ponto 6. Este, juntamente com o ponto 10, situado mais ao sul e localizado no rio Tubarão, determinam uma área de máxima concentração. Na área onde se localizam as lagoas, os valores de alumínio presentes nos sedimentos atingem um valor máximo, 757 ppm no ponto 19 e, um mínimo de 239 ppm no ponto 22.

No rio Tubarão (pontos 25, 5, 9, 12 e 13), os valores detectados são medianamente altos, à exceção do ponto 12, com 864 ppm.

Os pontos 26, 27, 28 e 29, localizados em áreas agrícolas, à semelhança do ponto 14, também determinam uma área de concentração elevada de alumínio, atingindo o valor máximo de 5832 ppm no ponto 27.

7.1.11. Mercúrio

Para água de abastecimento o CONAMA (1988), estabelece o limite de 0,0002 ppm, enquanto que a Organização Mundial da Saúde - OMS (1984), estabelece 0,001 ppm. Esses limites são ultrapassados em 500 vezes e 100 vezes, respectivamente, considerando o valor médio de 0,10 ppm encontrado pa

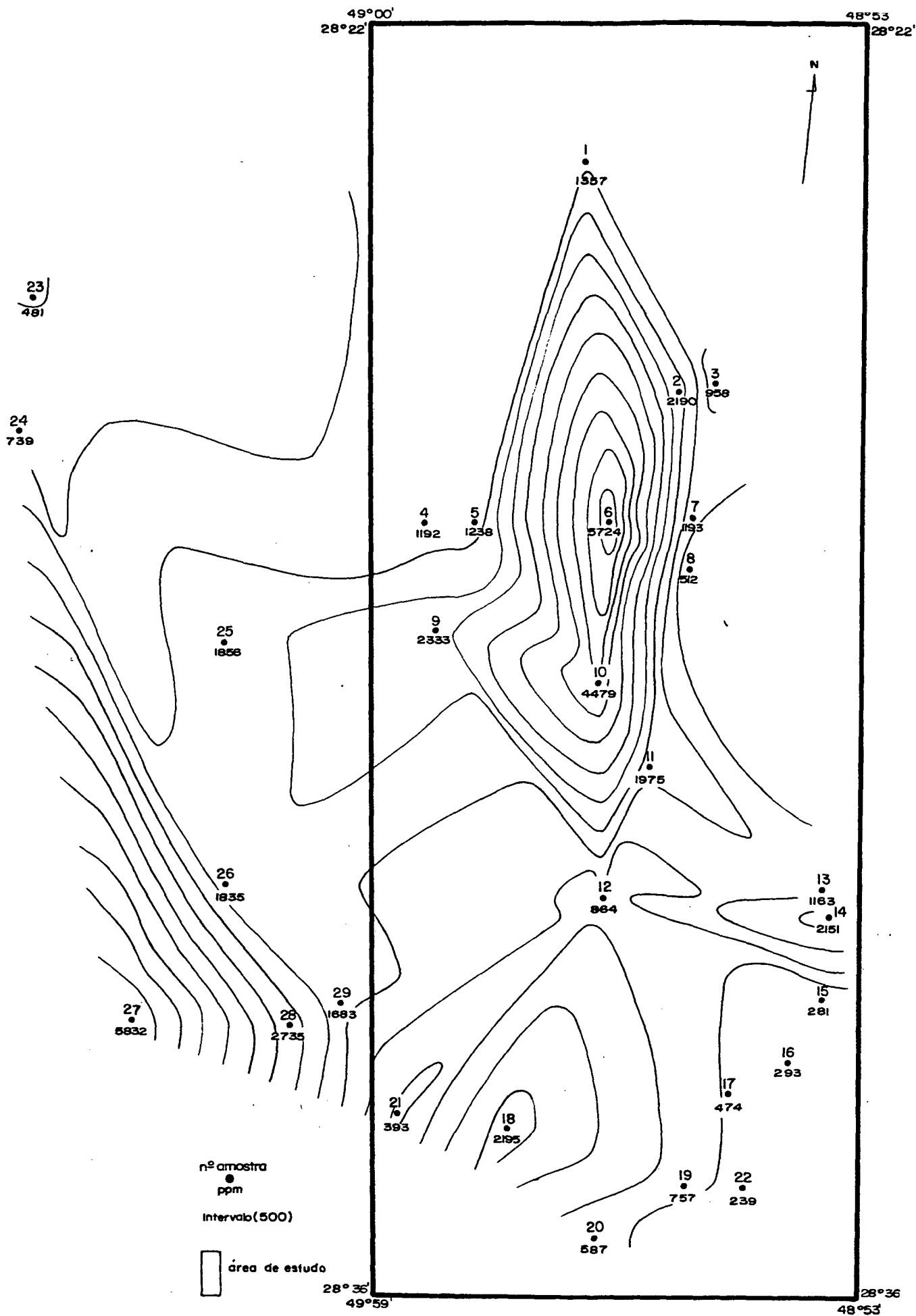


FIG.15 - MAPA DE ISOTEORES ALUMÍNIO

1800m 0 1500 3000m

ra as 29 amostras. Para proteção da vida aquática a água não pode conter mais que 0,0001 ppm de Hg dissolvido (Neely et al., 1979).

A análise do mapa de isoteores de mercúrio (Fig. 16), mostra que este elemento está presente em todas as amostras da área.

Alguns pontos se sobressaem, como o ponto 18 localizado no rio das Congonhas e o ponto 14, ambos em áreas de cultivo de arroz; o ponto 12 no rio Tubarão das Conchas também apresenta um valor alto, isto é, 0,15 ppm.

É interessante notar que as concentrações de mercúrio tendem a aumentar para o sul da área amostrada, alcançando valores medianamente altos nos pontos amostrados nas lagoas da Manteiga e Garopaba do Sul (pontos 16, 17, 19 e 22).

Valores relativamente altos são encontrados também no banhado da Estiva dos Pregos.

Nas áreas intensamente cultivadas representadas pelos pontos 26, 27, 29, 28 e 21, o teor também aumenta para o sul, no sentido do escoamento da drenagem superficial.

Na porção superior do mapa, as áreas de arroz (pontos 1, 23 e 24), mostram valores semelhantes àqueles observados no extremo sudoeste da área.

7.2. Análise das Correlações

A matriz de correlação para 11 elementos nas 29 amostras, evidencia que as relações FeXCr e CuXAl possuem forte afinidade, com coeficiente de correlação 0,88 e 0,71, respectivamente. Esta afinidade pode ser exemplificada em vários locais da área de estudo.

No banhado da Estiva dos Pregos ocorrem os maiores teores de Fe, Cr, Cu e Al da área estudada. No ponto 3, o teor de ferro é 44.000 ppm e o cromo, 8,4 ppm. Já no

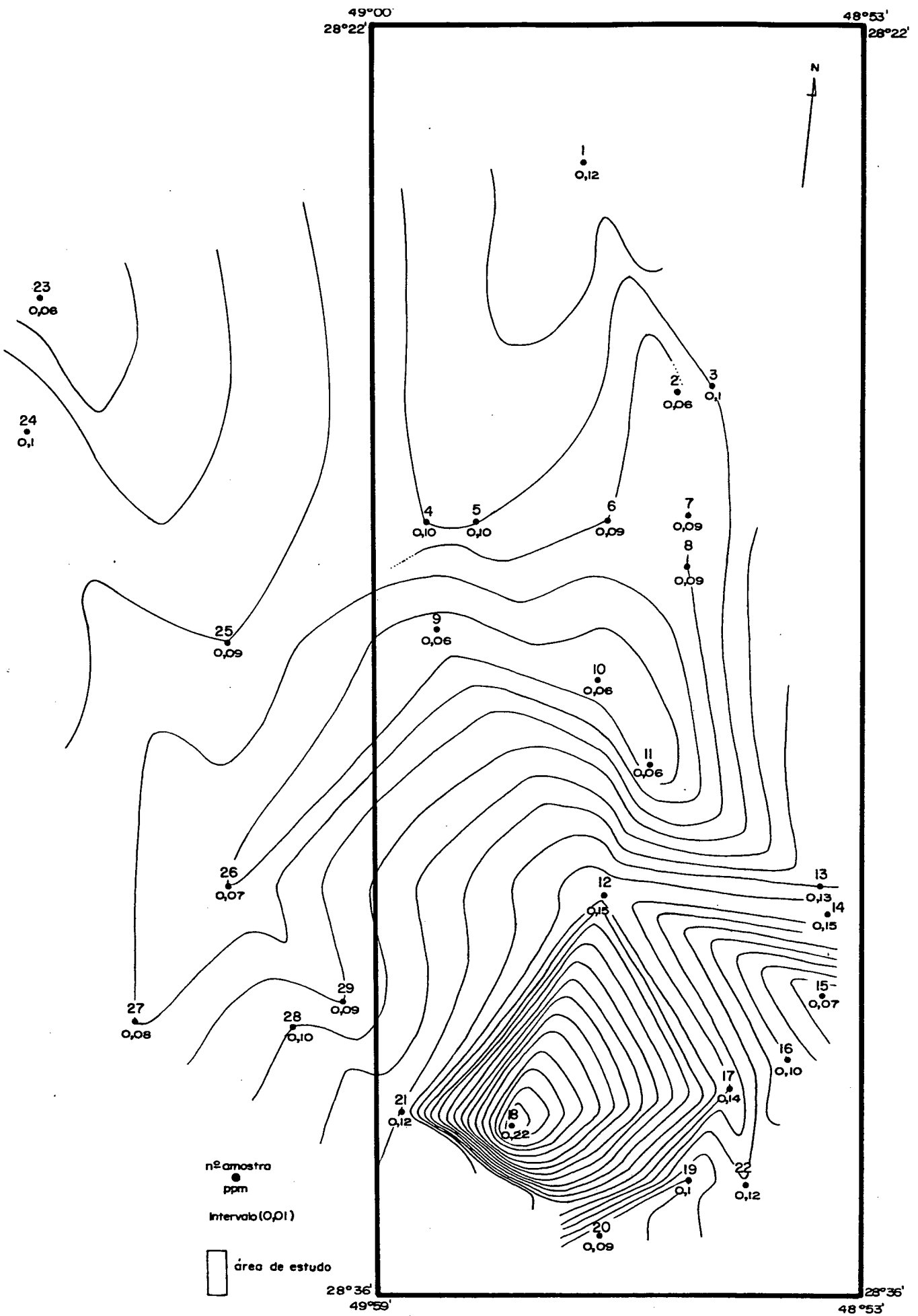


FIG.16 - MAPA DE ISOTEORES MERCÚRIO

ponto 2, a oeste de 3 ocorrem os teores mais expressivos de cobre (15 ppm) e alumínio (2190 ppm). Ao sul do banhado, no ponto 7, decrescem os teores de Fe, Cr, Cu e Al.

No rio Tubarão, em termos gerais, a concentração de ferro aumenta para jusante alcançando o valor de 3000 ppm no ponto 12, que coincidentemente apresenta um alto valor de cromo (1,6 ppm).

A área de Congonhas, intensamente cultivada com arroz (pontos 26, 27, 28, 29 e 21), representa um local de concentração elevada de Fe, Cr, Al e Cu, cujos valores decrescem para sudeste, no sentido do escoamento da drenagem.

É interessante salientar que os sedimentos das lagoas de Garopaba do Sul e da Manteiga, apresentam baixos valores de Al, Cu e Fe. O cromo está abaixo do limite de detecção para a técnica utilizada neste estudo.

A matriz de correlação para os pontos localizados no rio Tubarão e Tubarão das Conchas, salienta forte afinidade positiva entre $Pb \times Zn$ (0,92), $Mn \times Ni$ (0,90) e negativa entre $Cu \times Cd$ (-0,91) e, de modo subordinado entre $Fe \times Pb$ (0,87).

Um exemplo de forte correlação entre Mn e Ni é visível na porção final dos rios Tubarão e Tubarão das Conchas, onde na sua confluência (ponto 13) os dois elementos assumem maiores valores; neste ponto o cobre também aumenta significativamente. Para o cádmio o maior teor ocorre no ponto 11 (15 ppm), que possui também o menor teor de cobre. O Pb, Zn e Fe apresentam o mesmo padrão de comportamento em todos os pontos amostrados nos dois rios.

Para os sedimentos das lagoas de Garopaba do Sul e da Manteiga, o mais alto coeficiente de correlação é $Al \times Ni$ (0,90). Para $Pb \times Al$, o coeficiente também é elevado, porém negativo (-0,80). Um valor relativamente alto para alumínio e níquel é constatado no ponto 19. Na lagoa de Garopaba do Sul, o chumbo está abaixo do limite de detecção para a técnica empregada. No ponto 22, o alumínio assume o valor mais baixo nas amostras das lagoas e o níquel não foi detectado

pelo método utilizado.

Na região de Congonhas, intensamente cultivada com arroz, várias correlações foram evidenciadas. Para $Cu \times Al$ o coeficiente é 0,95, para $Ni \times Al$ é 0,94 e, secundariamente para $Ni \times Cu$ é 0,86, $Fe \times Cd$ é 0,83 e $Co \times Hg$ é -0,82. Al, Cu, Ni, Fe e Co possuem altos teores nesta área: no ponto 27, Cu, Al, Co e Ni e no ponto 18, Fe, Cd e Hg. A concentração nestes elementos decresce no sentido do escoamento da drenagem (pontos 27, 26, 28, 29, 21 e 18), à exceção do Cd e Hg. É no ponto 18, que o cobalto atinge o menor valor de toda a área (1,2 ppm) e o mercúrio o maior valor (0,28 ppm).

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área em estudo, levando-se em consideração a sua proximidade com o Complexo Termelétrico Jorge Lacerda e por abrigar a lavra de rejeitos carbonosos do banhado da Estiva dos Pregos, é de importância fundamental para o conhecimento da poluição ambiental. O rio Tubarão representa a principal via de escoamento dos efluentes lançados à montante pelas empresas carboníferas, e também contribui de modo significativo para a degradação da qualidade da água das lagoas que compõem o sistema lagunar. Para detectar a poluição da área, foram dosados diversos elementos químicos.

As concentrações médias de todos os elementos analisados nas 29 amostras, excedem o limite máximo permitido para água de abastecimento, segundo a legislação do CONAMA (1986) e OMS (1984), citada no Guia de coleta e preservação de amostras de água (Agudo et al., 1987). O valor médio em todas as amostras também ultrapassa o limite permitido para a preservação da vida aquática (Neely et al., 1979). Para água de irrigação, somente o valor médio de chumbo ocorre abaixo do limite máximo permitido para solos alcalinos (Neely et al., op. cit.).

O comportamento geoquímico apresentado pelos elementos químicos na área de estudo é diferente nas suas várias porções, possivelmente devido à presença de fontes poluidoras, que determinam picos de concentração em determinados pontos.

O banhado da Estiva dos Pregos caracteriza-se como um foco de poluição, onde os valores de Fe, Cu, Cr, Ni e Al são extremamente altos.

Ao sul do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda e do pátio de estocagem de carvão da extinta CAEEB, também ocorrem concentrações elevadas para Cu, Al, Pb, Zn e Fe. Também ao sul das bacias de decantação das usinas termelétricas e

daquelas operadas pelo Lavador de Capivari, Mn e Cr aliados aos elementos acima mencionados assumem altos valores, exce- tuando-se o Al.

A região de Congonhas, área de intenso cultivo de arroz, desponta como importante foco poluidor onde elemen- tos como Ni, Cu, Al, Co, Fe, Mn e Hg ocorrem em altas concen- trações.

O rio Tubarão e Tubarão das Conchas, drenam a área em estudo na sua porção central, e constituem o receptá- culo das drenagens de montante. Estas drenagens recebem a con- tribuição de elementos poluentes oriundos de vários focos, co- mo o banhado da Estiva dos Pregos, bacias de decantação das usinas termelétricas e do Lavador de Capivari, pátio de esto- cagem de carvão da extinta CAEEB e de áreas com intenso culti- vo de arroz.

As águas que, via de regra, escapam do interior do dique, o qual confina a área de lavra no banhado da Estiva dos Pregos, são coletadas pelo córrego dos Matutos. Este cór- rego une-se ao canal da pirita, que drena para o rio Tubarão das Conchas, na sua porção final. É neste local (ponto 11), que ocorrem os maiores teores de Cd e Co de toda a área em es- tudo. É interessante salientar que é na porção final dos dois rios, e inclusive na confluência, que ocorrem valores medianam- ente altos para Mn, Cu e Ni.

Zn, Cu e Al possuem valores extremamente baixos nas lagoas da Manteiga e de Garopaba do Sul; Cr e Cd, à exce- ção de um ponto que apresenta o teor de 0,5 ppm, estão abaixo do limite de detecção para a técnica utilizada neste estudo.

Nas lagoas, o comportamento geoquímico do Pb e Co é semelhante. Assumem valores medianamente altos na lagoa da Manteiga, e mais baixos na de Garopaba do Sul.

Em toda a área, os maiores teores de Mn ocorrem nas lagoas e crescem no sentido do escoamento da drenagem da lagoa da Manteiga para a lagoa de Garopaba do Sul. O níquel apresenta um padrão de comportamento semelhante, à exceção de

dois pontos onde está abaixo do limite de detecção para a técnica utilizada neste estudo.

O Hg apresenta uma tendência em elevar seus valores próximo a região de Congonhas, intensamente cultivada com arroz, e no interior das lagoas de Garopaba do Sul e da Manteiga. Nas lagoas, o Fe apresenta baixos teores quando comparados com os teores encontrados na área de lavra de rejeitos carbonosos no banhado da Estiva dos Pregos.

Neste estudo, foram analisados todos aqueles elementos químicos citados na bibliografia como associados ao carvão, e outros, cuja ocorrência em teores elevados, são prejudiciais ao homem. Seria razoável esperar concentrações significativas de selênio e arsênio nos sedimentos amostrados, uma vez que estes elementos são citados por diversos autores, entre eles Kagey; Wixson (1983), como estreitamente relacionados ao carvão. Entretanto, para a técnica utilizada neste estudo, estes dois elementos estão abaixo do limite de detecção. É interessante salientar que o surgimento de novas técnicas de análise e instrumentos de medida cada vez mais sofisticados deverão conduzir à resultados mais precisos.

Alguns trabalhos foram realizados por diversas entidades e pesquisadores (FATMA, [1981?]; Peters; Souza, 1980, entre outros), com o intuito de detectar o nível de poluição por elementos-traço no rio Tubarão e sistema lagunar. No entanto, a grande maioria utilizou amostras de água somente analisando alguns elementos. Neste trabalho foram amostrados rios, canais e lagoas através dos sedimentos, que fornecem informações menos pontuais que os dados obtidos através da análise de água. A amostra de água apresenta também sérias limitações quanto ao seu armazenamento, além de ser necessário procedimentos analíticos mais sofisticados.

A técnica utilizada, extração parcial por ácido nítrico e clorídrico a 0,3M, conduz a resultados que não determinam a quantidade total do elemento presente na amostra, e sim aquela que pode ser lixiviada sob condições naturais em pH

relativamente ácido, ou seja, a quantidade do elemento químico disponível para incorporação ao meio ambiente.

A distribuição na área dos teores de cada elemento químico evidenciou que o rio Tubarão e as lagoas situadas na extremidade sul da área em estudo acham-se comprometidos quanto à qualidade de suas águas tendo em vista que os valores encontrados estão acima do permitido. Estas concentrações devem causar repercussões para a flora e a fauna aquática, dado que alguns destes elementos, conhecidos na literatura como metais pesados, são altamente tóxicos.

Salienta-se que o ecossistema lagunar é reiteradamente referido como de equilíbrio frágil, sendo que qualquer alteração nas suas condições físico-químicas, pode mobilizar e tornar disponíveis os elementos químicos, como metais pesados, para incorporação na biota. Dentre os diversos poluentes de origem antrópica, estes elementos se caracterizam por um comportamento conservativo no meio, isto é, não são eliminados por processos naturais e eventualmente podem ser incorporados pelo homem através da sua translocação ao longo da cadeia alimentar costeira.

Nestas áreas, para proteção das populações humanas locais, é de fundamental importância que sejam destinados recursos para a realização de estudos mais profundos sobre a poluição por metais de modo a entender os seus mecanismos e apontar medidas de correção e prevenção.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 01 - AGUDO, E.G. et al. (coord.) Guia de coleta e preservação de amostras de água. São Paulo : CETESB, 1987. 150p.
- 02 - ANDREIS, R.R.; BOSSI, G.E. Sedimentologia del conglomerado Mampituba, RS, Brasil. Pesquisas, Porto Alegre, v.10, p.45-54, out.1978.
- 03 - ANGINO, E.E. Geochemistry and water quality. In: THORNTON, I. (ed.) Applied environmental geochemistry. London : Academic Press, 1983. 501p., p.171-199.
- 04 - BASEI, M.A.S. Projeto evolução geológica da faixa de dobramentos Brusque-Itajaí : relatório das atividades desenvolvidas. São Paulo : CNPq/CPGeo/USP, 1980.
- 05 - BASEI, M.A.S.; TEIXEIRA, W. Geocronologia do Pré-Cambriano/Eopaleozóico de Santa Catarina. In: SILVA, L.C. da ; BORTOLUZZI, C.A. (eds.) Mapa geológico do Estado de Santa Catarina, escala 1:50.000. Florianópolis : DNPM/CRM, 1987. 216p. mapas. (Série Textos básicos de geologia e recursos minerais de Santa Catarina, 3) p.91-129.
- 06 - BATLEY, G.E. (ed.) Trace element speciation: analytical methods and problems. Boca Raton : CRC, 1989. 350p.
- 07 - BORTOLUZZI, I.P. Contribuições ao estudo qualitativo do ambiente do baixo rio Tubarão entregue à PUCRGS - 1987. Tubarão : FESSC, 1987. "não paginado"
- 08 - BRANCO, P.de M. Dicionário de mineralogia. 2. ed. rev. ampl. Porto Alegre : Ed. da URGs, 1982. 264p.

- 09 - BRAUNSTEIN, H.M.; COPENHAUER, E.D.; PFUNDER, H.A. (eds.)
Environmental, health and control aspects of coalcon-
version : an information overview. Ann Arbor : Ann Ar-
bor Science, 1981.
- 10 - CONAMA. Resoluções do CONAMA, 1984/86. 2. ed. Brasília :
SEMA, 1988. 98p.
- 11 - CORBELLINI, N. Relatório final de pesquisa-diatomito e
conchas calcáreas. Imbituba : Indústria de Calcários
Caçapava, 1989. 33p.
- 12 - CROUNSE, R.G. et al. Geochemistry and man : health and
disease. 1. Essential elements. In: THORNTON, I. (ed.)
Applied environmental geochemistry. London : Academic
Press, 1983. 501p., p.267-307.
- 13 - DAVIES, B.E. Heavy metal contamination from base metal
mining and melting : implications for man and his envi-
ronment. In: THORNTON, I. (ed.) Applied environmental
geochemistry. London : Academic Press, 1983. 501p.,
p.425-461.
- 14 - DNAEE. Divisão de Controle de Recursos Hídricos. Inventá-
rio das estações pluviométricas. Brasília, 1987. "não
paginado"
- 15 - DNPM. Projeto Desenvolvimento Regional da Mineração de
Carvão. Relatório de vistoria nº 32/88. Criciúma,
1988. 2p.
- 16 - ELETROBRÁS. Diretrizes ambientais para usinas termelétricas
a carvão mineral nacional. Florianópolis, 1989.
311p.

- 17 - ELETROSUL. Divisão de Engenharia Ambiental de Termelétricas. Resumo monitoramento ambiental região de Tubarão 1989. Florianópolis, 1990.
- 18 - ELY, G.L. Relatório final de pesquisa-turfa. Criciúma : Mineradora Conventos, 1989. 51p.
- 19 - FATMA. Plano geral de proteção ambiental da área do banhado da Estiva - concentrador de pirita em Tubarão e Laguna-SC. [Florianópolis, 1981?]. n.p.
- 20 - ----- . Unidade de Análises e Medições Ambientais. Aspectos ambientais do sistema lagunar Santo Antônio, Imaruí e Mirim - 1980/83. Florianópolis, 1983. "paginação irregular"
- 21 - FIESC. Cadastro industrial 88/89 Santa Catarina. Florianópolis, 1989. 400p.
- 22 - FISZMAN, M.; PFEIFFER, W.C.; LACERDA, L.D.de. Comparison of methods used for extraction and geochemical distribution of heavy metals in bottom sediments from Sepetiba Bay, R.J. Environmental Technology Letters, v.5, p.567-575, 1984.
- 23 - FORSTNER, U. Assessment of metal pollution in rivers and estuaries. In: THORNTON, I. (ed.) Applied environmental geochemistry. London : Academic Press, 1983. 501p., p.395-423.
- 24 - FORSTNER, U.; SALOMONS, W. Trace metal analysis on polluted sediments. Part I: assessment of sources and intensities. Environmental Technology Letters, v.1, n.248, p. 494, 1981.

- 25 - FORSTNER, U.; WITTMANN, G.T. Metal pollution in the aquatic environment. 2. ed. Berlin : Springer-Verlag, 1983. 486p.
- 26 - FUNDATEC. Projeto Poluição. Usina termelétrica Jorge Lacerda IV, relatório de impacto ambiental : aspectos físico-químicos. Porto Alegre : ELETROSUL, 1987. 5v., v.3.
- 27 - GARRELS, R.M.; MACKENZIE, F.T.; HUNT, C. Chemical cycles and the global environment : assessing human influences. Los Altos : William Kaufmann, 1975.
- 28 - GOLDSTEIN, E.G. Testes de toxicidade de efluentes industriais. Ambiente, São Paulo, v.2, n.1, p.33-38, 1988.
- 29 - GOMES JÚNIOR, F.C. Geologia do Cenozóico de Santa Catarina. In: SILVA, L.C.da; BORTOLUZZI, C.A. (eds.) Mapa geológico do Estado de Santa Catarina, escala 1:500.000. Florianópolis : DNPM/CRM, 1987. 216p. mapas. (Série Textos básicos de geologia e recursos minerais em Santa Catarina, 3) p.195-204.
- 30 - ----- . Geologia dos depósitos de conchas calcárias no Estado de Santa Catarina. Florianópolis : [s.n.], 1991. "não paginado" Texto datilografado.
- 31 - GOTHE, C.A.V. Diagnóstico ambiental da região carbonífera catarinense. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE MEIO AMBIENTE, 2., 1989, Florianópolis. Anais. Florianópolis : UFSC, Departamento de Geociências, 1989. 3v., v.3, p.62-96.

- 32 - GUERRA, P.A.G. Geostatística operacional. Brasília : DNPM, 1988. 145p.
- 33 - HORBACH, R.; MARIMON, R.G. Contribuição à geologia do distrito de fluorita de Santa Catarina. Boletim Técnico. Projeto RADAMBRASIL, Série Geologia, Salvador, n.1, p.1-104, dez. 1982.
- 34 - HOWARTH, R.J.; THORNTON, I. Regional geochemical mapping and its application to environmental studies. In: THORNTON, I. (ed.). Applied environmental geochemistry. London : Academic Press, 1983. 501p., p.41-73.
- 35 - IBGE. Censo industrial Santa Catarina; 8. recenseamento geral-1970. Rio de Janeiro, 1974. 233p. (Série Regional, v.4, t.20)
- 36 - -----,-----, 9. recenseamento geral 1980. Rio de Janeiro, 1984. 231p. (Série Regional, v.3, t.2, pte.1, n.21)
- 37 - INFORMATIVO ANUAL DA INDÚSTRIA CARBONÍFERA. Brasília : DNPM, v.9, ago. 1988.
- 38 - JUSTUS, J.de O.; MACHADO, M.L.de A.; FRANCO, M.do S.M. Geomorfologia. In: IBGE. Folha SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim. Rio de Janeiro, 1986. 791p. (Levantamento de Recursos Naturais, 33) p.313-404.
- 39 - KAGEY, B.T.; WIXSON, B.G. Health implications of coal development. In: THORNTON, I. (ed.) Applied environmental geochemistry. London : Academic Press, 1983. 501p., p.463-479.

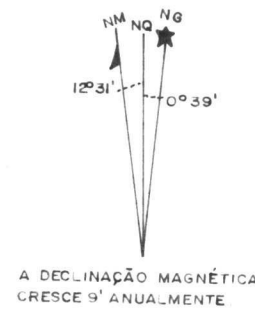
- 40 - KER, J.C. et al. Pedologia : levantamento exploratório de solos. In: IBGE. Folha SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim. Rio de Janeiro, 1986. 791p. (Levantamento de Recursos Naturais, 33) p.405-540.
- 41 - KIHARA, Y. Estudo mineralógico das cinzas volantes brasileiras : origem, características e finalidade. São Paulo : USP, Instituto de Geociências, 1983.
- 42 - KLEIN, R.M. Mapa fitogeográfico do Estado de Santa Catarina. Itajaí : SUDESUL/FATMA/Herbário "Barbosa Rodrigues", 1978. 24p.
- 43 - KLEIN, R.M.; PASTORE, U.; COURA NETO, A.B. Aspectos físicos : vegetação. In: SANTA CATARINA. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. Atlas de Santa Catarina. Rio de Janeiro, 1986. 173p., p.35-36.
- 44 - KRAUSKOPF, K.B. Introdução à geoquímica. São Paulo : Ed. da Univ. de São Paulo/Polígono, 1972. 2v.
- 45 - LACERDA, L.D.de; SOUZA, C.M.M.de; PESTANA, M.H.D. Geochemical distribution of Cd, Cu, Cr and Pb in sediments of estuarine areas along the Southeastern Brazilian Coast. In: SEELIGER, U.; LACERDA, L.D.de; PATCHINEELAM, S.R. (eds.) Metals in coastal environments of Latin America. Berlin : Springer-Verlag, 1988. p.86-99.
- 46 - LU, J.C.S.; CHEN, K.Y. Migration of trace metals in interfaces of seawater and polluted surficial sediments. Environmental Science & Technology, v.11, n.2, p.174-181, Feb. 1977.

- 47 - LUOMA, S.V.; BRYAN, G.W. A statistical assessment of the form of trace metals in oxidized estuarine sediments employing chemical extractants. *The Science of the Total Environment*, Amsterdam, v.17, p.165-196, 1981.
- 48 - LUTTIG, G.W.; SNEZHKO, I.I. Man's dependence on the Earth - the role of the geosciences in the environment. Nairobi : Archer A.A./UNESCO/UNEP, 1987. 216p.
- 49 - MALO, B.A. Partial extraction of metals from aquatic sediments. *Environmental Science & Technology*, v.11, p.277, 1977.
- 50 - MARANHÃO, R.J.L. Introdução à pesquisa mineral. Fortaleza : Banco do Nordeste do Brasil, 1982. 680p.
- 51 - MARTIN, L. et al. Mapa geológico do Quaternário Costeiro dos Estados do Paraná e Santa Catarina. Brasília : DNPM, 1988. 40p. mapas. (Série Geologia, n.28, Seção Geologia Básica, n.18)
- 52 - MORGENTAL, A. Caracterização dos depósitos de fluorita do distrito de Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., Rio de Janeiro, 1984. Resumos, breves comunicações. Cursos, excursões e mesas-redondas. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Geologia, 1984. 334p., p.207-208.
- 53 - NEELY, R.N. et al. Water quality sourcebook - a guide to water quality parameters. [s.l.] : Inland Waters Directorate, Water Quality Branch-Environment Canada, 1979.
- 54 - ORSINI, C.M.Q. Poluição atmosférica provocada por metais pesados. In: SEMINÁRIO SOBRE POLUIÇÃO POR METAIS PESADOS, 1., Brasília, 1979. Brasília : SEMA/SATC, 1980.

184p., p.53-64.

- 55 - PESTANA, M.H.; LACERDA, L.D.de. Especificação geoquímica aplicada a estudo de mobilização de metais pesados em sedimentos estuarinos dos rios do Frade e da Guarda, RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 2., 1989, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro : Sociedade Brasileira de Geoquímica/CPRM/DNPM, 1989. 520p., p.321-328.
- 56 - PETERS, A.de S.; SOUZA, H.A.de. Projeto Pró-lacustre - correção da degradação de zonas lacustres dos municípios de Laguna, Imaruí, Imbituba e Jaguaruna. Florianópolis : FATMA, [1980]. "não paginado"
- 57 - PIMENTA, J.A. A faixa costeira meridional de Santa Catarina, Brasil. Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia, Rio de Janeiro, n.176, p.1-104, 1958.
- 58 - SANTA CATARINA. Secretaria de Estado de Coordenação Geral e Planejamento. Programa integrado de desenvolvimento sócio-econômico : diagnóstico municipal de Laguna. Florianópolis, 1990a.
- 59 - -----, -----, diagnóstico municipal de Tubarão. Florianópolis, 1990b. 26p.
- 60 - SILVA, L.C.da. Geologia do Pré-Cambriano/Eopaleozóico de Santa Catarina. In: SILVA, L.C.da; BORTOLUZZI, C.A. (eds.) Mapa geológico do Estado de Santa Catarina, escala 1:500.000. Florianópolis : DNPM/CRM, 1987. 216p. mapas. (Série Textos básicos de geologia e recursos minerais de Santa Catarina, 3) p.12-90.

- 61 - TEIXEIRA, C.A.S. et al. Geologia do distrito de fluorita do sudeste de Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 20., Rio de Janeiro, 1966. Resumo das comunicações. Rio de Janeiro : Sociedade Brasileira de Geologia, 1966. (Publicação, 1) p.57-59.
- 62 - TEIXEIRA, M.B. et al. Vegetação, as regiões fito-ecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos, estudo fitogeográfico. In: IBGE. Folha SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim. Rio de Janeiro, 1986. 791p. (Levantamento de Recursos Naturais, 33) p.541-632.
- 63 - THORNTON, I. Geochemistry applied to agriculture. In: THORNTON, I. (ed.) Applied environmental geochemistry. London : Academic Press, 1983. 501p., p.231-265.
- 64 - TUBARÃO. Prefeitura Municipal. Dados básicos do município de Tubarão. Tubarão, [1988]. "não paginado"
- 65 - VALERIANO, D.de M.; KUX, H.J.H. Utilização de interpretação automática de dados do MSS-LANDSAT para estudos de stress de vegetação, causado pela drenagem ácida de depósitos de rejeitos de carvão, na região de Tubarão, Estado de Santa Catarina, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2., Brasília, 1982. Anais. Brasília : INPE/CNPq, 1982. v.3, p.695-703.
- 66 - VALERIANO, D.de M.; REIS, J.L.B.C. O uso de técnicas de sensoriamento remoto no monitoramento ambiental para o controle da poluição causada por mineração de carvão no Estado de Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, 1., Brasília, 1985. Coletânea de trabalhos técnicos. Brasília : Instituto Brasileiro de Mineração, 1985. p.186-203.



Legenda:

- | | | |
|--|--|------------------------------|
| | DEPÓSITOS FLUVIAIS | } HOLOCENO |
| | DEPÓSITOS FLÚVIO-LAGUNARES CONTENDO CONCHAS CALCÁRIAS | |
| | DEPÓSITOS LAGUNARES RICOS EM MATÉRIA ORGÂNICA OU TURFA | |
| | DEPÓSITOS LAGUNARES E FLÚVIO-LAGUNARES | |
| | TERRAÇOS MARINHOS | } PLEISTOCENO SUPERIOR |
| | DEPÓSITOS GRAVITACIONAIS DE ENCOSTA | } QUATERNÁRIO INDIFERENCIADO |
| | SUÍTE INTRUSIVA PEDRAS GRANDES | } PRÉ - CAMBIANO |

- | | |
|----|-------------------------------|
| | CONTATO LITOLÓGICO DEFINIDO |
| | CONTATO LITOLÓGICO INDEFINIDO |
| | FALHA, ENCUBERTA TRACEJADA |
| Sq | SAMBAQUI |
| | EXTRAÇÃO DE MINÉRIO |

Legenda cartográfica:

- | | |
|--|------------------|
| | Área urbana |
| | BR - 101 |
| | Estrada de Ferro |
| | Lagoas e Rios |

Anexo 1- MAPA GEOLÓGICO

(MARTIN, ET AL., 1988, MODIFICADO)



49°00

55'

48

28°22'

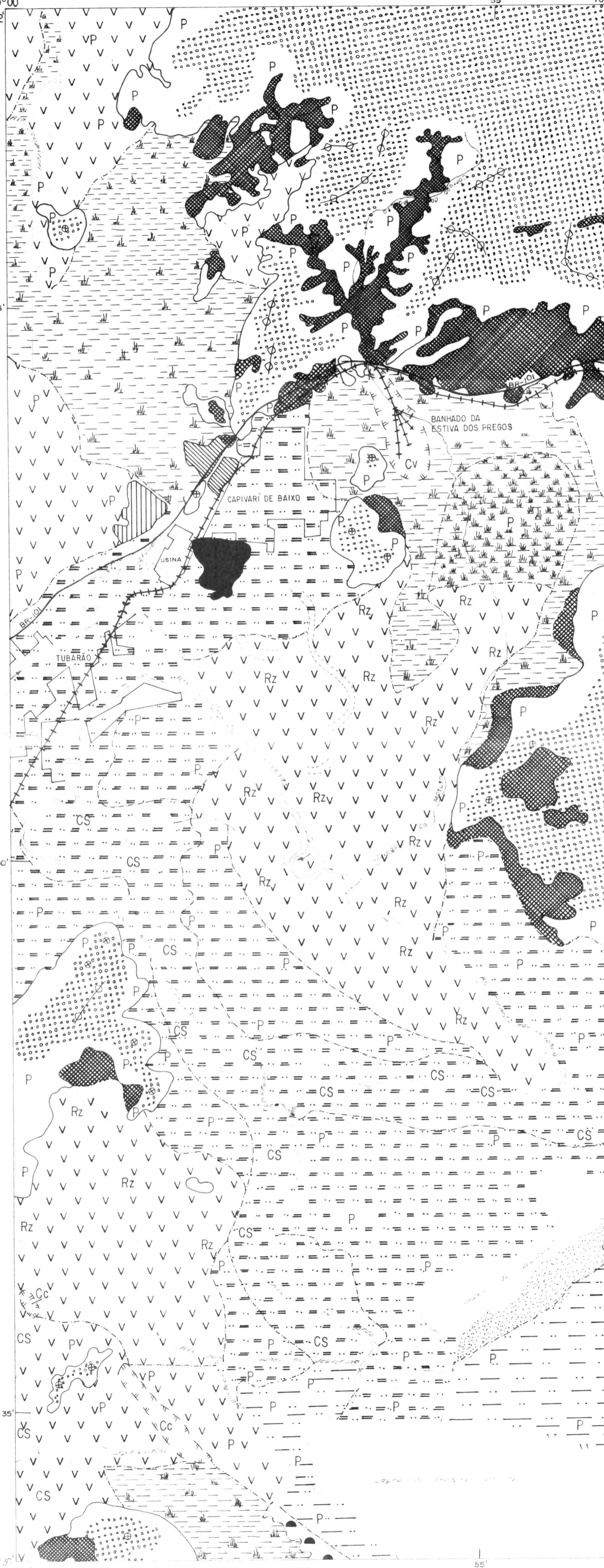
25'

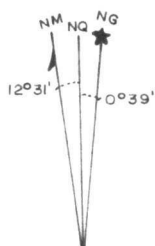
30'

35'

29°55'




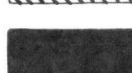
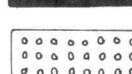
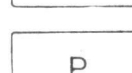


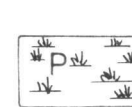
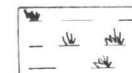





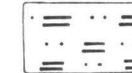


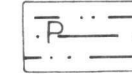

55'





A DECLINAÇÃO MAGNÉTICA
CRESCERÁ ANUALMENTE.

Legenda:

-  DESMATAMENTO
-  BACIA DE DECANTAÇÃO
-  DEPÓSITO DE CARVÃO
-  PÁTIO DE ESTOCAGEM DE CARVÃO
-  VEGETAÇÃO ROBUSTA
-  PASTAGEM
-  ÁREA DE EXTRAÇÃO DE REJEITOS CARBONOSOS
-  ÁREA DE EXTRAÇÃO DE CONCHAS CALCÁRIAS
-  BANHADO COM TURFA AFLORANTE E PASTAGEM
-  ÁREA ALAGADA
-  ÁREA DRENADA
 - Com:  Pastagem
 -  Rizicultura
 -  Cultura de subsistência
-  DEPÓSITOS ARENOSOS SEM COBERTURA VEGETAL
-  PLANÍCIE FLUVIO - MARINHA
 - Com:  Cultura de subsistência
 -  Pastagem
-  PLANÍCIE FLUVIAL
 - Com:  Pastagem

Legenda cartográfica:

-  Área urbana
-  BR - 101
-  Estrada de Ferro
-  Lagoas e Rios
-  Meandros abandonados
-  Duna
-  Crista
-  Topo

Anexo 2- MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

