

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA**

TESE DE DOUTORADO

**BIOMONITORAMENTO DE METAIS EM SUSPENSÃO
ATMOSFÉRICA NA SUB-BACIA DO ARROIO SAPUCAIA,
RS - BRASIL**

Tania Renata Prochnow

Porto Alegre, 2005

BIOMONITORAMENTO DE METAIS EM SUSPENSÃO ATMOSFÉRICA NA SUB-BACIA DO ARROIO SAPUCAIA, RS - BRASIL

Tania Renata Prochnow

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-graduação em Ecologia, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências com ênfase em Ecologia.**

ORIENTADOR: Profa.Dra.Maria Luiza Porto

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Maria Teresa Raya Rodrigues

Prof. Dr. Armando Molina Divan Junior

Prof. Dr. Heloisa Helana Rodrigues de Andrade

Porto Alegre, 2005



Fonte: www.rma.org.br



Fonte: www.emack.com.br

"... As 'pegadas' ecológicas e sociológicas das cidades espalharam-se por áreas cada vez maiores, criando uma continuidade urbano-rural de comunidades que compartilham os mesmos aspectos de cada estilo de vida. Cada vez menos locais do planeta permanecem sem ser afetados pela dinâmica das cidades."

A Situação da População Mundial 1999, Fundo para a População das Nações Unidas,

AGRADECIMENTOS

À Prof^a.Dr^a. Maria Luiza Porto, pela orientação e apoio durante a realização deste trabalho.

Ao Programa de Pós Graduação em Ecologia, por oportunizar a realização deste trabalho.

À Universidade Luterana do Brasil – ULBRA, pela disponibilização dos equipamentos de campo e de laboratório que possibilitaram a realização das coletas de material atmosférico e das análises de poeiras e organismos coletados.

Ao Prof. Bernardo Liberman pelo auxílio na coleta do material particulado e incentivo para a realização deste trabalho.

Ao Prof. Emerson A. Prochnow e aos acadêmicos Denise Petry, Leandro Camacho e Masurquede Coimbra pelo seu precioso auxílio na digestão das amostras e análise de metais pesados.

Ao Prof. Hélio Radke Bittencourt pelo seu auxílio no tratamento estatístico dos resultados analíticos.

Aos meus filhos Emerson, Claiton, Gerson, Anderson e Jeison Prochnow pelas valiosas colaborações na formatação deste trabalho e pela paciência que tiveram em conviver com uma eterna estudante.

Aos amigos, em especial ao Gilberto, aos Profs. Anildo Bristot (in memorian), Gilnei Ocácia, Bernardo Liberman e demais colegas, cujo apoio e incentivo foi extremamente precioso.

Aos proprietários particulares e às industrias e escolas, incluindo a ULBRA, que disponibilizaram seus espaços físicos para a colocação das unidades amostrais e visita mensal.

Aos meus pais Erwin e Olga Pietzsch (in memorian), pois sem seu auxílio nenhuma das minhas conquistas teria sido possível.

Ao Criador deste maravilhoso e complexo ambiente, tão maltratado pelos da nossa espécie, por me permitir tentar decifrar uma pequena parte de suas criações.

RESUMO

BIOMONITORAMENTO DE METAIS EM SUSPENSÃO ATMOSFÉRICA NA SUB-BACIA DO ARROIO SAPUCAIA, RS – BRASIL

A degradação da qualidade do ar troposférico, especialmente em áreas de grande densidade humana, e a interferência desta degradação em organismos vivos motivou este trabalho. As alterações da qualidade do ar podem causar danos e mudanças significativas em ecossistemas e afetar de modos diversos e cada vez mais acentuados, a qualidade de vida de todos os organismos, incluindo as populações humanas. Os diversos poluentes atmosféricos gerados pelas atividades antrópicas da região sofrem dispersão com os ventos atingindo áreas onde a geração destes poluentes é muito baixa, provocando o repasse dos mesmos por deposição seca ou pela precipitação com a chuva aos demais compartimentos abióticos e à cadeia trófica. Por dependerem exclusivamente de material abiótico de origem atmosférica, foram selecionados indivíduos de duas espécies de líquens, *Rimelia simulans* (Hale) Hale & Fletcher e *Canomaculina sp.*, e uma bromeliácea, *Tillandsia usneoides* (L.) Linnaeus (Barbade-pau), coletados em Tainhas, área considerada como de baixo impacto ambiental. Estes indivíduos foram expostos em três diferentes áreas da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia, durante um período de dez meses, com a intenção de verificar a relação das variações nas concentrações dos elementos alumínio, cálcio, chumbo, cobre, ferro, lítio, magnésio, manganês, mercúrio, potássio, sódio e zinco em massa seca de seus tecidos e as concentrações destes mesmos elementos em material particulado da baixa troposfera. As áreas de exposição apresentaram diferenças nas concentrações atmosféricas dos elementos, com maiores concentrações médias anuais em material particulado coletado na área industrial, e menores na área rural. A área urbana apresentou a maior média apenas para o elemento sódio. As três espécies expostas evidenciaram comportamentos diferenciados em relação à assimilação e bioacumulação destes elementos. Os elementos alumínio, chumbo, cobre, ferro, lítio e sódio foram concentrados nas três espécies, que apresentaram diminuição nas concentrações de potássio. Os dois líquens apresentaram comportamento semelhante na concentração de cobre, sendo estatisticamente evidenciadas, como bioacumuladoras deste elemento. A bioacumulação de zinco ocorreu de modo mais lento que a de cobre, mas de modo bastante similar nos dois líquens. Os indivíduos das três espécies, coletados em Tainhas apresentaram altas concentrações de mercúrio, que foram diminuindo com o tempo de exposição nas três áreas da bacia do arroio Sapucaia. Os resultados indicam que *R.simulans* e *Canomaculina sp.* são mais sensíveis que *T.usneoides* às alterações ambientais a que foram expostas. Os resultados obtidos para esta última sofreram interferência devida à ação de predadores durante o período de primavera. Mesmo com estas interferências é possível observar alterações nas concentrações dos elementos analisados nas três espécies, que podem ser atribuídas tanto às concentrações dos mesmos na atmosfera, à interferência de outros contaminantes ou a fatores climáticos que possam alterar o comportamento destas espécies em relação à assimilação dos elementos. A aplicação de geoprocessamento evidenciou as relações entre as concentrações

atmosféricas de Ca, Fe e Zn e suas nas três espécies, bem como as diferenças e semelhanças entre concentrações atmosféricas dos outros elementos e as acumuladas pelas espécies.

ABSTRACT

ATMOSPHERIC SUSPENDED METALS BIOMONITORING IN THE SAPUCAIA STREAM SUB-BASIN, RS – BRAZIL

The tropospheric air quality degradation, especially in high human density areas, and the interference of this degradation over the living organisms had motivated this work. The air quality alterations can cause damages and significative changes in ecosystems, and affect harder and in too many ways, the life quality of all organisms, including human populations. The different atmospheric pollutants generated by the antropic activities of the region, undergo wind dispersion reaching areas where the generation of these pollutants is too low, promoting it's repass either by dry deposition or rain precipitation to the other abiotic compartments and to trophic chain. By it's exclusively dependence of atmospheric origin abiotic material, individuals of two lichens and one bromeliaceae species was collected - *Rimelia simulans* (Hale) Hale & Fletcher and *Canomaculina sp.*, and *Tillandsia usneoides* (L.) Linnaeus (Barba-de-pau), respectively - from Tainhas locality, a low environmental impacted area. These individuals were exposed in three different areas of the Sapucaia stream hydrographic basin, during a period of ten months, with the intention of verify the relation of the variation in the concentrations of aluminum, calcium, lead, cooper, iron, lithium, magnesium, manganese, mercury, potassium, sodium and zinc, in dry mass of it's tissues and the concentrations of the same elements in the low troposphere particulate material. The exposition areas have shown differences in the elemental atmospheric concentration, with higher mean annual concentrations in the particulate material collected in the industrial area, and lower in the rural area. The urban area shown a major average just to sodium. The three exposed species attest different behavior with relation to the assimilation and bioaccumulation of these elements. Aluminum, lead, cooper, iron, lithium and sodium were concentrated in the three species, that shown reduction in the potassium concentrations. The two lichens shown similar behavior in cooper concentrations, has been statistically evidenciated like bioaccumulators of this element. Zinc bioaccumulation took place in slower way than cooper, but in similar intensity between lichen species. Individuals of the three species collected from Tainhas, shown high mercury concentrations, that became lower with the exposition time in the three areas of the Sapucaia stream basin. The results indicate that *R. simulans* and *Canomaculina sp.* are more sensible that *T. usneoides* to the environmental alterations of that had been exposed. The obtained results to the last one undergone interference due to the predators action during spring. Even these interferences it's possible to observe alterations in the analysed elements concentrations in the three species, that can be attributed to it's atmospheric concentrations, the interference of another contaminants as well as climatic factors that can alter the behavior of these species with relation to elements assimilation. The application of geoprocessing evidenciate the relations between Ca, Fe and Zn atmospheric concentrations and the concentrations of these elements in the three species, as well as the differences and similarities between atmospheric concentrations of other elements and those concentrated by the species.

SUMÁRIO GERAL

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE QUADROS	xvi
LISTA DE TABELAS	xvii
1.INTRODUÇÃO	1
2.FUNDAMENTOS TEÓRICOS	4
2.1. A ATMOSFERA	4
2.2. CONTAMINAÇÃO ATMOSFÉRICA:	6
2.2.1. Caracterização e origem dos poluentes atmosféricos	6
2.2.2. Efeitos em organismos vivos	8
2.2.3. Poluentes em atmosferas urbanas	12
2.2.4. Partículas em suspensão atmosférica	14
2.2.5. A problemática dos metais na atmosfera	22
2.3. QUALIDADE DO AR NO BRASIL:	35
2.3.1. Legislação	35
2.3.2. Monitoramento	39
2.4. BIOMONITORAMENTO	42
3. ÁREA DE TRABALHO	49
3.1. BACIA HIDROGRAFICA DO ARROIO SAPUCAIA	49
3.1.1. Localização e características gerais da região	49
3.1.2. Clima da RMPA e da sub-bacia do Arroio Sapucaia	51
3.2. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO E DE ORIGEM DOS BIOINDICADORES	53

3.2.1. Cachoeirinha	54
3.2.2. Canoas	54
3.2.3. Esteio	56
3.2.4. Gravataí	57
3.2.5. Sapucaia	58
3.2.6. Tainhas	59
4. MATERIAL E MÉTODOS	60
4.1. EQUIPAMENTO DE COLETA E REDE AMOSTRAL	60
4.1.1. Equipamentos para coleta de amostras atmosféricas	60
4.1.2. Origem dos organismos (liquens e bromeliácea) e confecção das unidades amostrais	62
4.1.3. Localização dos coletores de material particulado em suspensão atmosférica e da rede de biomonitoramento	64
4.1.4. Dados climáticos	69
4.2. EXTRAÇÃO DOS METAIS DAS AMOSTRAS COLETADAS	69
4.2.1. Dos filtros com particulados atmosféricos	69
4.2.2. Dos organismos	71
4.3. DETERMINAÇÃO DOS METAIS	72
4.3.1. Determinações via absorção atômica com chama ar-acetileno	75
4.3.2. Determinações via absorção atômica com chama óxido nitroso-acetileno	75
4.3.3. Determinações via absorção atômica com forno de grafite	76
4.3.4. Determinações via absorção atômica com geração de hidretos	76
4.3.5. Determinações via fotometria de chama	76
4.4. APLICAÇÃO DA MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA	77
4.5. APLICAÇÃO DE GEOPROCESSAMENTO NA DEFINIÇÃO DO MAPA DE CONTAMINAÇÃO ATMOSFÉRICA	78

4.5.1. Localização das transeccionais e limites da bacia sobre o mapa de uso e ocupação da terra (seg. EMATER)	78
4.5.1. Zoneamento das concentrações dos elementos	79
5. RESULTADOS	80
5.1. CLIMA	80
5.2. RELÊVO	86
5.3. PARTICULADOS ATMOSFÉRICOS	88
5.3.1. Alumínio nas PTS	90
5.3.2. Cálcio nas PTS	92
5.3.3. Chumbo nas PTS.....	93
5.3.4. Cobre nas PTS.....	95
5.3.5. Ferro nas PTS.....	96
5.3.6. Lítio nas PTS.....	98
5.3.7. Magnésio nas PTS	99
5.3.8. Manganês nas PTS.....	101
5.3.9. Mercúrio nas PTS	102
5.3.10. Potássio nas PTS.....	104
5.3.11. Sódio nas PTS	105
5.3.12. Zinco nas PTS.....	107
5.4. METAIS NOS LIQUENS E NA <i>Tillandsia usneoides</i>.....	109
5.4.1. Alumínio	109
5.4.2. Cálcio	115
5.4.3. Chumbo	121
5.4.4. Cobre	127
5.4.5. Ferro	132

5.4.6. Lítio	138
5.4.7. Magnésio	143
5.4.8. Manganês	149
5.4.9. Mercúrio	154
5.4.10. Potássio	160
5.4.11. Sódio	165
5.4.12. Zinco	171
5.5. APLICAÇÕES DE TÉCNICAS DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA	176
5.6. TRATAMENTO ESTATÍSTICO	188
5.7. GEOPROCESSAMENTO	200
6. DISCUSSÃO	207
6.1. EM RELAÇÃO ÀS POEIRAS ATMOSFÉRICAS	207
6.2. EM RELAÇÃO AOS ORGANISMOS	209
6.3. PARTICULADOS ATMOSFÉRICOS x ESPÉCIES EXPOSTAS	219
6.4. EM RELAÇÃO À APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA	223
6.5. RELAÇÕES ESTATÍSTICAS	224
6.6. ESPACIALIZAÇÃO: DADOS ATMOSFÉRICOS E DOS BIOINDICADORES	228
7. CONCLUSÃO	230
8. BIBLIOGRAFIA	234

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Classificação e propriedades de particulados atmosféricos (conforme vanLoon e Duffy, 2000)	17
Figura 2: Crescimento da população humana e mudanças na quantidade de chumbo nas geleiras da Groenlândia (Drew <i>apud</i> Gillmor, 1974)	23
Figura 3: Sub-bacia do arroio Sapucaia (Fonte: METROPLAN, 2001).	49
Figura 4: Proximidades da nascente do arroio Sapucaia.	51
Figura 5: Amostradores HI-VOL - PTS, para coleta de partículas totais em suspensão atmosférica.	61
Figura 6: Unidade amostral (fotografada após 10 meses de exposição) - observa-se perda quase total da <i>R.simulans</i> por ação de predadores	64
Figura 7: - Freqüência percentual da direção dos ventos em junho/03.....	80
Figura 8: - Freqüência percentual da direção dos ventos em julho/03.....	80
Figura 9: - Freqüência percentual da direção dos ventos em agosto/03.....	81
Figura 10: - Freqüência percentual da direção dos ventos em setembro/03	81
Figura 11: - Freqüência percentual da direção dos ventos em outubro/03	81
Figura 12: - Freqüência percentual da direção dos ventos em novembro/03	82
Figura 13: - Freqüência percentual da direção dos ventos em dezembro/03	82
Figura 14: - Freqüência percentual da direção dos ventos em janeiro/04.....	82
Figura 15: - Freqüência percentual da direção dos ventos em fevereiro/04.....	83
Figura 16: - Freqüência percentual da direção dos ventos em março/04.....	83
Figura 17: - Variação da velocidade dos ventos.....	84
Figura 18: - Variação da pressão atmosférica.....	84
Figura 19: - Variação da Umidade Relativa do ar	85
Figura 20: - Precipitações pluviométricas	85
Figura 21: - Variações de temperatura	86
Figura 22: - Variação das altitudes (h) nos pontos de exposição dos bioindicadores.....	86
Figura 23- Concentrações de PTS nas três áreas da bacia do A.Sapucaia.....	89
Figura 24- Valores médios, máximos e mínimos das PTS na bacia do A.Sapucaia	90
Figura 25- Variação das concentrações do alumínio nas PTS da bacia do A.Sapucaia.....	91

Figura 26- Concentrações de alumínio, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar.....	92
Figura 27- Variação das concentrações do cálcio nas PTS da bacia do arroio Sapucaia.....	92
Figura 28- Concentrações de cálcio, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar.....	93
Figura 29- Variação das concentrações do chumbo nas PTS da bacia do arroio Sapucaia.....	94
Figura 30- Concentrações de chumbo, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar.....	95
Figura 31- Variação das concentrações do cobre nas PTS da bacia do arroio Sapucaia.....	95
Figura 32- Concentrações de cobre, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar.....	96
Figura 33- Variação das concentrações do ferro nas PTS da bacia do arroio Sapucaia.....	97
Figura 34- Concentrações de ferro, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar.....	98
Figura 35- Variação das concentrações do lítio nas PTS da bacia do arroio Sapucaia.....	98
Figura 36- Concentrações de lítio, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar.....	99
Figura 37- Variação das concentrações do magnésio nas PTS da bacia do arroio Sapucaia.....	100
Figura 38- Concentrações de magnésio, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar.....	101
Figura 39- Variação das concentrações do manganês nas PTS da bacia do arroio Sapucaia.....	101
Figura 40- Concentrações de manganês, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar.....	102
Figura 41- Variação das concentrações do mercúrio nas PTS da bacia do arroio Sapucaia.....	103
Figura 42- Concentrações de mercúrio, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar.....	104
Figura 43- Variação das concentrações do potássio nas PTS da bacia do arroio Sapucaia.....	104
Figura 44- Concentrações de potássio, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar.....	105
Figura 45- Variação das concentrações do sódio nas PTS da bacia do arroio Sapucaia.....	106
Figura 46- Concentrações de sódio, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar.....	107
Figura 47- Variação das concentrações do zinco nas PTS da bacia do arroio Sapucaia.....	107
Figura 48- Concentrações de zinco, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar.....	108

Figura 49 - Concentrações de alumínio nas <i>T.usneoides</i>	111
Figura 50 - Valores mínimos, médios e máximos do Al na 1a (a) e 2a (b) coleta em <i>T.usneoides</i>	111
Figura 51 - Concentrações de alumínio na <i>R.simulans</i>	112
Figura 52 - Valores mínimos, médios e máximos do Al na 1a (a) e 2a (b) coleta em <i>R.simulans</i>	112
Figura 53 - Concentrações de alumínio na <i>Canomaculina sp.</i>	113
Figura 54 - Valores mínimos, médios e máximos do Al na 1a(a) e 2a (b) coleta em <i>Canomaculina sp.</i>	113
Figura 55 - Concentrações de cálcio nas <i>T.usneoides</i>	116
Figura 56 - Valores mínimos, médios e máximos do Ca na 1a (a) e 2a (b) coleta em <i>T.usneoides</i>	117
Figura 57 - Concentrações de cálcio na <i>R.simulans</i>	117
Figura 58 - Valores mínimos, médios e máximos do Ca na 1a (a) e 2a (b) coleta em <i>R.simulans</i>	118
Figura 59 - Concentrações de cálcio na <i>Canomaculina sp.</i>	118
Figura 60 - Valores mínimos, médios e máximos do Ca na 1a(a) e 2a (b) coleta em <i>Canomaculina sp.</i>	119
Figura 61 - Concentrações de chumbo nas <i>T.usneoides</i>	122
Figura 62 - Valores mínimos, médios e máximos do Pb na 1a (a) e 2a (b) coleta em <i>T.usneoides</i>	123
Figura 63 - Concentrações de chumbo na <i>R.simulans</i>	123
Figura 64 - Valores mínimos, médios e máximos do Pb na 1a (a) e 2a (b) coleta em <i>R.simulans</i>	124
Figura 65 - Concentrações de chumbo na <i>Canomaculina sp.</i>	124
Figura 66 - Valores mínimos, médios e máximos do Pb na 1a(a) e 2a (b) coleta em <i>Canomaculina sp.</i>	125
Figura 67 - Concentrações de cobre nas <i>T.usneoides</i>	128
Figura 68 - Valores mínimos, médios e máximos do Cu na 1a (a) e 2a (b) coleta em <i>T.usneoides</i>	129

Figura 69 - Concentrações de cobre na <i>R.simulans</i>	129
Figura 70 - Valores mínimos, médios e máximos do Cu na 1a (a) e 2a (b) coleta em <i>R. simulans</i>	130
Figura 71 - Concentrações de cobre na <i>Canomaculina sp</i>	130
Figura 72 - Valores mínimos, médios e máximos do Cu na 1a(a) e 2a (b) coleta em <i>Canomaculina sp</i>	137
Figura 73 - Concentrações de ferro nas <i>T.usneoides</i>	133
Figura 74 - Valores mínimos, médios e máximos do Fe na 1a (a) e 2a (b) coleta em <i>T.usneoides</i>	134
Figura 75 - Concentrações de ferro na <i>R.simulans</i>	134
Figura 76 - Valores mínimos, médios e máximos do Fe na 1a (a) e 2a (b) coleta em <i>R. simulans</i>	135
Figura 77 - Concentrações de ferro na <i>Canomaculina sp</i>	135
Figura 78 - Valores mínimos, médios e máximos do Fe na 1a(a) e 2a (b) coleta em <i>Canomaculina sp</i>	136
Figura 79 - Concentrações de lítio nas <i>T.usneoides</i>	139
Figura 80 - Valores mínimos, médios e máximos do Li na 1a (a) e 2a (b) coleta em <i>T.usneoides</i>	139
Figura 81 - Concentrações de lítio na <i>R.simulans</i>	140
Figura 82 - Valores mínimos, médios e máximos do Li na 1a (a) e 2a (b) coleta em <i>R. simulans</i>	140
Figura 83 - Concentrações de lítio na <i>Canomaculina sp</i>	141
Figura 84 - Valores mínimos, médios e máximos do Li na 1a(a) e 2a (b) coleta em <i>Canomaculina sp</i>	141
Figura 85 - Concentrações de magnésio nas <i>T.usneoides</i>	144
Figura 86 - Valores mínimos, médios e máximos do Mg na 1a (a) e 2a (b) coleta em <i>T.usneoides</i>	145
Figura 87 - Concentrações de magnésio na <i>R.simulans</i>	145
Figura 88 - Valores mínimos, médios e máximos do Mg na 1a (a) e 2a (b) coleta em <i>R. simulans</i>	146
Figura 89 - Concentrações de magnésio na <i>Canomaculina sp</i>	146

Figura 90 - Valores mínimos, médios e máximos do Mg na 1a(a) e 2a (b) coleta em <i>Canomaculina sp</i>	147
Figura 91 - Concentrações de manganês nas <i>T.usneoides</i>	150
Figura 92 - Valores mínimos, médios e máximos do Mn na 1a (a) e 2a (b) coleta em <i>T.usneoides</i>	151
Figura 93 - Concentrações de manganês na <i>R.simulans</i>	151
Figura 94 - Valores mínimos, médios e máximos do Mn na 1a (a) e 2a (b) coleta em <i>R. simulans</i>	151
Figura 95 - Concentrações de manganês na <i>Canomaculina sp</i>	152
Figura 96 - Valores mínimos, médios e máximos do Mn na 1a(a) e 2a (b) coleta em <i>Canomaculina sp</i>	152
Figura 97 - Concentrações de mercúrio nas <i>T.usneoides</i>	155
Figura 98 - Valores mínimos, médios e máximos do Hg na 1a (a) e 2a (b) coleta em <i>T.usneoides</i>	156
Figura 99 - Concentrações de mercúrio na <i>R.simulans</i>	156
Figura 100 - Valores mínimos, médios e máximos do Hg na 1a (a) e 2a (b) coleta em <i>R. simulans</i>	157
Figura 101 - Concentrações de mercúrio na <i>Canomaculina sp</i>	157
Figura 102 - Valores mínimos, médios e máximos do Hg na 1a(a) e 2a (b) coleta em <i>Canomaculina sp</i>	158
Figura 103 - Concentrações de potássio nas <i>T.usneoides</i>	161
Figura 104 - Valores mínimos, médios e máximos do K na 1a (a) e 2a (b) coleta em <i>T.usneoides</i>	161
Figura 105 - Concentrações de potássio na <i>R.simulans</i>	162
Figura 106 - Valores mínimos, médios e máximos do K na 1a (a) e 2a (b) coleta em <i>R. simulans</i>	162
Figura 107 - Concentrações de potássio na <i>Canomaculina sp</i>	163
Figura 108 - Valores mínimos, médios e máximos do K na 1a(a) e 2a (b) coleta em <i>Canomaculina sp</i>	163
Figura 109 - Concentrações de sódio nas <i>T.usneoides</i>	166

Figura 110 - Valores mínimos, médios e máximos do Na na 1a (a) e 2a (b) coleta em <i>T.usneoides</i>	167
Figura 111 - Concentrações de sódio na <i>R.simulans</i>	167
Figura 112 - Valores mínimos, médios e máximos do Na na 1a (a) e 2a (b) coleta em <i>R. simulans</i>	168
Figura 113 - Concentrações de sódio na <i>Canomaculina sp.</i>	168
Figura 114 - Valores mínimos, médios e máximos do Na na 1a(a) e 2a (b) coleta em <i>Canomaculina sp.</i>	169
Figura 115 - Concentrações de zinco nas <i>T.usneoides</i>	172
Figura 116 - Valores mínimos, médios e máximos do Zn na 1a (a) e 2a (b) coleta em <i>T.usneoides</i>	172
Figura 117 - Concentrações de zinco na <i>R.simulans</i>	173
Figura 118 - Valores mínimos, médios e máximos do Zn na 1a (a) e 2a (b) coleta em <i>R. simulans</i>	173
Figura 119 - Concentrações de zinco na <i>Canomaculina sp.</i>	174
Figura 120 - Valores mínimos, médios e máximos do Zn na 1a(a) e 2a (b) coleta em <i>Canomaculina sp.</i>	174
Figura 121 - Fração de filtro de quartzo contendo poeiras atmosféricas coletadas na região da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia.	176
Figura 122 - Observação de tamanho -por comparação com a escala micrométrica- e forma de partícula coletada em filtro de quartzo.	177
Figura 123 - Análise e observação do filtro de quartzo não exposto	178
Figura 124 - Partícula de poeira de solo com condensação de compostos orgânicos voláteis (COVs).	179
Figura 125 - Fragmento de pólen retido no filtro de quartzo exposto	180
Figura 126 - Pequena partícula resultante de combustão retida nas fibras do filtro juntamente com micro-partículas e COVs condensados	181
Figura 127 - Fração de <i>T.usneoides</i> nativa da região da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia, coletada em Esteio, observada por MEV, com aumento de 250 vezes.	182
Figura 128 - Fração de <i>T.usneoides</i> nativa, observada por MEV, com aumento de 500 vezes.	183

Figura 129 - Fração de <i>T.usneoides</i> nativa, observada por MEV, com aumento de 2000 vezes.	183
Figura 130 - Fração de <i>T.usneoides</i> coletada em Tainhas, não exposta, observada por MEV, com aumento de 250 vezes.	184
Figura 131 - Fração de <i>T.usneoides</i> coletada em Tainhas, não exposta, observada por MEV, com aumento de 500 vezes.	184
Figura 132 - Fração de <i>T.usneoides</i> coletada em Tainhas, não exposta, observada por MEV, com aumento de 2000 vezes.	185
Figura 133 - Fração de <i>T.usneoides</i> exposta por 10 meses, observada por MEV, com aumento de 100 vezes.	185
Figura 134 - Fração de <i>T.usneoides</i> exposta por 10 meses, observada por MEV, com aumento de 250 vezes.	186
Figura 135 - Fração de <i>T.usneoides</i> exposta por 10 meses, observada por MEV, com aumento de 500 vezes.	186
Figura 136 - Fração de <i>T.usneoides</i> exposta por 10 meses, observada por MEV, com aumento de 2000 vezes.	187
Fig. 137 - Concentrações médias de Al, Ca, Cu, Fe, Mg, K e Na na massa de particulados na três regiões da bacia do Sapucaia.....	200
Fig. 138 - Concentrações médias de Al, Ca, Cu, Fe, Mg, K e Na por metro cúbico de ar, nas três regiões da bacia do Sapucaia.	200
Fig. 139 - - Mapa da área de trabalho na sub-bacia hidrográfica do arroio Sapucaia.	201
Fig. 140 - Médias de concentração dos elementos Pb, Li, Mn e Zn na massa de poeira, nas três regiões da bacia do Sapucaia.....	202
Fig. 141 - Médias de concentração dos elementos Pb, Li, Mn e Zn por metro cúbico de ar, nas três regiões da bacia do Sapucaia.	202
Fig. 142 - Médias de concentração de Hg na massa de poeira, nas três regiões da bacia do Sapucaia.	202
Fig. 143 - Médias de concentração de Hg por metro cúbico de ar, nas três regiões da bacia do Sapucaia.	203
Fig. 144 - Gradientes de concentrações médias dos elementos na atmosfera (mapa base) e em <i>T. usneoides</i> (layer em transparência) nas áreas das linhas 1 a 3	204

- Fig. 145** - Gradientes de concentrações médias dos elementos na atmosfera (mapa base) e em *R.simulans* (layer em transparência) nas áreas das linhas 1 a 3 205
- Fig. 146** - Gradientes de concentrações médias dos elementos na atmosfera (mapa base) e em *Canomaculina sp.* (layer em transparência) nas áreas das linhas 1 a 3 206

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 -Concentrações dos elementos: Menores mínimas	197
Quadro 2 - Concentrações dos elementos: Maiores médias	198
Quadro 3 - Concentrações dos elementos: Maiores máximas	198
Quadro 4 - Relações entre picos mínimos, médios e máximos dos elementos na atmosfera e nos indivíduos das espécies estudadas	199

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Componentes do ar troposférico natural (não poluído).....	5
Tabela 2 - Danos causados a vegetais por poluição do ar (modificada de Boubel et al, 1994).....	11
Tabela 3 – Padrões Nacionais de Qualidade do Ar, conforme a Resolução do CONAMA N.03/90	37
Tabela 4 – Níveis de Qualidade do Ar para episódios críticos, conforme a Resolução do CONAMA N.03/90	38
Tabela 5 - Coordenadas dos pontos da rede amostral na linha 1	66
Tabela 6 - Coordenadas dos pontos da rede amostral na linha 2.....	66
Tabela 7 - Coordenadas dos pontos da rede amostral na linha 3.....	66
Tabela 8 - Concentrações das partículas totais em suspensão atmosférica (PTS) na bacia do Arroio Sapucaia.	88
Tabela 9 - Concentrações mínimas, médias e máximas das PTS em cada ponto de coleta da bacia do A.Sapucaia.....	89
Tabela 10 - Concentrações mínimas, médias e máximas do alumínio nas PTS, em mg/g de material particulado e em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, em cada ponto de coleta da bacia do A.Sapucaia	91
Tabela 11 - Concentrações mínimas, médias e máximas do cálcio nas PTS, em mg/g de material particulado e em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, em cada ponto de coleta da bacia do A.Sapucaia	93
Tabela 12 - Concentrações mínimas, médias e máximas do chumbo nas PTS, em mg/g de material particulado e em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, em cada ponto de coleta da bacia do A.Sapucaia	94
Tabela 13 - Concentrações mínimas, médias e máximas do cobre nas PTS, em mg/g de material particulado e em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, em cada ponto de coleta da bacia do A.Sapucaia	96
Tabela 14 - Concentrações mínimas, médias e máximas do ferro nas PTS, em mg/g de material particulado e em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, em cada ponto de coleta da bacia do A.Sapucaia	97

Tabela 15 - Concentrações mínimas, médias e máximas do lítio nas PTS, em mg/g de material particulado e em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, em cada ponto de coleta da bacia do A.Sapucaia	99
Tabela 16 - Concentrações mínimas, médias e máximas do magnésio nas PTS, em mg/g de material particulado e em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, em cada ponto de coleta da bacia do A.Sapucaia	100
Tabela 17 - Concentrações mínimas, médias e máximas do manganês nas PTS, em mg/g de material particulado e em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, em cada ponto de coleta da bacia do A.Sapucaia	102
Tabela 18 - Concentrações mínimas, médias e máximas do mercúrio nas PTS, em $\mu\text{g}/\text{g}$ de material particulado e em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, em cada ponto de coleta da bacia do A.Sapucaia	103
Tabela 19 - Concentrações mínimas, médias e máximas do potássio nas PTS, em mg/g de material particulado e em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, em cada ponto de coleta da bacia do A.Sapucaia	105
Tabela 20 - Concentrações mínimas, médias e máximas do sódio nas PTS, em mg/g de material particulado e em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, em cada ponto de coleta da bacia do A.Sapucaia	106
Tabela 21 - Concentrações mínimas, médias e máximas do zinco nas PTS, em mg/g de material particulado e em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, em cada ponto de coleta da bacia do A.Sapucaia	108
Tabela 22 - Concentrações de alumínio nos organismos, na primeira coleta (após 6 meses de exposição) e na segunda coleta (após 10 meses de exposição).	109
Tabela 23 - Concentrações de alumínio na atmosfera e em organismos: valores mínimos, médios e máximos determinados na região da bacia do arroio Sapucaia e nos de referência (Tainhas) e valores de referência (Allen, 1974, Bowel, 1979 e outros).....	114
Tabela 24 - Concentrações de cálcio nos indivíduos, na primeira coleta (após 6 meses de exposição) e na segunda coleta (após 10 meses de exposição).	115
Tabela 25 - Concentrações de cálcio na atmosfera e em organismos: valores mínimos, médios e máximos determinados na região da bacia do arroio Sapucaia e	

nos de referência (Tainhas) e valores de referência (Allen, 1974, Bowel, 1979 e outros).....	119
Tabela 26 - Concentrações de chumbo nos indivíduos, na primeira coleta (após 6 meses de exposição) e na segunda coleta (após 10 meses de exposição).	121
Tabela 27 - Concentrações de chumbo na atmosfera e em organismos: valores mínimos, médios e máximos determinados na região da bacia do arroio Sapucaia e nos de referência (Tainhas) e valores de referência (Allen, 1974, Bowel, 1979 e outros).....	125
Tabela 28 - Concentrações de cobre nos indivíduos, na primeira coleta (após 6 meses de exposição) e na segunda coleta (após 10 meses de exposição).	127
Tabela 29 - Concentrações de cobre na atmosfera e em organismos: valores mínimos, médios e máximos determinados na região da bacia do arroio Sapucaia e nos de referência (Tainhas) e valores de referência (Allen, 1974, Bowel, 1979 e outros).....	131
Tabela 30 - Concentrações de ferro nos indivíduos, na primeira coleta (após 6 meses de exposição) e na segunda coleta (após 10 meses de exposição).	132
Tabela 31 - Concentrações de ferro na atmosfera e em organismos: valores mínimos, médios e máximos determinados na região da bacia do arroio Sapucaia e nos de referência (Tainhas) e valores de referência (Allen, 1974, Bowel, 1979 e outros).....	136
Tabela 32 - Concentrações de lítio nos indivíduos, na primeira coleta (após 6 meses de exposição) e na segunda coleta (após 10 meses de exposição).	138
Tabela 33 - Concentrações de lítio na atmosfera e em organismos: valores mínimos, médios e máximos determinados na região da bacia do arroio Sapucaia e nos de referência (Tainhas) e valores de referência (Allen, 1974, Bowel, 1979 e outros).....	133
Tabela 34 - Concentrações de magnésio nos indivíduos, na primeira coleta (após 6 meses de exposição) e na segunda coleta (após 10 meses de exposição).	143
Tabela 35 - Concentrações de magnésio na atmosfera e em organismos: valores mínimos, médios e máximos determinados na região da bacia do arroio Sapucaia e nos de referência (Tainhas) e valores de referência (Allen, 1974, Bowel, 1979 e outros).....	47

Tabela 36 - Concentrações de manganês nos indivíduos, na primeira coleta (após 6 meses de exposição) e na segunda coleta (após 10 meses de exposição).	149
Tabela 37 - Concentrações de manganês na atmosfera e em organismos: valores mínimos, médios e máximos determinados na região da bacia do arroio Sapucaia e nos de referência (Tainhas) e valores de referência (Allen, 1974, Bowel, 1979 e outros).....	153
Tabela 38 - Concentrações de mercúrio nos indivíduos, na primeira coleta (após 6 meses de exposição) e na segunda coleta (após 10 meses de exposição).	154
Tabela 39 - Concentrações de mercúrio na atmosfera e em organismos: valores mínimos, médios e máximos determinados na região da bacia do arroio Sapucaia e nos de referência (Tainhas) e valores de referência (Allen, 1974, Bowel, 1979 e outros).....	158
Tabela 40 - Concentrações de potássio nos indivíduos, na primeira coleta (após 6 meses de exposição) e na segunda coleta (após 10 meses de exposição).	160
Tabela 41 - Concentrações de potássio na atmosfera e em organismos: valores mínimos, médios e máximos determinados na região da bacia do arroio Sapucaia e nos de referência (Tainhas) e valores de referência (Allen, 1974, Bowel, 1979 e outros).....	164
Tabela 42 - Concentrações de sódio nos indivíduos, na primeira coleta (após 6 meses de exposição) e na segunda coleta (após 10 meses de exposição).	165
Tabela 43 - Concentrações de sódio na atmosfera e em organismos: valores mínimos, médios e máximos determinados na região da bacia do arroio Sapucaia e nos de referência (Tainhas) e valores de referência (Allen, 1974, Bowel, 1979 e outros).....	169
Tabela 44 - Concentrações de zinco nos indivíduos, na primeira coleta (após 6 meses de exposição) e na segunda coleta (após 10 meses de exposição)	171
Tabela 45 - Concentrações de zinco na atmosfera e em organismos: valores mínimos, médios e máximos determinados na região da bacia do arroio Sapucaia e nos de referência (Tainhas) e valores de referência (Allen, 1974, Bowel, 1979 e outros).....	175
Tabela 46 - Análise de Variância para comparação entre linhas (6 meses).....	188
Tabela 47 - Análise de Variância para comparação entre linhas (10 meses).....	190

Tabela 48- Valores médios de referência encontrados em Tainhas	193
Tabela 49 - Teste t de Student para comparação entre os valores observados na linha 1 (6 e 10 meses)	194
Tabela 50- Teste t de Student para comparação entre os valores observados na linha 2 (6 e 10 meses)	195
Tabela 51 - Teste t de Student para comparação entre os valores observados na linha 3 (6 e 10 meses).....	196

1. INTRODUÇÃO

Os diversos poluentes atmosféricos, gerados pelas atividades antrópicas regionais, sofrem dispersão com os ventos atingindo áreas onde a geração destes poluentes é muito baixa, provocando o repasse dos mesmos por deposição seca ou pela precipitação com a chuva aos demais compartimentos abióticos e à cadeia trófica.

As alterações da qualidade do ar podem causar danos e mudanças significativas em ecossistemas e afetar de modos diversos e cada vez mais acentuados, a qualidade de vida de todos os organismos, incluindo as populações humanas. De acordo com a O.M.S. (Organização Mundial de Saúde, 2000), 85% das doenças que afetam a espécie humana são de causas ambientais, incluindo-se aí as relacionadas com a qualidade do ar.

A resposta dos organismos vivos à poluição atmosférica varia com o tempo e o tipo de exposição. Para cada poluente existe uma relação entre o tempo de exposição e a concentração do poluente que pode ser tolerada por um organismo de determinada espécie, sem que este sofra dano, ou seja, um organismo pode ser exposto a concentrações muito elevadas por um espaço de tempo muito curto com danos muito baixos. Mas o mesmo organismo pode sofrer danos mais acentuados com concentrações muito baixas do poluente, se o tempo de exposição for muito prolongado (Nebel, 1998).

Diversos experimentos demonstram que os organismos autotróficos são mais sensíveis aos poluentes atmosféricos que os organismos humanos. Em áreas urbanas ou nas áreas próximas a estas, afetadas pelos poluentes atmosféricos gerados nas cidades, podem ser observados danos significativos e mesmo a morte de diversas espécies, como em culturas de cereais, espécies florestais, orquídeas, bromélias, líquens e outras. Além dos danos a estes autotróficos, os poluentes podem sofrer igualmente processos de acumulação em alguns destes organismos (Lowet, 1994; Pompéia, 1997; Nebel, 1998; Cerná, 1999; Heinsohn, 1999; Patra, 2000; Bari, 2001; Cuny, 2001; Cercarov, 2002, e outros).

Causam preocupação as partículas em suspensão atmosférica por serem constituídas por diversas espécies químicas que, se assimiladas ou inaladas por organismos vivos, podem trazer diversos. Os metais pesados presentes nestes particulados são especialmente danosos podendo ser concentrados ou acumulados por organismos autotróficos e repassados por vias tróficas a consumidores, ou mesmo acumulados por estes últimos e apresentar efeitos tóxicos mesmo em concentrações muito baixas. Pela intensa atividade físico-química que ocorre na camada de ar troposférico, mesmo particulados de origem natural podem ser modificados ou servirem de núcleos de condensação a substâncias poluentes em presença da umidade do ar, emissões gasosas orgânicas e inorgânicas e ainda interferentes climáticos e radiação solar (Baird, 1998; Heinsohn, 1999; vanLoon, 2000; Rocha, 2004). Portanto, mesmo áreas com baixa interferência industrial e urbana podem igualmente ser atingidas por poluentes atmosféricos.

As fontes de particulados atmosféricos originários de atividades humanas impactantes provêm principalmente de fontes industriais e veiculares, podendo estar presentes no ar tanto na forma orgânica como na inorgânica, contando com uma ampla gama de metais pesados, elementos traço diversos e até mesmo nutrientes em forma de poeiras finas, afetando principalmente áreas urbanas.

Várias espécies são altamente sensíveis às alterações das condições ambientais ou a poluentes. Algumas espécies acumulam poluentes (bioacumuladores) e são capazes de armazenar grandes quantidades destas substâncias, sem sofrer injúrias; são úteis tanto como monitores *ativos* (expostos) ou como *passivos* (que se desenvolvem no local). Essas espécies, em diversos casos, acumulam um ou mais elementos, permitindo a avaliação do grau de poluição local através da análise química de seus tecidos (Zanardi e Porto, 1991, Mozeto, 1995, Prochnow, 2000, Dal Piva, 2001, Brighina, 2002; e outros).

Organismos não enraizados no solo, sem poder extrair do mesmo seus nutrientes, dependem unicamente da concentração de substâncias e elementos químicos da atmosfera, sendo bons indicadores da qualidade do ar. Este é o caso de bromeliáceas e de líquens que são capazes de acumular altas concentrações de substâncias presentes na atmosfera (Flores, 1980, Grüniger. 1980 e 2000, Jeran, 2002, Loppi, 2003 e outros).

Neste trabalho consideramos a **hipótese** de que líquens e bromeliáceas – *Rimelia simulans* (Hale) Hale & Fletcher, *Canomaculina sp.* e *Tillandsia usneoides* (L.) Linnaeus (Barba-de-pau) - são capazes de concentrar elementos metálicos, tanto os essenciais como metais pesados prejudiciais aos mecanismos dos organismos vivos, em concentrações relacionadas com as existentes no ar e possivelmente superiores a estas, em função de fenômenos de bioacumulação, na atmosfera da região da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia. Estas concentrações são caracterizadas pelas atividades regionais e influenciadas por condições atmosféricas, sendo os elementos concentrados de maneiras distintas por cada espécie.

Um dos objetivos deste trabalho é contribuir com maiores conhecimentos sobre a dinâmica atmosférica de espécies químicas, relacionadas com fatores climáticos de dispersão e atividades antrópicas regionais, tais como atividade industrial, urbana, circulação veicular, atividades mineradoras e agropastoris.

Outro objetivo é o de contribuir para esclarecer uma possível interferência entre as concentrações absorvidas de elementos traço advindos dos poluentes atmosféricos e as concentrações absorvidas de cátions que atuam como nutrientes, o que pode contribuir com o desaparecimento de espécies de área de maior impacto ambiental.

Diversos trabalhos têm sido apresentados com estudos de organismos não enraizados, relacionados com poluentes atmosféricos em seus ecossistemas de origem. Todavia, um número pequeno destes foi desenvolvido no continente Sul-americano onde o clima apresenta diferenciações importantes em relação ao hemisfério Norte, principalmente no que diz respeito à umidade e à circulação de massas de ar. Tornam-se necessários mais estudos que esclareçam interferência destes fatores na dispersão destes poluentes e na interferência em organismos vivos de diferentes regiões.

Neste trabalho procuramos esclarecer algumas destas questões e contribuir para o estudo dos efeitos de poluentes atmosféricos em organismos vivos.

Palavras-chave: atividade antrópica, particulados atmosféricos, metais em poeiras atmosféricas, bioacumulação, bioindicação, *Rimelia simulans*, *Canomaculina sp.*, *Tillandsia usneoides*, poluição urbano-industrial.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. A ATMOSFERA

A Terra é envolvida por um tênue manto gasoso que constitui sua atmosfera, diferenciada da dos demais planetas do sistema solar por sua química única que inclui componentes como o oxigênio e o dióxido de carbono, que dão suporte aos processos dos quais dependem todas as formas vivas da biosfera.

A atmosfera terrestre foi sendo modificada lentamente, desde a formação do planeta, primeiro por reações entre os próprios constituintes planetários, como atividade vulcânica, radiações, descargas elétricas. Estas modificações se acentuaram com o surgimento da vida, há cerca de 2,5 bilhões de anos, primeiro com a ação de organismos adaptados aquelas condições primitivas, como as cianobactérias e outras formas de vida primitivas e, depois, com o surgimento de organismos clorofilados. As atividades destes organismos pioneiros provocaram o decaimento das concentrações de gases tóxicos às formas de vida atual, como o monóxido de carbono e a amônia e, como subproduto da fotossíntese, o incremento da concentração de oxigênio livre na atmosfera (Fortey, 2000).

Com a intensa atividade fotossintética no planeta primitivo, houve igualmente um grande decréscimo na concentração do gás carbônico, construindo assim, lentamente e acompanhada por uma igualmente lenta modificação das formas vivas, a atmosfera atual, viável para as atuais formas de vida (Fortey, 2000).

A química da atmosfera e as reações biogeoquímicas desta com os organismos, continua ainda em alterações lentas, não é estacionária, permitindo alterações e adaptações dos organismos às novas condições e, mesmo sem poluentes, provocando o desaparecimento lento e progressivo de formas não adaptadas. As alterações bruscas nesta química e bioquímica complexa, provocada por alterações antrópicas na constituição dos seus reagentes, podem inviabilizar as adaptações dos organismos a estas novas condições, promovendo o desaparecimento acelerado de espécies menos tolerantes.

A atmosfera atual pode ser dividida em quatro camadas principais, diferenciadas pelas principais espécies químicas presentes em diversas altitudes

e em relação às alterações de temperatura: a *troposfera*, a *estratosfera*, a *mesosfera* e a *termosfera*, separadas por regiões onde ocorrem as inversões térmicas são denominadas, respectivamente, *tropopausa*, *estratopausa* e *mesopausa*.

O manto atmosférico se estende até uma altitude de 500 km além da superfície terrestre. A camada mais próxima à superfície é a *troposfera*, que alcança uma altitude de até 15 km, com temperatura média de 14°C, composta principalmente de nitrogênio (N₂), oxigênio (O₂), vapor d'água (H₂O), argônio (Ar) e gás carbônico (CO₂). É nesta camada que ocorrem a maior parte das atividades biológicas. A troposfera constitui aproximadamente 85% da massa de toda a atmosfera (van Loon e Duffy, 2000)

As fontes de calor da atmosfera são a radiação solar e a terrestre, refletida a partir da radiação solar incidente. Parte da radiação que entra na atmosfera é absorvida por componentes da atmosfera, intervindo nas reações fotoquímicas, algumas das quais, fortemente exotérmicas. Estas reações participam na caracterização térmica das camadas atmosféricas

Segundo WARK, WARNER e DAVIS (1998), a composição média da capa inferior da atmosfera, em relação aos seus componentes naturais, isto é, ar não poluído, considerando que a concentração destes é mais ou menos constante, é a indicada na tabela 1(adaptada):

Tabela 1: Componentes do ar troposférico natural (não poluído).

Componentes gasosos do ar troposférico	Composição em volume (ppm)	Composição em peso (ppm)
Nitrogênio	780.840	755.100
Oxigênio	209.460	231.500
Argônio	9.340	12.800
Dióxido de carbono	330	460
Neônio	18	12,5
Hélio	5,2	0,72
Metano	2,2	1,2
Kriptônio	0,5	2,9
Hidrogênio	0,5	0,03

Xenônio	0,08	0,36
Dióxido de nitrogênio	0,02	1,5
Ozônio	0,01 – 0,04	

Ar não poluído é um conceito, ou seja, é a composição mais provável que o ar teria se não houvesse atividade humana no planeta. Portanto, não temos certeza de qual seria sua composição exata, pois a espécie humana vem alterando e poluindo o ar por centenas de anos. A atmosfera real é mais do que uma mistura seca de gases; outros componentes entram em sua constituição em concentrações variáveis, dependendo da temperatura, dos ventos e da atividade biológica, como vapor d'água, vapores orgânicos naturais originados por processos bioquímicos de organismos vivos ou por sua decomposição, material particulado, pólenes e outros.

O vapor d'água na atmosfera pode ter origem nos ciclos biogeoquímicos, gerados por processos como a evapotranspiração dos vegetais e a transpiração dos animais, e nos processos de evaporação de águas continentais e oceânicas. Neste último processo, espécies químicas inorgânicas - cátions e ânions, são introduzidos na atmosfera, na forma de aerossóis marinhos, interferindo na composição do ar da região.

O ar troposférico contém os gases que participam das reações fundamentais dos ciclos biogeoquímicos planetários, fornecendo estes reagentes gasosos, como gás carbônico, oxigênio e nitrogênio para todas as formas de organismos vivos da biosfera: microorganismos, organismos autotróficos e organismos heterotróficos, tanto por absorção direta destes reagentes gasosos da atmosfera, como pela assimilação destes gases dissolvidos na água e no solo e ainda através do repasse dos produtos bioquímicos dos mesmos através das cadeias tróficas.

2.2. CONTAMINAÇÃO ATMOSFÉRICA:

2.2.1. CARACTERIZAÇÃO E ORIGEM DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS

A atividade antrópica vem contribuindo em níveis crescentes com a alteração qualitativa e quantitativa da composição da massa de ar troposférico. A contaminação da atmosfera pode ocorrer com a alteração da composição do ar através da introdução de diversos tipos de contaminantes biológicos, na forma de microorganismos diversos, como bactérias, vírus, fungos, algas, ou substâncias orgânicas ou inorgânicas, gasosas, líquidas ou sólidas, em forma de sprays, névoas, fumaças, aerossóis, poeiras e de outras que, apesar de serem constituintes normais do ar troposférico, têm sua concentração alterada causando modificações na qualidade do ar disponível para os organismos vivos e provocando modificações no clima e nas reações químicas atmosféricas.

Em 1995, o IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), formado por um grupo oficial de cientistas estabelecido em 1988 pelas Nações Unidas, publicou em seu segundo relatório que “o balanço das evidências sugere que existe uma influência perceptível do homem sobre o clima global”. De acordo com este relatório, a temperatura média global está 0,6 °C maior do que a média da era pré-industrial. Este aumento é relacionado, principalmente, com o aumento das concentrações de dióxido de carbono na troposfera, mas diversas substâncias, com capacidade de absorver diversos comprimentos de ondas da radiação solar em suas estruturas moleculares, por estiramento de ligações ou por abertura de ângulos de ligação, contribuem com o aquecimento global (Baird, 2001, vanLoon, 2000).

A origem dos contaminantes atmosféricos é diversa. Podem se originar de causas naturais, como decomposição de matéria orgânica em culturas, principalmente arrozais, em pântanos, em manguezais e banhados, produção de compostos orgânicos voláteis durante processos fotossintéticos, incêndios naturais em campos ou florestas, vulcanismo, tempestades, sais provenientes de aerossóis marinhos, processos anaeróbicos em lagos, rios e ambientes costeiros, fermentações intestinais e outros (Domenech, 1995).

Mas a principal fonte de poluição é a atividade humana. Desta atividade surgem fontes fixas de combustão ou de processos industriais, atividades domiciliares, incineradores, plantas térmicas e nucleares, fundições, siderúrgicas, refinarias; atividades mistas como agropecuárias, mineradoras, silvicultura e madeireira e fontes móveis, como veículos movidos a diesel, gasolina, óleo, gás,

carvão e outros. Em torno de 80% dos contaminantes lançados na atmosfera provém da utilização de combustíveis fósseis. Em aglomerados urbanos, uma das principais fontes de alteração da camada inferior de ar troposférico é devida ao transporte veicular aliada à rugosidade da superfície urbana, acentuada por concentração de construções de estruturas diversificadas, que dificultam ou impedem a dispersão dos poluentes nestes aglomerados.

Dependendo da estabilidade do contaminante e das condições meteorológicas, a poluição atmosférica pode afetar regiões bastante afastadas do ponto de emissão, devido à dispersão provocada por correntes de ar ascendentes e, após, descendentes.

2.2.2. EFEITOS EM ORGANISMOS VIVOS

As alterações da qualidade do ar podem causar danos e mudanças significativas em ecossistemas e afetar de modos diversos e cada vez mais acentuados, a qualidade de vida de todos os organismos. Incluindo as populações humanas. De acordo com a O.M.S. (Organização Mundial de Saúde, 2000), 85% das doenças que afetam a espécie humana são de causas ambientais, incluindo-se aí as relacionadas com a qualidade do ar.

Nos ecossistemas ocorrem interações ar/água/solo, portanto os poluentes atmosféricos vão afetar também a qualidade das águas e dos solos, interferindo também nos ciclos biogeoquímicos que ocorrem nestes compartimentos do ecossistema e afetando igualmente organismos aquáticos e terrestres.

A resposta dos organismos vivos à poluição atmosférica varia com o tempo e o tipo de exposição. Para cada poluente existe uma relação entre o tempo de exposição e a concentração do poluente que pode ser tolerada por um organismo de determinada espécie, sem que este sofra dano, ou seja, um organismo pode ser exposto a concentrações muito elevadas por um espaço de tempo muito curto com danos muito baixos. Mas o mesmo organismo pode sofrer danos mais acentuados com concentrações muito baixas do poluente, se o tempo de exposição for muito prolongado (Nebel, 1998).

Em humanos, uma exposição breve ao ar poluído pode causar alterações na visibilidade, no olfato, irritações nos olhos, pele e nasofaringe, náuseas, dores

de cabeça, fadiga e outras alterações; uma exposição mais prolongada poderá causar doenças respiratórias, afetar a circulação e, ao longo dos anos, doenças respiratórias crônicas e câncer pulmonar (Boubel, 1994 e outros). Pela respiração, os poluentes podem entrar pelas narinas ou pela cavidade bucal, passar para a traquéia e para os brônquios e chegar até o saco alveolar. Aí ocorrem as trocas gasosas com o sistema circulatório e pode ocorrer a passagem do poluente ou de seu produto de reação com substâncias do próprio organismo, para a circulação.

Relatos de estudos epidemiológicos diversos, apontam efeitos adversos dos poluentes atmosféricos na saúde humana. Em episódios de aumento acentuados nas concentrações de poluentes, como no de Meuse Valley na Bélgica em 1930, em Donora, Pennsylvania em 1948 e em Londres, Inglaterra em 1952, foram documentados aumentos na morbidade e mortalidade por doenças respiratórias. Peters *et al*, (1997) estudaram a relação entre episódios pico de partículas ultrafinas e crises de grupos de asmáticos.

Ferin *et al* (1992) demonstrou que ratos, quando expostos a partículas finas e ultrafinas de dióxido de titânio, apresentaram um aumento nos casos de inflamações bronquioalveolares.

Na vegetação, mesmo com exposição curta, dependendo das concentrações e tipos de poluentes, poderão ocorrer perdas de culturas, danos à espécies ornamentais, diminuição da atividade fotossintética e alterações estomáticas. Com exposição prolongada podem ocorrer necroses de tecidos, fluorose, clorose, anomalias de crescimento, manchas na folhagem, diminuição de produção de frutos, perda de espécies florestais e outros danos diversos.

A vegetação reage com diversos poluentes atmosféricos numa ampla escala de concentrações e de condições ambientais. Poluentes penetram nas plantas através de suas folhagens, na forma de vapor, gases e material particulado ou são absorvidos por suas raízes. Compostos hidrofílicos são mais absorvidos, em solução, pelas raízes. Os compostos hidrofóbicos podem reagir no solo e serem absorvidos pela raiz ou, se voláteis, podem ser absorvidos pelos lipídios da folha (Heinson e Kabel, 1999). Muitos fatores interferem no resultado, incluindo espécies de plantas, idade, balanço de nutrientes, condições do solo, temperatura, umidade e radiação solar.

Os poluentes atmosféricos podem entrar nos sistemas vegetais por vias primárias ou secundárias. A via primária é análoga à inalação humana. A secundária ocorre por precipitação dos poluentes no solo, solubilização e/ou reação com água e componentes do solo, e posterior assimilação pelas raízes.

Diversos experimentos demonstram que os organismos autotróficos são mais sensíveis aos poluentes atmosféricos que os organismos humanos. Em áreas urbanas ou nas áreas próximas à estas, afetadas pelos poluentes atmosféricos gerados nas cidades, podem ser observados danos significativos e mesmo a morte de diversas espécies, como em culturas de cereais, espécies florestais, orquídeas, bromélias, líquens e outras (Nebel, 1998)

Muitos efeitos de emissões atmosféricas têm sido observados em organismos vegetais. Danos em pinheiros de florestas européias têm sido relatados em publicações desde 1850.

Estimativas sugerem que, pelo menos, 5% das perdas totais de safras são relacionadas com a poluição atmosférica. A poluição atmosférica tem um impacto bem maior em algumas áreas geográficas e safras do que em outras. A quebra nas safras pode ser causada por precipitação de uma fonte local de poluição atmosférica ou por maior difusão ou exposição mais freqüente a níveis adversos de poluição (Boubel, Fox, Turner e Stern, 1994).

A poluição do ar causa senescência ou queda de folhas. Plantas ornamentais e árvores frutíferas também podem mostrar efeitos da poluição, de flores a frutos, diminuindo a produção. Dos efeitos não visíveis, podemos enumerar a redução no crescimento e alterações de processos bioquímicos ou fisiológicos bem como alterações no ciclo reprodutivo. Redução na produção de grãos pode ocorrer mesmo sem a constatação de efeitos visíveis sobre a planta. Em forrageiras ou no feno, ocorre redução na biomassa total, acarretando perdas econômicas.

Florestas com danos em grandes extensões começaram a ser notadas no final da década de 1960. Doenças florestais desconhecidas afetavam florestas de abetos na Europa Central e, mais tarde, as de pinheiros no norte e centro da Europa. Estes danos continuaram a se estabelecer e intensificar com o passar do tempo. Logo após o declínio florestal europeu ter se espalhado, ficou claro que deveria haver uma relação entre este fenômeno e a emissão de poluentes

atmosféricos em larga escala. Mais tarde, ficou comprovada a acidificação da chuva que, por lavagem atmosférica contaminava as florestas com íons ácidos (Larcher, 2000).

Plantas sob estresse por poluentes atmosféricos também se tornam mais suscetíveis a danos provocados por insetos ou outros patógenos do que as que não estão sob este estresse.

Na tabela 2, modificada de Boubel, Fox, Turner e Stern - 1994, podemos observar o efeito dos poluentes sobre diversos tipos de vegetais:

Tabela 2 - Danos causados a vegetais por poluição do ar (modificada de Boubel et al, 1994).

Poluente	Sintomas	Maturidade da folha afetada	Parte da folha afetada	Limite de sensibilidade		
				ppm	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	tolerância à exposição
Dióxido de enxofre	Manchas brancas, áreas brancas entre nervuras, clorose	Folhas jovens e maduras são mais sensíveis que as velhas	Células do mesófilo	0,3	785	8 h
Ozônio	Salpicos e manchas brancas, pigmentação; pontas de agulhas de coníferas se tornam marrons e necróticas	Folhas velhas são mais sensíveis que as jovens	Parênquima esponjoso, paliçada	0,3	59	4 h
Dióxido de nitrogênio	Lesões irregulares, brancas ou marrons colapsadas no tecido intercostal, próximas da margem da folha	Folhas maduras são as mais sensíveis	Células do mesófilo	2,5	4700	4 h
Cloro	Branqueamento entre nervuras, queimaduras nas pontas e bordos, lesões	Folhas maduras são as mais sensíveis	Células da epiderme e do mesófilo	0,10	290	2 h

Amônia	Aparência de cozido, escurecimento generalizado em algumas espécies	Folhas maduras são as mais sensíveis	Todos os tecidos	20	14.000	4 h
Mercúrio	Clorose e lesões, manchas marrons, amarelecimento das nervuras	Folhas velhas são mais sensíveis	Células da epiderme e do mesófilo	<1	<8,2	1 a 2 dias

Na cadeia trófica, vegetais capazes de tolerar concentrações extremamente altas de algumas espécies químicas dos poluentes atmosféricos (ou de outro compartimento abiótico) assimilados, acumulam estas espécies químicas em concentrações muitas vezes tóxicas para organismos animais, repassadas via alimentar (Wagner, 1985, Prochnow e Porto, 2000).

Os contaminantes atmosféricos, principalmente poeiras e dióxido de carbono, podem também alterar os níveis de albedo e provocar degradação na visibilidade atmosférica, causando problemas sobre aeroportos, vias de circulação de veículos, parques nacionais e outros, atingindo até mesmo a atmosfera polar, principalmente pela formação das NEPs (Nuvens Estratosféricas Polares), que acumulam os poluentes durante todo o inverno polar e os liberam massivamente a partir do início da primavera.

2.2.3. POLUENTES EM ATMOSFERAS URBANAS

Grandes aglomerações urbanas como grandes cidades ou grandes regiões metropolitanas têm, em geral a qualidade do ar bastante alterada por ações antrópicas. Variáveis geográficas, climáticas, culturais e tecnológicas também interferem neste processo, podendo diluir ou acentuar o processo de alteração da atmosfera nestas áreas urbanas e nas suas proximidades.

Áreas urbanas com grande número de automóveis, como Cidade do México, Londres, New York e Los Angeles, têm áreas e períodos onde são observadas quantidades excessivas de monóxido de carbono.

Diversas cidades, entre as quais Beijing, Cidade do México e Seoul apresentam médias anuais demasiado altas de dióxido de enxôfre, enquanto que

em cidades como São Paulo, Londres e Calcutá, este fenômeno é observado nas estações secas.

Harrison *et al*, 1999, em trabalho de medidas de propriedades físicas de partículas em atmosfera urbana, desenvolvido no Reino Unido, constataram uma taxa de números de partículas inaláveis substancialmente mais alta em áreas com influência de tráfego de veículos do que em áreas próximas, distantes aproximadamente 70 m da rodovia.

Em regiões que utilizam o chumbo como aditivo de combustíveis e apresentam um grande fluxo de veículos, cidades como Cairo, Karachi e, em menor escala, Bangkok, Manila, Cidade do México e outras, apresentam níveis muito elevados de chumbo no ar. As cidades brasileiras, com a substituição do chumbo tetraetila por álcool, apresentaram um decaimento na concentração deste poluente atmosférico (vanLoon e Duffy, 2000) .

Na república Tcheca estão sendo realizados diversos estudos sobre efeitos genotóxicos de poluentes atmosféricos urbanos (Cerná *et al*, 1999 e 2000). Estes estudos estão sendo realizados em laboratórios, utilizando bactérias e células de mamíferos.

Ponka, 1998, publicou um artigo que associa a poluição atmosférica com a mortalidade em Helsinki. Durante o período de 1987 a 1993 foram investigados os efeitos simultâneos de diversos poluentes: particulados, ozônio, dióxido de enxofre e de nitrogênio. Foi possível comparar os efeitos das partículas totais em suspensão (PTS) e das inaláveis (PM10). Helsinki é uma região de clima frio, de baixos níveis de poluentes gasosos e de altos níveis de material particulado originário de estradas de rodagem. Este estudo demonstrou que o efeito da poluição do ar no incremento do índice de mortalidade ocorre em níveis mais baixos do que demonstrado em alguns estudos anteriores. Este incremento pode ser observado mesmo em níveis mais baixos do que das concentrações consideradas admissíveis pela World Health Organization.

Também o Departamento de Ciências Ambientais da Universidade de Wageningen – Países Baixos, realizou estudos da poluição do ar originada pelo tráfego em áreas urbanas próximas a auto-estradas. Neste estudo foram avaliados poluentes atmosféricos nas rodovias e dentro de salas de aula de escolas localizadas nas proximidades, demonstrando que existe significativa

correlação entre as concentrações de poluentes em salas de aula e a intensidade do tráfego de veículos, a direção do vento e a distância da escola até a rodovia (Roorda-Knape *et al*, 1998).

Em áreas urbanas industrializadas a meteorologia e a topografia local, em relação à distribuição populacional, são fatores que influenciam significativamente no transporte e dispersão dos poluentes do ar, levando a vários tipos de circulação (Carvalho *et al*, 2000).

Beceiro-González *et al*, 1998, estudaram as concentrações de seis metais-traço (Fe, Zn, Pb, Cd, Mn e V) em particulados atmosféricos em uma área próxima a La Coruña, onde a qualidade do ar está influenciada por fontes industriais e por condições meteorológicas. Pela análise de componentes principais e análise de Cluster, foram estimadas as contribuições estacionais das indústrias da região. Estes estudos sugerem duas fontes principais de contaminantes: as antropogênicas e a erosão do solo. Nos dois casos as condições meteorológicas foram importantes para interpretar os resultados.

N década de 1990 ocorreu a morte de mais de 50% das árvores de regiões das montanhas São Bernardino, na Califórnia, que recebem a poluição atmosférica da cidade de Los Angeles (Nebel, 1998).

Os poluentes gerados pelas atividades industriais da cidade de Cubatão, no litoral de São Paulo, são levados, pelos ventos predominantes, da área urbana para a região serrana, onde se depositam sobre a floresta tropical úmida, integrante da Mata Atlântica. Em conseqüência, em algumas áreas da floresta, o número de espécies arbóreas por hectare foi reduzido em mais de 40% (Pompéia, 1997).

2.2.4.- PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO ATMOSFÉRICA

Material particulado em suspensão atmosférica é um termo utilizado para misturas de partículas sólidas e gotículas líquidas (aerossóis) encontradas suspensas no ar (EPA, 1997, Nebel, 1998 e outros). Estas partículas permanecem em suspensão por tempo variável, de alguns segundos até vários meses. Os particulados podem carregar quaisquer outros poluentes dissolvidos nos mesmos ou adsorvidos sobre sua superfície. Algumas partículas contêm núcleos sólidos envolvidos por líquido. Particulados atmosféricos contêm carbono

elementar, íons inorgânicos, compostos metálicos, compostos orgânicos (que são particularmente complexos abrangendo centenas, talvez milhares de compostos) e outras espécies químicas. Algumas partículas são higroscópicas e contêm água de ligação.

Os particulados primários são emitidos diretamente por uma fonte, natural ou antrópica; mas os particulados secundários são formados através de reações químicas na atmosfera, envolvendo oxigênio (O_2), ozônio (O_3), vapor d'água (H_2O), radicais livres como hidroxil ($.OH$) e nitrato ($.NO_3$), poluentes como dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x) e ainda gases orgânicos provenientes de fontes naturais ou antropogênicas (Boubel *et al.*, 1994).

Mesmo antes da presença humana no planeta e de suas atividades, existia uma certa concentração de partículas na atmosfera, provenientes de recursos naturais. Entre estas partículas certamente poderíamos encontrar vapor d'água condensado, vapores orgânicos naturais condensados, partículas de sais provenientes do spray marinho, pólenes, fungos, leveduras, microalgas, partículas de erosão soerguidas pelo vento originárias de praias, desertos, solos e rochas; partículas lançadas por atividades geotérmicas, como vulcanismo e outras; também partículas de incêndios de florestas e campos além das que penetravam na atmosfera terrestre vindas do espaço (Boubel *et al.*, 1994). Sua presença na atmosfera ocorreu naturalmente por milhões de anos e nunca pode ser medida.

As partículas sólidas em suspensão atmosférica, ou poeiras, são particularmente importantes na atualidade devido ao seu constante incremento provocado pelo aumento das atividades humanas, como as industriais, urbanas, agrícolas, mineração, queimadas, transporte e mesmo pela retirada da cobertura vegetal e de grandes movimentações de solo. Estas partículas se diferenciam das moléculas gasosas por sua habilidade em causar uma dispersão incoerente na luz visível e, por isto, interferir na transmissão da luz.

O material particulado é medido em base seca, isto é, eliminando gotículas de água, água de ligação e vapores aquosos e orgânicos durante o processo de secagem. Como diversos métodos de secagem são utilizados por diferentes investigadores, é importante conhecer o processo empregado ao se comparar dados.

Poeiras são descritas pela ISO (International Standardization Organization, ISO 4225 – 1994) como “pequenas partículas sólidas, convencionalmente de diâmetro em torno de $75\mu\text{m}$, que são precipitáveis por seu próprio peso, mas que permanecem suspensas por um certo tempo”.

O Glossário de Termos de Química Atmosférica (IUPAC, 1990) define poeiras como “partículas pequenas, secas e sólidas, projetadas no ar por forças naturais tais como vento, erupções vulcânicas e processos mecânicos ou antrópicos como trituração, moagem, afiação, broqueação, demolição, carregamento, transporte, aterros, ensacamento e varreduras. Partículas de poeiras têm, usualmente, tamanhos entre 1 e $100\mu\text{m}$ de diâmetro e precipitam lentamente sob influência da gravidade”.

As menores partículas em suspensão podem ter tamanho de $0,002\mu\text{m}$ (as moléculas gasosas têm tamanhos entre $0,0001$ a $0,001\mu\text{m}$), sendo o seu limite superior igual a $100\mu\text{m}$ (Baird, C., 2000). Partículas com tamanho superior a $100\mu\text{m}$ não são estáveis na atmosfera, precipitando por ação gravitacional.

Por seu tamanho, as partículas podem ser classificadas em íons, de tamanho inferior a $0,1\mu\text{m}$, núcleos de Aitken, de $0,005$ a $0,1\mu\text{m}$, e partículas sedimentáveis (poeiras), de $0,1$ a $500\mu\text{m}$ (Aldea *et al*, 1998).

Dependendo de sua origem, as poeiras podem ser classificadas como:

- poeiras minerais, tais como poeiras que contém sílica cristalina livre (por exemplo, quartzo, areias), carvão e poeiras de cimentos;
- poeiras metálicas, contendo partículas de chumbo, cádmio, níquel, berílio e de outros metais;
- outras poeiras químicas, como por exemplo, de pesticidas e de cargas químicas;
- poeiras orgânicas e vegetais, como fibras, algodão, pó de madeira, pólenes, etc.
- biopoluentes, tais como mofos, esporos, vírus.

A figura 1, encontrada em VANLOON e DUFFY (2000), mostra a classificação e as propriedades de particulados atmosféricos. Com a finalidade de estabelecer comparações, também são apresentadas dimensões de moléculas gasosas e comprimentos de onda de radiações eletromagnéticas.

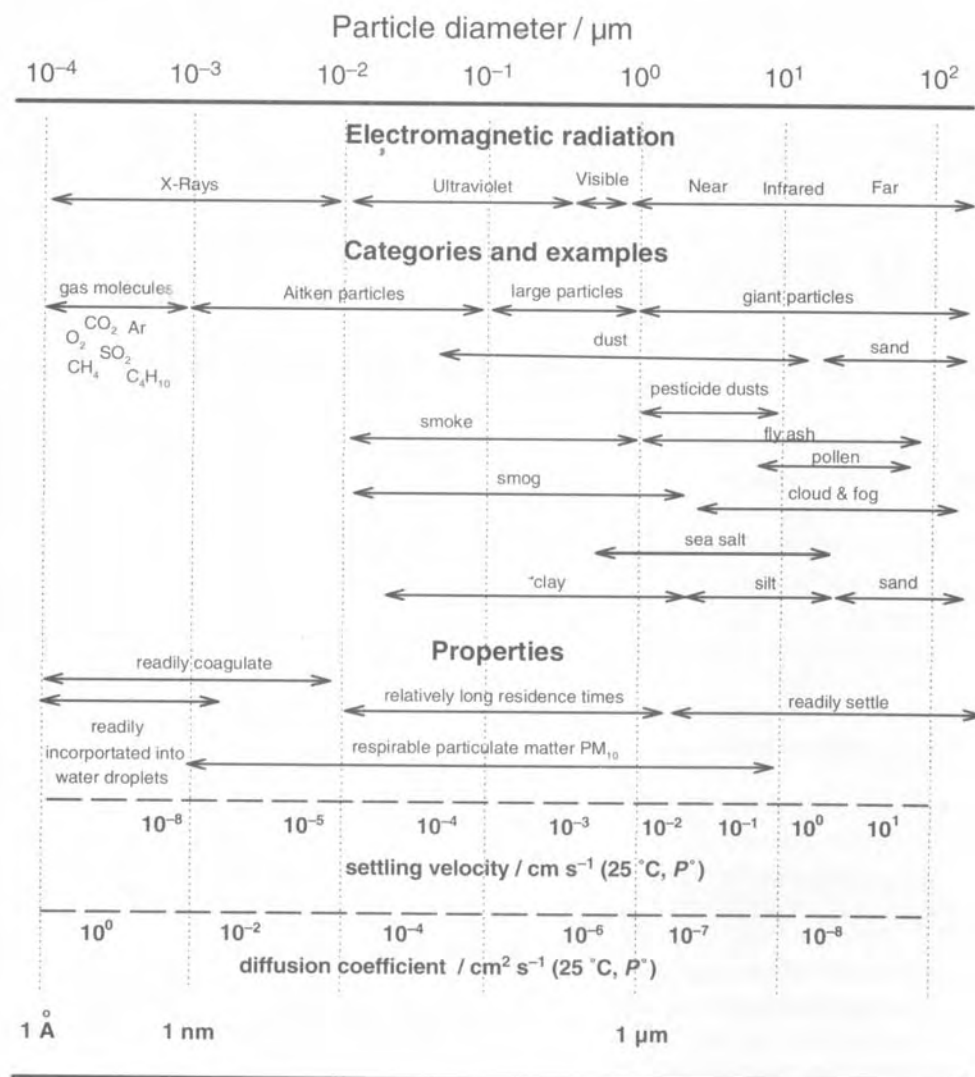


Figura 1: Classificação e propriedades de particulados atmosféricos (conforme vanLoon e Duffy, 2000).

Numerosos fatores determinam quanto tempo o material particulado permanece suspenso no ar. Partículas grandes precipitam rapidamente, com exceção das que apresentam uma densidade muito baixa. Grande parte das partículas com dimensões acima de 10 μm requerem fortes correntes de ar para entrarem em suspensão. Em contrapartida, partículas muito pequenas têm tempo de vida limitado como partículas independentes, pois dependendo de fatores como umidade do ar ou da presença de gases reagente, coagulam formando partículas maiores. A maior tendência de permanecer em suspensão por períodos

longos, muitas vezes um mês ou mais, é de partículas muito pequenas, com tamanho entre 0,01 e 1 μm .

O processo de transporte e dispersão destas partículas em suspensão atmosférica ocorre dentro de uma região da troposfera contígua à superfície planetária e influenciada por esta superfície e suas características (rugosidade, temperatura, relevo, etc.). Esta região, de altitude variável entre 100 e 3000m, devido a fenômenos como dia e noite, temperatura, umidade do ar, velocidade de ventos, relevo, construções, vegetação e outros, é denominada “camada limite”. Nesta camada limite, em espaços de tempo curtos, de uma hora ou menos ocorrem respostas às alterações de parâmetros físicos da superfície terrestre. Devido a isto, ocorrem nesta região turbulências que interferem na dispersão de poluentes e na qualidade do ar de uma região, podendo diminuir a concentração dos poluentes ou por dificuldade de dispersão, baixar a qualidade do ar, devido à concentração elevada de poluentes que podem se acumular nesta região (Zannetti, 1990).

A produção total anual estimada de aerossóis (somatório de gotículas e poeiras) fica entre 2500 e 4000Tg/ano (vanLoon, 2000). O maior contribuinte neste total é o spray marinho, com uma produção de 1000 a 1500 Tg/ano. Este spray é formado de gotículas com diâmetro típico entre 5 e 25 μm que carregam consigo uma massa de sal marinho entre 2 e 300 pg por gotícula.

Poeiras, tanto de origem natural como antropogênica têm fluxo anual para atmosfera de 100 a 750 Tg/ano. As poeiras, formadas por partículas sólidas muito finas, têm uma composição química que geralmente reflete o material que as formou. Poeiras de uma tempestade de deserto são formadas basicamente de material silicoso. Poeiras urbanas contêm uma grande variedade de materiais, como material de origem vegetal – pólen, fragmentos de plantas, cimentos, partículas sólidas de combustão, tanto veicular como industrial, materiais sintéticos, compostos diversos contendo metais pesados e, em menor quantidade, compostos orgânicos e inorgânicos naturais, dificultando bastante a identificação das fontes de origem destas poeiras que são misturas complexas que muitas vezes podem reagir entre si em presença de umidade ou de gases poluentes.

Incêndios florestais formam entre 35 e 100 Tg/ano; combustão antropogênica, 50 Tg/ano. Estas duas fontes lançam na atmosfera uma grande diversidade de espécies químicas inorgânicas e orgânicas, como pireno, antraceno, terpeno e outros, carregando para a atmosfera partículas que carregam sílicas, diversos metais, principalmente alumínio e cálcio, e outros elementos (Drew, 1998, Baird, 1998, vanLoon, 2000 e outros).

Da condensação de aerossóis tanto inorgânicos como orgânicos, são formadas 1500 Tg/ano. Os dois principais componentes formados nestas condensações tanto de origem marinha como continental, são: hidrogênio sulfato de amônia (NH_4HSO_4) e sulfato de amônia ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$).

São necessários estudos dos particulados atmosféricos para entender efeitos ecológicos e danos aos materiais, medições de partículas e dos componentes químicos do material particulado na chuva, fog, smog e na massa de ar, deposição no solo e superfícies, deposição úmida e deposição seca, interferência na acidificação e na introdução de substâncias tóxicas nas águas superficiais, solos e vegetação. É necessário estabelecer diferenças entre tamanhos de partículas para melhor determinar seus efeitos.

A deposição úmida resulta da incorporação de particulados e de gases atmosféricos em gotículas das nuvens e sua subsequente precipitação como chuva ou neve. Ocorre também a lavagem atmosférica de partículas e de gases atmosféricos durante a precipitação da chuva ou da neve (Lovett, 1994).

A deposição seca dos particulados atmosféricos sobre plantas e solos é um processo bem mais tênue do que a deposição úmida ou a deposição oculta, mas é praticamente contínua e afeta todas as superfícies expostas. Pela deposição seca são precipitadas as partículas de diâmetro maior que $5\ \mu\text{m}$, que são depositadas na maioria por forças gravitacionais ou por forças inerciais. As partículas menores são dispersas por longas distâncias, transportadas pelas correntes atmosféricas, permanecendo longo tempo no ar, até uma eventual deposição, a maior parte das vezes por via úmida.

Também ocorre a deposição chamada oculta, que é a deposição de gases e de particulados atmosféricos durante a formação de fog ou nevoeiro. Esta deposição pode ser significativa em locais de altitude elevada, onde ocorrem com

freqüência, formação de nevoeiros ou de nuvens muito baixas, de natureza orográfica.

Principalmente devido a seus efeitos na saúde humana, foram estabelecidas normas para a determinação quantitativa de partículas sólidas em suspensão atmosférica. Estas normas foram sendo redefinidas e alteradas progressivamente. Em 1970, a EPA estabelecia padrões de qualidade em relação às partículas totais em suspensão (PTS). Devido a sua importância para a saúde humana, em 1987 foi estabelecido um padrão para as partículas inaláveis, com diâmetro igual ou inferior a $10\mu\text{m}$, as PM^{10} . Em 1997, devido a pesquisas recentes, publicadas em Air Quality Criteria for Particulate Matter, a EPA estabeleceu um novo padrão dedicado ao material particulado de tamanho aerodinâmico igual ou menor que $2,5\mu\text{m}$, que passam a ser referidas como fração de partículas finas. As partículas com tamanhos entre $2,5\mu\text{m}$ e $10\mu\text{m}$ passam a ser referidas como fração grosseira. Estudos toxicológicos mostram que partículas finas apresentam um potencial inflamatório maior do que o das partículas menores do mesmo material (Wark, 1998, Azevedo e Chassin, 2003 e outros).

Devido ao acima exposto, quando são citados efeitos de material particulado em relação à sua concentração na atmosfera, estas concentrações e seus efeitos dependem do tipo de poeira atmosférica coletada, ou seja, PTS, PM_{10} , $\text{PM}_{10-2,5}$ ou $\text{PM}_{2,5}$.

As partículas totais em suspensão (PTS) têm sua concentração expressa na unidade $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Esta concentração é determinada medindo gravimetricamente a quantidade de partículas obtidas após filtrar o ar a uma taxa de $1,4\text{m}^3/\text{h}$ (vanLoon, 2000).

As partículas inaláveis (PM_{10}), com diâmetro menor que $10\mu\text{m}$, também são medidas em $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estas partículas que, devido ao seu tamanho reduzido são agentes de sérios problemas respiratórios, mantêm uma relação aproximada observada com as PTS que pode ser expressa por:

$$\text{PM}_{10} = 0,45 \text{ PTS}$$

Nos anos recentes, estudos epidemiológicos utilizam o termo “risco relativo” (RR), associado à exposição ao material particulado como PTS, PM₁₀ (Wark, 1998).

Risco relativo é utilizado quando um incremento na taxa de mortalidade ou morbidade é associado com um incremento específico de algum indicador de material particulado (PTS, PM₁₀ ou outro). No entanto, a maior parte dos estudos realizados se referem a estes efeitos em populações humanas.

A fonte principal de PM₁₀ em centros urbanos é a emissão de veículos. Devemos também destacar que, entre as partículas PM₁₀, encontram-se componentes ultrafinos derivados da combustão dos motores diesel. A emissão destes motores é constituída de partículas com diâmetros aerodinâmicos iguais ou menores do que 50nm que, de acordo com sua concentração, se agregam após sua geração. Estas partículas ultrafinas, encontradas em uma pequena fração entre as PM₁₀, são altamente prejudiciais devido à sua penetração no aparelho respiratório (Maynard e Waller, 1996; Oberdorster *et al*, 1995; Peters *et al*, 1997). Efeitos tóxicos agudos são observados em populações humanas nos períodos de tráfego intenso de veículos (Dockery *et al*, 1993).

A deposição de uma determinada massa de material particulado atmosférico sobre a vegetação pode dar diferentes respostas fitotóxicas, dependendo da composição da mistura das diferentes formas químicas que compõem as partículas depositadas. Os efeitos da deposição dos particulados na vegetação ou em ecossistemas são difíceis de caracterizar, pela diversidade de fatores e interações biológicas, físico-químicas e climáticas envolvidas. Os particulados atmosféricos afetam a vegetação diretamente por deposição na superfície foliar ou indiretamente por alterar a química do solo ou ainda por alterar a qualidade da radiação solar incidente na superfície planetária e induzir processos de alterações climáticas. Os efeitos indiretos, entretanto, são normalmente os mais significantes, pois podem alterar a ciclagem de nutrientes e inibir a absorção dos mesmos pelos organismos autotróficos.

Grande parte das partículas depositadas tem tamanho entre 2,5 e 100 µm, com grandes diversidades químicas, provenientes de fontes locais relativamente próximas, devido as suas velocidades de sedimentação. Estas partículas podem ser provenientes de fontes diversificadas como rodovias, klinquer (poeira fina) de

cimento, fundições, material biogênico, indústrias próximas, atividades domésticas e outras. A maior parte da massa destas partículas, tanto em áreas rurais como em áreas urbanas, é normalmente formada por sílica, alumínio, cálcio e ferro.

2.2.5. A PROBLEMÁTICA DOS METAIS NA ATMOSFERA

Os elementos que compõe a fração inorgânica do solo e que ocorrem em concentrações menores que 0,1 % (1000 µg/g), são denominados *elementos traço*. Elementos traço com densidade maior que 6 g.cm⁻³, são denominados *metais pesados*. Estes elementos são de particular interesse pois são potencialmente tóxicos para organismos vivos, ainda que alguns deles sejam essenciais em pequenas quantidades, são tóxicos em quantidades maiores. Metais desempenham funções importantes no crescimento das células e na manutenção de suas funções metabólicas. Mas, se um metal competir ou substituir um metal funcional em um organismo vivo, isto resulta em ação tóxica. Conforme Hughes e Poole, 1989, *apud* Nriago e Pacyna, 1988, a toxicidade anual total de metais mobilizados pela atividade humana excede atualmente a toxicidade anual total combinada de todos os poluentes orgânicos e poluentes radiativos, gerados anualmente.

A toxicidade dos metais pesados se origina na sua capacidade de substituir íons centrais em enzimas e fermentos de organismos vivos, provocando assim distúrbios em suas funções de catalisadores para as reações bioquímicas (Wagner, 1985).

As fontes de contaminação do ar por metais são diversas, tanto de origem natural como antropogênica, mas sua presença é mais significativa em atmosferas urbanas. Geralmente os metais atmosféricos formam partículas sólidas, no estado elementar ou em compostos diversos, mas também podem estar em forma de vapores, como no caso do mercúrio.

A atividade humana introduz na atmosfera partículas que contém metais pesados tais como antimônio, cádmio, cobalto, cromo, cobre, chumbo, molibdênio, níquel, prata, estanho, vanádio e zinco, além de outros, como ferro, alumínio, cálcio, manganês, que depois se depositam sobre superfícies (solo, águas, edificações) e sobre organismos (Smith, 1990).

A maior parte dos elementos traço existe na atmosfera em forma de óxidos, mas também podem se apresentar na forma de cloretos, que tendem a ser mais voláteis, como no caso dos metais pesados: cádmio, mercúrio, cromo e níquel. Dependendo das atividades antrópicas locais, podem também se apresentar em forma de sulfatos, nitratos, fosfatos, silicatos ou estruturas químicas mais complexas.

A circulação atmosférica carrega partículas mais leves (principalmente as de diâmetro aerodinâmico inferior a $2,5 \mu\text{m}$) para pontos muito distantes de sua geração. Regiões sem impacto ambiental, de contato recente com baixíssima atividade antrópica servem como fonte de estudo e testemunhos do aumento da concentração de metais pesados e de outros poluentes circulando nos ciclos biogeoquímicos.

Um estudo de Gillmor, 1974, encontrado em Drew, 1998, comparou o crescimento da população humana com o crescimento das concentrações de chumbo encontrado nas geleiras da Groenlândia, apresentado na figura 2. Nesta, pode ser observado um crescimento proporcional entre o aumento da população humana e da concentração de chumbo. Na idade média, este aumento chegou a ser maior na concentração do metal, devido a grande utilização do metal naquela época.

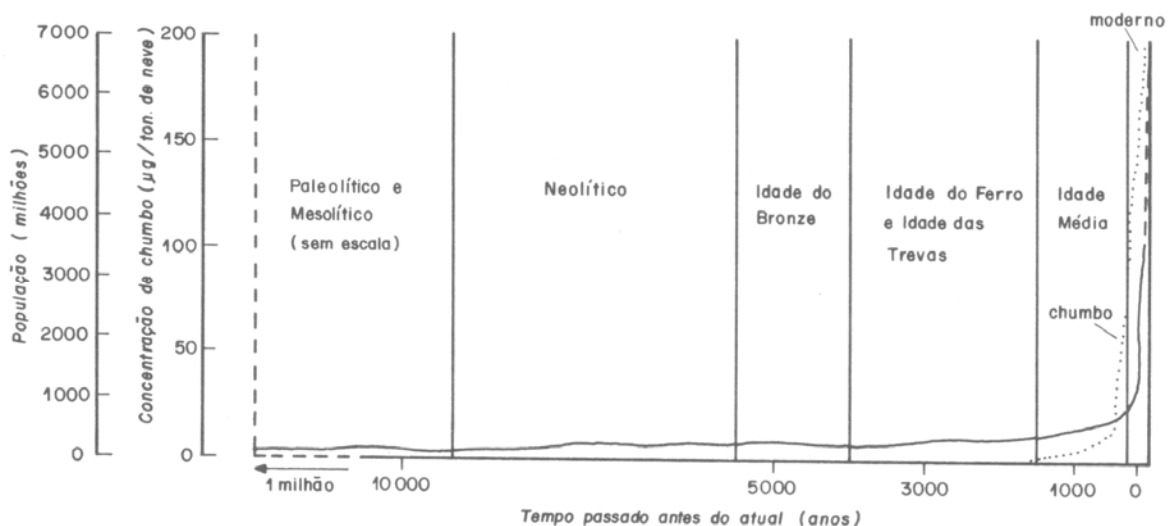


Figura 2: Crescimento da população humana e mudanças na quantidade de chumbo nas geleiras da Groenlândia (Drew *apud* Gillmor, 1974).

Doménech, 1995, cita que anualmente são lançadas na atmosfera 800 mil toneladas de metais de origem antropogênica. Esta quantidade se deve a processos industriais, como a indústria metalúrgica, catalisadores, pinturas, cimenteiras; também atividades agrícolas, como aplicação de biocidas, fontes móveis, como veículos, e outras. Cerca de 58% das fontes de contaminação são de origem antropogênica.

A segunda maior contribuição vem de processos erosivos, com 24,5% dos metais lançados anualmente no ar. Estas poeiras são em geral formadas de partículas bastante finas, formadas de compostos que caracterizam o solo de onde foram geradas ou soerguidas e têm, devido ao seu pequeno diâmetro aerodinâmico, um período de permanência elevado, podendo dispersar-se por distâncias muito grandes do seu ponto de origem. Nestas poeiras, os metais estão sempre em forma de compostos onde predominam os óxidos.

Outros 4,7% dos metais presentes na atmosfera são gerados por fontes biogênicas, 3,3% de incêndios florestais, 8% de erupções vulcânicas, que são uma fonte instável mas muito intensa, e 1,5 % provém de aerossóis marinhos, cuja formação já foi comentada anteriormente. Praticamente, tanto fontes naturais como antropogênicas emitem os mesmos tipos de metais, mas em percentagens diferentes (Doménech, 1995).

Solos, águas superficiais e vegetação, localizados próximo à rodovias podem ser contaminadas por metais pesados como chumbo, cobre, cádmio e zinco lançados à atmosfera e precipitados sobre os mesmos, provenientes de desgastes de peças automotivas ou de névoas e fumaças geradas por veículos. Níquel pode ser contaminante da gasolina, cádmio e zinco de óleo diesel, manganês e chumbo de aditivos de combustíveis e, por combustão, podem ser liberados para a atmosfera de áreas próximas a locais de circulação de veículos e repassados aos ecossistemas e entrar na cadeia trófica (Carlosena, 1998).

Assim como as fontes de origem dos metais na atmosfera são diversificadas também suas concentrações oscilam e estão associadas a atividades da região, ou mesmo a fatores abióticos característicos da região. Fica geralmente difícil definir padrões de concentração para cada elemento em suspensão atmosférica. Os parâmetros estabelecidos levam em conta o risco potencial de cada espécie química ao ambiente ou à saúde de organismos, bem

como o estudo de suas fontes emissoras. Alguns dos elementos particulados, quando em águas, em alimentos ou solos, são nutrientes importantes na cadeia trófica mas sua presença em forma de poeiras pode interferir nas trocas gasosas dos organismos vivos ou mesmo, quando em concentração elevada, interferir ou competir com a síntese de outros elementos.

O alumínio atinge a atmosfera como o maior constituinte particulado, sendo derivado de poeiras dos solos por processos erosivos, combustão de carvão vegetal, mineração, indústrias e agricultura. Diversos estudos correlacionam concentrações de alumínio atmosférico com suas concentrações em águas de rios e lagos, relacionando o tamanho das partículas com o transporte atmosférico. Estes estudos concluíram que o alumínio estava mais associado a partículas maiores que se depositavam próximas à fonte (Eisenreich, 1980; Ottley e Harrison, 1993 e outros, apud Azevedo e Chassin, 2003).

As concentrações atmosféricas deste elemento são extremamente diversificadas, podendo ocorrer na faixa de $0,5\text{ng/m}^3$, até 8.000ng/m^3 em áreas industrializadas (Azevedo e Chassin, 2003). Bowen, 1979, cita concentrações atmosféricas de 150 a 3.500 ng/m^3 .

Apesar de não apresentar riscos no seu manuseio na forma de grãos ou pó, é tóxico se houver inalação ou ingestão (Vaitsman et al, 2001). O repasse deste elemento em cadeias tróficas, quando em concentrações elevadas, afeta diversos organismos, principalmente por interferir em processos de assimilação de elementos nutrientes, como o cálcio, magnésio e fósforo, mas é um nutriente para samambaias (Stiling, 1999). Em populações humanas este elemento é associado com o mal de Alzheimer. Pode deslocar o cálcio e o magnésio de ossos de mamíferos, provocando a osteoporose (Vaitsman et al, 2001).

Em plantas, segundo Allen, 1974, as concentrações de alumínio variam de 0,01 a 0,1% em massa. Segundo Bowen, 1979, as concentrações em massa seca variam de 0,09 a 0,530 mg/g. Em publicação organizada por Shaw, 1989, a concentração deste elemento considerada normal para líquens do hemisfério norte, varia de 0,3 a 3 mg/g.

O alumínio é utilizado em indústrias de embalagens, utensílios domésticos, construção civil, tintas e, seus compostos são utilizados em lubrificantes, borrachas, abrasivos, refratários e outros.

O cálcio é um macronutriente importante para os organismos vivos, participando na construção de ossos, dentes, conchas e carapaças; regula a contração muscular, coagulação sanguínea e a ativação de enzimas. Está presente nas paredes celulares vegetais e atua na regulação da permeabilidade celular. Sua concentração em organismos pode se afetada por excessos de fósforo ou por alumínio e chumbo.

Em plantas, as concentrações deste elemento variam de 0,3% a 2,5% em peso, nas espécies calcícolas (Allen, 1974). Bowen, 1979, indica faixas de 3 a 14 mg/g em massa seca de plantas. Shaw, 1989, para líquens indica a faixa de 0,02 a 40 mg/g, em massa seca.

Sua carência pode acarretar raquitismo, perda de sono, osteoporose e favorece cáries dentárias. Porém a hipercalcemia pode provocar uma excessiva calcificação nos ossos, músculos e tecidos moles, obesidade abdominal, cálculos renais, bursite e outros (Vaitsman et al, 2001).

O cálcio é o quinto elemento em abundância na crosta terrestre. É utilizado na produção de ligas metálicas, carga para papel e tintas, adubo químico, concreto e é ingrediente básico do cimento tipo Portland. Nestas aplicações e na ressuspensão de poeiras estão suas principais fontes para a atmosfera, onde se encontra na forma de material particulado, em concentrações bastante variáveis. Pode estar associado tanto a partículas finas, inaláveis, principalmente quando presente no clínquer (poeiras finas de cimentos), quanto a partículas grosseiras. No ar as concentrações deste elemento ficam na faixa de 0.5 a 7000ng/m³ (Bowen, 1979). Em águas de chuvas, as concentrações deste elemento variam de 0,1 a 3mg/l (Allen, 1974). Seu dano a organismos está normalmente mais associado ao dano produzido por material particulado (poeiras) do que por sua forma química. Mas, se em estado elementar, pode provocar irritações ou mesmo queimaduras na pele e nos olhos, caracterizando mais um dano ocupacional do que ambiental, porém sua presença na atmosfera é importante em regiões de atividade mineradora ou cimenteira.

O chumbo no ar está em forma de partículas das quais 20 a 60% se depositam próximas às fontes emissoras. Porém as partículas pequenas podem ser encontradas em locais a quilômetros de distância, impactando mesmo áreas sem fontes poluidoras. Da atmosfera, este elemento é transferido para

superfícies, tanto por deposição seca como por via úmida. A deposição global deste elemento, tanto por via úmida como por via seca, foi calculada pela EPA em aproximadamente 410.000t/ano.

O chumbo atmosférico provém principalmente de fontes industriais e veiculares, podendo estar tanto na forma orgânica como na inorgânica e afeta principalmente populações urbanas. Uma grande concentração do chumbo atmosférico é devida a adição do antidetonante chumbo tetraetila à gasolina. Este aditivo, liberado para a atmosfera pela descarga veicular, sofre reações fotoquímicas passando da forma orgânica transitória para a forma inorgânica.

Devido ao seu efeito negativo ao ambiente, este aditivo vem sendo gradualmente abandonado por um bom número de países, entre os quais o Brasil. Publicações revelam um decréscimo das concentrações atmosféricas de chumbo nos últimos anos. Este elemento é utilizado na produção de baterias e de acumuladores, em ligas metálicas, soldas, inseticidas (arseniato de chumbo), borrachas (sulfato de chumbo), secantes (naftenato de chumbo) e pigmento de tintas (brancos, amarelos, alaranjados, vermelhos e verdes), em forma de sais (Azevedo e Chassin, 2003).

O chumbo é precipitado da atmosfera em águas superficiais e repassado aos sedimentos em concentrações que variam com o pH, com a presença de complexantes orgânicos e com a concentração de cálcio.

Quando repassadas às cadeias tróficas, as formas orgânicas do chumbo têm efeitos mais acentuados que as inorgânicas. Em animais, a distribuição deste elemento está associada ao metabolismo do cálcio, podendo ser encontrado no sangue, fígado e ossos. Diversos relatos de plumbemia em crianças de áreas urbanas foram registrados: no Uruguai (1997), Alemanha (1994), Índia (1999), Estados Unidos (1991 a 1994), Bélgica (1980), Brasil (1985) e outros (Paoliello e Chassin, 2001). A intoxicação por este elemento se manifesta por convulsões, náuseas, vômitos, paralisia, psicose, anemia, afetando a medula óssea, esqueleto e o sistema nervoso central. Observa-se um baixo QI (Quociente de Inteligência) em crianças que vivem em ambientes onde haja excessiva exposição ao chumbo (Vaitsman et al, 2001). Em plantas há relatos de acúmulo de chumbo em concentrações de 0,05 a 4,8 $\mu\text{g/g}$ (Allen, 1974, Prochnow, 1995 e Porto e

Prochnow,2000), de 1 a 13 $\mu\text{g/g}$ (Bowen, 1979) e de 5 a 100 $\mu\text{g/g}$ em líquens (Shaw,1989).

Os níveis de chumbo no ar têm sido monitorados em muitos países. Nos Estados Unidos, foi estabelecido como padrão (primário e secundário) para concentração de chumbo no ar o valor de 1,5 $\mu\text{g/m}^3$ (média trimestral), porém citações anteriores (Doull et al, 1980) apontam a ocorrência de valores médios de chumbo atmosférico de 0,79 $\mu\text{g/m}^3$ e valores máximos de 8,60 $\mu\text{g/m}^3$. A média anual estabelecida para a Europa é de 2 $\mu\text{g/m}^3$. No Brasil, além dos padrões atmosféricos adotados, similares aos norte-americanos, a FUNASA - Fundação Nacional de Saúde - propõe como padrão de chumbo no ar, uma média aritmética anual de 0,5 $\mu\text{g/m}^3$ (Azevedo e Chassin, 2004). Bowen, 1979, indica faixas de 0,6 a 13.200 ng/m^3 de chumbo no ar.

O cobre, na atmosfera, se apresenta em geral na forma de óxidos, sulfatos ou carbonatos. As partículas menores, tanto na forma elementar como na de compostos, podem permanecer na troposfera por até 30 dias, podendo ser deslocadas pelo vento para locais bem afastados da fonte emissora.

As concentrações médias de cobre na atmosfera são de 5 a 200 ng/m^3 , perfazendo apenas uma pequena fração do cobre liberado para o ambiente (0,4%). Doull et al, 1980, citam como valor médio de cobre na atmosfera dos Estados Unidos, a concentração de 0,09 $\mu\text{g/m}^3$ e uma concentração máxima de 10,0 $\mu\text{g/m}^3$. Bowel, 1979, indica para o cobre uma faixa de 0,02 a 1,5 ng/m^3 . As principais fontes deste elemento para a atmosfera são: processamento de minérios de cobre e ferro, fundições, produção ou manipulação de sulfato de cobre, incineração de resíduos sólidos e fumigações.

O cobre é um elemento essencial aos organismos vivos, estando presente em cloroplastos, e associado a um grande número de enzimas, coenzimas e proteínas estruturais (Stiling, 1999). Sua carência causa redução da absorção do ferro, levando ao enfraquecimento ósseo, lesões cardíacas, anemias, infertilidade e defeitos na produção de melanina. A toxicidade do cobre ocorre quando mecanismos de controle dentro de um determinado compartimento são sobrecarregados ou os mecanismos de reparo celular estão deteriorados. Seu excesso está relacionado com asma, hipertensão, depressão, esquizofrenia, convulsões, aumento do nível de colesterol e necrose do fígado (Vaitsman et al,

2001). Em plantas, sua concentração varia de 2,5 a 25 $\mu\text{g/g}$ (Allen, 1974, Bowel, 1979). Shaw, 1989, para líquens, incluindo espécies metalófilas saxícolas, cita a faixa de 1 a 120 $\mu\text{g/g}$.

O cobre é utilizado na indústria elétrica, eletrônica, construção civil, maquinário, peças automotivas, equipamentos domésticos; seus compostos são utilizados como fungicidas, catalisadores, pigmentos, preservantes de madeiras, tintas, inseticidas, desinfetantes, dessulfurizantes e outros. É também utilizado na produção de uma variedade de ligas metálicas.

O ferro é o quarto elemento mais abundante da crosta terrestre, de onde é distribuído para o ar, água, sedimento e solo. No ar, o ferro está presente como constituinte de material particulado, emitido por atividades mineradoras, indústria de ferro e aço, soldagem, polimento de metais desgaste de peças automotivas, ressuspensão de poeiras e outras atividades. Este elemento tende a apresentar maiores concentrações em áreas urbanas, proximidade de áreas de mineração, de indústrias metal mecânicas e de siderúrgicas. Os níveis deste elemento no ar variam de 0,5 $\mu\text{g/m}^3$ a média de 1.160 $\mu\text{g/m}^3$, medida em Bucareste (Azevedo e Chassin, 2003). Segundo o WHO - World Health Organization - os níveis médios de ferro em atmosferas urbanas são de 1,3 $\mu\text{g/m}^3$. Para áreas distantes, esta concentração é de 0,05 a 0,09 $\mu\text{g/m}^3$. Para os Estados Unidos, na década de 60, as concentrações médias de ferro na atmosfera eram de 1,58 $\mu\text{g/m}^3$ e as máximas, 22,0 $\mu\text{g/m}^3$ (Doull et al, 1980). Em Bowel, 1979, encontramos a indicação de concentrações atmosféricas de ferro de 0,8 a 14.000 ng/m^3 .

O ferro é um elemento essencial a todas as formas de vida, atuando na manutenção da homeostase celular; encontra-se incorporado a um grande número de enzimas e de proteínas; age como co-fator de diversas enzimas (citocromos, catalase e outras), na hemoglobina, é o transportador de oxigênio para os tecidos.

Os riscos de altas concentrações de ferro no ar ocorrem mais em exposições ocupacionais, principalmente ligadas a processos siderúrgicos onde, se em concentrações crônicas acima de 15 mg/m^3 , podem causar o desenvolvimento de siderose. No Brasil, o limite de exposição ao ferro como fumo (Fe_2O_3) é o mesmo indicado pela ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists - 5 mg/m^3 , em 8h/dia.

O envolvimento do ferro na geração de radicais hidroxila em meio aquoso foi estudado por Gilmore, 1996. Causa também patologias respiratórias, quando de diâmetros inferiores a 10 μ m, por ser inalável (Azevedo e Chassin, 2003).

Suas concentrações em plantas, segundo Allen, 1974, são bastante variáveis: de 40 a 500 μ g/g e, segundo Bowel, 1979, até 700 μ g/g. Para líquens, Shaw, 1989, cita faixas de até 3,9 mg/g.

O lítio é o metal mais leve e nunca ocorre na natureza em estado elementar, mas é bastante comum em forma de sais, especialmente silicatos. Este elemento tem comportamento semelhante ao potássio e ao sódio, sendo que concorre com este último em certos sítios, como por exemplo, na reabsorção tubular renal (Doull et al, 1980). O lítio foi detectado em diversos tecidos vegetais, com concentrações entre 0,01 e 3.4 μ g/g (Allen, 1974; Bowen, 1979, Shaw, 1989).

É utilizado na indústria de vidro, de cerâmicas especiais, de pilhas recarregáveis, de ligas metálicas extra-leves e outros. É utilizado em medicamentos que controlam a psicose maníaco-depressiva (PMD). Sua necessidade diária para o organismo humano é de 1ppm. Em doses elevadas, afeta os rins, produzindo falta de apetite, convulsões e desidratação.

O magnésio é o oitavo elemento mais abundante da crosta terrestre. Tem ampla utilização na forma de ligas leves, na indústria aeronáutica e automobilística, é utilizado em curtumes, na produção de tijolos, produção de cimento, munições, isolantes, refratários e produtos químicos e farmacêuticos.

Na clorofila é o elemento central desta porfirina, sendo um elemento essencial para as plantas e também para os animais. Participa com o cálcio e o potássio do equilíbrio celular. É ativador de diversos sistemas enzimáticos, incluindo a ATPase. Tem funções bastante similares ao cálcio mas pode ser também antagonista do mesmo, excessos de magnésio podem inibir a calcificação óssea. Na contração muscular, o cálcio atua como estimulante e o magnésio como relaxante (Vaitsman et al, 2001). Em tecidos de plantas, constitui de 0,1 a 0,9% em massa (Allen, 1974; Bowen, 1979, Shaw, 1989).

Sua presença na atmosfera está associada tanto a fatores naturais, como soerguimento de poeira e aerossóis marinhos, como à atividade industrial e urbana, porém seu efeito nos organismos é mais como um constituinte de

partículas em suspensão atmosférica do que por sua forma química (ver em 2.2.4 deste trabalho).

O manganês é um dos metais pesados mais abundantes da crosta terrestre, ficando atrás apenas do ferro. No estado metálico é utilizado principalmente na produção do aço. Seus compostos têm diversas aplicações: baterias, porcelanas, vidros catalisadores, fertilizantes, fungicidas, anti-algas, desinfetante, aditivo de óleos combustíveis e lubrificantes e outros.

Na atmosfera, sua meia vida é de dias, dependendo das condições atmosféricas e do tamanho das partículas. Há indicações de que este elemento se acumula mais em organismos de níveis tróficos inferiores do que em superiores.

O manganês, em sua forma elementar e seus compostos inorgânicos, tem baixa pressão de vapor, porém sua presença na atmosfera é devida principalmente à atividade industrial ou erosão do solo. Está mais associado à partículas finas, de diâmetro menor que $5\mu\text{m}$, sendo que, em torno de 50%, a partículas menores que $2\mu\text{m}$, podendo ser introduzido no organismo em grandes quantidades, por inalação. Muitos de seus compostos se decompõem fotoquimicamente a luz solar. Em média, as concentrações deste elemento em atmosferas não poluídas, varia de $0,01$ a $0,07\mu\text{g}/\text{m}^3$, podendo chegar a concentrações maiores do que $0,5\mu\text{g}/\text{m}^3$. O limite considerado perigoso para vida e saúde é de $500\text{mg}/\text{m}^3$, porém o WHO considera como padrão, $0,15\mu\text{g}/\text{m}^3$ e a concentração máxima permissível $5\text{mg}/\text{m}^3$. A FUNASA adota para o manganês, a média aritmética de $0,05\mu\text{g}/\text{m}^3$ no período de um ano (Azevedo e Chassin, 2003). Na década de 60, nos Estados Unidos, a concentração média de manganês no ar era de $0,1\mu\text{g}/\text{m}^3$ e a máxima, de $9,98\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Por precipitação, pode interferir na fauna bentônica e bioacumulado por algas marinhas e de água doce, peixes, moluscos e fitoplâncton. Em organismos terrestres, grande parte do manganês é introduzido por via respiratória e pode chegar a mucosas gastrointestinal por deglutição do material removido até a faringe, e ser absorvido. A presença de ferro interfere no mecanismo de assimilação do manganês, sendo que a diminuição de um aumenta a assimilação do outro.

Em pequenas concentrações, o manganês é um elemento essencial para os organismos vivos, estando associado aos sítios de maior atividade metabólica, acumulando-se nas mitocôndrias. Está presente na clorofila, podendo ser encontrado nos vegetais em concentrações que variam de 50 a 1000µg/g. Participa na síntese de ácidos graxos (Allen, 1974; Bowel, 1979; Stiling, 1999, Shaw, 1989).

O mercúrio aparece na atmosfera em sua forma elementar e também na de compostos, muitos dos quais são altamente voláteis; tem um longo tempo de residência na atmosfera e participa de um ciclo dinâmico com compartimentos aquáticos e terrestres, sendo repassado e acumulado nas cadeias tróficas.

É um elemento utilizado na fabricação de células eletrolíticas, lâmpadas, baterias domésticas, manômetros, barômetros, amálgamas, pigmentos, catalisadores, explosivos, tratamento de minérios e aplicações químicas; já foi amplamente utilizado em desinfetantes, biocidas, conservantes de sementes, indústrias de vidros e feltros, porém, seu uso foi banido devido aos seus efeitos nocivos. A indústria farmacêutica também utiliza formulações com este elemento, mas há uma tendência por substituir os compostos mercuriais por outras substâncias. Pela Resolução n.528, de 17/4/2001, a ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde proibiu a comercialização do mercúrio-cromo, sob a alegação de efeitos tóxicos ao organismo.

A presença natural do mercúrio na atmosfera é devida a processos de desgaseificação da crosta terrestre, vulcanismo e evaporação dos oceanos, sendo o único metal cujo ciclo biogeoquímico apresenta uma importante contribuição de espécies na fase gasosa (van Loon e Duffy, 2000). Portanto, a contribuição antrópica para o aumento das concentrações atmosféricas do mercúrio pode ser atribuída tanto à mineração (também de outros metais, onde o mercúrio se encontra como elemento-traço), como a atividades industriais, processos de incineração, disposição de efluentes líquidos e disposição de resíduos sólidos.

Combustíveis fósseis também estão associados ao mercúrio, como por exemplo, o carvão do sul do Brasil (Sanches e Pintaude, 1983) e o carvão soviético, que tem em média 0,28 ppm do elemento (Azevedo, 2003), esta também presente, em concentrações variáveis, no petróleo. Em função disto, sua

presença na atmosfera está também associada ao transporte veicular. A fabricação de cimento e fosfatos também contribui para esta contaminação atmosférica (Veja, 1985, apud Azevedo, 2003). Indústrias de cloro-álcali também contribuem nas concentrações atmosféricas do mercúrio (Makhholm e Bennett, 1998).

A forma química do mercúrio no ar afeta seu tempo de permanência e sua dispersão na atmosfera. Em sua forma elementar, no estado do vapor, o elemento pode percorrer grandes distâncias e permanecer no ar por até quatro anos, enquanto que seus compostos podem se ligar a outras partículas e depositarem, em curto espaço de tempo, em locais mais próximos de sua origem. Portanto, a presença deste elemento na atmosfera apresenta distribuição global. No hemisfério Norte, sua concentração média na atmosfera é estimada em 2ng/m^3 , e no hemisfério Sul, inferior a 1ng/m^3 , mas em áreas urbanas ocorre grande variabilidade nestas concentrações, sendo encontrado em até 67ng/m^3 , com médias de $11,2\text{ng/m}^3$, no Japão (Azevedo, 2003). A FUNASA adota como padrão de mercúrio no ar a média aritmética de $1\mu\text{g/m}^3$, no período de 1 ano (Azevedo e Chassin, 2003).

O mercúrio se acumula em cadeias tróficas terrestres e aquáticas, ocorrendo a biomagnificação. Quando em ecossistemas aquáticos, sua toxicidade aumenta com a temperatura e diminui com o aumento da dureza. Em geral as formas orgânicas do elemento são de efeito tóxico mais acentuado que as inorgânicas ou a elementar. Em plantas, o mercúrio pode interferir na fotossíntese, na transpiração e na absorção da água, bem como na síntese da clorofila. O mercúrio atmosférico pode ser captado pela massa foliar e acumulado em concentrações entre $0,005$ a $0,1\mu\text{g/g}$ (Allen, 1974; Bowel, 1979; Azevedo, 2003). Shaw, 1989, estende esta faixa para até $1,6\mu\text{g/g}$ para líquens.

No organismo humano, os efeitos tóxicos podem se manifestar nos sistemas nervoso, digestivo, respiratório e renal. Os vapores inalados de mercúrio elementar vencem a membrana alvéolo-capilar e passam para o sangue, onde têm afinidade com as células sanguíneas, 80% do mercúrio inalado é retido pelo organismo.

O potássio é o sétimo elemento em abundância na crosta terrestre. Seu principal uso é na composição de fertilizantes, pois é elemento vital no

desenvolvimento das plantas. Também é utilizado na produção de diversos sais comerciais, na indústria de vidros, em fármacos e em munições. Atua na síntese de proteínas e soluto celular animal, bem como na formação de açúcares nas plantas, onde pode ser encontrado em concentrações de 0,5 a 3% em peso (Allen, 1974). O potássio regula, junto com o sódio, o equilíbrio da água nos organismos (Vaitsman et al, 2001). Bowen, 1979, cita concentrações de 5.000 a 34.000 μ g/g de potássio em massa seca, em plantas. Para líquens, Shaw, 1989, cita faixas mais baixas, de 500 a 5000 μ g/g.

O sódio, bem como o lítio e o potássio, não é encontrado no estado elementar no ambiente, mas é extremamente abundante em forma de sais, principalmente na forma de cloreto, nas águas oceânicas. Ali, pelo movimento das ondas forma aerossóis marinhos que, por evaporação da água, introduzem o cloreto de sódio na atmosfera, elevado por correntes ascendentes e distribuído a áreas continentais quando não ocorrem barreiras naturais para as correntes aéreas provenientes da costa (vanLoon e Duffy, 2000).

Sais de sódio são indispensáveis para indústria de papel, de vidro, sabões, têxtil, metalúrgica e química. Empregado na forma de cloreto na alimentação humana, além de formular fermentos químicos, produtos de limpeza, alvejantes, cosméticos e fármacos. É um contaminante ambiental amplamente ligado às atividades antrópicas.

O sódio está presente nos fluídos extra-celulares animais, é fundamental no balanço osmótico dos organismos e participa no controle da acidez dos líquidos celulares por efeito de tamponamento de sais de sódio. Sua carência e também seu excesso interferem na pressão arterial. Em plantas, sua concentração é bastante variável, regionalizada, parecendo não afetar estes organismos do mesmo modo que afeta animais, podendo apresentar-se de 0,003 até 0,3% em peso (Allen, 1974; Bowel, 1979, Larcher, 2000, Shaw, 1989).

O zinco é um elemento bastante comum nos compartimentos ambientais. Pode ser encontrado no ar, no solo e na água, está naturalmente presente nos alimentos. É um elemento relacionado à presença humana e introduzido na atmosfera por atividades mineradoras, purificação de zinco, produção de aço, queima de lixo e de carvão. No ar, o zinco está presente em partículas muito finas e se precipita sobre solos e águas, removido do ar por chuvas e neve. Seus níveis

atmosféricos são relativamente baixos. O nível médio de zinco no ar, nos Estados Unidos, é menor que $1\mu\text{g}/\text{m}^3$, mas varia de 0,1 a $1,7\mu\text{g}/\text{m}^3$ em áreas urbanas e até $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ nas proximidades de áreas industriais. Bibliografia de 1980 (Doull et al), cita como concentrações médias de zinco no ar deste país, a concentração de $0,67\mu\text{g}/\text{m}^3$ e a concentração máxima de $58,0\mu\text{g}/\text{m}^3$. Seu tempo de permanência na atmosfera pode ser da ordem de dias, como indicam as longas distâncias de transporte atmosférico. Poeiras do solo erguidas pelos ventos também podem ser fonte do zinco na atmosfera (Azevedo e Chassin, 2003). Bowel, 1979, indica concentrações atmosféricas de $0,03\text{ng}/\text{m}^3$ a $16\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Participa na produção de auxinas em plantas; é constituinte de sistemas enzimáticos, estando presente em 90 enzimas, entre as quais, a insulina, a anidrase carbônica e a carboxipeptidase. Influi na cicatrização de tecidos, na sensibilidade gustativa, na síntese de proteínas e no sistema imunológico. Na plantas costuma apresentar concentrações de 15 a $400\mu\text{g}/\text{g}$ (Allen, 1974; Bowel, 1979). Para líquens, Shaw, 1989, cita concentrações de até $500\mu\text{g}/\text{g}$.

Sua toxicidade é, em geral baixa, causando irritabilidade, ansiedade, perda de concentração e gestos repetidos. Seu excesso também está associado a casos de úlceras, pancreatite, anemias, má circulação e fibrose pulmonar (Vaitsman et al, 2001). Em humanos, a exposição aguda a compostos de zinco em fumos, (fumaças, na atmosfera) resulta em morte.

2.3. QUALIDADE DO AR NO BRASIL:

2.3.1. LEGISLAÇÃO

No Brasil, a Lei n.6.938, de 31 de agosto de 1981, considerada pedra angular da Política Nacional de Meio Ambiente, cria o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA e lhe confere competências para estabelecer padrões e métodos ambientais, dentre os quais os padrões da qualidade do ar. Esta Lei não exclui a edição pelos Estados ou Municípios de normas e padrões que, sem ofender os estabelecidos pelo CONAMA, objetivem regular a situação regional, ou local, específica. Anteriormente, a portaria 231 de 27 de abril de 1976, do Ministério do Interior, já oferecia suporte legal para os padrões de emissões. Esta

Portaria estabelecia padrões nacionais de qualidade do ar para material particulado, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e oxidantes.

Em 15 de junho de 1989, é estabelecido o Programa Nacional de Qualidade do Ar – PRONAR, pela Resolução do CONAMA n.5/89. O objetivo deste programa é a limitação dos níveis de emissão de poluentes para controlar, preservar e recuperar a qualidade do ar em todo o território brasileiro.

O PRONAR prevê que as áreas do território nacional deverão ser enquadradas em classes de acordo com os usos pretendidos:

- Áreas de Classe I: onde deverá ser mantida a qualidade do ar em nível mais próximo possível do verificado sem a intervenção antropogênica
- Áreas de Classe II: onde o nível de deterioração da qualidade do ar seja limitado pelo padrão secundário de qualidade
- Áreas de Classe III: concebidas como áreas de desenvolvimento, onde o nível de deterioração da qualidade do ar seja limitado pelo padrão de qualidade primária do ar.

Este programa prevê também a criação de uma rede nacional de monitoramento da qualidade do ar, o gerenciamento do licenciamento de fontes de poluição atmosférica, a criação de um inventário nacional de fontes e de poluentes do ar, gestões políticas, o desenvolvimento nacional na área de poluição do ar e a fixação de ações de curto, médio e longo prazo.

Em 28 de junho de 1990, em conformidade com o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR, o CONAMA fixa os padrões nacionais de qualidade do ar, através da Resolução n. 03/90, ampliando o número de parâmetros anteriormente regulamentados pela referida Portaria.

Esta Resolução define, no Art.1, Parágrafo Único, que “Poluente Atmosférico” é: “qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar: impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde; inconveniente ao bem-estar público; danoso aos materiais, à fauna e flora; prejudicial à segurança, ao uso ou gozo da propriedade e as atividades normais da comunidade.

No Art.2, da mesma Resolução, ficam estabelecidos os conceitos de Padrões Primários e Padrões Secundários de Qualidade do Ar:

I - Padrões Primários de Qualidade do Ar são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população;

II - Padrões Secundários da Qualidade do Ar são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

A tabela 3, abaixo, apresenta os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar:

Tabela 3 – Padrões Nacionais de Qualidade do Ar, conforme a Resolução do CONAMA N.03/90

POLUENTES	TEMPO DE AMOSTRAGEM	PADRÃO PRIMÁRIO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PADRÃO SECUNDÁRIO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MÉTODO DE MEDIÇÃO
Partículas Totais em Suspensão	24 horas (1)	240	150	Amostrador de Grandes Volumes
	MGA (2)	80	60	
Dióxido de enxofre	24 horas (1)	365	100	Pararosanilina
	MAA (3)	80	40	
Monóxido de Carbono	1 hora (1)	40.000 (35ppm)	40.000 (35ppm)	Infra-vermelho não dispersivo
	8 horas (1)	10.000 (9 ppm)	10.000 (9 ppm)	
Ozônio	1 hora (1)	160	160	Quimioluminescência
Fumaça	24 horas (1)	150	100	Reflectância
	MAA (3)	60	40	
Partículas Inaláveis	24 horas (1)	150	150	Separação Inercial/Filtração
	MAA (3)	50	50	
Dióxido de Nitrogênio	24 horas (1)	320	190	Quimioluminescência
	MAA (3)	100	100	

(1) Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano

(2) Média Geométrica Anual

(3) Média Aritmética Anual

A mesma Resolução 03/90 do CONAMA estabelece níveis de qualidade do ar para episódios críticos:

Tabela 4 – Níveis de Qualidade do Ar para episódios críticos, conforme a Resolução do CONAMA N.03/90

PARÂMETRO	ATENÇÃO	ALERTA	EMERGÊNCIA
Partículas Totais em Suspensão (PTS) (µg/m ³) 24h	375	625	875
Dióxido de enxofre (µg/m ³) 24h	800	1600	2100
SO ₂ x PTS (µg/m ³)/ (µg/m ³) 24h	65X103	261X103	393X103
Monóxido de carbono (ppm) 8h	17000	34000	46000
Ozônio (µg/m ³) 1h	400	800	1000
Fumaça (µg/m ³) 24h	250	420	500
Partículas inaláveis (µg/m ³) 24h	250	420	500
Dióxido de nitrogênio (µg/m ³) 1h	1130	2260	3000

A Resolução n.008, de 6 de dezembro de 1990, estabelece os limites máximos de emissões atmosféricas de fontes fixas (padrões de emissão). A mesma resolução proíbe qualquer atividade econômica que gere poluição em áreas a serem atmosféricamente preservadas (Unidades de Conservação, com exceção das APA - Áreas de Proteção Ambiental, áreas de lazer, turismo, estâncias climáticas, hidrominerais e hidrotermais).

O PRONAR instituiu também o PROCONVE, Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores, através da Resolução do CONAMA n.18, de 6 de maio de 1986, que estabeleceu limites para emissão de fuligem pelo tubo de escapamento de veículos a diesel. A Lei Federal n. 8.723, de 28 de outubro de 1993, veio dispor sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores, Esta lei estabelece limites para os níveis de emissão de gases para veículos novos, mesmo para os importados, que ficam obrigados a atender os mesmos critérios aos quais estão sujeitos os veículos de fabricação nacional.

O PRONAR adotou também a partir de 17 de junho de 1994, através do Decreto n.38.789, o Programa de Inspeção e Manutenção de veículos em circulação, em fase de implementação, que visa reduzir a emissão de poluentes dos veículos em circulação que se encontram com motores desregulados, aproximadamente 90% dos veículos em circulação (Silva, 1997).

Até o presente momento, a legislação brasileira não estabeleceu padrões de qualidade para metais pesados presentes nos particulados atmosféricos. A EPA, através do Clean Air Act estabelece No NAAQS – "National Ambient Air

Quality Standards", uma concentração de $1,5 \mu\text{g}/\text{m}_3$, tanto para o padrão primário como para o secundário, como concentração máxima de chumbo na atmosfera.

A Comissão das Comunidades Europeias, em Decisão publicada em Diário Oficial, 2000 exige a todos os estados membros que informem quando houver emissões que ultrapassem os limites estabelecidos para uma série de contaminantes e seus compostos: arsênio, cádmio, cromo, mercúrio, níquel, chumbo, zinco, cloro e seus compostos inorgânicos, flúor e seus compostos inorgânicos e o cianeto de hidrogênio. Outros países, como a Alemanha, Austrália, Áustria, e Estados Unidos, estabelecem Padrões de Qualidade do Ar para diversos elementos.

2.3.2. MONITORAMENTO

No Brasil os combustíveis fósseis são empregados no transporte veicular, em siderúrgicas e usinas termelétricas gerando emissão de partículas finas carregadas de espécies químicas altamente tóxicas. Estas partículas podem causar sérios problemas ao ambiente e aos organismos vivos, incluindo o ser humano, por permanecerem durante um longo período na atmosfera e por apresentarem em sua superfície concentrações elevadas de metais como Ni, Cr, Pb, Fe, Mn, e outros (Carvalho, 2000).

Especialmente no Sul do Brasil, no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, a combustão do carvão é uma importante fonte emissora de material particulado, e a concentração dos elementos gerados durante a queima depende da composição química do carvão original (Vassiliou e Dick, 2000).

O sistema de monitoramento contínuo das emissões atmosféricas é raro no Brasil. Talvez o trabalho mais extenso nesta área tenha sido realizado na Região Metropolitana de São Paulo e em Cubatão; que dispõe de sistemas automáticos. Nas demais cidades, quando há medições, estas se atêm aos equipamentos manuais e, em grande parte, são realizadas esporadicamente, sem um processo de continuidade.

Em Cubatão, estado de São Paulo, em 1990 teve início um projeto para avaliar os efeitos de poluição do ar sobre a floresta. Este projeto foi realizado através de um convênio entre a Secretaria de Meio Ambiente de São Paulo e o governo alemão, de 1990 até 1996. A tecnologia, trazida por pesquisadores

alemães das Universidades de Essen e Kassel, foi adaptada às condições locais e serviu para mostrar que, apesar de pesados investimentos realizados para diminuir a poluição atmosférica na região, o efeito desta ainda afeta intensamente a Serra do Mar, no entorno de Cubatão (Cerqueira, 2000). Ainda em Cubatão foram realizados diversos estudos sobre partículas totais em suspensão, sobre partículas inaláveis, e também sobre seu efeito na vegetação e organismo humano. O impacto provocado pela deposição de poeiras de origem industrial em plantas da Mata Atlântica da região foi avaliado em condições controladas. Verificou-se que as injúrias agudas dependiam mais do potencial iônico da partícula depositada do que de seu pH. O efeito osmótico destas poeiras produziu desidratação, plasmólise e morte das células, provocando necroses foliares, desde as pontuais até as generalizadas (Larcher *apud* Pompéia e Martins, 2000).

Na Região Metropolitana de São Paulo, alguns padrões de qualidade do ar previstos na legislação brasileira, são constantemente ultrapassados. Algumas das principais substâncias que põem em risco a saúde e o ambiente nesta região são gases como monóxido de carbono, dióxido de enxofre, óxidos nitrogenados e também materiais particulados, gerados na queima de combustíveis fósseis pela circulação de veículos (fontes móveis) e de fontes estacionárias, como indústrias, termelétricas e fornos de incineração (Cerqueira, 2000).

Em São Paulo as PM_{10} apresentam-se em concentrações médias anuais de $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este valor está acima dos limites aceitáveis pela legislação. Destas, 42% estão entre 10 e $2,5 \mu\text{m}$ e 58% são menores que $2,5 \mu\text{m}$.

No município de Itabira, Minas Gerais, foi realizado um monitoramento da concentração de partículas totais em suspensão (PTS) e de partículas inaláveis (PM_{10}) no período de 1997/99, com a colocação de sete amostradores do tipo HI-VOL. Este trabalho visava caracterizar a relação entre a atividade mineradora realizada pela Companhia Vale do Rio Doce e a atividade urbana do município, no contexto do processo de licenciamento corretivo da mineradora junto ao Conselho de Política Ambiental do Estado de Minas Gerais (Santi, 2000).

Em Londrina, estado do Paraná, foi feito um estudo para determinar as concentrações de chumbo em populações da área urbana, sendo constatados índices mais elevados deste elemento no sangue de indivíduos residentes em

áreas industrializadas, ao contrário dos níveis de plumbemia observados em regiões de pouca industrialização no município de Londrina (Paoliello *et al*, 1997).

No sul do Brasil, a concentração de particulados causa preocupação devido à baixa eficiência nos sistemas de controle de emissões de partículas mais finas e do grande número de processos industriais e urbanos capazes de gerá-las. Processos que envolvem o carvão, como a mineração, as termelétricas e as siderúrgicas, afetam diversos municípios do Rio Grande do Sul, como Candiota, Charqueadas, Minas do Leão, Minas do Butiá, Sapucaia do Sul e outros. Também a indústria cimenteira acarreta problemas atmosféricos em regiões com Candiota, Esteio, Morretes e Pelotas. Destaca-se também o problema da poluição veicular, principalmente em relação à Rodovia Federal BR-116.

A COPESUL - empresa do Pólo Petroquímico do Sul localizada no município de Triúnfo, Rio Grande do Sul, montou de forma pró-ativa, a partir de 1988, uma rede composta de doze estações de monitoramento da qualidade do ar que cobrem toda a área de abrangência do Pólo Petroquímico do Sul, monitorando e avaliando tendências em termos de qualidade do ar. A obtenção destes dados objetivou a tomada de decisões quanto a medidas preventivas ou corretivas em caso de alterações dos parâmetros de qualidade do ar (Santos e Machado Júnior, 1999).

Vanz, 2000, pesquisou chumbo nas partículas em suspensão atmosférica em áreas do município de Rio Grande, estado do Rio Grande do Sul. As áreas pesquisadas foram, nas proximidades do Porto Novo, o Distrito Industrial e São José do Norte, que apresentaram valores de concentrações de chumbo até seis vezes maiores do que as estabelecidas pela legislação.

Streck *et al*, 1999, em projeto realizado em Candiota, Rio Grande do Sul, monitoraram as concentrações de partículas totais em suspensão e de dióxido de enxofre no período de 1995 a 1997. Neste município está localizado o Pólo Econômico de Candiota, este Pólo envolve atividades mineradoras de carvão e de calcário, indústrias cimenteiras e a Usina Termelétrica Presidente Médici, com potência de 446 MW e previsão de aumento para 796 MW. Ficou constatado que, naquele período, a qualidade do ar não se encontrava comprometida, em relação aos parâmetros analisados.

Em Porto Alegre, estado do Rio Grande do Sul, a Secretaria Municipal do Meio Ambiente em conjunto com a PETROBRÁS, com ênfase no monóxido de carbono, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre, ozônio, material particulado e odores, realizou a “Operação ar puro”. Neste trabalho, foram colocados amostradores em quatro pontos distintos do município, com início de operação em 1992 (Zurita e Tolfo, 2000). Também a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, realizou alguns trabalhos em conjunto com órgãos estaduais e municipais, publicando um trabalho sobre a qualidade do ar em Porto Alegre no Atlas Ambiental de Porto Alegre (1998 - capítulo 14).

O Banco Mundial, através de seu relatório sobre as emissões atmosféricas no Brasil, constatou que a região metropolitana de Porto Alegre ocupa a 5ª posição no país em relação à quantidade de partículas inaláveis existentes na atmosfera. A maior fonte deste contaminante atmosférico na região é o escapamento de veículos, que contribui com 77% da concentração de partículas inaláveis, grandes indústrias contribuem com 21% e os 2% restantes são gerados por outras fontes. Grande parte do material de origem veicular presente na atmosfera tem origem na ressuspensão do material depositado em rodovias asfaltadas.

2.4. BIOMONITORAMENTO

O biomonitoramento está baseado no fato de que estímulos ambientais como disponibilidade de luz, de água e concentrações de poluentes diversos provocam reações no organismo vivo dando como resposta alterações funcionais ou comportamentais. Os organismos monitores são espécies cujas respostas particulares aos poluentes podem ser empregadas para a detecção qualitativa e quantitativa destas respostas (Larcher, 2000).

Alguns autores usam *biomonitoramento* e *bioindicação* quase como se fossem sinônimos, mas um número cada vez maior de autores sugere diferenças entre os dois termos. Bioindicadores são organismos ou comunidades que se relacionam estreitamente com alterações ambientais, que podem ser empregados como indicadores na avaliação de determinado ambiente. Esta indicação pode ser deduzida pela presença ou ausência de determinadas espécies na região

(Steubing e Fangmeier, 1992; Grüninger et al, 1980; Grüninger et al, 2000, Lima, 2003).

O biomonitoramento pode ser *passivo*, quando envolve observação e análise de um organismo em seu próprio ambiente natural, ou *ativo*, quando envolve a exposição de um organismo na área de estudo, por um tempo definido. Os relatos mais antigos de plantas indicadoras remontam há 400 anos, mas o termo bioindicador passou a ser citado com maior freqüência na literatura européia (alemã) a partir dos anos 60 (Lima, 2003). Várias espécies são altamente sensíveis às alterações das condições ambientais ou a poluentes. Indicadores acumuladores de poluentes (bioacumuladores) capazes de armazenar grandes quantidades de substâncias poluentes, sem sofrer injúrias, são úteis tanto como monitores *ativos*, como *passivos*. Essas espécies em geral acumulam um elemento específico, permitindo a avaliação do grau de poluição local através da análise química de seus tecidos.

Um biomonitor pode apresentar reações sensíveis à qualidade ambiental com respostas bioquímicas, fisiológicas, comportamentais, morfológicas ou outras. Estas reações podem não depender apenas do fator poluente a ser monitorado mas também de fatores como umidade, temperatura, luminosidade, idade do organismo e outros, que devem ser igualmente levados em consideração.

O acúmulo de substâncias absorvidas pelo organismo biomonitor pode ocorrer com transformações, incorporações ou acumulações, durante o processo metabólico. Muitas destas substâncias podem ser, em concentrações muito baixas encontradas em seus ambientes normais (considerados não poluídos), assimiladas como micronutrientes. O acúmulo das mesmas, ou de outras substâncias, como os metais pesados, pode ser utilizado como um indicador de poluição ambiental. A determinação de enzimas destes organismos, como a esterase, malatodehidrogenase e peroxidase, ou a determinação de outro componente bioquímico pode servir de parâmetro na avaliação de metais pesados no estresse de biomonitores (Lima, 2003).

Danos de emissões atmosféricas sobre organismos têm sido observadas ao longo do tempo. As *emissões*, substâncias liberadas pela fonte (que pode ser fixa, como uma indústria, um aterro sanitário, etc. ou móvel, como transporte

veicular) chegam até os organismos em concentrações diferentes de sua emissão. Esta diferença de concentrações se deve à diluição que ocorre durante o processo de transporte do material emitido pela fonte até atingir o organismo. A concentração da emissão que chega a um organismo é denominada *imissão*.

Determinadas plantas apresentam danos específicos para cada tipo de poluentes. Estas plantas podem ser utilizadas como bioindicadores (Stern, 1968). A pesquisa de poluentes atmosféricos utilizando bioindicadores requer uma série de cuidados em relação às variáveis que podem afetar o comportamento destes organismos. Algumas plantas assimilam quantidades significativas de determinados poluentes em sua fase jovem, reduzindo esta assimilação na fase mais adulta, outras, como por exemplo alguns cereais, se tornam mais sensíveis com o passar do tempo. Condições climáticas, sazonais e período do dia também são fatores que interferem na bioacumulação. Também é possível a adaptação do organismo ao agente contaminante, gerando alteração dos resultados. Devido a esta diversidade de interferentes, é muito importante a utilização de diversos indivíduos durante a fase experimental e não enfatizar a importância quantitativa dos resultados obtidos. Deve-se fazer uma comparação de resultados e uma avaliação crítica das possibilidades de erros (Lima, 2003).

Diversos trabalhos têm utilizado atualmente organismos bioindicadores possibilitando uma boa avaliação de respostas e a padronização de alguns destes. Alfafa, maçã, algodão, cevada e trigo apresentam sensibilidade aguda a concentrações de SO₂ superiores a 0,3ppm e sensibilidade crônica a concentrações entre 0,3 e 0,1ppm. Tabaco, tomate, feijão, espinafre, batatas, lilazes, begônias são sensíveis a ozônio, em concentrações de 0,02 ppm por 4 a 8h, e de 0,05 ppm por 1 a 2 h (Heinson e Kabel, 1999).

Algas, como *Pleurococcus viridis* e diversas espécies de líquens, apresentam diferentes respostas à variação da concentração de SO₂, relacionadas com baixas ou elevadas disponibilidades de nutrientes. Kong et al, 1999, utilizaram o líquen *Xanthoparmelia mexicana* para estudar respostas fisiológicas ao stress oxidativo provocado pelo SO₂.

Outros organismos não enraizados no solo, sem poder extrair dos mesmos seus nutrientes, dependentes unicamente da concentração dos elementos químicos na atmosfera, são bons indicadores da qualidade do ar. Este

é o caso da bromeliácea *Tillandsia usneoides*, que é capaz de acumular altas concentrações de chumbo, ou de musgos, capazes de absorver mercúrio presente na atmosfera (Margalef, 1998). Na superfície de suas folhas as bromélias possuem tricomas, chamados de escamas peltadas ou foliares, que conferem a essas plantas capacidade de absorver água e nutrientes do ar; os pelos escamosos são responsáveis pela alimentação da planta, absorvendo água com substâncias alimentícias em solução (Reitz, 1983 apud Rocha, 2002). Do mesmo modo, conseguem igualmente absorver substâncias poluentes da atmosfera. Considerando que o mecanismo de fotossíntese da *T.usneoides* é do tipo CAM, Flores, em 1980, realizou estudo de absorção de metais pesados em suspensão atmosférica, com ênfase em cobre e cádmio, relacionados à atividade noturna e a diurna desta bromélia, verificando a diferença na assimilação em relação ao fotoperíodo. Também Amado Filho et al, 2002, estudaram a bioacumulação de mercúrio, emitido por tanques de eletrólise em uma planta industrial de cloro-álcali, em *T.usneoides*, utilizando a técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV), determinando a absorção do elemento nos tecidos das escamas. Em estudos comparativos, realizados ao longo de 25 anos, Husk et al, 2003, estudaram indivíduos nativos desta espécie em área de ocupação rural que lentamente se transformou em área suburbana, determinando ao longo deste tempo redução significativa nas concentrações de potássio, magnésio, manganês, e cobre, e um aumento significativo nas concentrações de ferro e zinco.

Quatro espécies de líquens: *Parmelia sulcata* Taylor, *Hypogimnia physodes* (L.) Nyl., *Cetraria islandica* (L.) Ach. e *Bryoria fuscensces* (Gyelnik), foram utilizados por Häffner et al (2001) para estudo de redução da atividade de fotossíntese provocada pelo dióxido de enxofre. A *B. fuscensces* revelou maior sensibilidade a este poluente atmosférico, tornando-se inapta à fotossíntese em período de 4 a 8 semanas de exposição enquanto a *P. sulcata* foi a mais tolerante, apresentando uma redução de apenas 30% na fotossíntese após a exposição por um período de 3 a 4 meses.

Líquens também têm sido utilizados em estudos de efeitos de metais pesados. O efeito dos elementos Zn, Pb e Cd como agentes capazes de provocar stress oxidativo em tecidos do líquen terrícola *Diploschistes muscorum* (scop.) R.Sant. foi estudado por Cuny et al (2004), no norte da França. Em Wisconsin

(U.S.A.) foi realizado estudo de dispersão atmosférica de mercúrio emitido por uma planta de cloro-álcali, utilizando uma rede de biomonitoramento ativo com líquens da espécie *Hypogymnia physoides*. Neste estudo pode ser comprovada uma relação inversa entre as concentrações de mercúrio assimilado pelos bioacumuladores e a distância da fonte geradora (Makhholm e Bennett, 1998). Com esta mesma espécie e mais oito outras: *Anaptychia ciliaris*, *Usnea sp.*, *Lobaria pulmonaria*, *Xanthoria parietina*, *Parmelia caperata*, *Letharia divaricata*, *Parmelia sulcata* e *Physia adscendens*, foi realizado estudo em Grenoble (França) para verificar o efeito de chumbo e cádmio, emitidos com fumaças de um incinerador, sobre estes organismos. Os líquens foram coletados em regiões não poluídas e expostos em três pontos: o primeiro localizado em área próxima ao incinerador, na direção dos ventos predominantes; o segundo localizado no interior da planta de incineração, em ar ambiente e o terceiro localizado em área não poluída, sendo recolhidos após um mês de exposição. Neste experimento foi constatado que, as diferentes espécies de líquens, se diferenciaram no acúmulo de concentrações de chumbo e cádmio, emitidos pela planta de incineração (Gombert e Asta, 1998).

Em Louisiana (U.S.A) foi realizado estudo comparativo de bioindicadores para poluição atmosférica por metais pesados e dióxido de enxofre, utilizando organismos da bromeliácea *Tillandsia usneoides* e do líquen *Parmotrema praesorediosum* (Nyl.) Hale. Neste trabalho ficou evidenciado que a bioacumulação de certos metais como manganês, níquel e cádmio, aumenta com a idade da *T. usneoides*. Organismos de *Parmotrema* se mostraram mais eficientes na acumulação de fósforo e manganês, enquanto que a *Tillandsia* acumulou quantidades mais significativas de níquel, para outros elementos analisados, tais como potássio, cálcio e cádmio, não houve diferença estatística efetiva na bioacumulação (Pyatt et al, 1999).

Em Florença, Itália, também foram utilizadas outras espécies de *Tillandsias*, (*T.caput-medusae* e *T.bulbosa*) para monitorar hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs) no ar, comprovando que estas espécies são particularmente interessantes como organismos biomonitores de qualidade do ar, devido à sua ampla distribuição geográfica, seu baixo custo e sua resposta aos poluentes atmosféricos (Brighigna et al, 2002)

Diversos estudos têm utilizado líquens para estudar bioacumulação de metais pesados a partir dos poluentes atmosféricos nas mais diversas regiões do planeta. A *Xanthoria parietina* foi utilizada por Tungel et al (2003), analisando concentrações de Mn, Cr, Fe, Sb e Zn em área próxima a siderúrgica. Cuny et al (2001) estudaram poluição atmosférica por metais pesados (Cd, Pb, Zn) em rodovia francesa utilizando fungos nativos (*Armillaria mellea*, *Coprinus comatus* e outros) e talos transplantados de *Parmelia caperata*. O acúmulo dos metais em *P. caperata* foi comparado e confirmado com acúmulo similar, dos mesmos elementos, no líquen nativo *Xanthoria parietina*.

Em Pistóia, Itália, talos de *Parmelia caperata* foram utilizados para monitorar metais pesados e elementos traço na atmosfera urbana. Entre elementos e íons monitorados, foram estudadas concentrações atmosféricas de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn e também de SO₂ e de NH₃, e sua acumulação na *P. caperata* bem como sua interferência na diversidade líquênica da região (Loppi e Corsini, 2003). Em Vercelli, Piemonte, ao norte da Itália, foram expostos talos de *Pseudevernia furfuracea*, coletados em área sem contaminação atmosférica, para testar seu potencial de bioacumulação de Cr, Zn, Cd, Pb, Ni, Fe, Mn e Cu em relação à presença destes elementos simultaneamente monitorados nos particulados atmosféricos. O estudo demonstrou uma boa correlação entre as concentrações destes metais nas partículas atmosféricas e nos talos dos líquens expostos (Bari et al, 2001). Em Toscana, centro da Itália, foram realizados estudos com líquens epifíticos (*Parmelia sulcata*) para estudar a correlação dos mesmos com poeiras provenientes de solos contaminados, analisando tanto em solos, como nas poeiras e nos líquens as concentrações dos elementos Al, Ba, Cd, Co, Cu, Fe Mn, Mo, Pb, Sr, Ti, V e Zn. Alguns destes elementos mostraram forte correlação com as concentrações atmosféricas oriundas dos solos e as concentrações encontradas nos líquens, em especial no caso do chumbo. Outros mostraram fraca correlação com o material proveniente do solo, mas forte correlação com as concentrações de elementos de origem externa a este ambiente, que foram trazidas pelas poeiras atmosféricas, como no caso do cobre (Loppi et al, 1999).

Também os efeitos do níquel, juntamente com o dióxido de enxofre, provenientes de poluição atmosférica, foram estudados em ecossistemas

terrestres em áreas fronteiriças entre a Noruega e a Rússia, sendo encontrada forte correlação entre as concentrações deste elemento no ar e nos líquens *Cladina spp* (Tommervik et al, 1998).

Na Índia, na cidade de Bangalore, 30 espécies de líquens nativas foram utilizadas em um estudo de acumulação de metais pesados, demonstrando uma diferenciação na capacidade de bioacumulação das diversas espécies de líquens em relação a diferentes metais pesados. As concentrações de ferro e de cobre acumulados foram as máximas em *Bulbothrix isidiza* (Nyl.) Hale e em *Pyxina petricola* Nyl., cromo e chumbo apresentaram as maiores concentrações em *Chrysothrix candelaris* (L.) Laundom e as de zinco atingiram seu pico em *Lecanora perplexa* Brodo (Nayaka, 2003).

Outros autores trabalharam ainda com a bioacumulação de metais pesados e poluentes atmosféricos diversos em líquens, tanto em áreas urbanas, regiões industriais, áreas não contaminadas, reservas florestais e áreas montanhosas, criando um banco de dados bastante consistente sobre o assunto. Dentre estes, podemos citar ainda os trabalhos de Monge-Najera et al, 2002, em San José, Costa Rica, Wolterbeek et al, 2002, nos Países Baixos, Jeran et al, 2002, na Eslovênia, Cercasov et al, na Alemanha, Rantal, 2001, na Finlândia, Scutari e Theinhardt, 2001, em Buenos Aires, Argentina, Ulshofer e Rosner, 2001, em Tübingen, Alemanha, Garty et al, 2001, em Tel Aviv, Israel, Patra e Sharma, 2000, em Calcutá, Índia, Nimis et al, 2000, em Trieste, Itália, Vokou et al, 1999, na Grécia, e outros.

3. ÁREA DE TRABALHO

3.1. BACIA HIDROGRAFICA DO ARROIO SAPUCAIA

3.1.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS GERAIS DA REGIÃO

O arroio Sapucaia, afluente do rio dos Sinos, está localizado entre latitudes $-29^{\circ} 49' 4''$ e $-29^{\circ} 52' 0''$ e longitudes $51^{\circ} 15'$ e $51^{\circ} 00'$, com extensão aproximada de 25 km. Sua sub-bacia ocupa área integrante da Região Metropolitana de Porto Alegre, cobrindo uma área de 129,57km² e abrangendo os municípios de Cachoeirinha, Canoas, Esteio, Gravataí, Sapucaia do Sul, e Novo Hamburgo. Em seu curso, o arroio percorre áreas urbanas de Canoas, Esteio e Sapucaia do Sul.

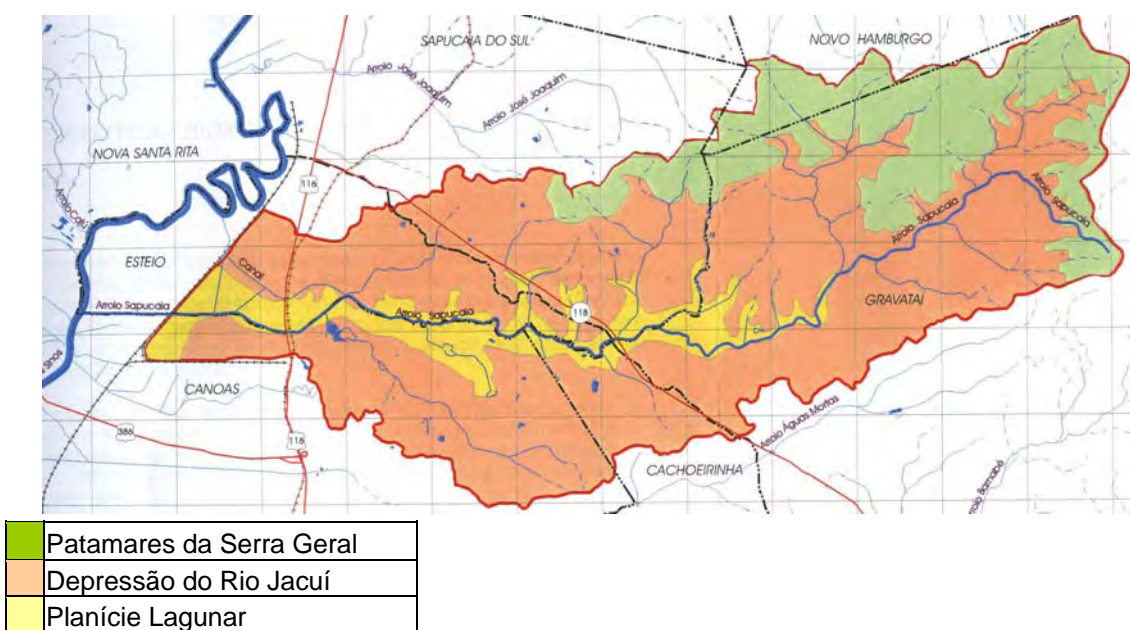


Figura 3: Sub-bacia do arroio Sapucaia (Fonte: METROPLAN, 2001).

Nas proximidades do rio dos Sinos, localizado a oeste, a área da bacia é plana, formada por terrenos alagadiços. Este trecho apresenta uma planície de inundação formada pelas águas que transbordam periodicamente do arroio e do rio dos Sinos. Esta planície é composta por sedimentos quaternários, com declividades muito baixas (0 a 2%),

No seu trecho central apresenta relevo ondulado, constituído por rochas sedimentares da Bacia do Paraná. Destas, a rocha mais antiga é da Formação Rio do Rastro, que corresponde ao paleozóico superior e possui potencial mineral para argilas utilizadas na fabricação de cerâmica vermelha e aflora junto ao canal principal do arroio, principalmente mais ao sul. Sobreposta a esta, ocorre a Formação Sanga do Cabral (Grupo Rosário do Sul), do período triássico, com colinas de relevo amplo e suavizado, que evolui para colinas de forma convexo-côncavas, com declividades mais acentuadas, de cerca de 15%. Esta Formação abrange grande área da bacia (METROPLAN, 2001).

Suas nascentes, localizadas à nordeste da sub-bacia, percorrem terreno bastante acidentado cujas altitudes máximas são pouco superiores a 270 m, permitindo a formação de corredeiras. Este trecho é formado por morros areníticos da Formação Botucatu, do jurássico, com bom potencial de água subterrânea e potencial de extração de material por pedreiras. Esta atividade mineradora acentua a retirada da cobertura vegetal, deixando o solo exposto a intensos processos erosivos. Junto a esta formação, mais ao norte, encontramos rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, de declive mais acentuado, que oferecem igualmente a possibilidade de extração de material empregado na construção civil e em calçamento de ruas (METROPLAN, 2001).

Em seu curso superior, o arroio Sapucaia percorre área de baixa densidade populacional, de características rurais onde predominam atividades agropecuárias de pequeno porte e sítios de lazer, de impacto ambiental relativamente baixo. Também, nesta região, estão estabelecidas empresas que exploram mineração de argila, arenito e basalto. Por seu aspecto paisagístico, mais recentemente, estão se estabelecendo pequenas empresas voltadas à recreação (pesque-parques, balneários com piscinas artificiais, campings e outros). Os maiores fatores de impacto na região são: o aterro sanitário de Santa Tecla, pequenas atividades industriais (com ênfase em olarias) e o impacto causado pelo trânsito veicular, em especial da rodovia RS118.

Em seu trecho médio, estão localizadas zonas urbanas de alta densidade populacional que comportam também um grande número de indústrias diversas (cimenteira, metal-mecânicas, petroquímicas e outras). Também neste trecho estão localizadas áreas de deposição de resíduos sólidos urbanos. Esta região é

cortada pelas rodovias RS118 e a BR 116, que apresenta um intenso tráfego de veículos (o mais intenso de toda a região metropolitana), incluindo um grande número de veículos de transporte de carga pesada. Em consequência, esta região se caracteriza por elevado impacto ambiental decorrente de geração de grandes quantidades de resíduos sólidos, efluentes líquidos urbanos e industriais, e também de emissões aéreas de origem veicular e industrial.

O trecho final do Sapucaia, com o curso alterado e retificado, passa pela planície de inundação composta por áreas de cultivo, principalmente de arroz, cortadas por uma malha de canais de irrigação e também de drenagem e áreas de ocupações irregulares diversas e impactantes (principalmente por geração de resíduos e esgotos sem tratamento).

A população que habita os municípios desta sub-bacia contribui com mais de 30% da população da Região Metropolitana de Porto Alegre (METROPLAN, 2001).



Figura 4: Proximidades da nascente do arroio Sapucaia

3.1.2. CLIMA DA RMPA E DA SUB-BACIA DO ARROIO SAPUCAIA

Esta região se localiza ao sul do Trópico de Capricórnio, sendo a latitude responsável pelo clima subtropical (Porto Alegre está localizada na latitude de 30 ° Sul), cujas características térmicas e pluviométricas o aproximam do clima temperado, caracterizado por temperaturas médias inferiores a 20 °C, com médias máximas de 25 °C, médias mínimas de 15 °C e chuvas bem distribuídas

ao longo do ano. A pluviosidade da região fica, em média, entre 750 e 1500mm e o número médio anual de dias de chuva é de 135 dias.

Devido à sua localização, está sujeita ao predomínio alternado de massas de ar frias e quentes. Conforme a massa de ar, encontramos diferentes situações quanto à temperatura, umidade, ventos, precipitação e pressão atmosférica, conferindo estas características às áreas sobre as quais predominam.

Os meses menos úmidos do ano são março/abril e novembro/dezembro, meses do início do outono e verão. Como a pluviosidade é muito variável ao longo do tempo, ocorrem períodos com chuvas fortes (com máximo pluviométrico mensal de 405mm) e também alguns períodos com escassez de precipitações que podem prolongar-se mais que o habitual.

Durante a maior parte do ano, a região recebe influência da Massa Tropical Marítima, gerada na borda ocidental do anticiclone subtropical, centro de alta pressão, localizado sobre o Oceano Atlântico – Porto Alegre dista aproximadamente 100 km da linha da costa. O clima da região é também influenciado pela grande massa líquida formada pelo lago Guaíba e pelos contribuintes do Delta do Jacuí.

A umidade relativa do ar é alta o ano todo, conseqüência da predominância das massas úmidas sobre o estado, com valor médio de 76%. O valor de umidade relativa do ar mais baixo é em dezembro, 69% e o mais alto em junho, 82%.

O vento mais comum durante o ano é de sudeste, exceto no mês de junho. Este vento é oriundo do Anticiclone Semi-permanente do Atlântico Sul, que predomina no estado a maior parte do ano. No inverno, quando este Anticiclone migra para o norte, a direção dos ventos predominantes passa a ser oeste. A velocidade média dos ventos é baixa, variando de 4,8 km/h em junho para 10,2km/h em outubro e novembro. Rajadas de vento com velocidades muito superiores não são freqüentes, mas podem ocorrer principalmente no outono e na primavera (Ferraro *et Hasenack*, 2000; Menegat *et al*, 1998).

A insolação anual (brilho solar ao longo do ano) é de 2.310 horas.

O clima da região, conforme Nimer, 1989, é classificado como mesotérmico brando superúmido, sem seca, inverno frio, verão quente. Tipo temperado com tendência Mediterrânea.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO E DE ORIGEM DOS BIOINDICADORES

Conforme os dados do censo do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 2000, a Região Metropolitana de Porto Alegre -RMPA, é um aglomerado urbano de 31 municípios que somam 3.718.778 habitantes, aproximadamente 33 % da população do estado do Rio Grande do Sul, concentrados em uma área que corresponde a cerca de 4 % da área do estado. Os municípios que compõe a RMPA são: Alvorada, Araricá, Arroio dos Ratos, Cachoeirinha, Campo Bom, Canoas, Capela de Santana, Charqueadas, Dois Irmãos, Eldorado do Sul, Estância Velha, Esteio, Glorinha, Gravataí, Guaíba, Ivotí, Montenegro, Nova Hartz, Nova Santa Rita, Novo Hamburgo, Parobé, Portão, Porto Alegre, Santo Antônio da Patrulha, São Jerônimo, São Leopoldo, Sapiranga, Sapucaia do Sul, Taquara, Triunfo e Viamão. Deste, se situam na sub-bacia do arroio Sapucaia os municípios de Cachoeirinha, Canoas, Esteio, Gravataí, Sapucaia do Sul, e Novo Hamburgo. De Novo Hamburgo, porém, apenas uma pequena área rural de baixo impacto com regiões de declive mais acentuado compõe esta bacia hidrográfica.

As atividades mais impactantes à área da sub-bacia do Sapucaia estão localizadas nos municípios de Cachoeirinha, Canoas, Esteio, Gravataí e Sapucaia do Sul.

Na parte norte da Região Metropolitana de Porto Alegre, está situado o chamado “Corredor de desenvolvimento”, área de grande potencialidade devida à localização das rodovias BR 116 e BR290, hidrovía do rio Gravataí, além do Sistema Trensurb e do Aeroporto Internacional Salgado Filho. Por este sistema viário circula uma frota de mais de 1.900 ônibus e uma grande frota veicular que gera 8.471,6 toneladas/dia de emissões, sendo destas 3.792 toneladas/dia emitidas em Porto Alegre e, o restante, nos demais municípios da RMPA. O sistema de transporte intermunicipal apresenta linhas com características rádio-concêntricas, ligando as cidades da região metropolitana ao município de Porto Alegre.

Das emissões citadas acima, 10,5 toneladas/dia são constituídas de Material Particulado, sendo Porto Alegre responsável pela emissão de 5,2 toneladas/dia deste total (Fonte: REFAP, 1996 – Levantamento sobre a

contribuição do setor automotivo na geração de poluentes atmosféricos na Região Metropolitana de Porto Alegre).

3.2.1. CACHOEIRINHA

Cachoeirinha dista apenas 17 km de Porto Alegre, localizada ao sul do município, juntamente com Alvorada. A oeste, faz divisa com Canoas, ao norte, com Esteio e um a pequena porção de Sapucaia do Sul, e ao leste, com Gravataí. Sua área territorial é de 43,8km².

Sua população é constituída por 107.472 habitantes (IBGE, 2000), praticamente todas de características urbanas.

O município conta com um parque tecnológico e um grande número de indústrias, dentre as quais, indústrias extrativas, de transformação, de pesca, agropecuárias e outras, perfazendo um total de mais de 800.

A área de Cachoeirinha é constituída principalmente por terrenos planos, às margens do rio Gravataí, ou terrenos levemente ondulados mais ao norte, na área integrante da sub bacia do arroio Sapucaia. A altitude média em seu centro urbano é de 23m.

O município de Cachoeirinha foi criado em 1965 por desmembramento do município de Gravataí.

3.2.2. CANOAS

Canoas é um dos municípios centrais da Região Metropolitana que compõe a sub-bacia do arroio Sapucaia. Limita ao sul com Porto Alegre, ao norte com Esteio, a leste com Cachoeirinha e a oeste com Nova Santa Rita (antigo 2º distrito de Canoas), e com o Delta do Jacuí. Sua área é de 113,11 km², e seu centro urbano está localizado a 29°55'07" de latitude sul e 51°10'54" de longitude W.Gr. Seu centro urbano, em linha reta, fica a dez quilômetros do centro urbano de Porto Alegre.

Seus limites com os outros municípios são traçados por rios e arroios: ao sul, na divisa com o município de Porto Alegre, o rio Gravataí, a oeste, na divisa com Nova Santa Rita, o rio dos Sinos, ambos com significativo fluxo de embarcações. Ao norte, na divisa com Esteio, se localiza o arroio Sapucaia e a leste, na divisa com Cachoeirinha, o arroio da Brigadeira.

Seu clima é temperado, com média anual de temperaturas máximas de 24°C e de mínimas de 15°C. No verão, a temperatura pode atingir 40 °C e no inverno, 0°C.

Como Canoas está situada na Depressão Central do Estado, sua orografia é rasa, consistindo suas elevações apenas em coxilhas, sendo sua altitude máxima de 22 m acima do nível do mar. Além destas, outras áreas são formadas por planos, por campos de várzea e alguns banhados. As últimas coxilhas areníticas do sistema da campanha, bordeiam a cidade e são revestidas de capões e campos limpos. Predominam solos derivados de sedimentos aluvionais recentes, mal drenados, ácidos, pobres em nutrientes e bastante influenciados pela presença de água.

É uma cidade bastante jovem, pois tem pouco mais de 50 anos, criado em 27 de junho de 1939, através do decreto Estadual 7839. A área que compõe o município originou-se dos municípios de Gravataí e de São Sebastião do Caí. Nela se situa uma das maiores populações urbanas do estado, com cerca de 306.093 habitantes. Destes, praticamente 100 % são habitantes de áreas urbanas (Fonte: Censo demográfico IBGE, 2000). O crescimento de sua população é bastante acelerado, considerando que sua população, em 1991, era de 269.258 habitantes.

O crescimento populacional de Canoas é um bom indicativo de seu forte processo de urbanização. Na década de 80 o crescimento populacional de Canoas foi de 2,4 %. Este percentual de crescimento foi bastante superior ao do Rio Grande do Sul como um todo, que teve um crescimento de 1,6 % ao ano. Canoas é o quarto município mais populoso do estado do Rio Grande do Sul, sendo o segundo da Região Metropolitana, atrás apenas da capital. Os canoenses são hoje cerca de 3% dos gaúchos, sendo a densidade demográfica atual de 2.213 habitantes por quilômetro quadrado, denotando sua vocação urbana.

O município é um forte pólo industrial e rodoviário. Conta com mais de 1.200 indústrias, sendo muitas de grande porte, com variada gama de atividades industriais, tanto em sua área como nos limites com municípios vizinhos, como refinaria de petróleo, fábrica de cimento, de artefatos de vidro, de óleo vegetal,

metalurgia, siderurgia, tintas, curtumes, adubos e fertilizantes, usina de asfalto e outras. Destas indústrias, apenas 40 queimam combustíveis em quantidade de apresentar um potencial de emissão de material particulado equivalente a 5.007 t/ano. Com a instalação de mecanismos controladores de emissões, este potencial foi diminuído para uma emissão residual de 1.826 t/ano.

Canoas conta também com um intenso movimento de estudantes universitários, pois abriga a Universidade Luterana do Brasil – ULBRA, uma das maiores universidades particulares da região, além do Centro Universitário LaSalle e alguns cursos das Faculdades Ritter dos Reis, envolvendo movimentação de estudantes de diversos municípios vizinhos para Canoas, o que contribui com um significativo aumento no fluxo de veículos durante o período letivo.

O município é dividido ao meio, no sentido sul/norte, por uma das mais importantes estradas federais do estado, a BR116, por onde circulam diariamente mais de 100.000 veículos, incluindo carros de passeio, transportes coletivos e transporte de carga pesada.

3.2.3. ESTEIO

O município de Esteio está situado ao norte de Canoas. Seus outros limites são: de oeste a norte, com Nova Santa Rita, de norte a leste com Sapucaia do Sul, ao sul/sudeste, com Cachoeirinha e ainda a leste, com Gravataí. A distância do centro urbano de Esteio até o centro urbano de Porto Alegre é de 17 km. A área do município é de 32,5 km². Também situado na Depressão Central do estado, Esteio é de relevo plano, com significativa área de várzea do rio dos Sinos na sua parte oeste.

Esteio conta com uma população de 80.048 habitantes. Destes 79.961 são de perfil urbano, sendo cadastrados apenas 74 habitantes de características rurais pelo censo do IBGE, em 2000. O município foi criado em 15 de dezembro de 1954, de acordo com a Lei Estadual no. 2520, emancipando-se do município de São Leopoldo. O território de Esteio está quase todo edificado, restando poucas glebas não parceladas no extremo leste. A urbanização está bem consolidada, com predomínio de condições adequadas de pavimentação.

As principais atividades desta região são industriais, contando com 385 indústrias que formam 66% das atividades do município. Destas indústrias, em torno de 15 queimam combustíveis para obtenção de energia. A atividade industrial do município tem um potencial de gerar 421 toneladas/ano de material particulado, o que é reduzido para 195 t/ano pelo uso de tecnologias para reduzir emissões. Esteio conta com indústrias de cimento, de óleos alimentares, escovas, plásticos, espumas de poli-uretanas, cosméticos, curtumes, telhas e outras. Outros 22% das atividades estão representados por atividades comerciais, varejistas e atacadistas, e 12% são representados por serviços como bancos e empresas de transportes.

O município conta também com uma área onde está localizado o Parque de Exposições Assis Brasil, onde ocorrem periodicamente grandes feiras ou exposições principalmente voltadas a animais manejados, como a EXPOINTER e a EXPOLEITE, que trazem a Esteio um grande número de visitantes, aumentando significativamente o fluxo de veículos.

Esteio, da mesma forma que Canoas, é também cortada pela BR116, com seu imenso fluxo de veículos automotivos, que no entanto não passam pelo seu centro urbano.

3.2.4. GRAVATAÍ

Gravataí limita ao sul com Alvorada e Viamão, ao norte com Novo Hamburgo e Taquara, a oeste com Cachoeirinha, Esteio e Sapucaia do Sul e a leste com Glorinha. A área do atual município emancipou-se de Porto Alegre em 1880, passando a chamar-se de Vila de Nossa Senhora dos Anjos de Gravataí. Sua área territorial atual é de 497,82 km², dos quais 121,37 km² formam seu aglomerado urbano.

Gravataí apresenta, ao sul, um relevo plano, formado pelas várzeas do rio Gravataí, passando a ondulado em sua região mais central até um relevo mais acentuado ao norte e nordeste. A altitude média de seu centro urbano é de 26 m. Sua população, em 2000, era constituída de 232.447 habitantes sendo que destes 92,7% são de áreas urbanas e apenas 7,3% de áreas rurais

O município, servido pelas RS 020, RS 030 e RS 118, apresenta intensa atividade industrial e comercial. Entre as mais importantes podemos citar

industrias de tintas, gráficas, alimentos, fundições, metal mecânicas, metalúrgicas, automobilísticas, industrias químicas, cerâmicas, têxteis, cervejaria, alimentos, aglomerados e outras. Porém, estas atividades, potencialmente geradoras de impactos, estão predominantemente localizadas na planície de várzea, nas proximidades de seu centro urbano, fora das abrangências e ao sul da sub-bacia do arroio Sapucaia.

Porém, no município de Gravataí, dentro da área integrante da sub-bacia, encontramos uma área de grande impacto ambiental, inserida dentro da região de características rurais do município, o Aterro Sanitário de Santa Tecla, localizado no distrito de mesmo nome. O aterro de Santa Tecla recebe os resíduos sólidos dos municípios de Esteio, Cachoeirinha, Gravataí e de parte dos resíduos de Porto Alegre. A quantidade é de 550ton/dia, formada principalmente de resíduos domésticos e entulho.

3.2.5. SAPUCAIA

Sapucaia limita ao sul com Esteio, ao norte com São Leopoldo, a leste com Gravataí e Novo Hamburgo e a oeste com Nova Santa Rita e Portão. A área do município, criado em 14 de novembro de 1961 pela Lei estadual 4203 (emancipado de São Leopoldo), é de 57 km² e seu centro urbano dista 19km do centro urbano de Porto Alegre.

A maior parte do município apresenta relevo plano porém, na região nordeste, estão localizados terrenos mais altos, alternando as planícies de várzea das proximidades do rio dos Sinos, para um relevo de colinas, de forma convexo-côncavas com declividades mais acentuadas, de cerca de 15 %. Sobrepostas a estas, encontramos morros formados por arenitos de origem eólica, da Formação Botucatu, compostos por arenitos finos a médios, róseo avermelhados. Estas formações afloram no contato com rochas de origem vulcânica da Formação Serra Geral que se estende principalmente para o norte.

O acesso ao município pode ser feito pela BR116, que cruza Sapucaia, em direção ao norte, fora de seu centro urbano, ou pela RS118, sendo que ambas as rodovias apresentam intensa movimentação de veículos automotivos.

Segundo o censo do IBGE, de 2000, a população de Sapucaia é de 122.751 habitantes. Sua população é em grande parte urbana, perfazendo um

total de 121.813 habitantes. Mas Sapucaia conta também com uma população rural de 938 habitantes, principalmente na região leste e nordeste, onde o relevo é mais acentuado. Estão cadastradas no município cerca de 200 propriedades rurais com uma área média de 28,5 ha.

Sapucaia apresenta também uma grande atividade industrial, contando com siderúrgica, indústria metal mecânica, lanifícios, curtumes, indústrias químicas, indústrias de refrigerantes, perfazendo um total de 427 indústrias, das quais 15 utilizam a queima de combustíveis para geração de energia. O potencial de emissão de material particulado, produzido por estas indústrias, fica em torno de 107 t/ano reduzidos a 90 t/ano por utilização de equipamento para reduzir estas emissões (FEPAN/GTZ, 1997).

3.2.6. TAINHAS

Os organismos utilizados para estabelecer a rede de biomonitoramento foram coletados em Tainhas.

Tainhas é uma vila pertencente ao município de São Francisco de Paula, RS, localizada na Serra Gaúcha, micro região dos Campos de Cima da Serra. A altitude média da região é de 870 metros acima do nível do mar. O clima é temperado, sem período de seca, com temperaturas médias entre 18 e 20°C, com máximas de 34 a 36°C e mínimas de -8 a -4°C. A pluviosidade anual está entre 1500 e 2000mm. Registra-se, com freqüência a precipitação de neve durante o inverno, bem como a ocorrência de intensos nevoeiros, influenciados principalmente pela Serra do Mar.

O solo, pertencente à unidade de mapeamento de Bom Jesus, é do tipo Cambisol de textura argilosiltosa, substrato basáltico, de teor ácido com teor de alumínio trocável. O relevo é ondulado, caracterizado por coxilhas e vales pequenos. A vegetação é constituída de Floresta de Araucária, Campos e Mata Atlântica, bem como de zonas de transição.

Na pequena vila, quase não existem atividades industriais, excetuando-se a atividade madeireira. O principal impacto na atmosfera da região vem da RS020, que passa nas proximidades da vila, com fluxo de veículos baixo em direção a Cambará do Sul, ao norte, ou a São Francisco de Paula, sede do município, mais ao sul.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. EQUIPAMENTO DE COLETA E REDE AMOSTRAL

4.1.1. EQUIPAMENTOS PARA COLETA DE AMOSTRAS ATMOSFÉRICAS

As amostras de partículas totais em suspensão atmosférica (PTS) foram coletadas em filtros de quartzo (ftalato de diocil) EQTZ8x10IN , da ENERGÉTICA. Antes da coleta de amostra os filtros foram previamente padronizados. Esta padronização consiste em secagem em estufa, a 60°C, por 24 horas, para eliminar umidade, sempre presente em concentrações variáveis no clima da região e possíveis impurezas voláteis que pudessem estar nos filtros, em estufa de secagem marca Biomatic modelo 305. Após este período, os filtros foram aclimatados à temperatura ambiente em dessecador e, a seguir, pesados em balança analítica marca METTLER, modelo AJ-150 (aferida durante a realização do trabalho), em presença de sílica gel com indicador para evitar absorção de umidade durante o processo de determinação de massa.

Após a coleta de material particulado, os filtros foram novamente padronizados e pesados, utilizando a mesma metodologia, sendo a massa de material particulado coletado (poeiras atmosféricas totais) determinada pela diferença das duas pesagens.

Durante todo o processo os filtros foram manuseados com pinças de teflon e utilização de luvas de látex, para evitar a contaminação dos mesmos por manuseio. Para transporte e também para o armazenamento até o processo de digestão, os filtros foram acondicionados em envelopes plásticos, a fim de evitar alteração de massa de poeira coletada por aderência de outras partículas.

Existem diversos equipamentos e metodologias para coletar e determinar as diversas frações de poeiras em suspensão atmosférica . Para trabalhos oficiais, aceitos pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, e pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, foram utilizados neste

trabalho os amostradores de grandes volumes HI-VOL PTS, para partículas totais em suspensão atmosférica.

Os amostradores HI-VOL PTS constam basicamente de um porta filtros onde foram colocados os filtros de quartzo de 8x10 polegadas, que coletam partículas através de um fluxo de ar aspirado à vazão controlada, passando pelo filtro. Esta vazão pode ser regulada para um volume de ar aspirado de 30 a 60 pés cúbicos por minuto. Além destes, o aparelho possui um controlador de tempo que permite um funcionamento semi-automático, e uma carta registradora, que faz registro contínuo de vazão durante o tempo de amostragem, permitindo o cálculo do volume total de ar amostrado, que será utilizado para o cálculo da concentração do material particulado na atmosfera, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figura 5: Amostradores HI-VOL - PTS, para coleta de partículas totais em suspensão atmosférica.

Estes amostradores medem concentrações de 2 a $750 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar. A vazão imprimida e a geometria de entrada do aparelho favorecem a coleta das partículas com diâmetro aerodinâmico entre 25 e $50\mu\text{m}$. A legislação brasileira (CONAMA 03) estabelece que as amostras devem ser tomadas “por períodos normalmente superiores a 8 horas, geralmente de 24 horas”. Neste trabalho, todas as amostras foram coletadas em períodos de amostragem de 24 horas.

4.1.2 ORIGEM DOS ORGANISMOS (LÍQUENS E BROMELIACEAS) E CONFECÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS

Liquenes– *Rimelia simulans* (Hale) Hale & Fletcher, *Canomaculina* sp. e **Bromeliaceae** - *Tillandsia usneoides* (L.) Linnaeus (**Barba-de-pau**)

Os organismos utilizados para formar a rede amostral para o biomonitoramento dos metais constituintes das partículas totais em suspensão atmosférica foram coletados no dia 22 de maio de 2003, em três diferentes locais de Tainhas, município de São Francisco de Paula, com baixo impacto ambiental:

1. na Fazenda Santa Inês, localizada próximo à RS 020, nas seguintes coordenadas:

Altitude - 956m
S 29° 18' 02.0"
W 050° 20' 20.7"

2. em área localizada a 1 km antes da FLONA (Floresta Nacional), na descida da Serra do Umbu, RS 484, nas coordenadas:

Altitude - 878m
S 29° 23' 25.0"
W 050° 22' 59.6"

3. na Fazenda Morrinhos, localizada a aproximadamente no quilômetro 4 da RS 484, nas coordenadas:

Altitude - 871m
S 29° 23' 16.9"
W 050° 24' 14.7"

No dia da coleta as condições eram inicialmente, na parte da manhã, de tempo chuvoso, com umidade relativa do ar (u.r.a.) de 88,9% e temperatura de 12,6°C. No final do período de coleta, as condições eram de tempo nublado, com u.r.a. de 60,7% e temperatura de 12°C.

Os organismos, líquens e *Tillandsia usneoides* (L.) Linnaeus (Barba-de-pau), foram coletados em forófitos diversos, em capões de mata com araucária,

aconicionados em caixas de papelão, forradas com filme plástico, para posterior classificação e confecção das unidades amostrais.

Nos dias subseqüentes, os líquens foram separados por espécies e selecionadas duas destas, *Rimelia simulans* (Hale) Hale & Fletcher, e *Canomaculina sp.*, que pela quantidade coletada em relação às outras espécies, foram suficientes para a confecção das unidades amostrais utilizadas para formar a rede de biomonitoramento.

Amostras das duas espécies de líquens selecionadas foram levadas até a Fundação Zoobotânica para identificação, tendo sido identificadas como *R.simulans* e *Canomaculina sp.*

Três amostras de cada uma das espécies de líquens selecionadas e também da bromélia foram pesadas, para determinação do seu peso fresco e, após, deixadas em estufa a 40°C para secagem até peso estável sem perda de concentrações de elementos mais voláteis, para servirem de referência para a análise de metais pesados em relação aos indivíduos de mesma espécie expostos nas unidades amostrais.

Unidades amostrais

As unidades amostrais, medindo 15 x 21cm, foram confeccionadas em madeira de cedrinho, sem tratamento químico. Nestas placas foram feitos quatro conjuntos de 2 pequenos orifícios, separados por 2 cm um do outro, para permitir a fixação dos organismos com fios de nylon.

Em cada unidade amostral, identificados nas placas com letras A, B, C e D, foram fixados: um líquen identificado como A , a *Rimelia simulans* (Hale) Hale & Fletcher, um líquen identificado como B, a *Canomaculina sp* e duas amostras de *Tillandsia usneoides* (L.) Linnaeus (Barba-de-pau), identificadas como C e D.

Cada placa foi identificada com uma etiqueta plastificada contendo as informações:

Projeto:BIOMONITORAMENTO ATMOSFÉRICO
PPG Ecologia/UFRGS
Responsável:Tania Renata Prochnow
F:91043264 - taniapro@terra.com.br

Para viabilizar a exposição das unidades amostrais foram realizados contatos com empresas ou moradores da área da sub bacia, que permitiram a colocação das placas em árvores, a uma altura não inferior a 1,5 m e não superior a 2,5 m.



Figura 6: Unidade amostral (fotografada após 10 meses de exposição) - observa-se perda quase total da *R.simulans* por ação de predadores

4.1.3. LOCALIZAÇÃO DOS COLETORES DE MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO ATMOSFÉRICA E DA REDE DE BIOMONITORAMENTO

Coleta do material particulado (Partículas Totais em Suspensão Atmosférica-PTS)

Os Amostradores de Grandes Volumes HI-VOL PTS foram colocados em três pontos distintos da sub bacia do arroio Sapucaia, coincidindo com pontos de exposição das unidades amostrais:

Ponto 1-no trecho inferior, em área caracterizada principalmente por atividades industriais, nas proximidades da BR116, nas coordenadas S 29° 52'02,7'', W 51° 11'09,3'' e altitude de 6 m, igualmente no município de Canoas.

Ponto 2- no trecho médio, de ocupação urbana mas com interferência de atividades industriais próximas (Campus da Universidade Luterana do Brasil), na coordenadas S 29° 53'08,0'', W 51° 09'25,4'' e a uma altitude de 38 m, no município de Canoas;

Ponto 3- no trecho superior da área de estudo, em região de características rurais, nas coordenadas S 29° 50'30,1'', W 51° 02'57,9'' a uma altitude de 48m, em Santa Tecla, município de Gravataí;

Foram coletados, no total 83 filtros com amostras de partículas totais em suspensão atmosférica, em média 27 filtros em cada ponto, com coletas distribuídas ao longo de um ano, iniciando 2 meses antes do período de exposição dos biomonitores . Os amostradores foram sempre programados para iniciar as coletas simultaneamente, no mesmo dia e horário de início e de término, coletando volumes de ar em vazão controlada por um período de 24 horas.

Rede de Biomonitoramento

A rede amostral, formada pelas placas com os organismos vivos (unidades amostrais), foi estabelecida em três linhas, passando cada uma delas por cada um dos pontos descritos acima para coleta de partículas atmosféricas (ver fig. 137):

Linha 1: no sentido sul a norte, passando pelo ponto de coleta de particulados atmosféricos, na região caracterizada atividades industriais, ao longo da BR116, de 500 em 500m (no trecho mais estreito da bacia), com aproximadamente 3,5 km de extensão, totalizando sete pontos de exposição;

Linha 2: no sentido sul a norte, passando pelo ponto de coleta de particulados atmosféricos, localizado no campus central da ULBRA, em região caracterizada por ocupações urbanas com extensão aproximada de 5,5 km, totalizando 11 pontos de exposição;

Linha 3: no sentido de norte a sul, passando pelo ponto de coleta de particulados atmosféricos de região caracterizada por atividades rurais, mineradoras e aterro sanitário (trecho mais largo da bacia) com aproximadamente 7,5km de extensão, totalizando 14 pontos de exposição.

As coordenadas e as altitudes dos pontos de localização das unidades amostrais, determinadas com GPS, podem ser observados nas tabelas abaixo.

Tabela 5 - Coordenadas dos pontos da rede amostral na linha 1

Ponto	COORDENADAS		Altitude (m)
	S	W	
1.1	29° 52' 16,8''	51° 10' 51,7''	7
1.2	29° 52' 02,7''	51° 11' 09,3''	6
1.3	29° 51' 47,7''	51° 10' 52,3''	6
1.4	29° 51' 26,1''	51° 10' 52,0''	7
1.5	29° 51' 12,3''	51° 10' 51,6''	10
1.6	29° 51' 01,7''	51° 10' 46,1''	13
1.7	29° 50' 30,0''	51° 10' 40,0''	8

Tabela 6 - Coordenadas dos pontos da rede amostral na linha 2

Ponto	COORDENADAS		Altitude (m)
	S	W	
2.1	29° 53' 26,7''	51° 09' 03,4''	21
2.2	29° 53' 08,0''	51° 09' 25,4''	38
2.3	29° 53' 06,4''	51° 09' 44,7''	28
2.4	29° 52' 35,4''	51° 09' 54,1''	23
2.5	29° 51' 47,7''	51° 10' 33,6''	22
2.6	29° 51' 34,6''	51° 10' 29,6''	22
2.7	29° 51' 16,4''	51° 10' 20,9''	24
2.8	29° 51' 00,1''	51° 10' 11,5''	23
2.9	29° 50' 00,1''	51° 09' 56,6''	22
2.10	29° 50' 29,2''	51° 09' 54,0''	23
2.11	29° 51' 24,8''	51° 08' 20,4''	45

Tabela 7 - Coordenadas dos pontos da rede amostral na linha 3

Ponto	COORDENADAS		Altitude (m)
	S	W	
3.1	29° 49' 12,9''	51° 01' 29,0''	135

3.2	29° 49' 45,9''	51° 02' 15,7''	81
3.3	29° 49' 48,0''	51° 02' 37,8''	68
3.4	29° 50' 01,0''	51° 02' 51,8''	63
3.5	29° 50' 30,1''	51° 02' 57,9''	48
3.6	29° 50' 51,4''	51° 03' 04,2''	62
3.7	29° 51' 10,3''	51° 03' 03,4''	68
3.8	29° 51' 17,0''	51° 03' 22,0''	71
3.9	29° 51' 39,3''	51° 03' 20,5''	67
3.10	29° 51' 59,1''	51° 03' 19,4''	37
3.11	29° 52' 17,6''	51° 03' 21,2''	40
3.12	29° 52' 36,1''	51° 03' 17,4''	42
3.13	29° 52' 55,9''	51° 03' 28,6''	51
3.14	29° 53' 27,5''	51° 03' 54,1''	48

Na Linha 1, as características ocupacionais dos locais que abrigaram as unidades amostrais foram:

-Ponto 1.1 - América Latina Logística (ALL), empresa de transporte ferroviário localizada junto à elevada da Av. Guilherme Shell sobre a ferrovia

-Ponto 1.2 - Distribuidora Ipiranga, empresa petroquímica, na Av. Guilherme Shell, em Canoas (ponto 1 de coletas de PTS)

-Ponto 1.3 - Betanin, empresa fabricante de vassouras plásticas, na Av. Guilherme Shell, em Esteio

-Pontos 1.4, 1.5 e 1.6 - localizados no Parque de Exposições, na Av. Guilherme Shell, em Esteio, sendo que o ponto 1.6 era localizado próximo ao trevo rodoviário de acesso ao centro urbano de Esteio

-Ponto 1.7 - Residência localizada ao norte do bairro da Pedreira, em Esteio, na rua Martinho Lutero

Na Linha 2, as unidades amostrais foram colocadas nos locais descritos abaixo:

-Ponto 2.1 - na parte posterior do Campus da ULBRA em Canoas, em área de campo

- Ponto 2.2 - na estação agro climatológica do Campus da ULBRA (ponto 2 das coletas de PTS)
- Ponto 2.3 - Campus da ULBRA, atrás do prédio da Central de Laboratórios
- Ponto 2.4 - na distribuidora de gases especiais AGA, localizada na av. Ozanan, Canoas
- Ponto 2.5 - na distribuidora de combustíveis Texaco, na R. Bento Gonçalves, em Esteio
- Pontos 2.6, 2.7 e 2.8 - em residências particulares localizadas a distância de aproximadamente 500 m uma da outra, na R. Bento Gonçalves, em Esteio
- Ponto 2.9 e 2.10 - em residências particulares localizadas a distância de aproximadamente 500 m uma da outra, na R. Pelotas, em Esteio, sendo que o ponto 2.10 está praticamente na divisa com Sapucaia do Sul
- Ponto 2.11 - em residência particular localizada na R. Gildo de Freitas, em Esteio

Na Linha 3, as características ocupacionais dos locais que abrigaram as unidades amostrais foram:

- Ponto 3.1 - localizado junto ao curso do arroio, em área de campo, nas proximidades de pequeno alambique artesanal em Santa Tecla, Gravataí
- Ponto 3.2 - em residência rural de Santa Tecla
- Ponto 3.3 - nas proximidades da pedreira de Santa Tecla, em residência localizada na margem do arroio
- Pontos 3.4, 3.5 e 3.6 - em residências particulares rurais, localizadas a distâncias aproximadas de 500 m, uma da outra, ao longo da estrada de Santa Tecla
- Ponto 3.7 - em terreno de armazém rural, já nas proximidades do aterro sanitário de Santa Tecla
- Ponto 3.8 - na Escola Municipal Humberto de Campos, localizada em frente ao aterro sanitário de Santa Tecla
- Pontos 3.9, 3.10, 3.11, 3.12 - em residências particulares rurais, localizadas a distâncias aproximadas de 500 m uma da outra, ao longo da

estrada de Santa Tecla, sendo que o ponto 3.12 fica na encruzilhada com a Estrada da Costa do Ipiranga

-Ponto 3.13 - localizado na Escola Municipal Costa do Ipiranga, em área próxima às instalações da Eletrosul

-Ponto 3.14 - no bordo da RS118, abrigado em terreno de pequena empresa de transportes.

4.1.4. DADOS CLIMÁTICOS

Os dados climáticos foram obtidos na estação agro-climatológica da ULBRA. As coletas dos dados coincidem com todo o período de exposição das unidades amostrais, de junho de 2003 a março de 2004.

Foram realizadas três avaliações diárias: às 9:00h, às 15:00 e às 21:00h, sendo medidas as variáveis: pressão, temperatura, umidade relativa do ar, direção dos ventos, velocidade dos ventos e a ocorrência de precipitações pluviométricas.

4.2. EXTRAÇÃO DOS METAIS DAS AMOSTRAS COLETADAS

4.2.1. DOS FILTROS COM PARTICULADOS ATMOSFÉRICOS

Após a determinação da massa de material particulado coletado, os filtros foram submetidos à digestão ácida, em sistema fechado, utilizando digestor de microondas PROVECTO, modelo DGT-100 para 12 provas, com pressão máxima de 16 atm.

O material coletado contém os elementos a serem analisados nas poeiras atmosféricas, em forma de diferentes estruturas químicas, inorgânicas e também orgânicas, com diferentes solubilidades e também diferentes tamanhos de partículas. O processo de digestão objetiva preparar o material coletado para a determinação das espécies químicas por espectrofotometria de absorção atômica, através da mineralização e solubilização de todo o material particulado

No processo de preparo da amostra para o processo de digestão e também para avolumar a amostra digerida ao seu volume final para a análise de elementos, são necessárias transferências de líquidos e medições de volumes.

Para reduzir erros nestas operações que possam ser embutidos nos valores finais das análises, foram utilizados equipamentos e vidraria volumétrica de boa qualidade, adequado às práticas normais de laboratórios de espectrofotometria de absorção atômica.

Também em relação à limpeza da vidraria e do material utilizado nos procedimentos de digestão e análise, foram realizados procedimentos cuidadosos para evitar acréscimo de material que pudesse estar presente como contaminante. De maneira geral todas as vidrarias foram lavadas e deixadas de molho em solução de ácido nítrico 0,1 M para a eliminação de íons que pudessem interferir em quaisquer determinações.

Todas as digestões e análises das amostras de particulados, bem como de organismos, foram realizadas utilizando reagentes grau p.a. e padrões para absorção atômica da marca MERCK. As amostras foram avolumadas para as análises com água ultra pura obtida por sistema ultrapurificador de água marca Millipore modelo MilliQ Gradient A10.

O método de digestão utilizado encontra-se descrito em PROCHNOW et al, 1999, no qual se utiliza uma mistura nitro-clorídrica concentrada (água régia) para digerir os filtros de quartzo com o material particulado (PTS), sendo padronizadas as condições de digestão em relação ao sistema de digestão fechada por microondas. Cada amostra foi fragmentada em duas partes e colocada em bloco digestor com 10 ml da solução digestora, sendo submetida às seguintes etapas de digestão por microondas:

- 5 minutos a potencia de 350W
- 2 minutos a potencia 0
- 5 minutos a potencia de 550 W
- 5 minutos a potencia 0

O material digerido esfriou por duas horas, após as quais o volume foi completado a 20 ml, refazendo-se todas as etapas de digestão. Após esfriar novamente por duas horas, o material digerido (juntando-se as duas frações de cada amostra) foi filtrado com papel de filtro analítico Whatmann R42, lavando-se o resíduo fartamente e avolumado a 250 ml com água Milli-Q. O filtrado foi

armazenado em frasco plástico previamente limpo (deixado em solução de ácido nítrico 0,1N por 24 horas e, após isto, seco).

As amostras assim preparadas foram identificadas e preservadas em freezer, para posterior análise por espectrofotometria de absorção atômica.

Filtros brancos foram também submetidos à mesma metodologia para investigar nos mesmos e nos reagentes utilizados no processo de digestão, a possível presença e concentrações de contaminantes comuns aos elementos a serem determinados nas amostras de particulados atmosféricos e descontar estes valores das concentrações determinadas para as amostras atmosféricas.

4.2.2. DOS ORGANISMOS (Liquens e Barba-de-pau)

A digestão das amostras de liquens e barba-de-pau seguiu os mesmos critérios de limpeza de material e vidraria utilizados nesta técnica, bem como na utilização dos reagentes e água ultra pura.

Antes da digestão, todas as amostras foram lavadas em sonificador, com água Milli-Q e após, secas em estufa a uma temperatura de 50°C, até peso estável. Após a secagem, as amostras foram aclimatadas à temperatura ambiente em dessecador com sílica gel com indicador e, após, foi realizada a pesagem da amostra para digestão. De cada amostra foi pesada com exatidão (de 10^{-4}) uma alíquota de aproximadamente 0,2g. Após a pesagem, a amostra foi submetida à digestão ácida com 4,0ml de ácido nítrico (HNO_3) a 65% e 1,0ml de ácido fluorídrico (HF) a 48%, em bloco digestor, e submetida às seguintes etapas de digestão por microondas:

- 5 minutos a potência de 400W
- 3 minutos a potência 0

O material digerido esfriou por duas horas, após as quais foram refeitas todas as etapas de digestão. Após esfriar novamente por duas horas, o material digerido foi filtrado com papel de filtro analítico Whatmann R42, e avolumado a 250 ml com água Milli-Q. O filtrado foi armazenado em frasco plástico previamente limpo (deixado em solução de ácido nítrico 0,1N por 24 horas e, após

isto, seco) e preservado em freezer, para posterior análise por espectrofotometria de absorção atômica.

4.3. DETERMINAÇÃO DOS METAIS

Após o processo de digestão e preparo de amostras para determinação de elementos presentes nos particulados atmosféricos, as leituras dos mesmos foram feitas em espectrofotômetro de absorção atômica marca Perkin-Elmer modelo 4000 com opções de chama (ar-acetileno e óxido nitroso-acetileno) e forno de grafite marca Perkin-Elmer modelo HGA-400 com auto amostrador marca Perkin-Elmer modelo AS-40 e gerador de hidretos Perkin Elmer mod. MHS-10, no laboratório de Química Instrumental da Universidade Luterana do Brasil - ULBRA.

Os elementos lítio, sódio e potássio foram determinados por fotometria de chama em fotômetro de chama marca Corning modelo 400 com filtros para lítio, sódio e potássio, devido à boa resposta deste equipamento, comprovada por análises teste com padrões conhecidos, agilidade do método e baixo custo das análises.

A calibração do Espectrofotômetro de Absorção Atômica é um dos pontos mais críticos deste tipo de análise quando se visa obter resultados absolutamente confiáveis, devendo ser otimizados para a leitura de cada elemento todas as variáveis envolvidas em seu uso. Foram otimizadas as seguintes variáveis:

a) lâmpada de cátodo oco específica para o elemento a ser analisado, ajustando a intensidade de corrente. A importância da relação corrente lâmpada é muito importante pois, com corrente alta o nível de ruído é diminuído, mas a sensibilidade diminui. Para elementos de baixo ponto de fusão, como Zn e Cd, a sensibilidade é muito diminuída devido ao fenômeno de auto-absorção. A auto-absorção consiste na absorção de energia do próprio cátodo pelos vapores do cátodo gerados dentro do tubo da lâmpada. Assim a intensidade da luz incidente é baixa.

Com corrente baixa, diminui a auto absorção e aumenta a sensibilidade, mas para correntes muito baixas, a intensidade da luz diminui, provocando um aumento no nível do ruído e uma queda na relação sinal/ruído.

b) comprimento de onda selecionado, dentre a gama de comprimentos de onda possíveis para um mesmo elemento, para maior sensibilidade do método, verificando para cada analito, filtros, monocromador e fenda.

c) mistura de gases mais apropriada para cada elemento, bem como sua pressão e vazão. Cada analito apresenta uma chama ideal capaz de dissociá-lo e produzir átomos livres. A chama de ar-acetileno é a mais usada em análises por espectrofotometria de absorção atômica, contemplando a análise de aproximadamente 35 elementos, mas não é aplicável a elementos que formam óxidos refratários na chama, como Al, B, Ba, Be e outros.. Apresenta uma temperatura máxima de 2.300°C e utiliza queimador padrão. A chama de óxido nitroso-acetileno apresenta temperatura alta, aproximada de 3.000°C e exige queimador especial, de fenda 0,4 x 50mm. Esta chama é utilizada para determinar os elementos formadores de óxidos refratários.

d) característica de chama apropriada para a análise de cada elemento. Na espectrofotometria de absorção atômica, a chama é um meio de dissociar o analito e produzir átomos livres. Como cada elemento necessita de energia específica para produzir átomos livres, devem ser investigados na chama os fatores importantes para alcançar este estado, como altura da chama, temperatura, oxidante, redutora, etc.

e) sensibilidade do método: determinação de menor quantidade do elemento, em ppm, passível de leitura pelo equipamento

f) faixa de linearidade: concentração onde o gráfico de calibração é dado por uma reta. É de grande interesse que as leituras sejam realizadas dentro desta faixa para que haja minimização de erros por inflexão da curva de calibração.

g) interferentes: são estudos das condições de análise, da matriz, ou de outros elementos presentes que possam vir a interferir na análise e desta maneira alterar os resultados. Por exemplo, na análise do Ni, o Ca é interferente em chama ar-acetileno, causando efeito de absorção molecular, o que pode ser corrigido utilizando chama mais quente ou corrigindo a linha espectral.

h) teste de sensibilidade: dado pela leitura em absorbância, de um padrão pré-estabelecido pelo fabricante do equipamento, que deve gerar um sinal característico ao padrão lido

i) determinação das curvas de calibração, realizando diversas calibrações, em faixas distintas e com número de padrões variados, para testar a confiabilidade do aparelho no que se refere às curvas de calibração.

A Espectrofotometria de Absorção Atômica com chama tem certas limitações, principalmente em relação aos limites de detecção que podem ser alcançados. Como alternativa, para aumentar a sensibilidade, se utiliza o forno de grafite. Os limites de detecção chegam a um picograma para uma grande variedade de elementos, em equipamento adequado. Por esta técnica podem ser determinados cerca de 64 elementos, analisáveis em grande variedade de amostras, mesmo sólidas.

Apesar da importância desta técnica, a mesma apresenta um maior risco de interferências (da matriz, da presença de elementos interferentes na mesma amostra). É também uma análise que requer uma cuidadosa otimização de cada etapa que compõe este método analítico, necessitando mais tempo do que a técnica de chama. Mesmo assim, devido ao seu excelente limite de detecção para alguns elementos, esta técnica apresenta-se extremamente vantajosa e foi utilizada neste trabalho para determinar as concentrações dos elementos como o chumbo e o cobre nas poeiras atmosféricas.

Após a otimização das condições do equipamento foi feita, para cada elemento analisado, a determinação do grau de recuperação. O grau de recuperação foi estabelecido com um teste que envolveu uma matriz de concentração conhecida e a mesma matriz adicionada com matriz similar contendo a amostra problema. O grau de recuperação obtido deve apresentar-se entre 90 e 110% para que a resposta do equipamento seja considerada boa.

Após cada nova bateria de análises ou após desligar e religar o equipamento, foi realizada nova calibração para garantir a repetibilidade de resultados.

Seguem as condições utilizadas nas determinações de cada um dos elementos analisados:

4.3.1. DETERMINAÇÕES VIA ABSORÇÃO ATÔMICA COM CHAMA AR-ACETILENO

Utilizando a técnica de absorção atômica com chama de ar-acetileno, foram determinados os elementos ferro, magnésio, manganês e zinco. Estão relacionadas abaixo, as condições específicas de leitura de cada um destes elementos.

a) **Ferro**: comprimento de onda: 248,3nm; lâmpada: Fe – cátodo oco (30mA); fenda espectral: 0,2H; faixa de linearidade: 5 mg/l; padrões utilizados: 5 mg/l; limites de detecção: 0,004 mg/l

b) **Magnésio**: comprimento de onda: 285,2nm; lâmpada: Mg – cátodo oco (8mA); fenda espectral: 0,7H; faixa de linearidade: 0,5 mg/l; padrões utilizados: 0,5 mg/l; limites de detecção: 0,0001 mg/l

c) **Manganês**: comprimento de onda: 279,5nm; lâmpada: Mn – cátodo oco (22mA); fenda espectral: 0,2H; faixa de linearidade: 2 mg/l; padrões utilizados: 2 mg/l; limites de detecção: 0,002 mg/l

d) **Zinco**: comprimento de onda: 213,9nm; lâmpada: Zn – cátodo oco (15mA); fenda espectral: 0,7H; faixa de linearidade: 1 mg/l; padrões utilizados: 1 mg/l; limites de detecção: 0,002 mg/l

4.3.2. DETERMINAÇÕES VIA ABSORÇÃO ATÔMICA COM CHAMA ÓXIDO NITROSO-ACETILENO

Utilizando a técnica de absorção atômica com chama de óxido nitroso-acetileno, foram determinados os elementos alumínio e cálcio. Estão relacionadas abaixo, as condições específicas de leitura de cada um destes elementos:

a) **Alumínio**: comprimento de onda: 309,3nm; lâmpada: Al – cátodo oco (25mA); fenda espectral: 0,7H; faixa de linearidade: 100 mg/l; padrões utilizados: 50 mg/l; limites de detecção: 0,03 mg/l

b) **Cálcio**: comprimento de onda: 422,7nm; lâmpada: Ca – Mg – cátodo oco (20mA); fenda espectral: 0,7H; faixa de linearidade: 5 mg/l; padrões utilizados: 5 mg/l; limites de detecção: 0,002 mg/l

4.3.3 DETERMINAÇÕES VIA ABSORÇÃO ATÔMICA COM FORNO DE GRAFITE

Utilizando a técnica de absorção atômica com forno de grafite, foram determinados os elementos chumbo e cobre. Estão relacionadas abaixo, as condições específicas de leitura de cada um destes elementos:

a) **Chumbo**: comprimento de onda: 283,3nm; lâmpada: Pb – EDL (10W); fenda espectral: 0,7L; tubo de grafite: comum; temperatura de queima: 450°C; temperatura de atomização: 1100°C; faixa de linearidade: \approx 190 $\mu\text{g/l}$; padrões utilizados: 50, 100 e 150 $\mu\text{g/l}$; limites de detecção: 0,05 $\mu\text{g/l}$

b) **Cobre**: comprimento de onda: 324,7nm; lâmpada: Cu – cátodo oco (15mA); fenda espectral: 0,7L; tubo de grafite: comum; temperatura de queima: 900°C; temperatura de atomização: 2300°C; faixa de linearidade: \approx 90 $\mu\text{g/l}$; padrões utilizados: 15, 30 e 45 $\mu\text{g/l}$; limites de detecção: 0,02 $\mu\text{g/l}$

4.3.4. DETERMINAÇÕES VIA ABSORÇÃO ATÔMICA COM GERAÇÃO DE HIDRETOS

O elemento mercúrio foi determinado utilizando a técnica de absorção atômica com vapor frio (geração de hidretos), por ser um elemento que pode ser obtido no estado fundamental em temperatura ambiente. Em técnicas que envolvem altas temperaturas, este analito se perderia por rápida vaporização. Estão relacionadas abaixo, as condições específicas de leitura deste elemento:

Mercúrio: comprimento de onda: 253,6nm; lâmpada: Hg EDL (5W); fenda espectral: 0,7H; faixa de linearidade: \approx 50 $\mu\text{g/l}$; padrões utilizados: 10, 20 e 30 $\mu\text{g/l}$; redutor: Borohidreto de sódio; limites de detecção: 0,001 $\mu\text{g/l}$

4.3.5. DETERMINAÇÕES VIA FOTOMETRIA DE CHAMA

Os elementos sódio, lítio e potássio foram quantificados utilizando a técnica de fotometria de chama, com chama de ar-GLP e filtros de interferência específicos para cada determinação. Para as determinações de sódio e potássio calibrou-se o aparelho com padrões de 5, 20, 50 e 100 ppm, dependendo da faixa de calibração exigida pela amostra em cada caso. Para as determinações de lítio o aparelho foi calibrado com padrões de 1 e 10 mg/l, da mesma maneira. Os

limites de detecção foram, para o sódio e o potássio: 0,01 mg/l e para o lítio: 0,001 mg/l.

Todas as leituras foram realizadas em triplicata em todas as amostras e calculados os valores de média e desvio padrão para cada uma. A partir das concentrações determinadas para cada elemento na solução de digestão e da massa de material particulado digerido, foram calculadas as concentrações dos elementos em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, para caracterizar a concentração de cada elemento analisado na atmosfera da região onde foi coletada a amostra, e em mg do elemento por kg de poeira, para caracterizar a poeira atmosférica presente em cada região amostrada.

4.4. APLICAÇÃO DA MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

Alguns filtros, de diferentes pontos de coleta foram separados para estudos com microscopia eletrônica de varredura. Destes filtros foram retiradas pequenas seções de aproximadamente 5x5mm, com auxílio de uma lâmina de micrótomo. A lâmina de micrótomo foi utilizada por possibilitar cortes extremamente finos sem romper ou danificar a amostra.

As pequenas seções foram fixadas em stubs, apropriados para microscopia eletrônica de varredura, e metalizados com ouro/paládio em um metalizador Bad-Tec MED 020, com corrente de 40 miliampéres, por um tempo de 70 segundos e aproximadamente 15 Angströms, para deposição metálica.

Após este procedimento, as amostras foram estudadas em Microscópio Eletrônico de Varredura com EDX (Energia Dispersiva de Raios-X) XL20, marca Phillips, modelo XL20.

É de grande interesse investigar a origem das partículas em suspensão atmosférica: natural orgânica ou inorgânica, partículas de origem industrial, de combustão ou mesmo pequenos organismos vivos ou frações destes organismos que possam estar presentes nas amostras e auxiliar no estudo de caracterização na atmosfera da região, bem como sua distribuição no material coletado.

Este estudo é impossível de ser realizado utilizando uma técnica destrutiva como ocorre no preparo da amostra para análise por espectrofotometria de absorção atômica, durante a digestão da amostra. A microscopia eletrônica se apresenta como uma técnica que vem possibilitar este estudo.

Esta mesma técnica também pode ser de grande valia para investigar a relação do tamanho de partícula coletada com o tipo de amostrador. Por inúmeros trabalhos, sabemos que os amostradores não apresentam eficiência de 100% na coletas de amostras para os quais foram construídos. A eficiência pode diminuir ainda mais se não estiverem bem calibrados. Como a técnica de microscopia eletrônica de varredura permite não apenas observar, mas também medir o tamanho da partícula, fornece a possibilidade de visualizar esta relação .

No entanto, esta técnica não substitui a análise de material particulado por espectrofotometria de absorção atômica pois, mesmo com EDX, a análise dos elementos que compõe as poeiras não é suficientemente sensível para determinar elementos traço, indicando apenas a percentagem dos principais constituintes da área irradiada da amostra.

A técnica foi igualmente utilizada para investigar possíveis diferenças estruturais entre amostras de *Tillandsia usneoides* coletadas em áreas de baixo impacto ambiental, as nativas de áreas impactadas e as expostas na rede amostral durante o período de dez meses.

4.5. APLICAÇÃO DE GEOPROCESSAMENTO NA DEFINIÇÃO DO MAPA DE CONCENTRAÇÕES DOS ELEMENTOS NA ATMOSFERA E EM ORGANISMOS

4.5.1. LOCALIZAÇÃO DAS TRANSECCIONAIS E LIMITES DA BACIA SOBRE O MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA (SEG. EMATER)

O mapa da área total de trabalho na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia foi elaborado com a utilização do software Adobe Illustrator 10, tendo como base imagens de satélite (Projeto EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária "CD Brasil Visto do Espaço"), formadas por mosaicos gerados a partir de imagens recentes dos satélites Landsat 5 e 7, pela EMBRAPA Monitoramento por Satélite, com imagens do Rio Grande do Sul de 08/97/2002.

A localização das coordenadas nas imagens de satélite foi feita com auxílio da carta topográfica, Folha SH.22-V-D-VI-4, MI-2970/4, do Ministério do Exército.

Os limites da bacia foram estabelecidos por superposição de layer obtido a partir de mapa da Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Sapucaia, elaborado pelo Programa Integrado de Recuperação de áreas Degradadas - METROPLAN.

As linhas amostrais foram plotadas sobre a figura obtida, a partir de localizações dos pontos de exposição obtidas com a utilização em campo de GPS GARMIN (ver fig.137).

4.5.1. ZONEAMENTO DAS CONCENTRAÇÕES DOS ELEMENTOS NA ATMOSFERA E SUA RELAÇÃO COM AS CONCENTRAÇÕES NOS BIOINDICADORES

A partir da elaboração do mapa base, foi construído um mapa de gradientes obtidos a partir de concentrações médias de cada elemento na atmosfera, calculadas pela análise dos elementos no material particulado em suspensão atmosférica coletado em cada linha amostral. Consideraram-se estas concentrações como representativas da região onde se localiza cada linha amostral (ver fig.138). Os limites das zonas de cada região foram estabelecidos a partir das informações da estrutura espacial do tipo de uso (industrial, urbana e rural).

Sobre este mapa de gradientes de concentrações dos elementos na atmosfera, foram construídos layers localizando sobre estes gradientes, as maiores concentrações médias de cada elemento nos indivíduos de cada uma das espécies estudadas, evidenciando (ou não) a relação: concentrações dos elementos por espécie / concentrações dos elementos na atmosfera.

5.RESULTADOS

5.1. CLIMA

As variáveis climáticas da área de estudo, do período de janeiro de 2003 a abril de 2004, foram obtidas na Estação Agroclimatológica da ULBRA, com três leituras diárias, sendo a primeira realizada às 8:00h, a segunda às 15:00h e a terceira às 21:00.

Trabalhando com os dados planilhados obtivemos as frequências percentuais das direções dos ventos em cada mês deste período:

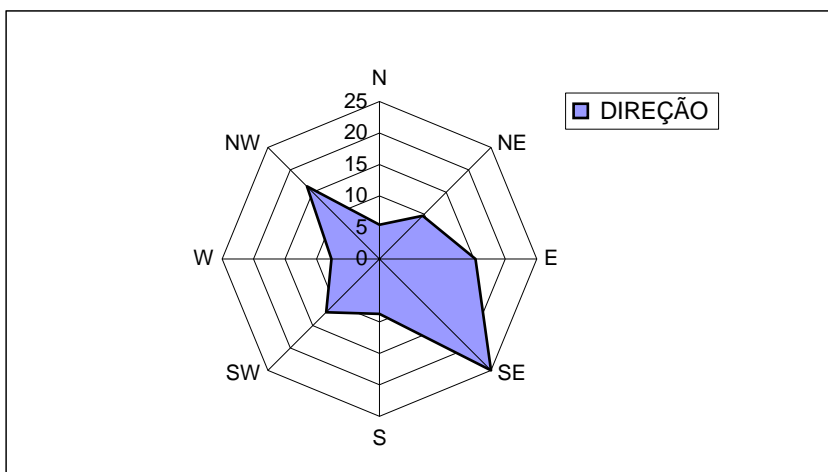


Fig.7- Frequência percentual da direção dos ventos em junho/03

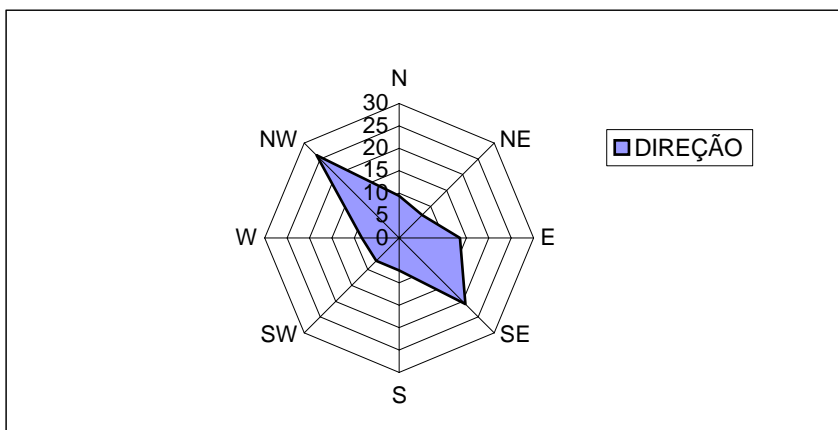


Fig.8- Frequência percentual da direção dos ventos em julho/03

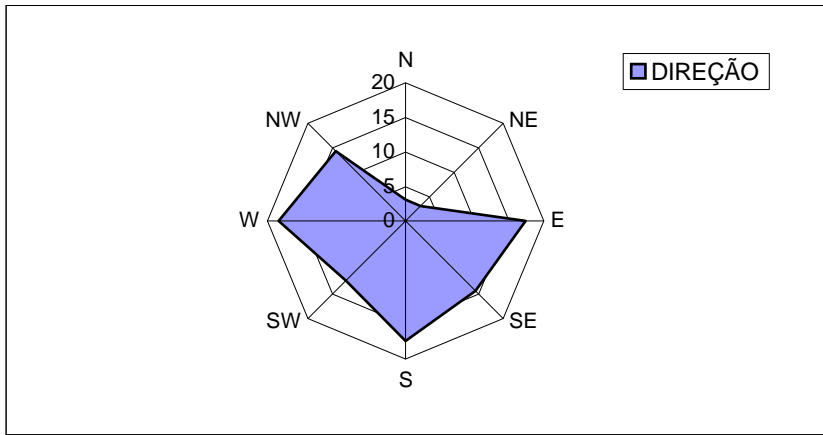


Fig.9- Frequência percentual da direção dos ventos em agosto/03

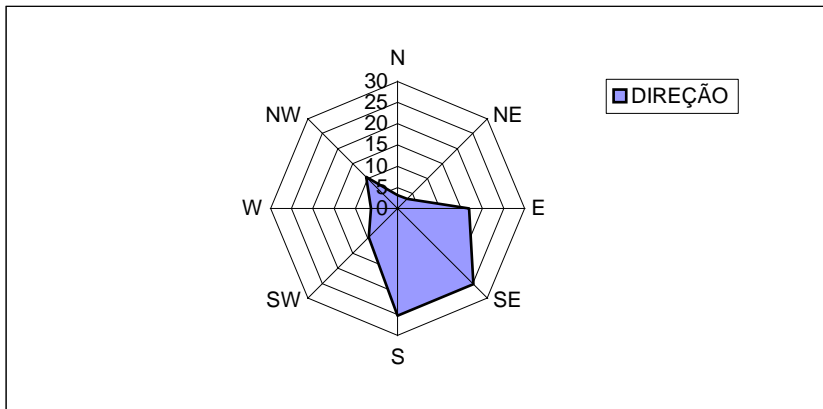


Fig.10- Frequência percentual da direção dos ventos em setembro/03

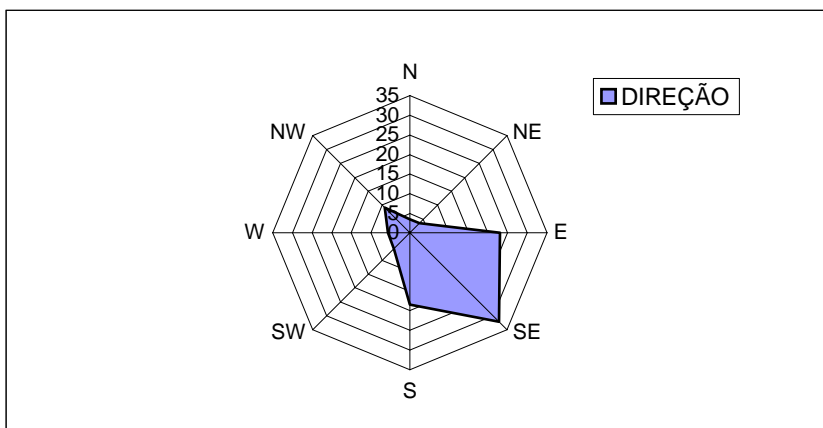


Fig.11- Frequência percentual da direção dos ventos em outubro/03

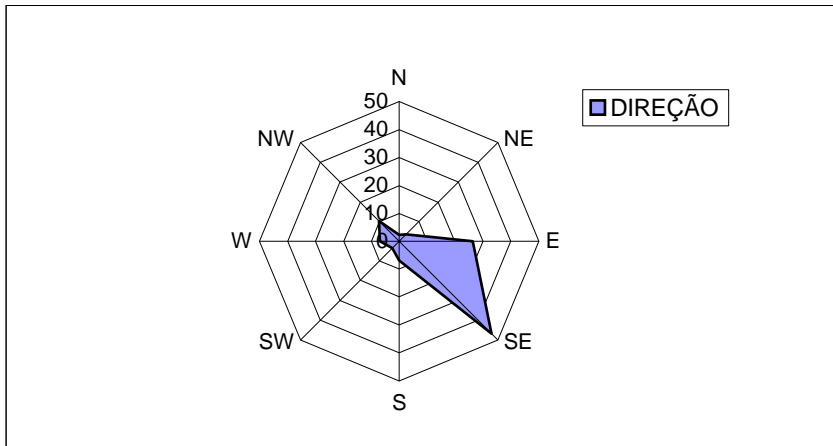


Fig.12- Frequência percentual da direção dos ventos em novembro/03

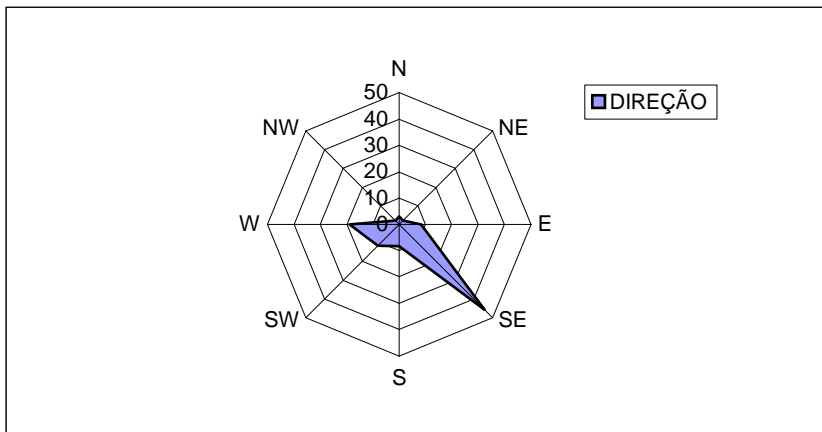


Fig.13- Frequência percentual da direção dos ventos em dezembro/03

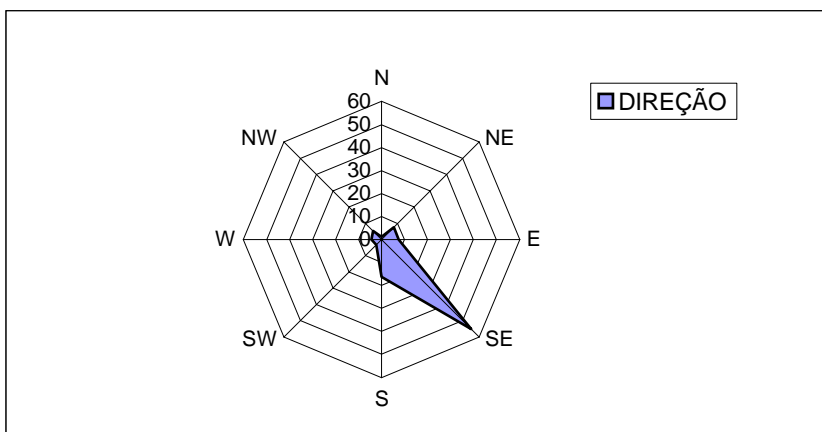


Fig.14- Frequência percentual da direção dos ventos em janeiro/03

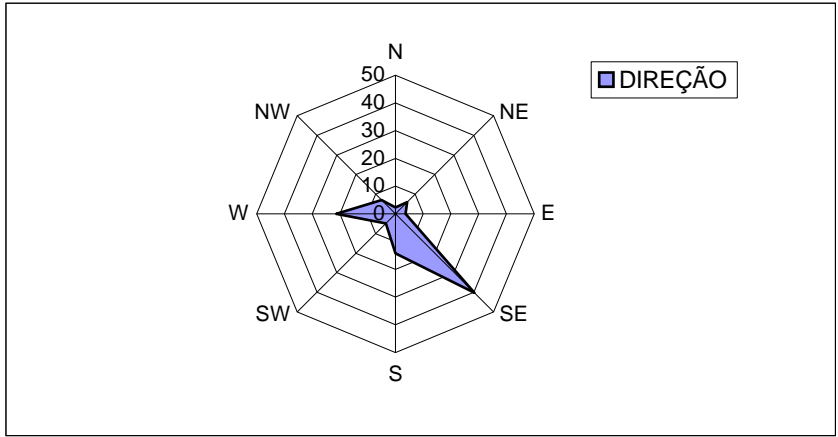


Fig.15- Freqüência percentual da direção dos ventos em fevereiro/03

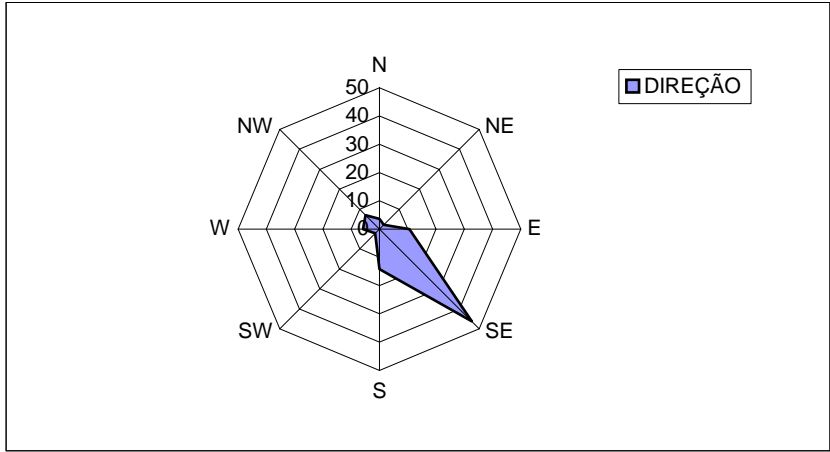


Fig.16- Freqüência percentual da direção dos ventos em março/03

Durante o período de junho a setembro os ventos apresentaram uma maior variação de direções. De outubro até março esta variação foi bem menos intensa, predominando o vento sudeste.

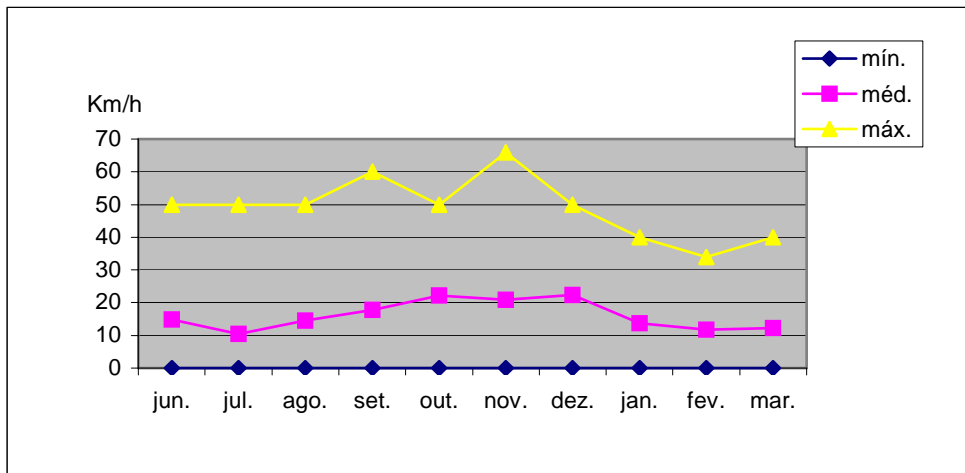


Fig.17- Variação da velocidade dos ventos .

As maiores velocidades dos ventos ocorreram nos meses de setembro e novembro; as médias mensais mais elevadas ocorreram de setembro a dezembro. O período de janeiro a março foi de ventos mais fracos.

A pressão atmosférica apresentou valores mais altos durante a época fria, os valores mais baixos ocorreram no período do final da primavera e início de verão.

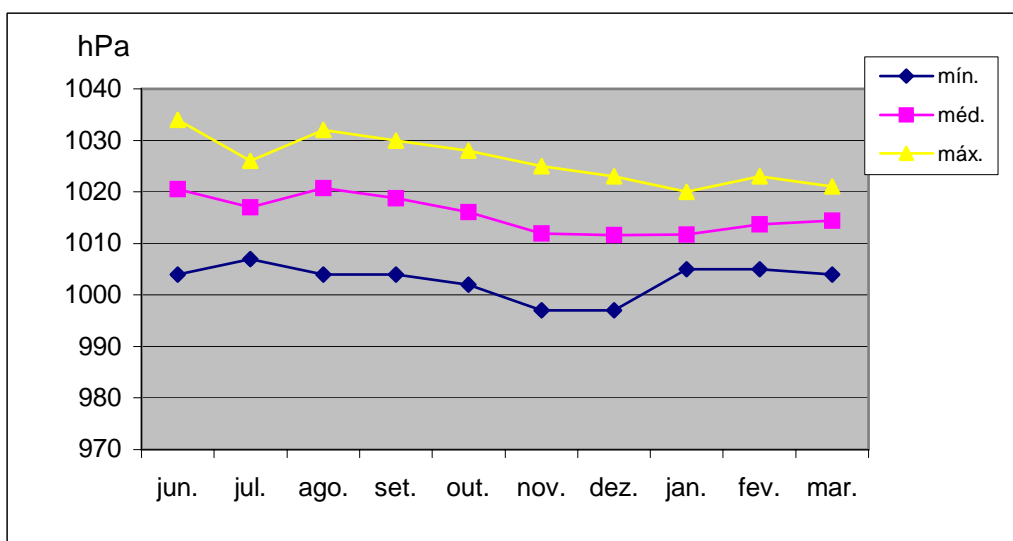


Fig.18- Variação da pressão atmosférica .

Os meses de junho e julho apresentaram as maiores Umidades Relativas (UR) do ar, ocorrendo nestes meses as maiores URs mínimas e médias do período. A menor UR deste período ocorreu no mês de novembro, mas em média o mês de dezembro teve as menores URs.

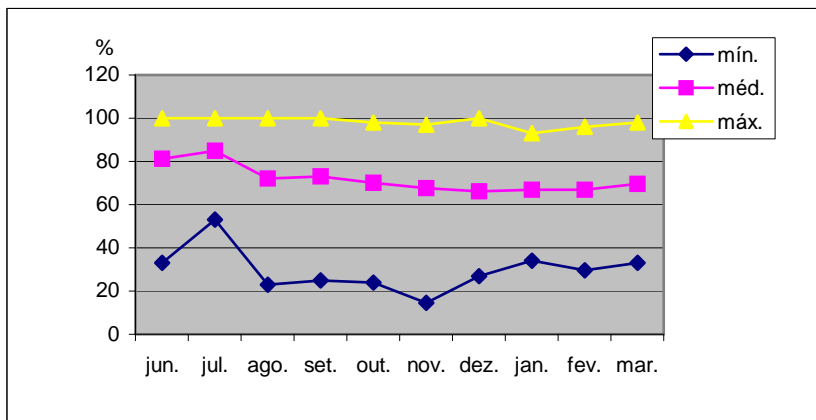


Fig.19- Variação da umidade relativa do ar.

As maiores médias de precipitações pluviométricas do período ocorreram no mês de dezembro, com 2,24mm, ocorrendo também neste mês a maior precipitação, de 70,55mm. Os meses mais secos do período foram setembro de 2003 e março de 2004, com médias pluviométricas de 0,48 e de 0,39mm, respectivamente.

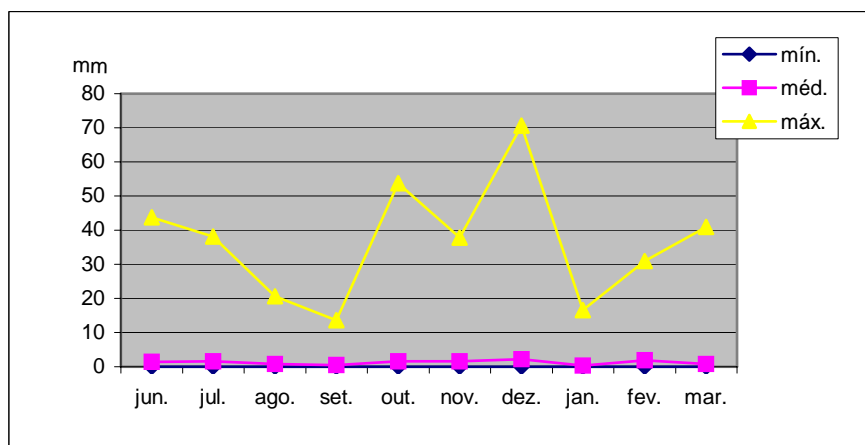


Fig.20- Precipitações pluviométricas .

A temperatura mínima do período ocorreu no mês de junho e a máxima em fevereiro, porém o mês de janeiro apresentou as maiores médias.

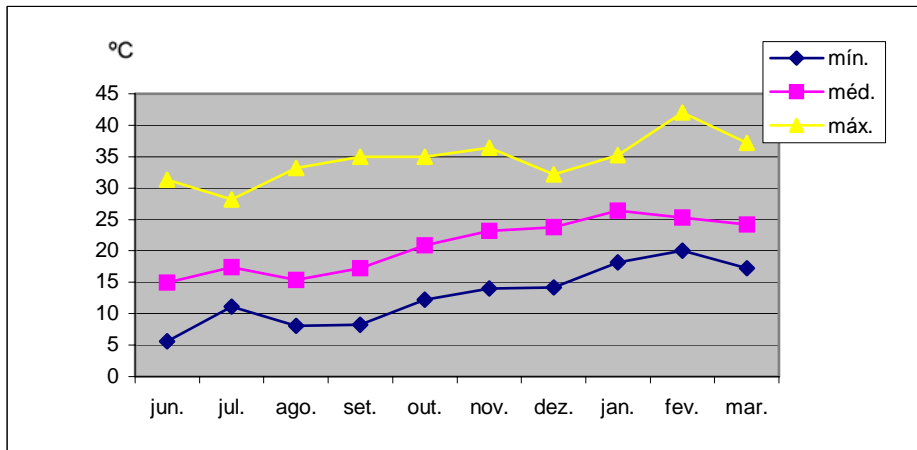


Fig.21- Variações de temperatura.

5.2. RELÊVO

A área de estudo apresenta, no seu extremo oeste um relevo plano que, no seu prosseguimento na direção leste, vai se tornando ondulado, limitado a nordeste por um cinturão de morro areníticos em interface com terrenos basálticos.

Este relevo provocou diferenças de altitude nas três linhas amostrais, que podem ser observadas na figura abaixo:

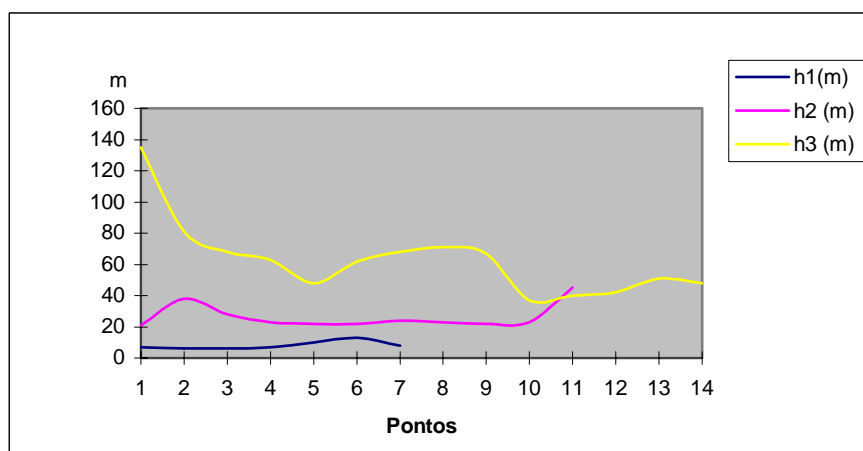


Fig.22- Variação das altitudes (h) nos pontos de exposição dos bioindicadores .

Onde h_1 representa as altitudes da linha amostral 1, caracterizada por áreas planas pouco acima do nível do mar, na planície do rio dos Sinos; h_2 para a linha amostral 2, mais para o centro da bacia e h_3 , na região mais a leste, onde começa o relevo mais acentuado. O ponto 1 do gráfico indica a posição mais ao norte de cada linha amostral.

5.3. PARTICULADOS ATMOSFÉRICOS

A coleta de material particulado, partículas totais em suspensão atmosférica (PTS), realizada nos pontos 1.2, 2.2 e 3.5, com cada um dos pontos localizados em uma das linhas amostrais, tem seus resultados apresentados na tabela 8 abaixo:

Tabela 8 - Concentrações das partículas totais em suspensão atmosférica (PTS) na bacia do Arroio Sapucaia.

Amostra	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
1	65,030	57,180	32,613
2	26,670	143,38	66,750
3	91,610	79,050	25,760
4	63,420	193,63	12,780
5	57,900	81,300	18,520
6	240,09	32,640	53,900
7	78,540	62,320	23,370
8	206,76	30,180	29,180
9	92,200	88,090	58,150
10	106,69	22,120	59,940
11	39,880	17,630	20,810
12	128,83	76,900	20,020
13	56,240	42,150	18,960
14	42,580	71,450	17,770
15	52,940	93,520	24,710
16	71,350	58,920	45,410
17	95,890	41,470	54,220
18	120,85	31,850	43,320
19	90,850	17,710	45,980
20	71,510	47,640	23,020
21	54,550	56,890	29,210
22	25,890	63,240	55,520
23	86,220	56,120	57,590
24	97,100	63,600	23,090
25	55,910	45,030	46,440
26	65,760		37,240
27	37,890		23,100
28	69,180		

A oscilação destes valores pode ser apreciada na figura abaixo:

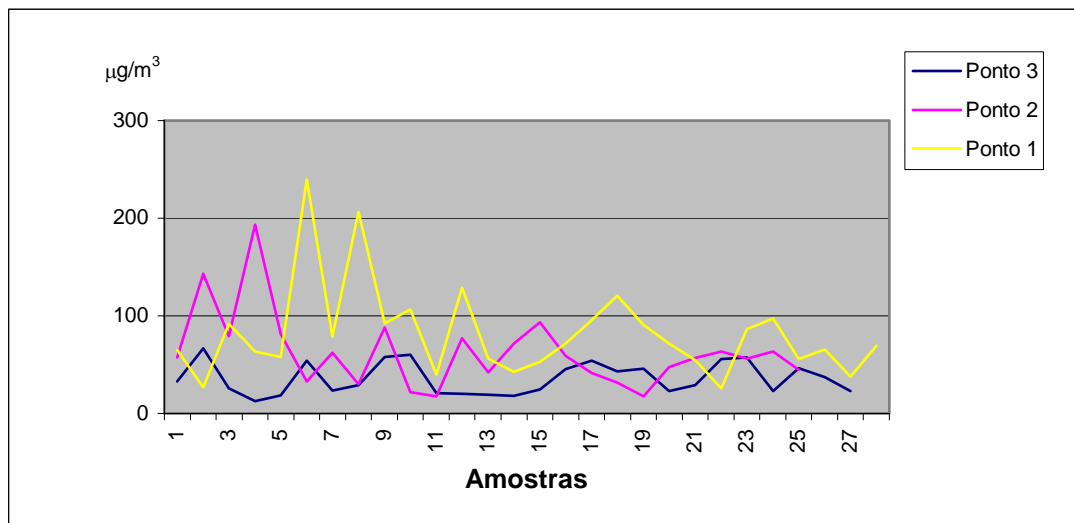


Fig. 23 - Concentrações de PTS nas três áreas da bacia do arroio Sapucaia.

O ponto 1, de concentrações em geral mais altas durante o período amostral, corresponde a localização da unidade amostral 1.2, na linha 1, que cruza a área industrial em paralelo com a BR116. O ponto 2, localizado junto à unidade amostral 2.2, no campus da ULBRA, em área residencial mas ainda com interferência industrial. O ponto 3, localizado na área rural, coincide com a localização da unidade amostral 3.5.

As concentrações mínimas, médias e máximas de cada ponto, representadas na fig.24, foram:

Tabela 9 - Concentrações mínimas, médias e máximas das PTS em cada ponto de coleta da bacia do A.Sapucaia

µg/m ³	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Mínimas	25,890	17,630	12,780
Médias	81,869	62,960	35,829
Máximas	240,090	193,630	66,750

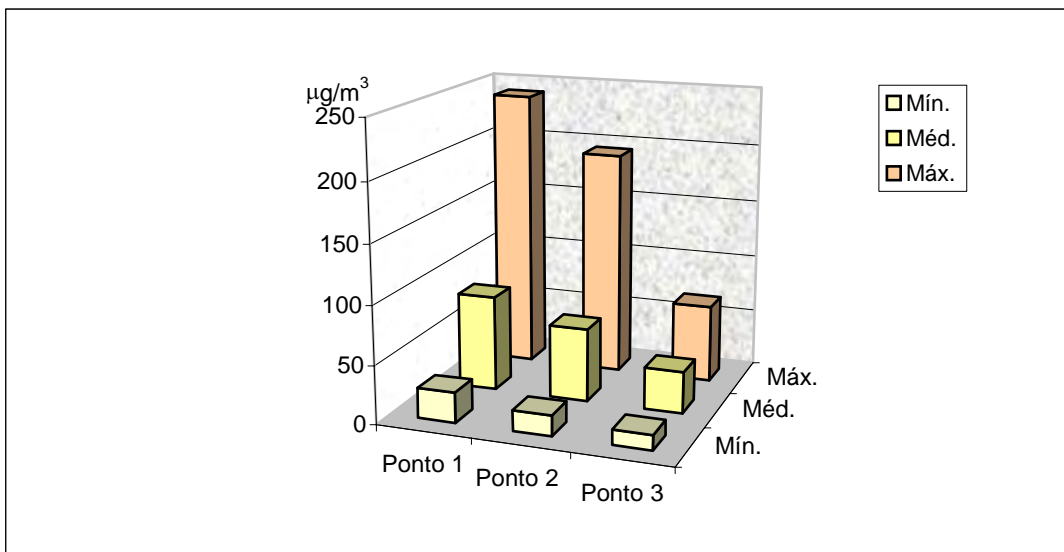


Fig.24 - Valores médios, máximos e mínimos das PTS na bacia do A.Sapucaia.

As concentrações atmosféricas dos elementos apresentaram variações, valores mínimos, médios e máximos apresentados nas figuras e tabelas que seguem.

Para caracterizar diferenças de composição nos particulados coletados na atmosfera das três regiões da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia, foram calculadas as concentrações dos elementos analisados nas massas de partículas coletadas, em mg/g de material particulado. Para caracterizar a dispersão destes mesmos elementos na atmosfera, foram igualmente calculadas suas concentrações mássicas por volume de ar, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar.

5.3.1. Alumínio nas PTS

As variações das concentrações do alumínio (Al) nos particulados atmosféricos durante o período de amostragem podem ser observadas na fig.25, abaixo.

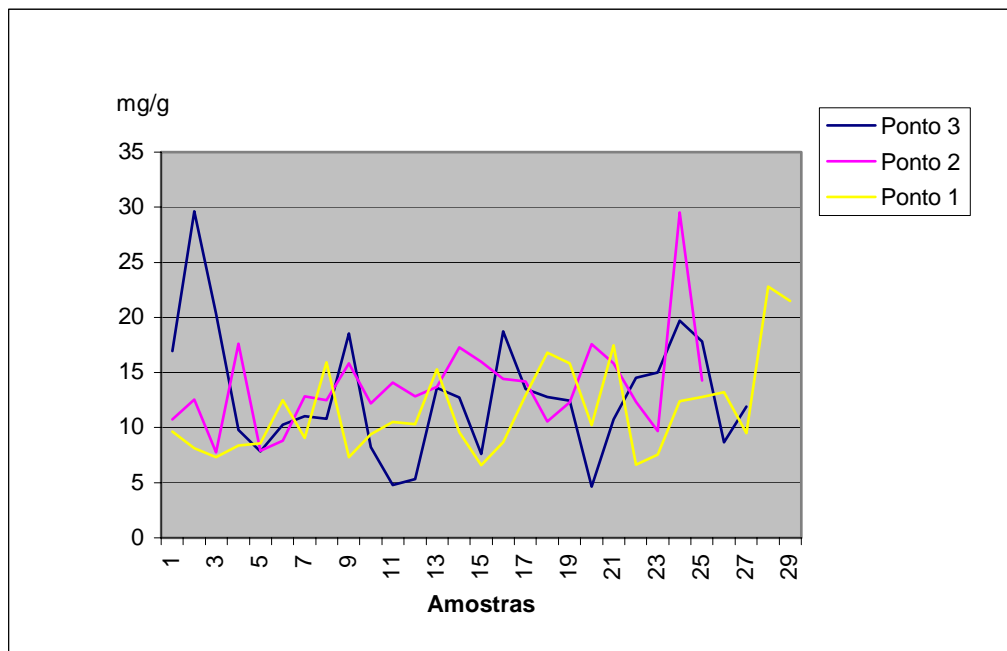


Fig. 25 - Variação das concentrações do alumínio nas PTS da bacia do A.Sapucaia.

Os valores mínimos, médios e máximos das concentrações determinadas para o elemento alumínio (Al) estão na tabela e na figura abaixo:

Tabela 10 - Concentrações mínimas, médias e máximas do alumínio nas PTS, em mg/g de material particulado e em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, em cada ponto de coleta da bacia do A.Sapucaia

mg/g	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Mínimas	6,566	7,739	4,643
Médias	11,606	13,733	12,885
Máximas	22,796	29,526	29,634
$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
Mínimas	0,195	0,217	0,099
Médias	0,898	0,788	0,503
Máximas	3,292	1,877	1,978

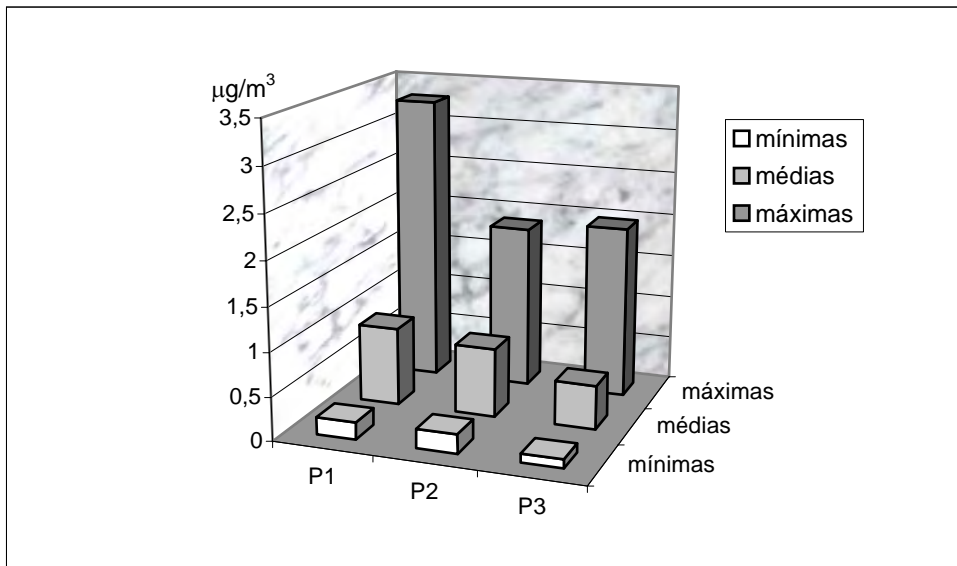


Fig.26 - Concentrações de Al, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar.

5.3.2. Cálcio nas PTS

As variações das concentrações do cálcio nos particulados atmosféricos da bacia do Arroio Sapucaia, durante o período de coleta de amostras, podem ser observadas na fig.27, abaixo:

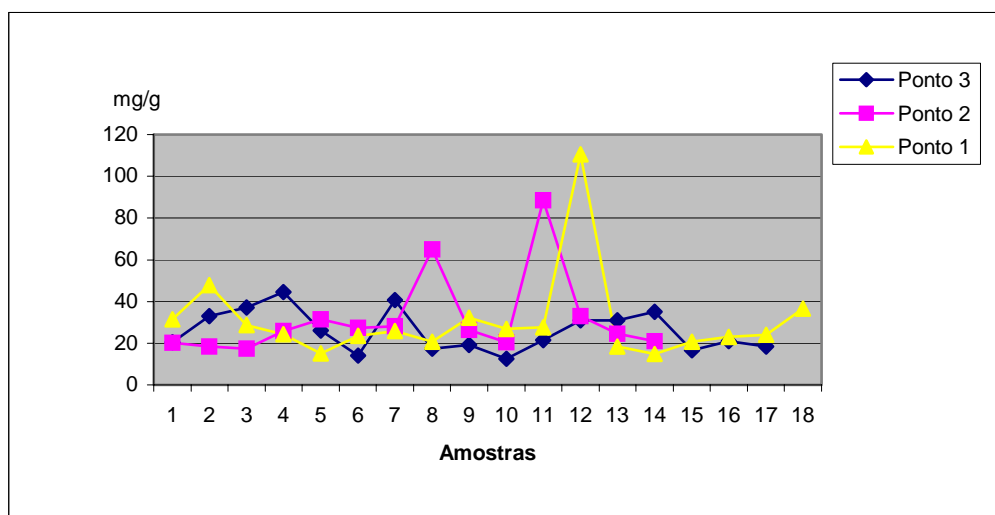


Fig. 27 - Variação das concentrações do cálcio nas PTS da bacia do A.Sapucaia.

Para o cálcio (Ca), os valores mínimos, médios e máximos das concentrações determinadas estão na tabela e na figura abaixo:

Tabela 11 - Concentrações mínimas, médias e máximas do cálcio nas PTS, em mg/g de material particulado e em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, em cada ponto de coleta da bacia do A.Sapucaia

mg/g	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Mínimas	14,822	17,290	12,420
Médias	30,685	31,990	25,849
Máximas	110,563	88,595	44,499
$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
Mínimas	0,833	0,359	0,412
Médias	2,386	2,051	0,799
Máximas	5,626	6,812	2,199

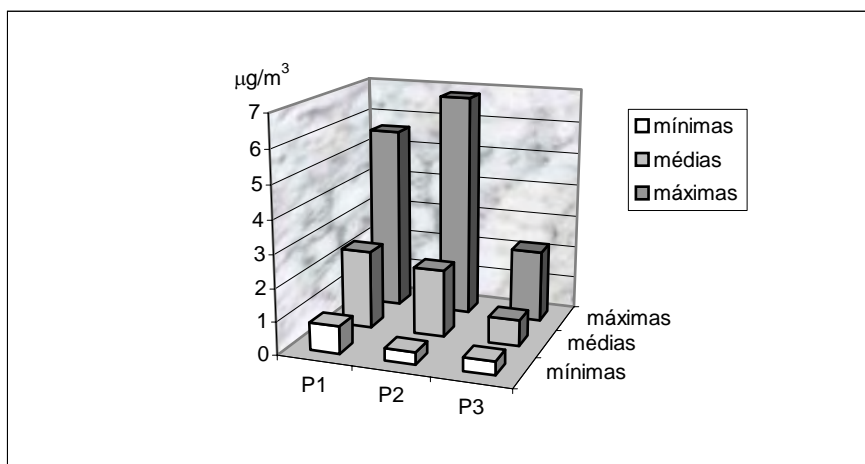


Fig.28 - Concentrações de Ca, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar.

5.3.3. Chumbo nas PTS

As variações das concentrações do chumbo (Pb) nos particulados atmosféricos durante o período de amostragem podem ser observadas na fig.29, abaixo.

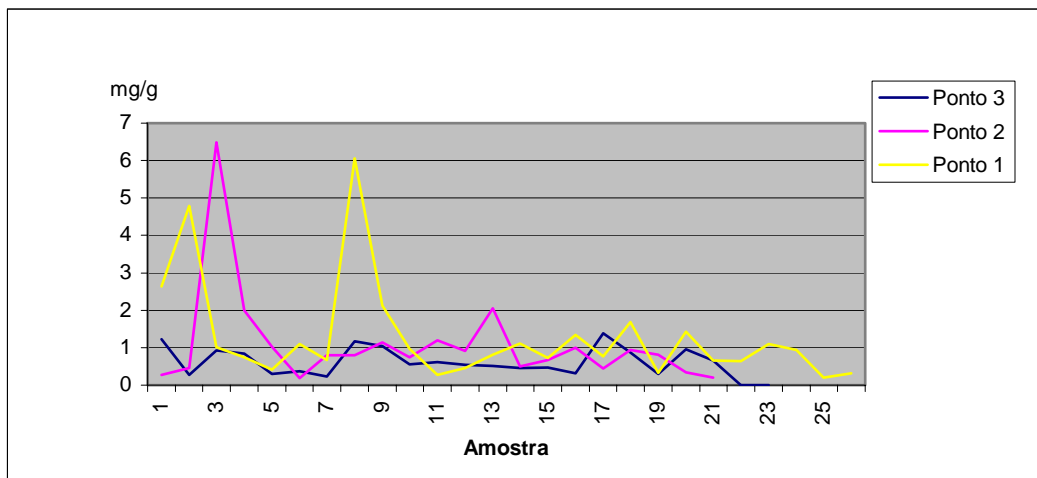


Fig. 29 - Variação das concentrações do chumbo nas PTS da bacia do A.Sapucaia.

Para o chumbo (Pb), os valores mínimos, médios e máximos das concentrações determinadas estão na tabela e na figura abaixo:

Tabela 12 - Concentrações mínimas, médias e máximas do chumbo nas PTS, em mg/g de material particulado e em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, em cada ponto de coleta da bacia do A.Sapucaia

mg/g	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Mínimas	0,205	0,187	0 (nd)
Médias	1,280	1,093	0,609
Máximas	6,055	6,482	1,377
$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
Mínimas	0,007	0,004	nd
Médias	0,093	0,061	0,02
Máximas	0,646	0,403	0,081

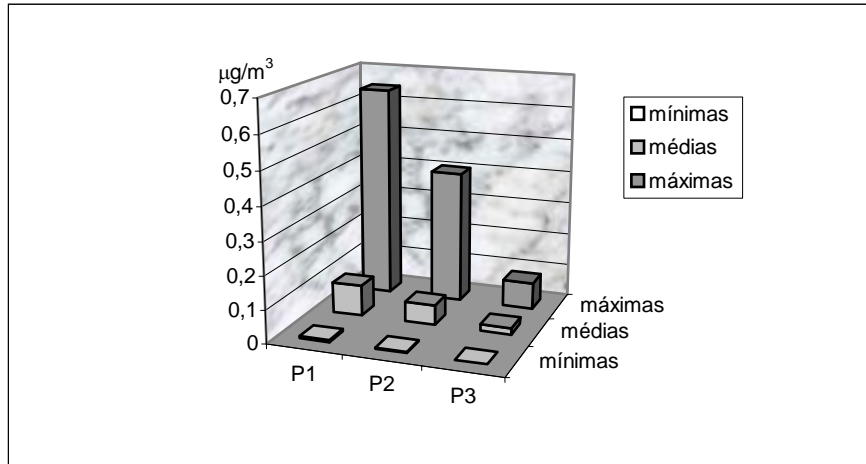


Fig.30 - Concentrações de Pb, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar.

5.3.4. Cobre nas PTS

As variações das concentrações do cobre nos particulados atmosféricos da bacia do Arroio Sapucaia, durante o período amostral, podem ser observadas na fig.31, abaixo:

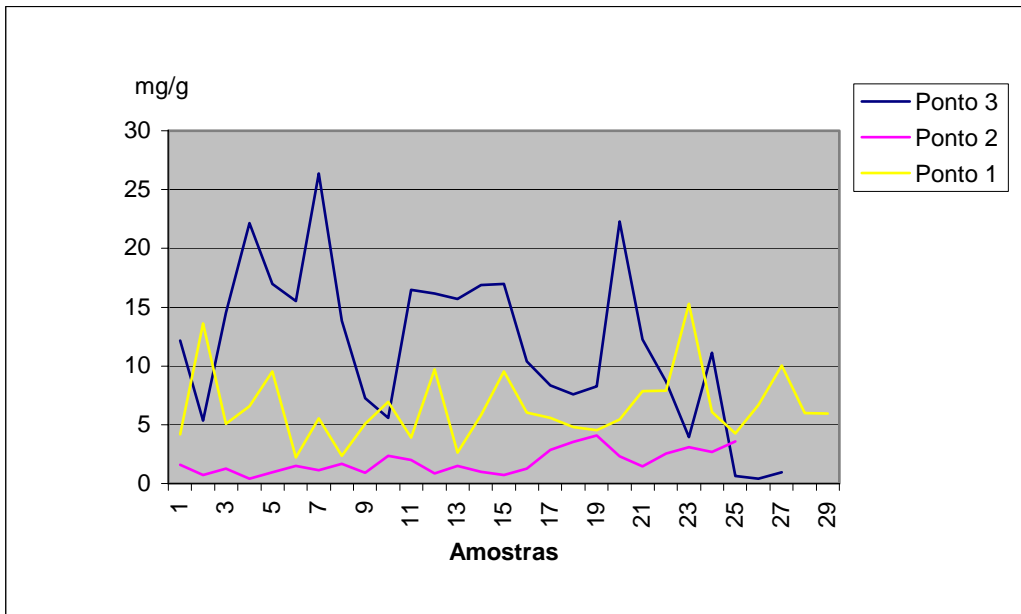


Fig. 31 - Variação das concentrações do cobre nas PTS da bacia do A.Sapucaia.

Os valores mínimos, médios e máximos das concentrações determinadas para o cobre (Cu) estão na tabela e na figura abaixo:

Tabela 13 - Concentrações mínimas, médias e máximas do cobre nas PTS, em mg/g de material particulado e em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, em cada ponto de coleta da bacia do A.Sapucaia

mg/g	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Mínimas	2,210	0,418	0,410
Médias	6,527	1,846	11,732
Máximas	15,313	4,100	26,350
$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
Mínimas	0,227	0,035	0,015
Médias	0,432	0,092	0,354
Máximas	0,659	0,173	0,837

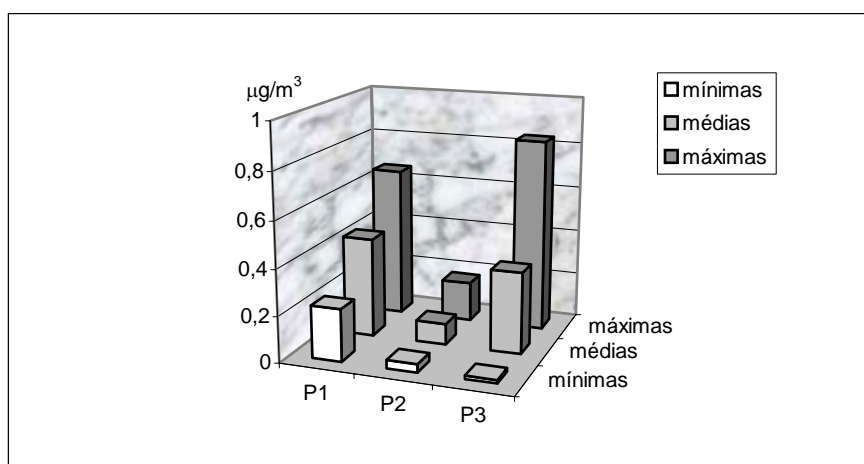


Fig.32 - Concentrações de Cu, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar.

5.3.5. Ferro nas PTS

As variações das concentrações do ferro nos particulados atmosféricos da bacia do Arroio Sapucaia, durante o período amostral, podem ser observadas na fig.33, abaixo:

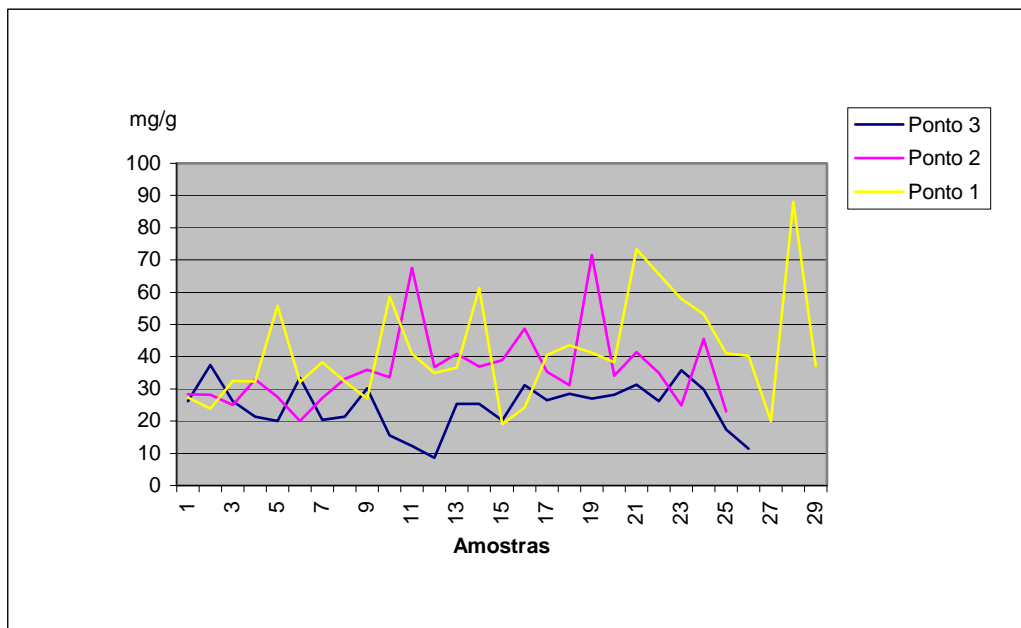


Fig. 33 - Variação das concentrações do ferro nas PTS da bacia do A.Sapucaia.

Para o ferro (Fe), os valores mínimos, médios e máximos das concentrações determinadas estão na tabela e na figura abaixo:

Tabela 14 - Concentrações mínimas, médias e máximas do ferro nas PTS, em mg/g de material particulado e em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, em cada ponto de coleta da bacia do A.Sapucaia

mg/g	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Mínimas	19,040	20,070	8,538
Médias	41,966	36,119	24,486
Máximas	88,012	71,486	37,449
$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
Mínimas	0,635	0,655	0,17
Médias	3,351	2,144	0,889
Máximas	7,700	6,379	2,499

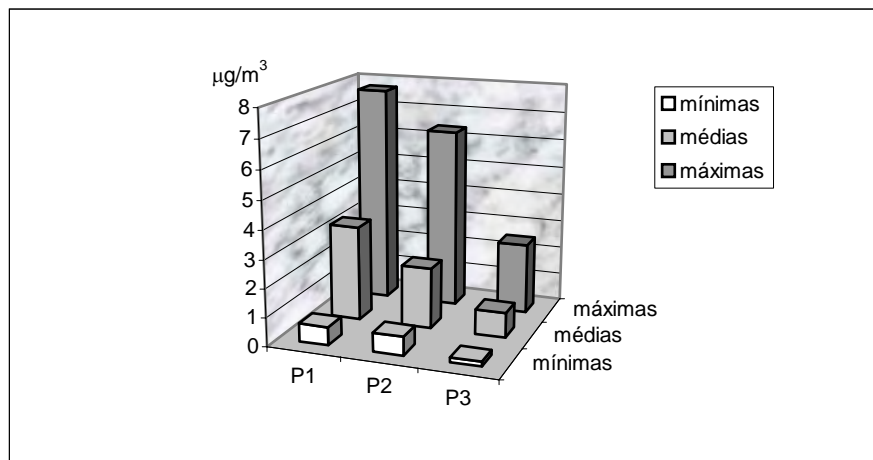


Fig.34 - Concentrações de Fe, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar.

5.3.6. Lítio nas PTS

Para o elemento lítio, as variações das concentrações nos particulados atmosféricos durante o período de coleta de amostras, na bacia do Arroio Sapucaia, são apresentadas na fig.35, abaixo:

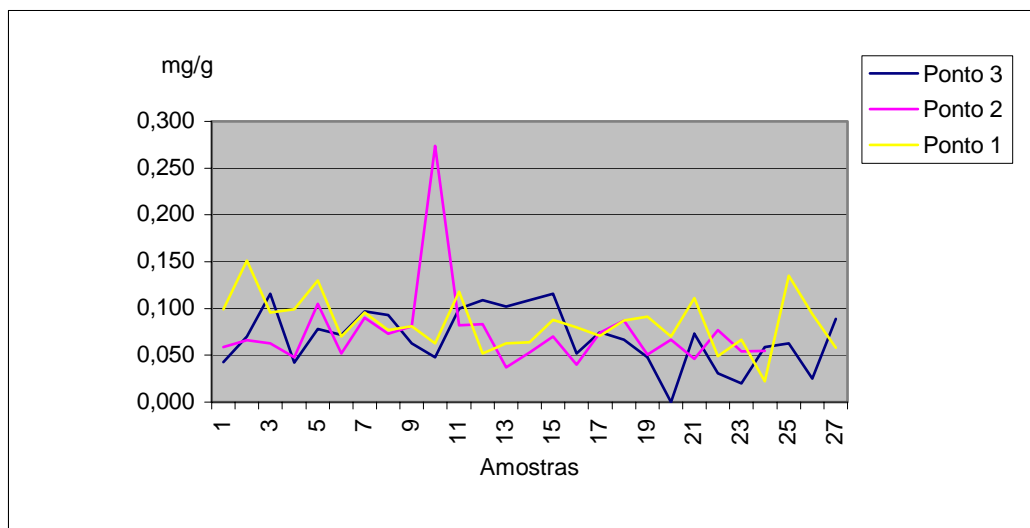


Fig. 35 - Variação das concentrações do lítio nas PTS da bacia do A.Sapucaia.

Os valores mínimos, médios e máximos das concentrações determinadas para o elemento lítio (Li) estão na tabela e na figura abaixo:

Tabela 15 - Concentrações mínimas, médias e máximas do lítio nas PTS, em mg/g de material particulado e em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, em cada ponto de coleta da bacia do A.Sapucaia

mg/g	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Mínimas	0,022	0,037	0,000
Médias	0,034	0,074	0,069
Máximas	0,151	0,274	0,116
$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
Mínimas	0.001	0.002	nd
Médias	0.006	0.004	0.002
Máximas	0.017	0.009	0.005

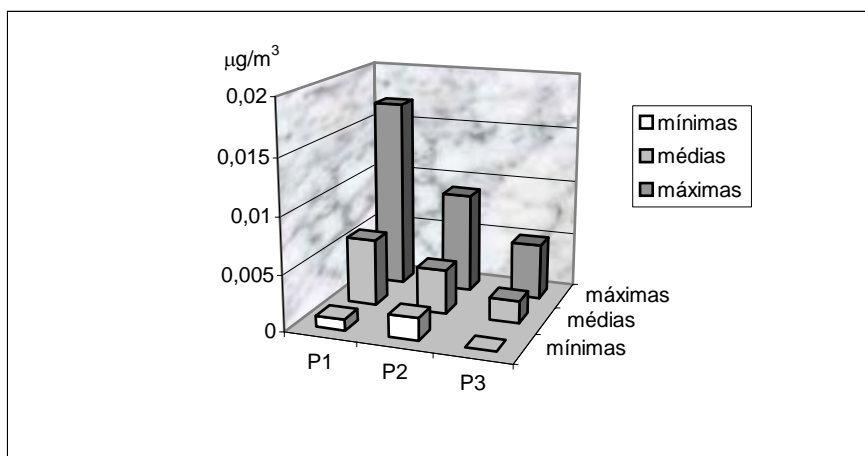


Fig.36 - Concentrações de Li, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar.

5.3.7. Magnésio nas PTS

As variações das concentrações do magnésio nos particulados atmosféricos da bacia do Arroio Sapucaia, durante o período amostral, podem ser observadas na fig.37, abaixo:

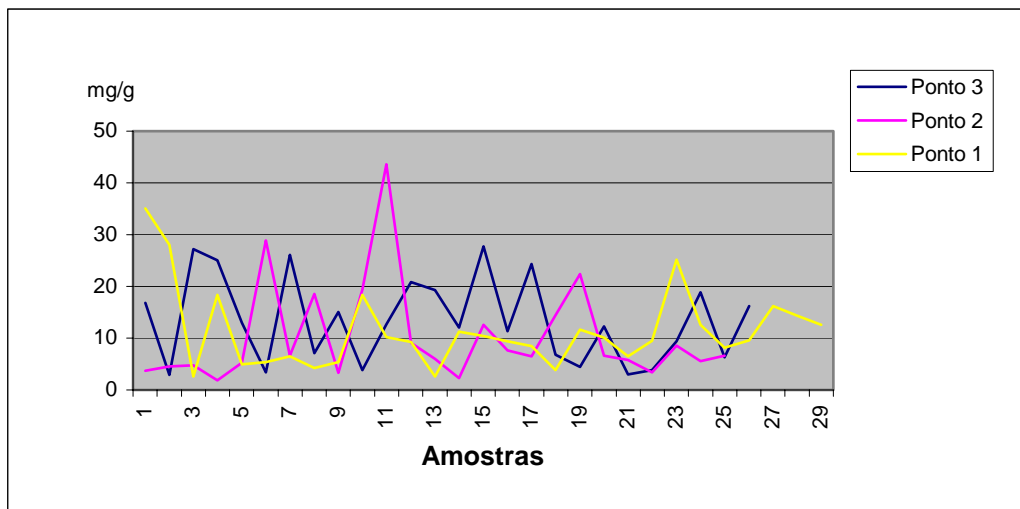


Fig. 37 - Variação das concentrações do magnésio nas PTS da bacia do A.Sapucaia.

Para o magnésio (Mg), os valores mínimos, médios e máximos das concentrações determinadas estão na tabela e na figura abaixo:

Tabela 16 - Concentrações mínimas, médias e máximas do magnésio nas PTS, em mg/g de material particulado e em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, em cada ponto de coleta da bacia do A.Sapucaia.

mg/g	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Mínimas	2,553	1,830	2,898
Médias	11,380	10,315	13,459
Máximas	35,077	43,637	27,769
$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
Mínimas	0,235	0,161	0,167
Médias	0,766	0,451	0,416
Máximas	2,281	1,176	1,316

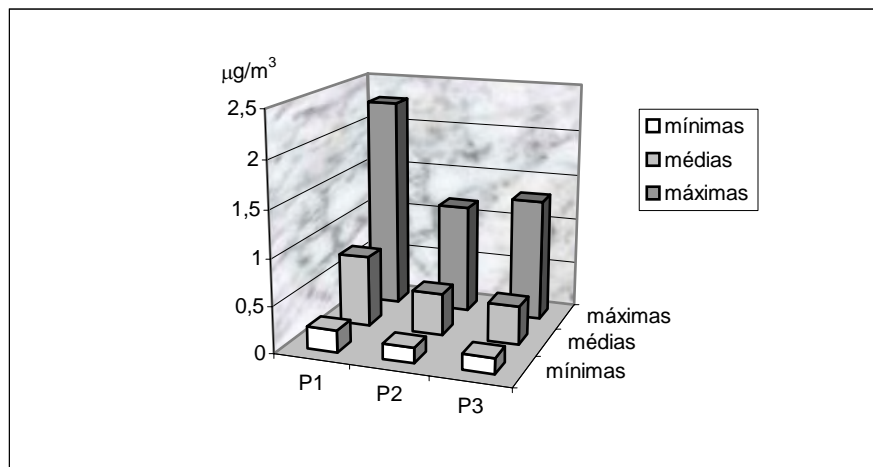


Fig.38 - Concentrações de Mg, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar.

5.3.8. Manganês nas PTS

Para o elemento manganês, as variações das suas concentrações nos particulados atmosféricos durante o período amostral, na bacia do Arroio Sapucaia, são apresentadas na fig.39, abaixo:

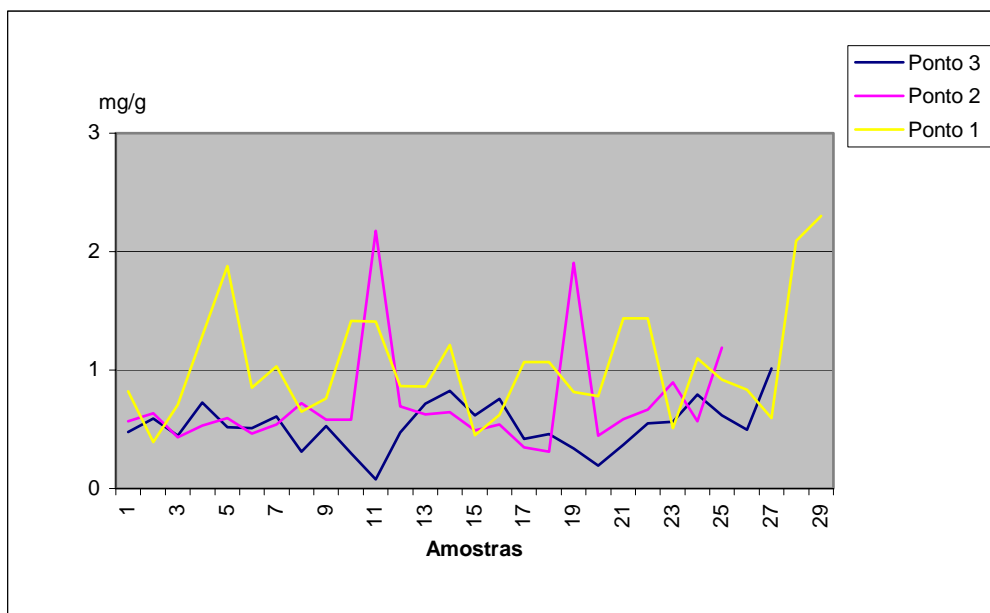


Fig. 39 - Variação das concentrações do manganês nas PTS da bacia do A.Sapucaia.

Para o manganês (Mn), os valores mínimos, médios e máximos das concentrações determinadas estão na tabela e na figura abaixo:

Tabela 17 - Concentrações mínimas, médias e máximas do manganês nas PTS, em mg/g de material particulado e em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, em cada ponto de coleta da bacia do A.Sapucaia.

mg/g	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Mínimas	0,392	0,312	0,077
Médias	1,040	0,709	0,529
Máximas	2,304	2,175	1,013
$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
Mínimas	0,01	0,009	0,001
Médias	0,081	0,039	0,018
Máximas	0,204	0,102	0,039

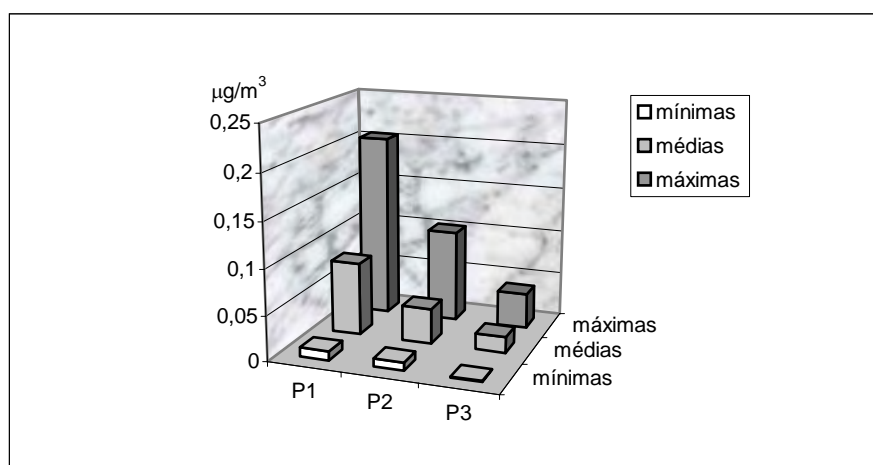


Fig.40 - Concentrações de Mn, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar.

5.3.9. Mercúrio nas PTS

As variações das concentrações do mercúrio nos particulados atmosféricos da bacia do Arroio Sapucaia, durante o período amostral, podem ser observadas na fig.41, abaixo:

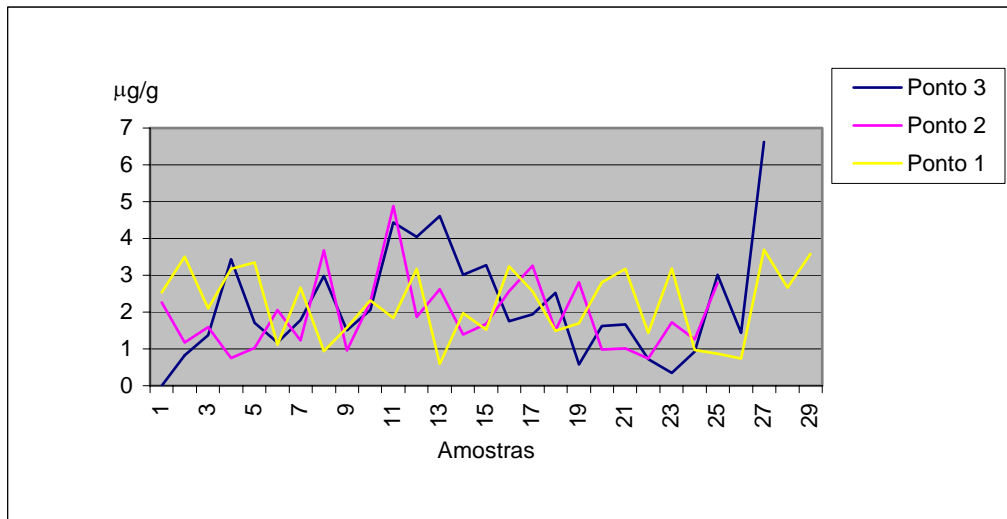


Fig. 41 - Variação das concentrações do mercúrio nas PTS da bacia do A.Sapucaia.

Os valores mínimos, médios e máximos das concentrações determinadas para o elemento mercúrio (Hg) estão na tabela e na figura abaixo:

Tabela 18 - Concentrações mínimas, médias e máximas do mercúrio nas PTS, em µg/g de material particulado e em µg/m³ de ar, em cada ponto de coleta da bacia do A.Sapucaia.

µg/g	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Mínimas	0,589	0,744	0,000
Médias	2,223	1,925	2,2
Máximas	3,69	4,882	6,621
µg/g			
Mínimas	0,0005	0,0007	0
Médias	0,0022	0,0019	0,0021
Máximas	0,0036	0,0048	0,0066

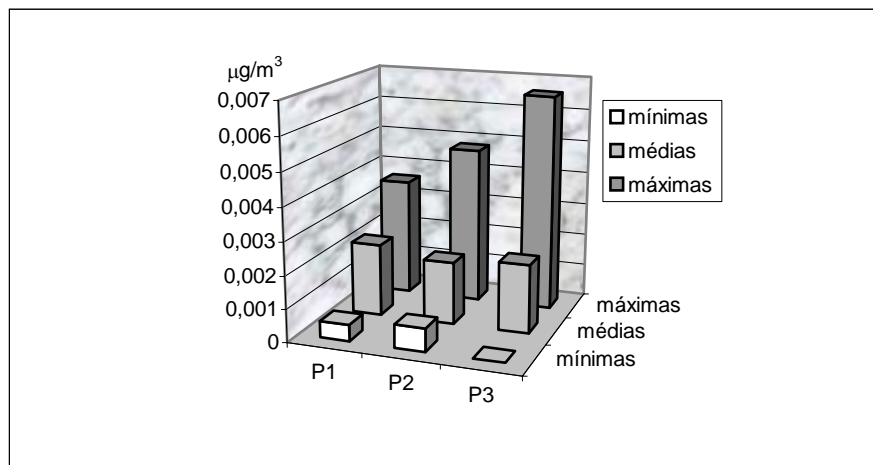


Fig.42 - Concentrações de Hg, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar.

5.3.10. Potássio nas PTS

Para o elemento potássio, as variações das suas concentrações nos particulados atmosféricos da bacia do Arroio Sapucaia, durante o período amostral, são apresentadas na fig.43, abaixo:

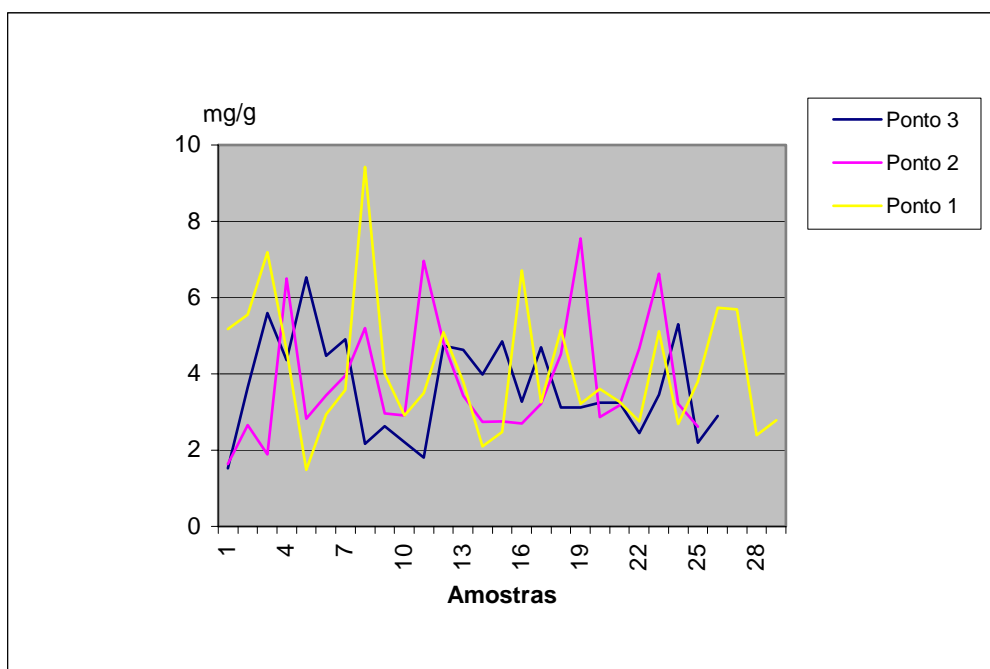
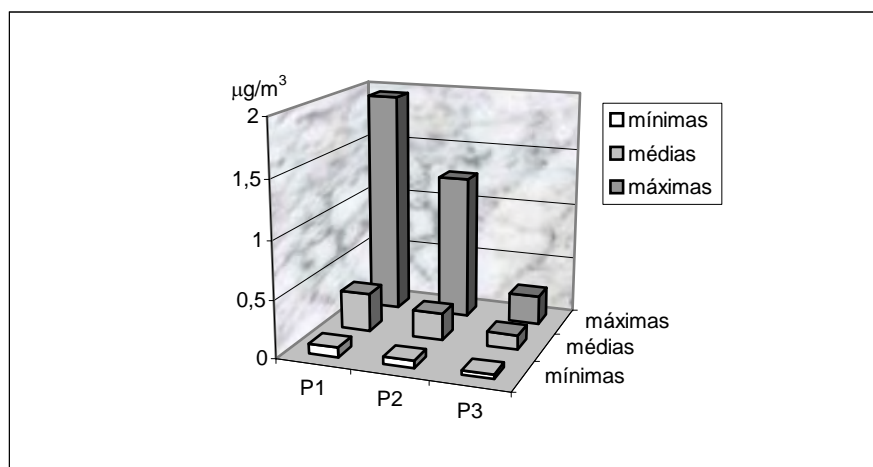


Fig. 43 - Variação das concentrações do potássio nas PTS da bacia do A.Sapucaia.

Para o elemento potássio (K), os valores mínimos, médios e máximos das concentrações determinadas estão na tabela e na figura abaixo:

Tabela 19 - Concentrações mínimas, médias e máximas do potássio nas PTS, em mg/g de material particulado e em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, em cada ponto de coleta da bacia do A.Sapucaia.

mg/g	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Mínimas	1,487	1,630	1,525
Médias	4,139	3,833	3,657
Máximas	9,429	7,557	6,536
$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
Mínimas	0,086	0,064	0,037
Médias	0,336	0,236	0,127
Máximas	1,949	1,258	0,254



5.3.11. Sódio nas PTS

As variações das concentrações do sódio nos particulados atmosféricos da bacia do Arroio Sapucaia, durante o período de coleta de amostras, podem ser observadas na fig.45, abaixo:

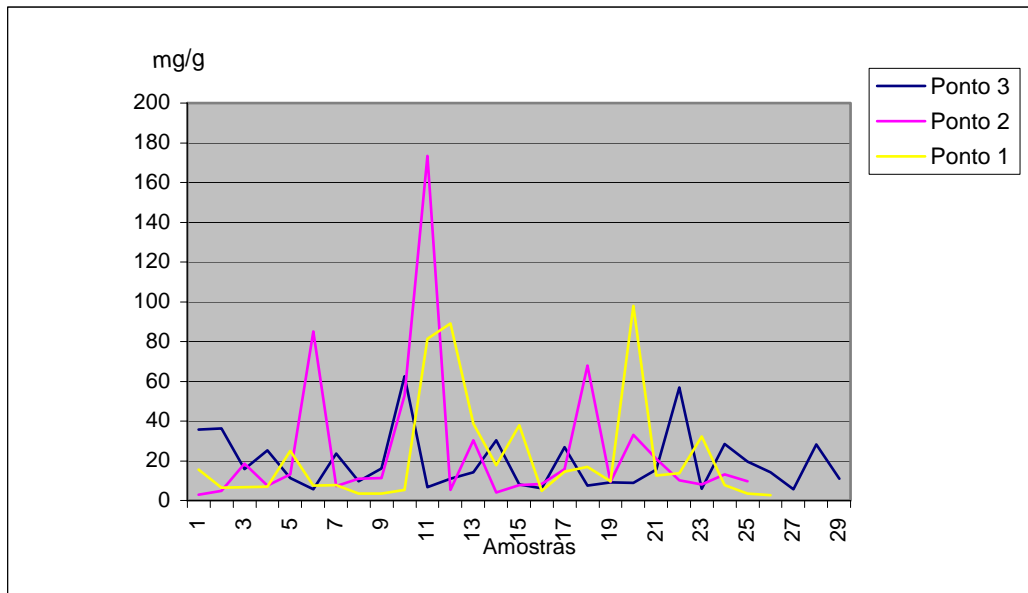


Fig. 45 - Variação das concentrações do sódio nas PTS da bacia do A.Sapucaia.

Para o sódio (Na), os valores mínimos, médios e máximos das concentrações determinadas estão na tabela e na figura abaixo:

Tabela 20 - Concentrações mínimas, médias e máximas do sódio nas PTS, em mg/g de material particulado e em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, em cada ponto de coleta da bacia do A.Sapucaia.

mg/g	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Mínimas	2,682	2,935	5,590
Médias	21,907	25,259	19,197
Máximas	97,898	173,420	62,672
$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
Mínimas	0,155	0,165	0,061
Médias	1,56	1,59	0,795
Máximas	4,104	3,057	2,859

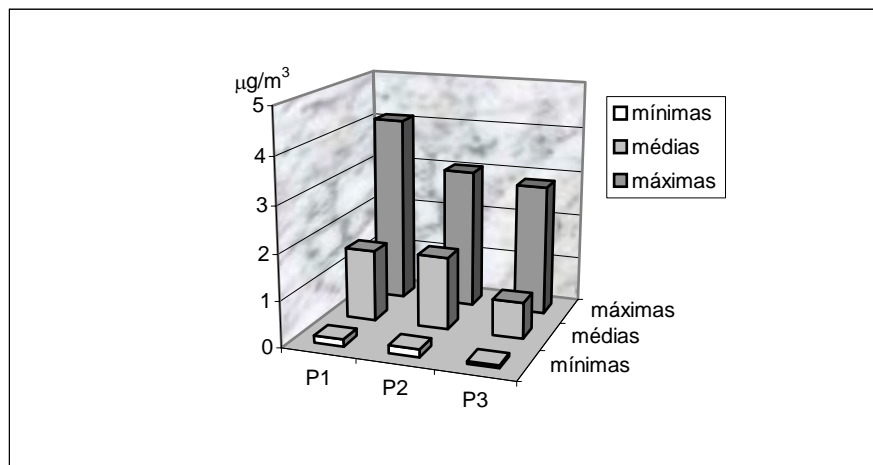


Fig.46 - Concentrações de K, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar.

5.3.12. Zinco nas PTS

As variações das concentrações do zinco nos particulados atmosféricos da bacia do Arroio Sapucaia, durante o período amostral, podem ser observadas na fig.47, abaixo:

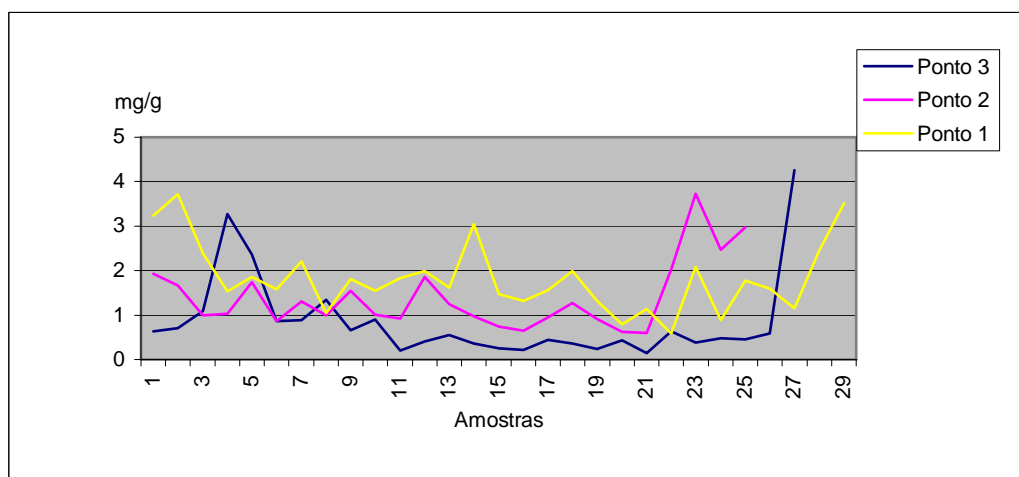


Fig. 47 - Variação das concentrações do zinco nas PTS da bacia do A.Sapucaia.

Para o elemento zinco (Zn), os valores mínimos, médios e máximos das concentrações determinadas estão na tabela e na figura abaixo:

Tabela 21 - Concentrações mínimas, médias e máximas do zinco nas PTS, em mg/g de material particulado e em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, em cada ponto de coleta da bacia do A.Sapucaia.

mg/g	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Mínimas	0,582	0,604	0,148
Médias	1,829	1,401	0,855
Máximas	3,723	3,735	4,255
$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
Mínimas	0,031	0,016	0,004
Médias	0,138	0,089	0,029
Máximas	0,380	0,239	0,098

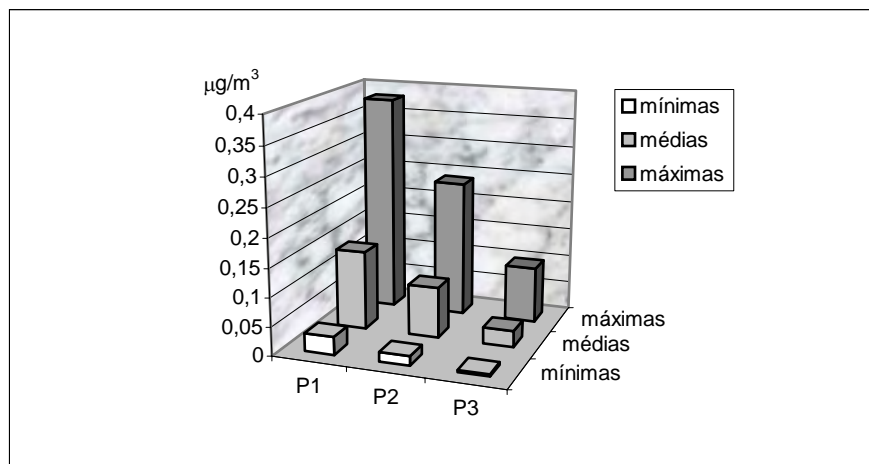


Fig.48 - Concentrações de Zn, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar.

5.4. METAIS NOS LIQUENES *Rimelia simulans* (Hale) Hale & Fletcher E *Canomaculina sp* E NA BROMELIACEAE *Tillandsia usneoides* (L.) Linnaeus

Os resultados das análises dos elementos realizadas nas amostras de líquens *Rimelia simulans* (Hale) Hale & Fletcher (indicado na tabela como **líquen A**) e *Canomaculina sp* (indicado na tabela como **líquen B**), e nas de *Tillandsia usneoides* (L.) Linnaeus, são apresentadas nas tabelas e gráficos que seguem, por elemento analisado.

Os indivíduos, que não têm seus resultados apresentados nas tabelas nos pontos de cada uma das linhas amostrais, sofreram a ação de predadores naturais (aves, insetos) durante o período de exposição ou, no caso da unidade 3.13, furto.

Na primeira coleta (6 meses de exposição), devido ao seu tamanho reduzido, não ocorreu a coleta parcial de algumas amostras, sendo por esse motivo representado nas tabelas que seguem por ---. Esta mesma simbologia foi utilizada para os indivíduos que desapareceram (ou que produziram amostras insuficientes para todas as leituras) após 10 meses de exposição.

5.4.1. ALUMÍNIO

As concentrações de alumínio determinadas pelas análises dos indivíduos coletados na área controle, de menor impacto ambiental, em Tainhas, indivíduos de *T.usneoides* nativos da área da bacia do arroio Sapucaia e nos indivíduos expostos nas 3 linhas que cruzam a bacia, formando a rede amostral, são apresentadas na tabela 22 abaixo.

Tabela 22 - Concentrações de alumínio nos organismos, na primeira coleta (após 6 meses de exposição) e na segunda coleta (após 10 meses de exposição). Os espaços assinalados por ---, significam ausência de dados por insuficiência amostral.

Organismos de Tainhas	Concentrações mg/g
Tillandsia	0,240
Liquen A	4,585
Liquen B	7,008

Organismos nativos	Concentrações mg/g
Till.1.5 nat	1,173
Till.1.6 nat	0,608

Localização	Concentr. mg/g		Localização	Concentr. mg/g	
	1 ^a coleta	2 ^a coleta		1 ^a coleta	2 ^a coleta
1.1 Till.	1,294	3,766	2.11 Liq A	10,092	---
1.1 Liq.A	5,917	5,430	2.11 Liq B	4,573	---
1.1 Liq. B	---	6,155	3.1 Till	1,217	1,368
1.2 Liq.A	2,408	3,174	3.1 Liq A	---	2,416
1.2 Liq.B	2,448	3,151	3.1 Liq B	2,195	1,882
1.3 Till.	1,630	---	3.2 Till	1,550	2,797
1.3 Liq.A	5,370	---	3.2 Liq B	5,338	7,379
1.4 Liq.A	5,233	5,886	3.3 Till	2,730	---
1.4 Liq.B	5,153	4,779	3.3 Liq A	5,591	3,172
1.5 Till.	1,028	---	3.3 Liq B	---	2,665
1.5 Liq.A	4,175	---	3.4 Till	1,506	---
1.5 Liq B	1,131	---	3.4 Liq A	---	6,197
1.6 Till.	1,550	4,941	3.4 Liq B	1,757	2,163
1.6 Liq A	4,975	7,553	3.5 Till	0,762	1,216
1.6 Liq.B	3,954	9,407	3.5 Liq A	2,800	1,749
1.7 Till.	0,604	4,194	3.5 Liq B	---	3,105
1.7 Liq. A	4,054	---	3.6 Till	1,161	---
1.7 Liq. B	---	9,600	3.6 Liq A	3,299	---
2.1 Liq.B	5,373	---	3.6 Liq B	---	2,257
2.2 Liq A	3,430	---	3.7 Till	1,395	1,426
2.3 Till	1,357	1,734	3.7 Liq A	1,938	2,339
2.3 Liq A	3,046	5,103	3.7 Liq B	---	3,440
2.4 Liq A	7,150	---	3.8 Till	2,641	2,307
2.4 Liq B	7,306	---	3.8 Liq A	5,739	---
2.5 Liq A	---	8,740	3.9 Till	1,228	1,501
2.5 Liq B	4,493	5,718	3.9 Liq A	---	3,863
2.6 Till	1,008	1,681	3.9 Liq B	4,353	3,232
2.6 Liq A	4,390	---	3.10 Till	1,253	2,050
2.7 Till	---	5,833	3.10 Liq A	2,997	4,172
2.7 Liq A	3,665	3,085	3.10 Liq B	---	3,849
2.7 Liq B	---	0,457	3.11 Till	1,629	2,870
2.8 Liq A	5,539	5,876	3.11 Liq B	2,970	5,191
2.8 Liq B	---	5,863	3.12 Till	2,149	2,853
2.9 Till	1,064	---	3.12 Liq A	6,920	6,606
2.9 Liq A	4,522	5,680	3.12 Liq B	---	6,435
2.9 Liq B	---	5,294	3.14 Liq A	---	6,126
2.10 Liq B	5,124	---	3.14 Liq B	6,247	5,873

As variações das concentrações de alumínio, em miligramas por grama de massa seca de *T.usneoides*, determinadas em organismos coletados após 6 meses de exposição (1^a coleta) e após 10 meses de exposição (2^a coleta), bem como as

concentrações dos organismos coletados nos pontos 1.5 e 1.6 da área de trabalho e na *T.usneoides* coletada em Tainhas, são apresentados no gráfico a seguir:

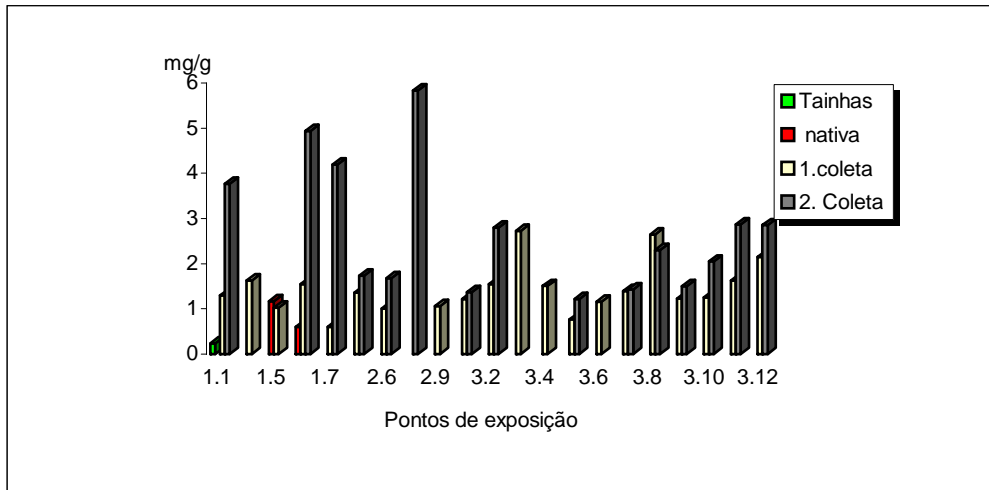


Fig. 49 - Concentrações de alumínio nas *T.usneoides*

Abaixo, observamos os valores extremos e médios nos indivíduos expostos, nos nativos e no coletado em Tainhas:

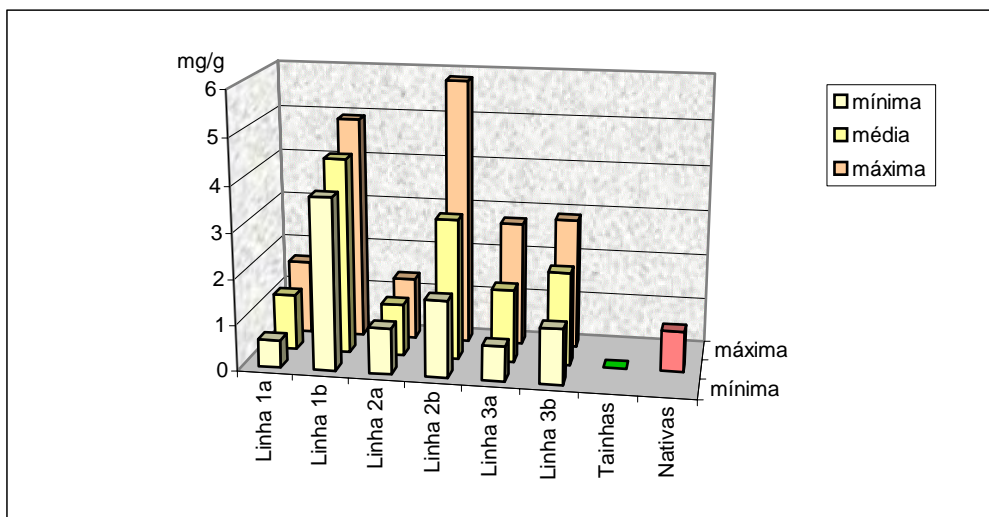


Fig. 50 - Valores mínimos, médios e máximos do Al na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *T.usneoides*.

As concentrações do alumínio na *Rimelia simulans* coletada em Tainhas e nas expostas, são apresentadas abaixo. Não foram encontrados indivíduos nativos

desta espécie nas proximidades dos pontos onde os demais foram expostos, na área da bacia do arroio Sapucaia.

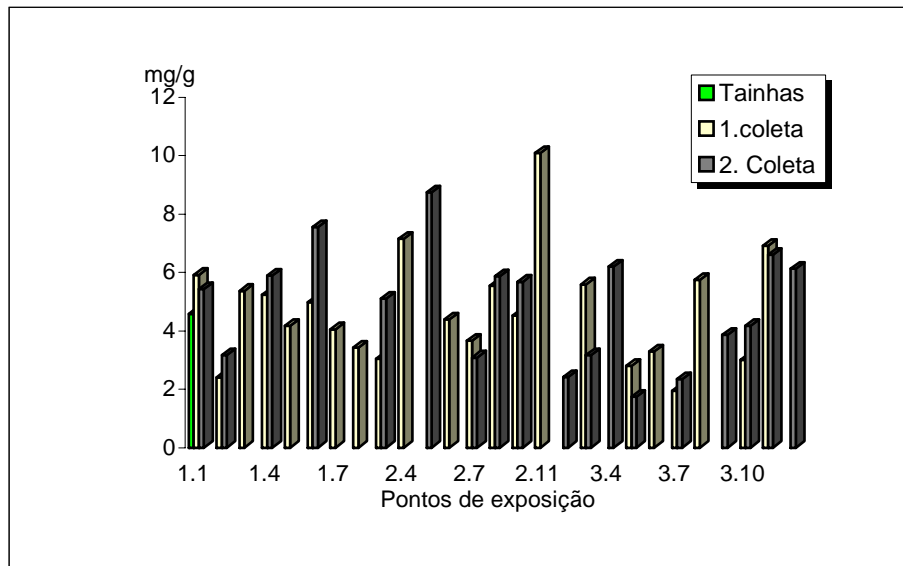


Fig. 51 - Concentrações de alumínio nas *R. simulans*.

Os valores extremos e médios nos indivíduos de *R. simulans* expostos e no coletado em Tainhas, são apresentados no gráfico 52:

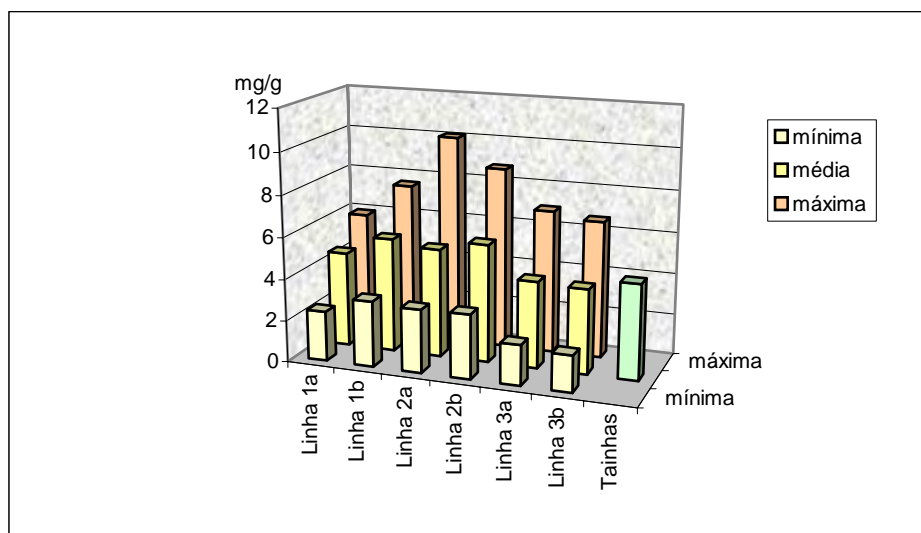


Fig. 52 - Valores mínimos, médios e máximos do Al na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *R. simulans*.

As concentrações do alumínio na *Canomaculina sp* coletada em Tainhas e nas expostas, são apresentadas no gráfico abaixo. Como no caso da *R. simulans*,

também não foram encontrados indivíduos nativos desta espécie nas proximidades dos pontos onde os demais foram expostos na área da bacia do arroio Sapucaia.

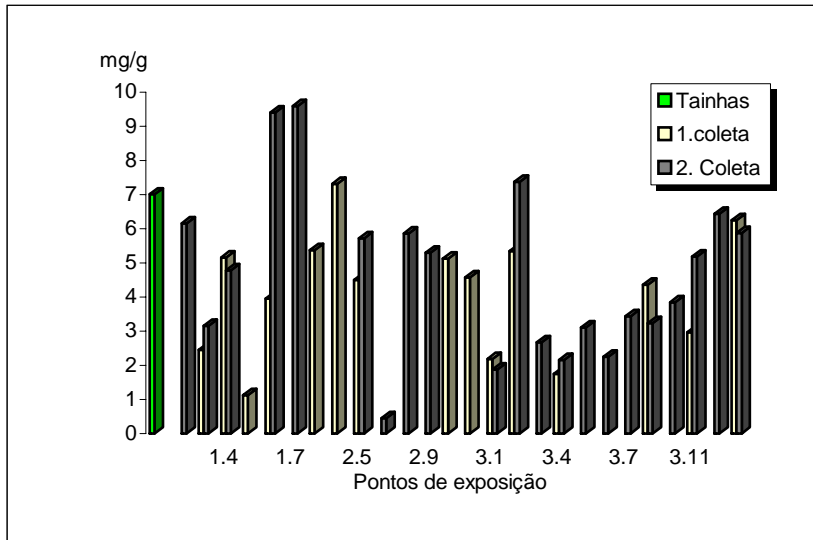


Fig. 53 - Concentrações de alumínio nas *Canomaculina sp.*

Os valores extremos e médios nos organismos de *Canomaculina sp* expostos e no coletado em Tainhas, são apresentados no gráfico 54:

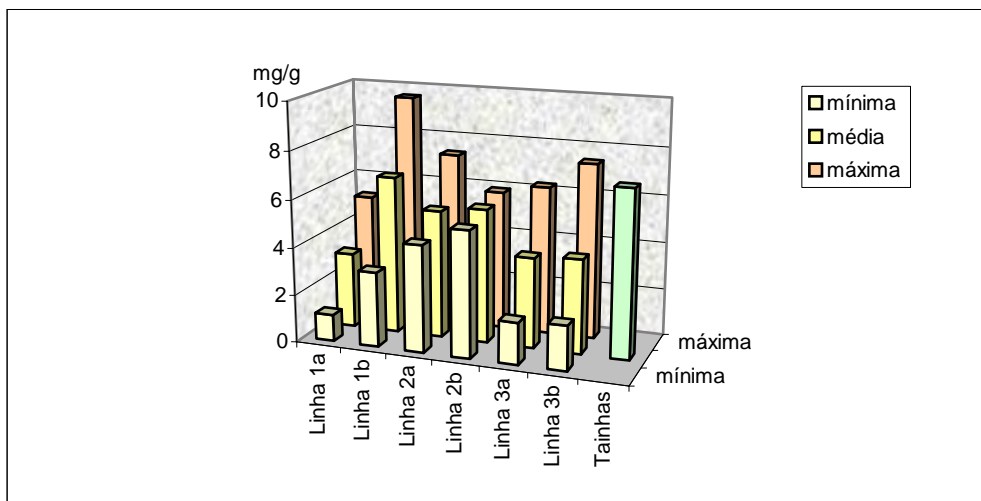


Fig. 54 - Valores mínimos, médios e máximos do Al na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *Canomaculina sp.*

Após a realização das análises das concentrações do alumínio na atmosfera e nos organismos, as concentrações mínimas, médias e máximas estão sumarizadas na tabela a seguir:

Tabela 23 - Concentrações de alumínio na atmosfera e em organismos: valores mínimos, médios e máximos determinados na região da bacia do arroio Sapucaia e nos de referência (Tainhas) e valores de referência (Allen, 1974, Bowel, 1979 e outros).

Alumínio					
	minimas	Ponto	médias	máximas.	Ponto
Valores ref.ar($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,0005			8	
Valores ref.planta.(mg/g)	0,1			1	
PTS - mg/g ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
Pt.1	6,566	1.2	11,606 (0,898)	22,766	1.2
Pt.2	7,739	2.2	13,733 (0,788)	29,526	2.2
Pt.3	4,643	3.5	12,885 (0,503)	29,634	3.5
T.usn.(mg/g)					
Tainhas			0,890		
Nativas(1.5 e 1.6)			0,240		
Linha 1 a	0,604	1.7	1,221	1,630	1.3
Linha 1 b	3,766	1.1	4,300	4,940	1.6
Linha 2 a	1,008	2.6	1,143	1,357	2.3
Linha 2 b	1,681	2.6	3,082	5,833	2.7
Linha 3 a	0,762	3.5	1,601	2,730	3.3
Linha 3 b	1,216	3.3	2,043	2,870	3.11
R.sim.(mg/g)					
Tainhas			4,585		
Linha 1 a	2,408	1.2	4,590	5,917	1.1
Linha 1 b	3,174	1.2	5,510	7,553	1.6
Linha 2 a	3,046	2.3	5,229	10,092	2.11
Linha 2 b	3,095	2.7	5,696	8,740	2.5
Linha 3 a	1,938	3.7	4,183	6,920	3.12
Linha 3 b	1,749	3.5	4,071	6,606	3.12
Can.sp.(mg/g)					
Tainhas			7,008		
Linha 1 a	1,131	1.5	3,171	5,153	1.4
Linha 1 b	3,151	1.2	6,618	9,600	1.7
Linha 2 a	4,493	2.5	5,373	7,306	2,4
Linha 2 b	0,457	2.7	4,333	5,863	2.8
Linha 3 a	1,757	3.4	3,81	6,247	3.14
Linha 3 b	1,882	3.1	3,955	7,379	3.2

5.4.2. CÁLCIO

As concentrações de cálcio determinadas pelas análises dos indivíduos coletados na área de baixo impacto ambiental, em Tainhas, nas *T.usneoides* nativas da área da bacia do arroio Sapucaia e nos expostos nas 3 linhas que cruzam a bacia são apresentadas na tabela 24 abaixo.

Tabela 24 - Concentrações de cálcio nos indivíduos, na primeira coleta (após 6 meses de exposição) e na segunda coleta (após 10 meses de exposição). Os espaços assinalados por ---, significam ausência de dados por insuficiência amostral.

Organismos de Tainhas	Concentrações mg/g
Tillandsia	1,685
Liquen A	3,163
Liquen B	0,337

Organismos nativos	Concentrações mg/g
Till.1.5 nat	5,163
Till.1.6 nat	6,57

Localização	Concentr. mg/g	Concentr. mg/g	Localização	Concentr. mg/g	Concentr. mg/g
	1ª coleta	2ª coleta		1ª coleta	2ª coleta
1.1 Till.	3,209	6,005	2.11 Liq A	4,610	---
1.1 Liq.A	2,194	5,413	2.11 Liq B	1,910	---
1.1 Liq. B	---	3,892	3.1 Till	2,579	3,462
1.2 Liq.A	1,735	2,196	3.1 Liq A	---	3,395
1.2 Liq.B	2,535	2,533	3.1 Liq B	1,667	1,43
1.3 Till.	2,315	---	3.2 Till	2,615	2,898
1.3 Liq.A	5,503	---	3.2 Liq B	2,816	2,737
1.4 Liq.A	1,189	2,369	3.3 Till	5,53	---
1.4 Liq.B	1,660	4,314	3.3 Liq A	2,222	1,574
1.5 Till.	4,729	---	3.3 Liq B	---	2,548
1.5 Liq.A	1,779	---	3.4 Till	3,745	---
1.5 Liq B	1,087	---	3.4 Liq A	---	2,468
1.6 Till.	6,241	6,313	3.4 Liq B	2,095	2,099
1.6 Liq A	4,117	4,768	3.5 Till	1,568	1,444
1.6 Liq.B	2,876	9,582	3.5 Liq A	1,938	1,784
1.7 Till.	4,488	8,918	3.5 Liq B	---	7,036
1.7 Liq. A	6,36	---	3.6 Till	2,709	---
1.7 Liq. B	---	4,404	3.6 Liq A	1,573	---
2.1 Liq.B	5,323	---	3.6 Liq B	---	1,239
2.2 Liq A	3,638	---	3.7 Till	2,433	2,574

2.3 Till	4,016	3,392	3.7 Liq A	6,485	8,458
2.3 Liq A	1,11	2,558	3.7 Liq B	---	7,871
2.4 Liq A	2,548	---	3.8 Till	4,246	3,933
2.4 Liq B	2,037	---	3.8 Liq A	5,927	---
2.5 Liq A	---	2,982	3.9 Till	3,955	4,299
2.5 Liq B	1,752	2,383	3.9 Liq A	---	2,492
2.6 Till	3,939	4,944	3.9 Liq B	4,430	3,279
2.6 Liq A	4,328	---	3.10 Till	6,720	2,702
2.7 Till	---	0,143	3.10 Liq A	1,918	2,958
2.7 Liq A	3,052	2,198	3.10 Liq B	---	5,428
2.7 Liq B	---	0,085	3.11 Till	3,100	3,451
2.8 Liq A	6,036	3,746	3.11 Liq B	1,671	6,263
2.8 Liq B	---	2,707	3.12 Till	3,766	4,131
2.9 Till	3,949	---	3.12 Liq A	6,131	5,939
2.9 Liq A	2,739	4,301	3.12 Liq B	---	11,168
2.9 Liq B	---	4,125	3.14 Liq A	---	3,914
2.10 Liq B	1,754	---	3.14 Liq B	7,848	6,891

As variações das concentrações de cálcio, em miligramas por grama de massa seca de *T.usneoides*, determinadas em organismos coletados após 6 meses de exposição e após 10 meses de exposição, nos indivíduos de Tainhas e nos nativos da região, são observadas na figura abaixo:

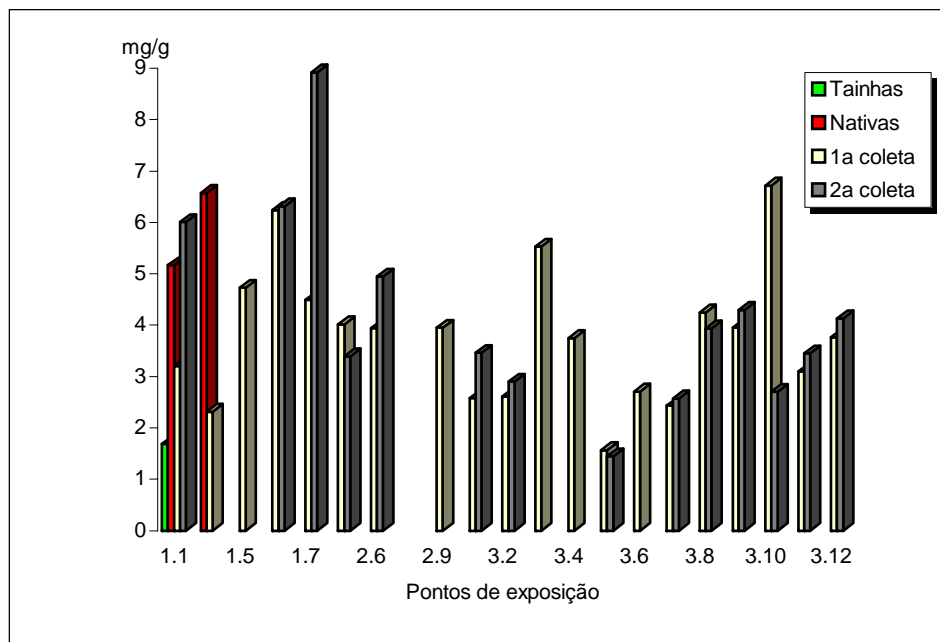


Fig. 55 - Concentrações de cálcio nas *T.usneoides*

Os valores extremos e médios do cálcio podem ser observados abaixo:

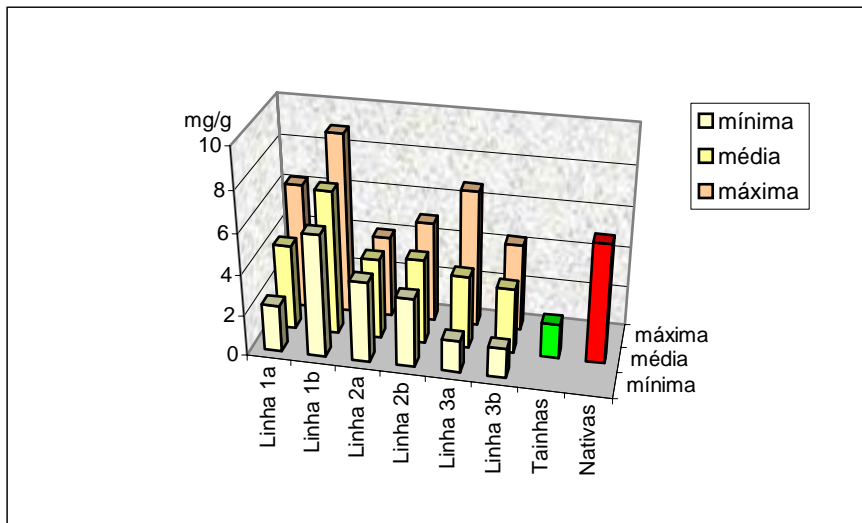


Fig. 56 - Valores mínimos, médios e máximos do Ca na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *T.usneoides*.

Na *R.simulans*, as concentrações do cálcio nos organismos de Tainhas, nos coletados após 6 meses de exposição e nos coletados após dez meses são observáveis abaixo:

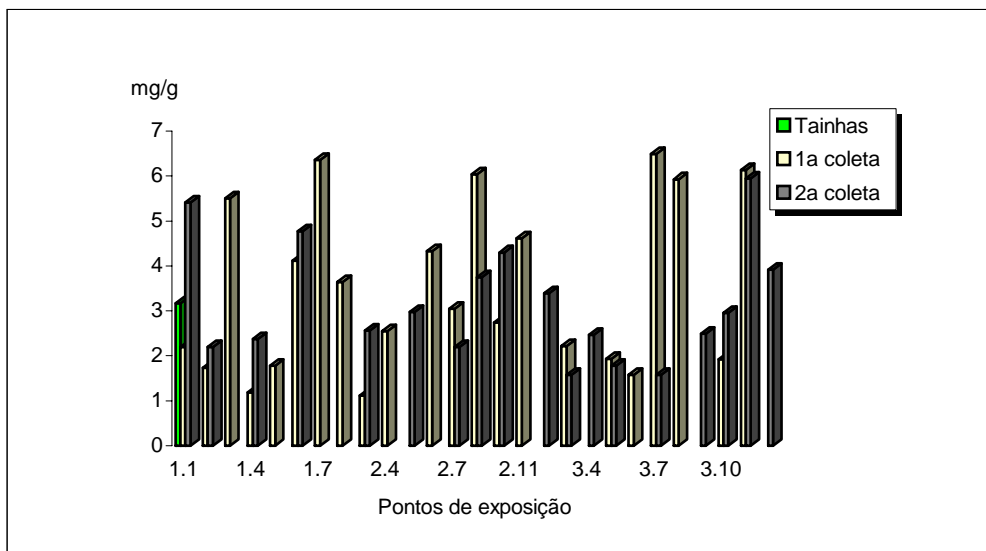


Fig. 57 - Concentrações de cálcio nas *R.simulans*.

Os valores mínimos, médios e máximos deste elemento nas *R.simulans* são apresentados na figura seguinte:

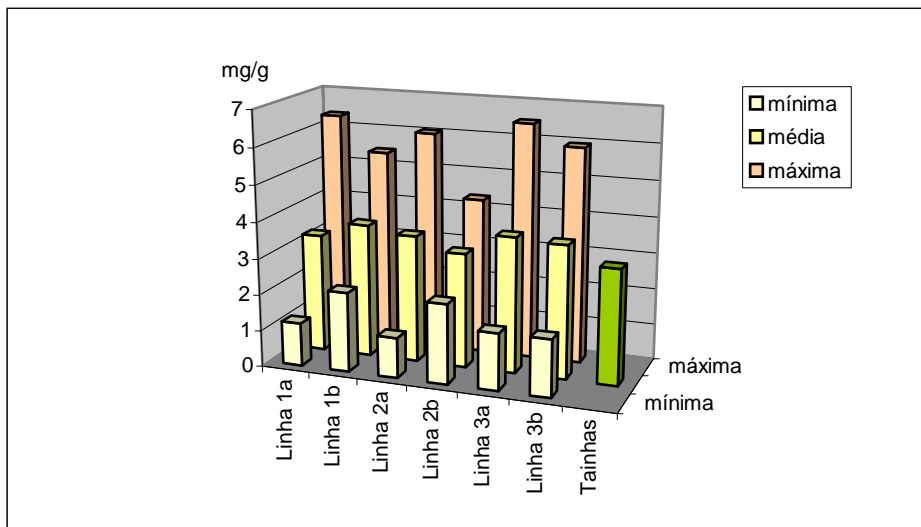


Fig. 58 - Valores mínimos, médios e máximos do Ca na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *R.simulans*.

O comportamento de cálcio na *Canomaculina sp.* pode ser observado nas figuras 59 e 60:

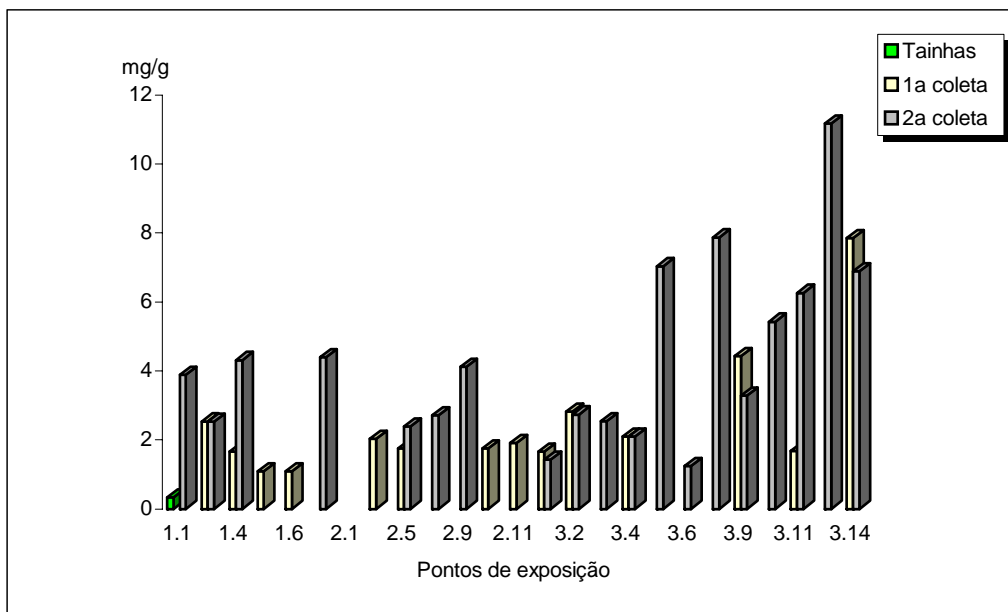


Fig. 59 - Concentrações de cálcio nas *Canomaculina*.

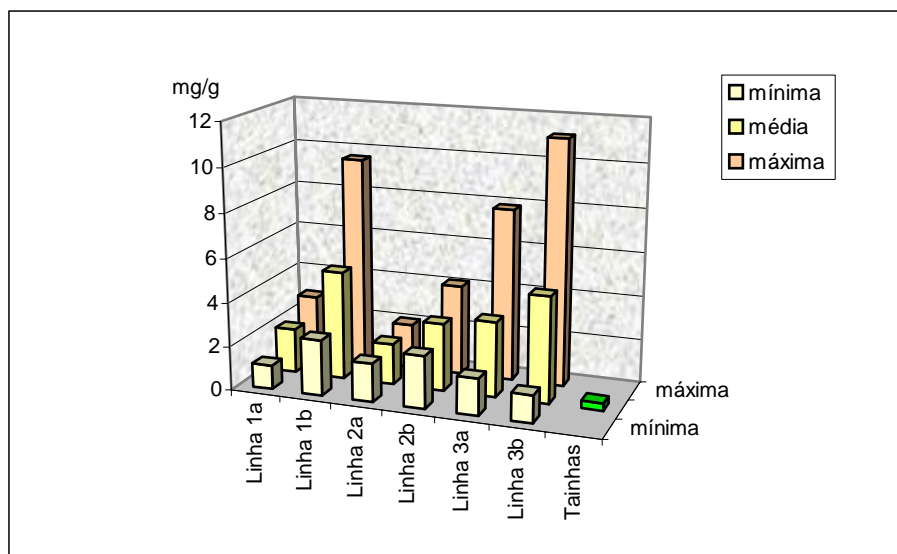


Fig. 60 - Valores mínimos, médios e máximos do Ca na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *Canomaculina* sp.

Na tabela a seguir estão sumarizadas as concentrações mínimas, médias e máximas determinadas para o cálcio, na atmosfera e nos organismos,:

Tabela 25 - Concentrações de cálcio na atmosfera e em organismos: valores mínimos, médios e máximos determinados na região da bacia do arroio Sapucaia e nos de referência (Tainhas) e valores de referência (Allen, 1974, Bowel, 1979 e outros).

Cálcio					
	mínimas	Ponto	médias	máximas	Ponto
Valores ref.ar($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.0005			7	
Valores ref.planta.(mg/g)	3			25	
PTS - mg/g ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
Pt.1	14,822	1.2	30,685 (2,386)	110,563	1.2
Pt.2	17,290	2.2	31,990 (2,051)	88,595	2.2
Pt.3	12,420	3.5	25,849 (0,799)	44,499	3.5
<i>T.usn.</i> (mg/g)					
Tainhas Nativas(1.5 e 1.6)			1,685		
			5,866		
Linha 1 a	2,315	1.1	4,196	6,241	1.6
Linha 1 b	6,005	1.3	7,078	8,918	1.7
Linha 2 a	3,949	2.6	3,968	4,016	2.3

Linha 2 b	3,392	2.3	4,168	4,944	2.6
Linha 3 a	1,566	3.5	3,580	6,720	3.10
Linha 3 b	1,440	3.5	3,210	4,299	3.9
R.sim.(mg/g)					
Tainhas			3,163		
Linha 1 a	1,189	1.4	3,268	6,360	1.7
Linha 1 b	2,196	1.2	3,686	5,413	1.1
Linha 2 a	1,110	2.3	3,507	6,036	2.8
Linha 2 b	2,198	2.7	3,157	4,301	2.9
Linha 3 a	1,573	3.6	3,742	6,485	3.7
Linha 3 b	1,574	3.7	3,664	5,939	3.12
Can.sp.(mg/g)					
Tainhas			0,337		
Linha 1 a	1,087	1.5	2,039	2,876	1.6
Linha 1 b	2,533	1.2	4,945	9,582	1.6
Linha 2 a	1,752	2.5	1,863	2,037	2.4
Linha 2 b	2,383	2.7	3,071	4,125	2.9
Linha 3 a	1,667	3.1	3,421	7,848	3.14
Linha 3 b	1,239	3.6	4,832	11,168	3.12

5.4.3. CHUMBO

As concentrações de chumbo determinadas pelas análises dos organismos expostos e nativos são apresentadas na tabela 26 abaixo:

Tabela 26 - Concentrações de chumbo nos organismos, na primeira coleta (após 6 meses de exposição) e na segunda coleta (após 10 meses de exposição). Os espaços assinalados por ---, significam ausência de dados por insuficiência amostral.

Organismos de Tainhas	Concentrações mg/g
Tillandsia	0,161
Liquen A	0,009
Liquen B	0,008

Organismos nativos	Concentrações mg/g
Till.1.5 nat	0,045
Till.1.6 nat	0,092

Localização	Concentr. mg/g	Concentr. mg/g	Localização	Concentr. mg/g	Concentr. mg/g
	1 ^a coleta	2 ^a coleta		1 ^a coleta	2 ^a coleta
1.1 Till.	0,158	0,176	2.10 Liq B	0,372	---
1.1 Liq.A	0,210	0,286	3.1 Till	0,042	0,005
1.1 Liq. B	---	0,531	3.1 Liq A	---	0,024
1.2 Liq.A	0,209	0,676	3.1 Liq B	0,046	0,057
1.2 Liq.B	0,517	0,679	3.2 Till	0,061	0,021
1.3 Liq.A	0,598	---	3.2 Liq B	0,090	0,126
1.4 Liq.A	0,404	0,369	3.3 Till	0,016	---
1.4 Liq.B	1,182	0,612	3.3 Liq A	0,138	0,032
1.5 Till.	0,121	---	3.3 Liq B	---	0,043
1.5 Liq.A	0,620	---	3.4 Till	0,010	---
1.5 Liq B	0,614	---	3.4 Liq A	---	0,067
1.6 Till.	0,217	0,031	3.4 Liq B	0,053	0,084
1.6 Liq A	0,558	0,055	3.5 Till	0,005	0,065
1.6 Liq.B	0,323	0,412	3.5 Liq A	0,013	0,291
1.7 Till.	0,094	0,028	3.5 Liq B	---	0,627
1.7 Liq. A	0,383	---	3.6 Till	0,017	---
1.7 Liq. B	---	0,064	3.6 Liq A	0,014	---
2.1 Liq.B	0,461	---	3.6 Liq B	---	0,061
2.2 Liq A	0,418	---	3.7 Till	0,007	0,017
2.2 Liq B	---	---	3.7 Liq A	0,006	0,039
2.3 Till	0,348	0,083	3.7 Liq B	---	0,037
2.3 Liq A	0,416	0,090	3.8 Till	0,007	0,025
2.4 Liq A	0,701	---	3.8 Liq A	0,014	---
2.4 Liq B	0,274	---	3.9 Till	0,001	1,501
2.5 Liq A	---	0,543	3.9 Liq B	0,006	0,000
2.5 Liq B	0,221	0,304	3.10 Till	0,000	0,000

2.6 Till	0,034	0,049	3.10 Liq A	0,000	0,001
2.6 Liq A	0,228	---	3.10 Liq B	---	0,006
2.7 Liq A	0,179	---	3.11 Till	0,000	0,006
2.7 Liq B	---	0,085	3.11 Liq B	0,093	0,000
2.8 Liq A	0,215	0,200	3.12 Till	0,022	0,000
2.8 Liq B	---	0,156	3.12 Liq A	0,025	0,034
2.9 Till	0,040	---	3.12 Liq B	---	0,022
2.9 Liq A	0,203	0,146	3.14 Liq A	---	0,036
2.9 Liq B	---	0,100	3.14 Liq B	0,037	0,029

As variações das concentrações de chumbo, em miligramas por grama de massa seca de *T.usneoides*, determinadas em indivíduos coletados após 6 meses de exposição (1ª coleta) e após 10 meses de exposição (2ª coleta), bem como as concentrações dos indivíduos coletados nos pontos 1.5 e 1.6 da área de trabalho e na *T.usneoides* coletada em Tainhas, são apresentados no gráfico a seguir:

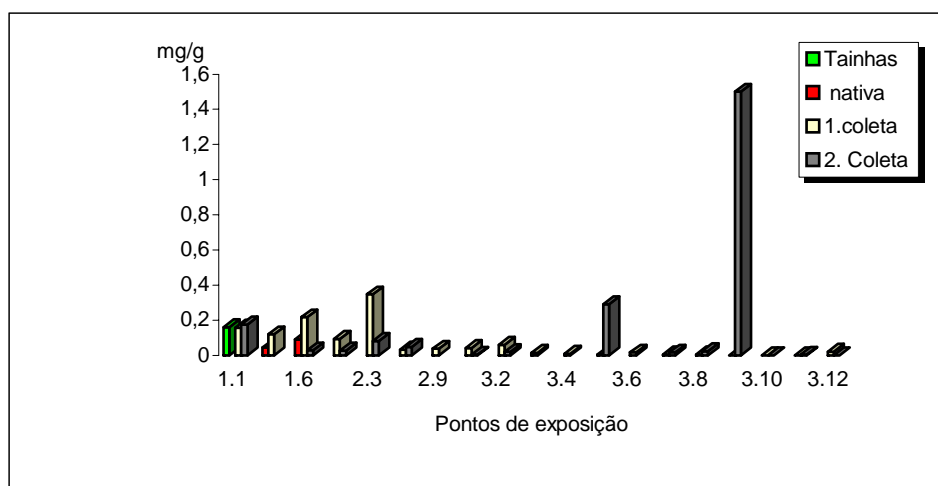


Fig. 61 - Concentrações de chumbo nas *T.usneoides*

Os valores mínimos, médios e máximos do chumbo nos pontos de cada linha e em cada período de coleta, bem com os valores médios para os indivíduos coletados em Tainhas e os nativos, podem ser comparados na figura seguinte:

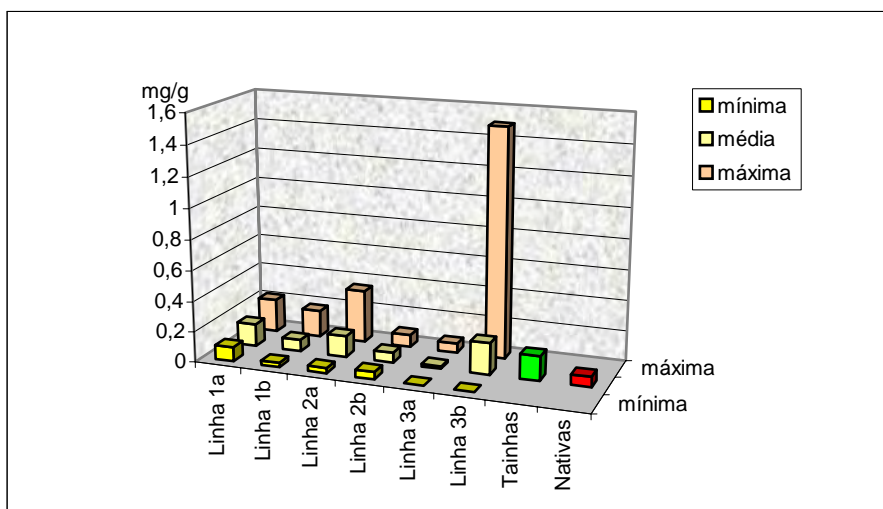


Fig. 62 - Valores mínimos, médios e máximos do Pb na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *T.usneoides*.

As concentrações de chumbo encontradas na *R.simulans* após 6 meses e dez meses de exposição e os valores mínimos, médios e máximos em cada linha amostral, a cada período, podem ser observados nas figuras 63 e 64, respectivamente.

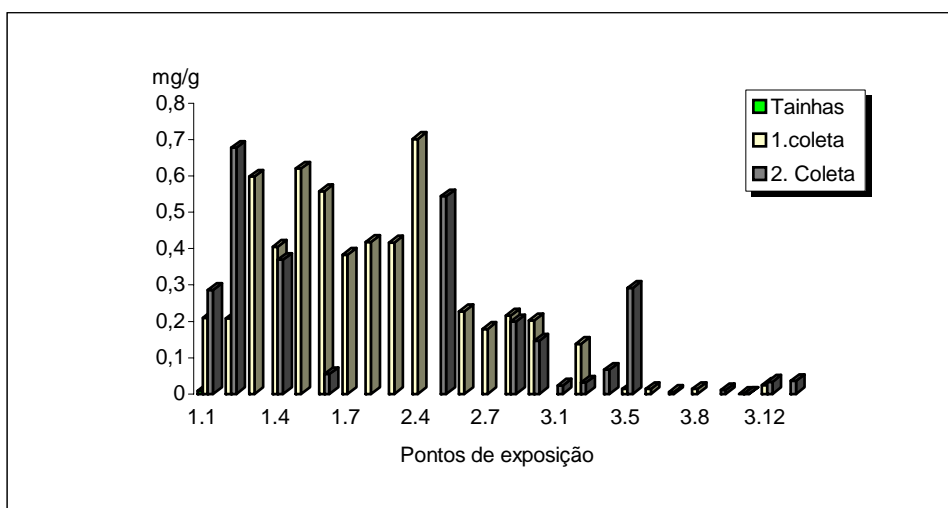


Fig. 63 - Concentrações de chumbo nas *R.simulans*.

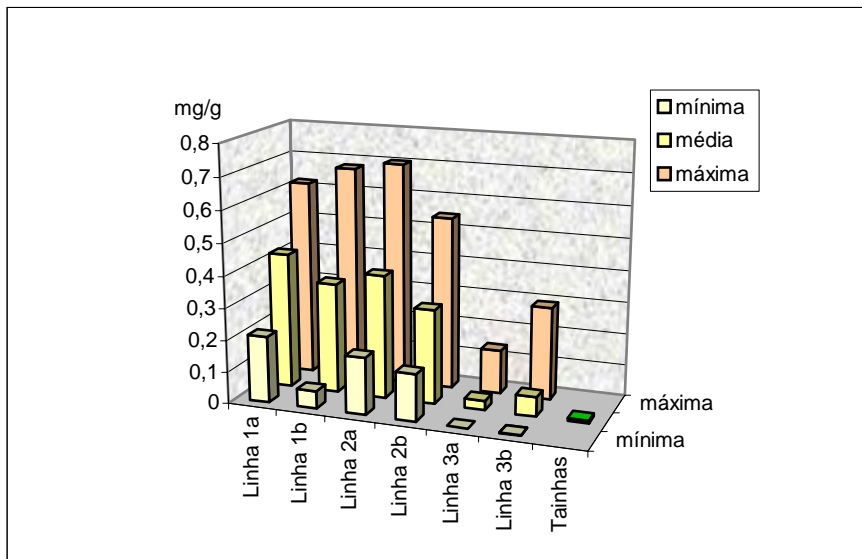


Fig. 64 - Valores mínimos, médios e máximos do Pb na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *R.simulans*.

Para a *Canomaculina sp.* as concentrações de chumbo encontradas após 6 meses e dez meses de exposição e os valores mínimos, médios e máximos em cada linha amostral, a cada período, podem ser observados nas figuras 65 e 66, respectivamente.

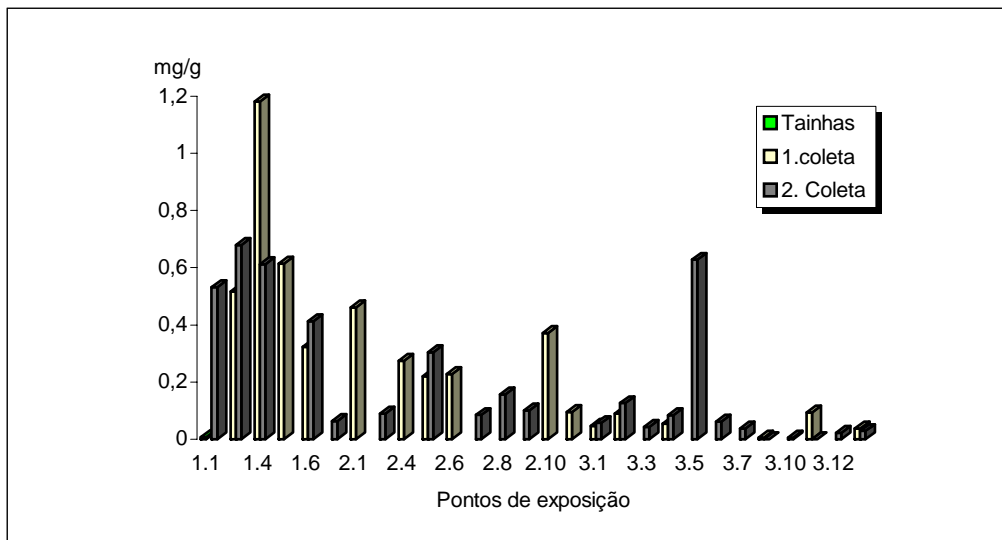


Fig. 65 - Concentrações de chumbo nas *Canomaculona sp.*

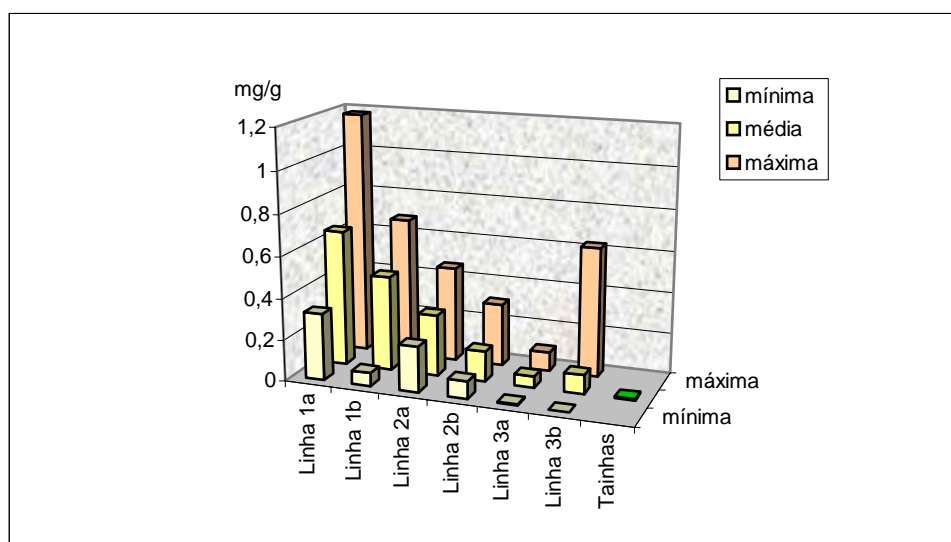


Fig. 66 - Valores mínimos, médios e máximos do Pb na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *Canomaculina sp.*.

Na tabela a seguir estão sumarizadas as concentrações mínimas, médias e máximas determinadas para o chumbo, na atmosfera e nos organismos:

Tabela 27 - Concentrações de chumbo na atmosfera e em organismos: valores mínimos, médios e máximos determinados na região da bacia do arroio Sapucaia e nos de referência (Tainhas) e valores de referência (Allen, 1974, Bowel, 1979 e outros).

Chumbo					
	minimas	Ponto	médias	máximas	Ponto
Valores de ref.ar ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,0006			13	
Valor de ref.plantas ($\mu\text{g}/\text{g}$)	0,05			13	
PTS - mg/g ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
Pt.1	0,205	1.2	1,280 (0,093)	6,055	1.2
Pt.2	0,187	2.2	1,093 (0,061)	6,482	2.2
Pt.3	nd	3.5	0,609 (0,020)	1,377	3.5
<i>T.usn.</i> (mg/g)					
Tainhas			0,161		
Nativas(1.5 e 1.6)			0,068		
Linha 1 a	0,094	1.7	0,147	0,218	1.6
Linha 1 b	0,028	1.7	0,078	0,176	1.1
Linha 2 a	0,034	2.6	0,140	0,348	2.3
Linha 2 b	0,049	2.6	0,066	0,083	2.3
Linha 3 a	0,000	3.10/11	0,015	0,061	3.2
Linha 3 b	0,000	3.10/12	0,207	1,501	3.9

R.sim.(mg/g)					
Tainhas			0,009		
Linha 1 a	0,209	1.8	0,426	0,620	1.5
Linha 1 b	0,055	1.6	0,347	0,677	1.2
Linha 2 a	0,179	2.7	0,388	0,701	2.4
Linha 2 b	0,147	2.9	0,297	0,544	2.5
Linha 3 a	0,000	3.10	0,030	0,138	3.3
Linha 3 b	0,001	3.10	0,062	0,292	3.5
Can.sp.(mg/g)					
Tainhas			0,008		
Linha 1 a	0,323	1.6	0,659	1,182	1.4
Linha 1 b	0,064	1.7	0,460	0,680	1.2
Linha 2 a	0,221	2.5	0,296	0,461	2.1
Linha 2 b	0,085	2.7	0,147	0,304	2.5
Linha 3 a	0,006	3.9	0,054	0,093	3.11
Linha 3 b	0,000	3.9/11	0,091	0,628	3.5

5.4.4. COBRE

As concentrações de cobre determinadas pelas análises dos indivíduos coletados na área controle, de menor impacto ambiental, em Tainhas, nas *T.usneoides* nativas da área da bacia do arroio Sapucaia e nos expostos nas 3 linhas que cruzam a bacia são apresentadas na tabela 28 abaixo.

Tabela 28 - Concentrações de cobre nos organismos, na primeira coleta (após 6 meses de exposição) e na segunda coleta (após 10 meses de exposição). Os espaços assinalados por ---, significam ausência de dados por insuficiência amostral.

Organismos de Tainhas	Concentrações mg/g
Tillandsia	0,002
Liquen A	0,017
Liquen B	0,016

Organismos nativos	Concentrações mg/g
Till.1.5 nat	0,026
Till.1.6 nat	0,033

Localização	Concentr. mg/g	Concentr. mg/g	Localização	Concentr. mg/g	Concentr. mg/g
	1 ^a coleta	2 ^a coleta		1 ^a coleta	2 ^a coleta
1.1 Till.	0,012	0,040	2.10 Liq B	0,399	---
1.1 Liq.A	0,033	0,056	2.11 Liq B	0,023	---
1.1 Liq. B	---	0,094	3.1 Till	0,028	0,028
1.2 Liq.A	0,023	0,081	3.1 Liq A	---	0,026
1.2 Liq.B	0,028	0,097	3.1 Liq B	0,063	0,066
1.3 Liq.A	0,082	---	3.2 Till	0,040	0,023
1.4 Liq.A	0,094	0,063	3.2 Liq B	0,145	0,115
1.4 Liq.B	0,112	0,047	3.3 Till	0,038	---
1.5 Till.	0,128	---	3.3 Liq A	0,062	0,037
1.5 Liq.A	0,086	---	3.3 Liq B	---	0,041
1.5 Liq B	0,068	---	3.4 Till	0,040	---
1.6 Till.	0,045	0,042	3.4 Liq A	---	0,055
1.6 Liq A	0,253	0,042	3.4 Liq B	0,112	0,074
1.6 Liq.B	0,096	0,102	3.5 Till	0,112	0,051
1.7 Till.	0,029	0,039	3.5 Liq A	0,075	0,044
1.7 Liq. A	0,084	---	3.5 Liq B	---	0,092
1.7 Liq. B	---	0,086	3.6 Till	0,043	---
2.1 Liq.B	0,074	---	3.6 Liq A	0,070	---
2.2 Liq A	0,200	---	3.6 Liq B	---	0,071
2.3 Till	---	0,082	3.7 Till	0,038	0,031
2.3 Liq A	0,031	0,104	3.7 Liq A	0,040	0,053
2.4 Liq A	0,362	---	3.7 Liq B	---	0,063
2.4 Liq B	0,093	---	3.8 Till	0,057	0,030

2.5 Liq A	---	0,030	3.8 Liq A	0,113	---
2.5 Liq B	0,024	0,032	3.9 Till	0,024	0,022
2.6 Till	0,018	0,017	3.9 Liq B	0,046	0,026
2.6 Liq A	0,032	---	3.10 Till	0,044	0,077
2.7 Till	---	0,055	3.10 Liq A	0,062	0,058
2.7 Liq A	0,030	0,123	3.11 Till	0,036	0,089
2.7 Liq B	---	0,036	3.11 Liq B	0,077	0,162
2.8 Liq A	0,169	0,064	3.12 Till	0,036	0,055
2.8 Liq B	---	0,040	3.12 Liq A	0,054	0,028
2.9 Till	0,019	---	3.12 Liq B	---	0,043
2.9 Liq A	0,230	0,052	3.14 Liq A	---	0,059
2.9 Liq B	---	0,062	3.14 Liq B	0,071	0,090

As variações das concentrações de cobre, em miligramas por grama de massa seca de *T.usneoides*, determinadas em indivíduos coletados após 6 meses de exposição e após 10 meses de exposição, nos de Tainhas e nos nativos da região, são observadas na figura abaixo:

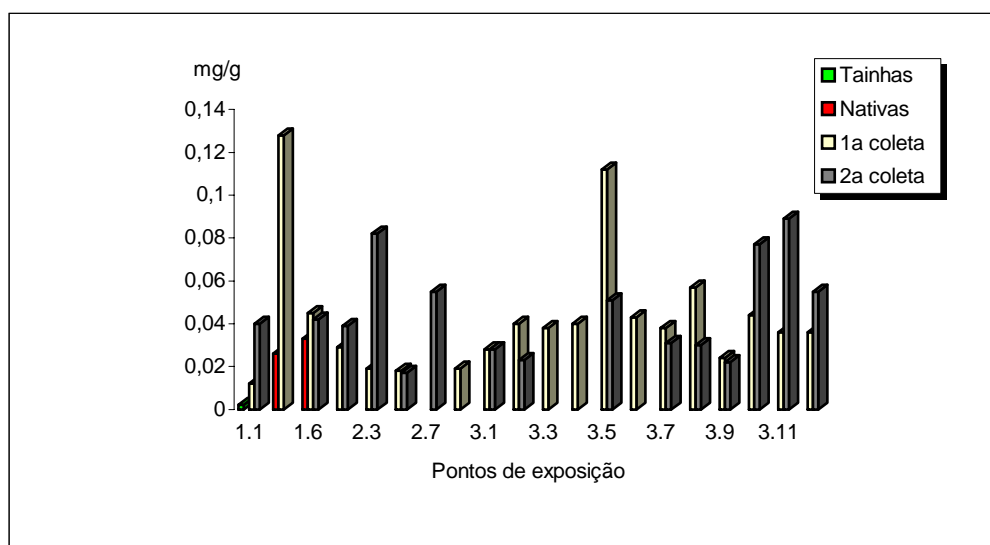


Fig. 67 - Concentrações de cobre nas *T.usneoides*.

Os valores extremos e médios do cobre podem ser observados abaixo:

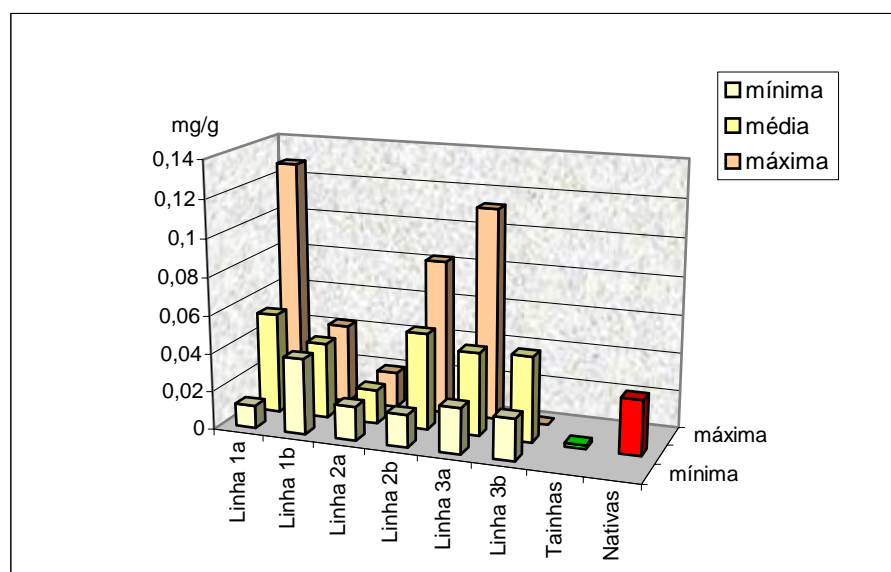


Fig. 68 - Valores mínimos, médios e máximos do Cu na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *T.usneoides*.

Na *R.simulans*, o cobre nos indivíduos de Tainhas, nos coletados após 6 meses de exposição e nos coletados após dez meses apresentou concentrações observadas abaixo:

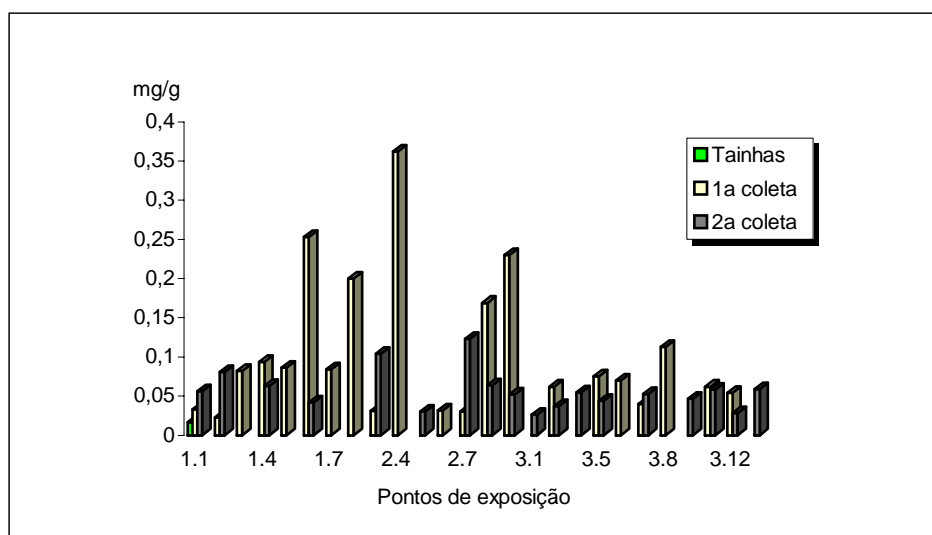


Fig. 69 - Concentrações de cobre nas *R.simulans*.

Na *R.simulans*, as concentrações do cobre nos indivíduos de Tainhas, nos coletados após 6 meses de exposição e nos coletados após dez meses apresentaram variações extremas e médias observáveis abaixo:

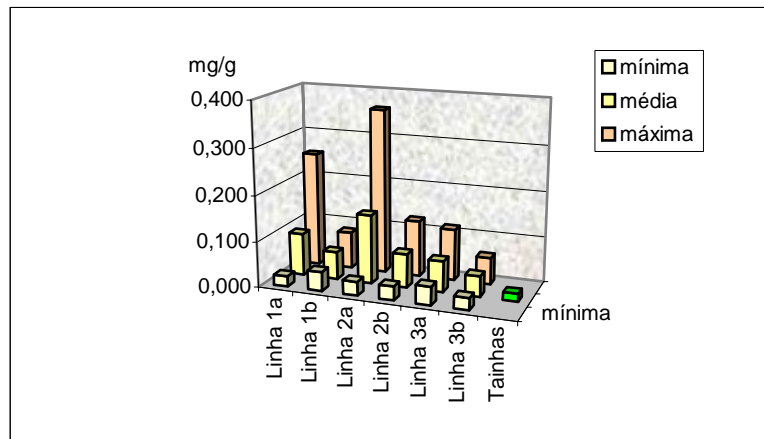


Fig. 70 - Valores mínimos, médios e máximos do Cu na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *R.simulans*.

O comportamento de cobre na *Canomaculina sp.* pode ser observado nas figuras que seguem:

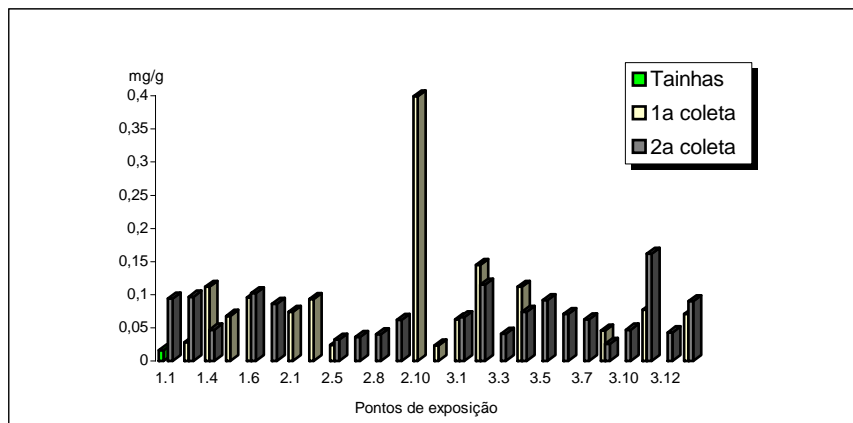


Fig. 71 - Concentrações de cobre nas *R.simulans*.

A seguir estão sumarizadas as concentrações mínimas, médias e máximas determinadas para o cobre, na atmosfera e nos organismos:

Tabela 29 - Concentrações de cobre na atmosfera e em organismos: valores mínimos, médios e máximos determinados na região da bacia do arroio Sapucaia e nos de referência (Tainhas) e valores de referência (Allen, 1974, Bowel, 1979 e outros).

Cobre					
	minimas	Ponto	médias	máximas	Ponto
Valores de ref.ar (ng/m³)	0,02			200	
Valor de ref.plantas (mg/g)	0,005			0,015	
PTS -mg/g (µg/m³)					
Pt.1	2,210	1.2	6,527 (0,432)	15,31	1.2
Pt.2	0,418	2.2	1,846 (0,092)	4,100	2.2
Pt.3	0,410	3.5	11,732 (0,354)	26,350	3.5
T.usn.(mg/g)					
Tainhas			0,002		
Nativas(1.5 e 1.6)			0,029		
Linha 1 a	0,012	1.1	0,053	0,128	1.5
Linha 1 b	0,040	1.1	0,040	0,042	1.6
Linha 2 a	0,010	2.3	0,015	0,019	2.9
Linha 2 b	0,017	2.6	0,051	0,082	2.3
Linha 3 a	0,024	3.9	0,044	0,112	3.5
Linha 3 b	0,022	3.11	0,045	0,089	3.11
R.sim.(mg/g)					
Tainhas			0,017		
Linha 1 a	0,023	1.3	0,093	0,253	1.6
Linha 1 b	0,042	1.6	0,060	0,081	1.2
Linha 2 a	0,030	2.7	0,151	0,362	2.4
Linha 2 b	0,030	2.5	0,074	0,123	2.7
Linha 3 a	0,040	3.7	0,068	0,113	3.8
Linha 3 b	0,026	3.1	0,045	0,059	3.14
Can.sp.(mg/g)					
Tainhas			0,016		
Linha 1 a	0,028	1.2	0,076	0,112	1.4
Linha 1 b	0,047	1.4	0,085	0,102	1.6
Linha 2 a	0,023	2.11	0,122	0,399	2.10
Linha 2 b	0,032	2.5	0,042	0,062	2.9
Linha 3 a	0,023	3.9	0,085	0,145	3.2
Linha 3 b	0,026	3.9	0,074	0,115	3.2

5.4.5. FERRO

As concentrações de ferro determinadas pelas análises dos organismos expostos e nativos são apresentadas na tabela 30 abaixo:

Tabela 30 - Concentrações de ferro nos organismos, na primeira coleta (após 6 meses de exposição) e na segunda coleta (após 10 meses de exposição). Os espaços assinalados por ---, significam ausência de dados por insuficiência amostral.

Organismos de Tainhas	Concentrações mg/g
Tillandsia	0,229
Liquen A	3,089
Liquen B	4,951

Organismos nativos	Concentrações mg/g
Till.1.5 nat	1,464
Till.1.6 nat	1,043

Localização	Concentr. mg/g		Localização	Concentr. mg/g	
	1ª coleta	2ª coleta		1ª coleta	2ª coleta
1.1 Till.	1,272	6,045	2.10 Liq B	3,817	---
1.1 Liq.A	5,373	7,193	2.11 Liq B	2,802	---
1.1 Liq. B	---	5,229	3.1 Till	0,633	3,037
1.2 Liq.A	2,845	2,524	3.1 Liq A	---	4,091
1.2 Liq.B	2,266	2,731	3.1 Liq B	3,373	1,007
1.3 Till.	0,570	---	3.2 Till	1,435	2,160
1.3 Liq.A	4,813	---	3.2 Liq B	8,401	5,290
1.4 Liq.A	3,763	9,006	3.3 Till	3,791	---
1.4 Liq.B	3,782	11,562	3.3 Liq A	6,824	2,340
1.5 Till.	0,690	---	3.3 Liq B	---	2,209
1.5 Liq.A	2,838	---	3.4 Till	0,773	---
1.5 Liq B	1,341	---	3.4 Liq A	---	3,538
1.6 Till.	1,975	4,290	3.4 Liq B	1,579	0,814
1.6 Liq A	4,329	8,372	3.5 Till	0,900	0,636
1.6 Liq.B	3,769	7,581	3.5 Liq A	5,209	1,118
1.7 Till.	0,782	4,287	3.5 Liq B	---	2,809
1.7 Liq. A	3,741	---	3.6 Till	2,367	---
1.7 Liq. B	---	23,584	3.6 Liq A	5,494	---
2.1 Liq.B	4,074	---	3.6 Liq B	---	1,628
2.2 Till	---	---	3.7 Till	1,017	1,052
2.2 Liq A	3,471	---	3.7 Liq A	3,472	2,468
2.3 Till	9,839	1,353	3.7 Liq B	---	2,744
2.3 Liq A	2,508	4,184	3.8 Till	3,455	1,693
2.4 Liq A	5,670	---	3.8 Liq A	8,659	---
2.4 Liq B	5,434	---	3.9 Till	0,825	1,159

2.5 Liq A	---	6,493	3.9 Liq A	---	2,279
2.5 Liq B	4,535	4,482	3.9 Liq B	6,420	3,478
2.6 Till	8,905	1,299	3.10 Till	1,006	1,763
2.6 Liq A	3,963	---	3.10 Liq A	2,373	2,867
2.7 Till	---	3,297	3.10 Liq B	---	4,994
2.7 Liq A	4,070	2,635	3.11 Till	1,218	4,276
2.7 Liq B	---	0,561	3.11 Liq B	3,289	10,796
2.8 Liq A	4,096	3,905	3.12 Till	4,243	4,386
2.8 Liq B	---	4,175	3.12 Liq A	9,026	7,706
2.9 Till	0,775	---	3.12 Liq B	---	11,385
2.9 Liq A	3,996	6,812	3.14 Liq A	---	7,400
2.9 Liq B	---	6,900	3.14 Liq B	11,385	8,572

As variações das concentrações de ferro, em miligramas por grama de massa seca de *T.usneoides*, determinadas em indivíduos coletados após 6 meses de exposição (1ª coleta) e após 10 meses de exposição (2ª coleta), bem como as concentrações dos coletados nos pontos 1.5 e 1.6 da área de trabalho e na *T.usneoides* coletada em Tainhas, são apresentados no gráfico a seguir:

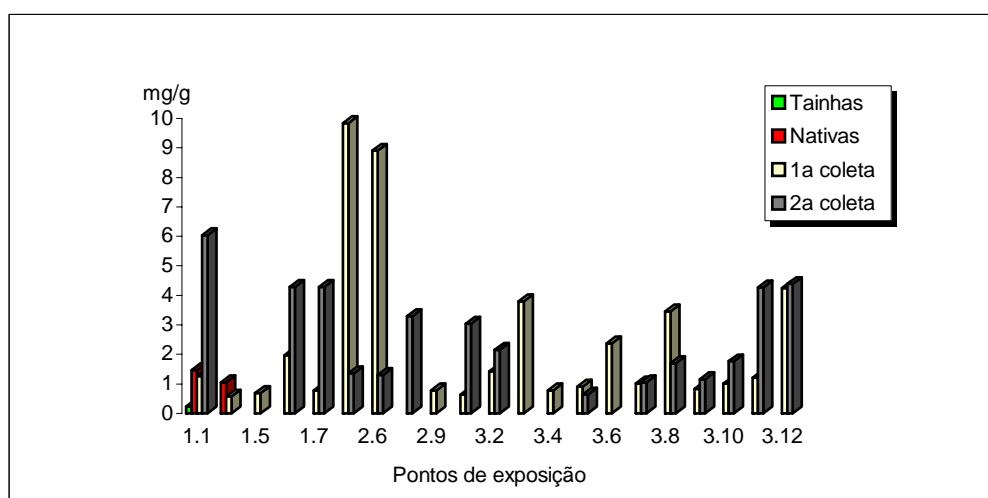


Figura 73 - Concentrações de ferro na *T.usneoides*.

Em cada período de coleta os valores mínimos, médios e máximos do ferro nos pontos de cada linha, bem com os valores médios para os coletados em Tainhas e os nativos, podem ser comparados na figura seguinte:

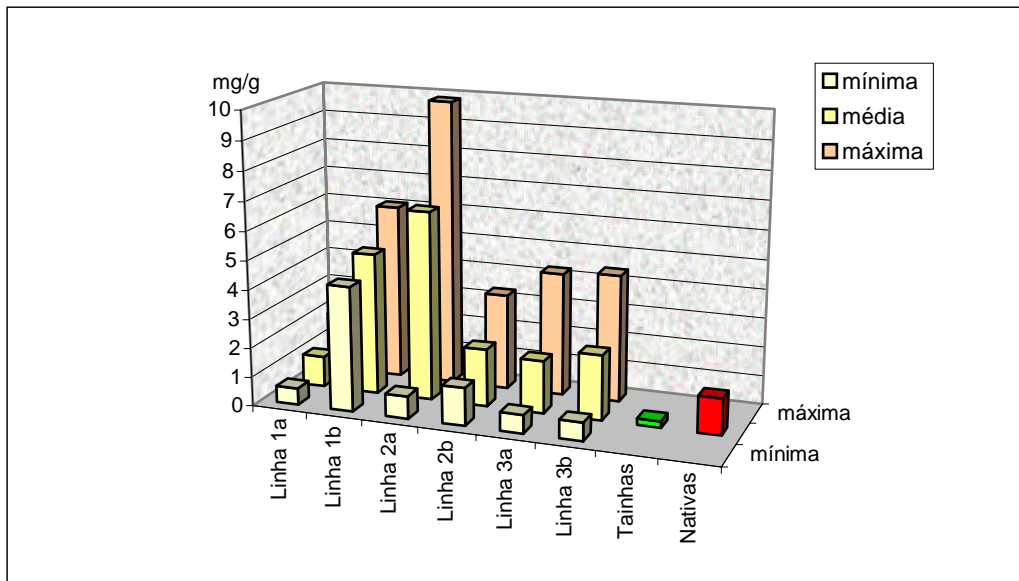


Figura 74 - Valores mínimos, médios e máximos do Fe na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *T.usneoides*.

As concentrações de ferro encontradas na *R.simulans* após 6 meses e dez meses de exposição e os valores mínimos, médios e máximos em cada linha amostral, a cada período, podem ser observados nas figuras 75 e 76, respectivamente.

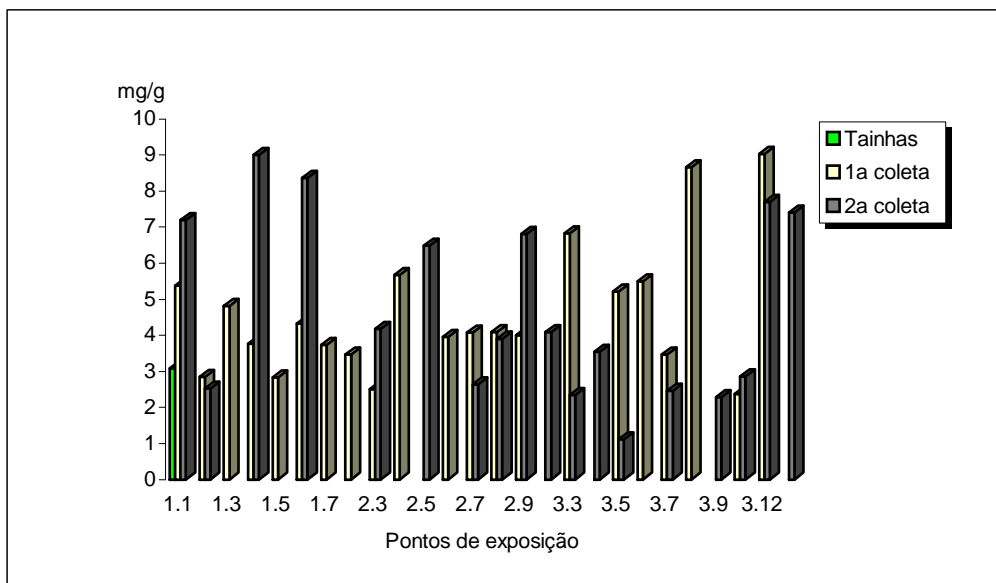


Figura 75 - Concentrações de ferro na *R.simulans*.

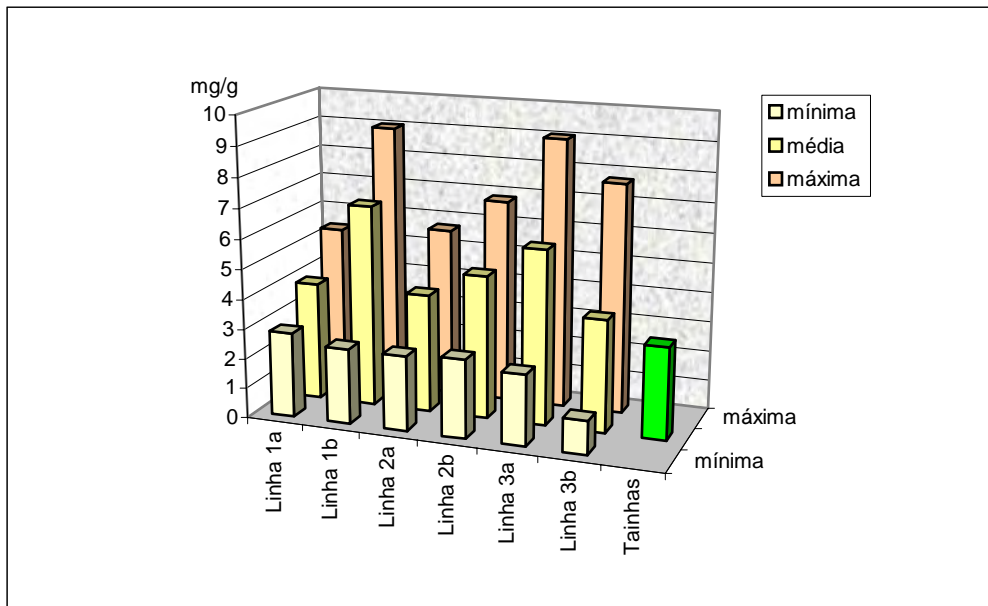


Figura. 76 - Valores mínimos, médios e máximos do Fe na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *R.simulans*.

Para a *Canomaculina sp.* as concentrações de ferro encontradas após 6 meses e dez meses de exposição e os valores mínimos, médios e máximos em cada linha amostral, a cada período, podem ser observados nas figuras 77 e 78, respectivamente.

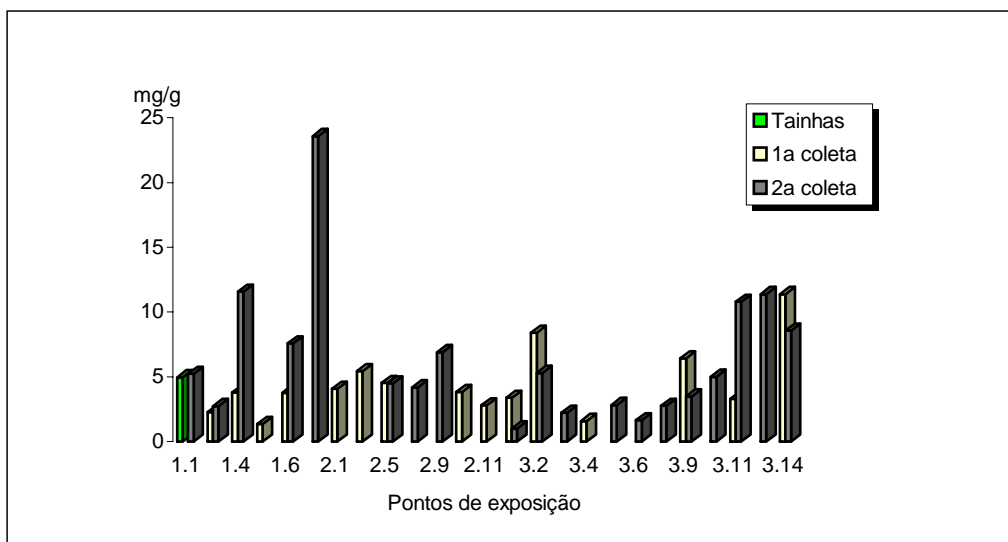


Figura 77 - Concentrações de ferro na *Canomaculina sp.*

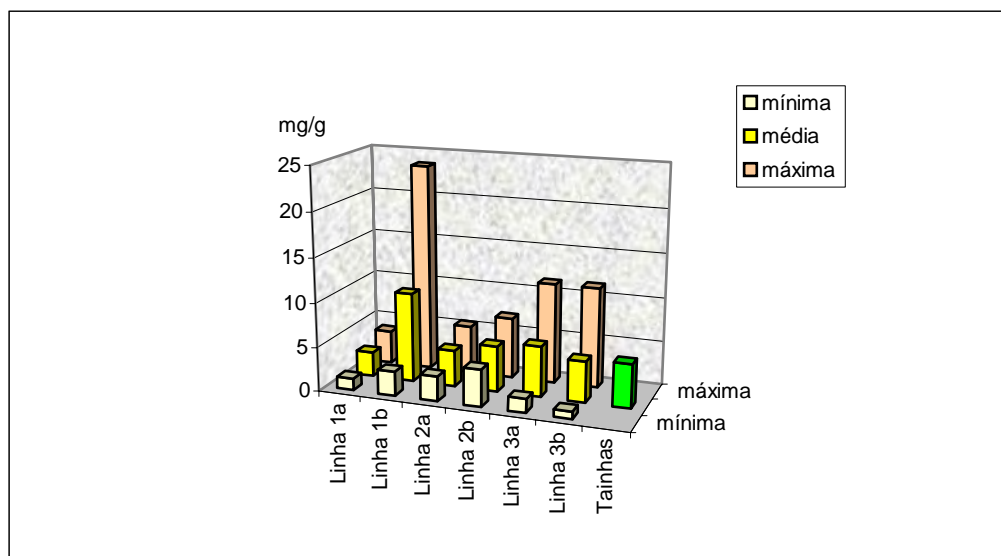


Figura. 78 - Valores mínimos, médios e máximos do Fe na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *Canomaculina sp.*.

As concentrações mínimas, médias e máximas do ferro na atmosfera e nos organismos estão sumarizadas na tabela a seguir:

Tabela 31 - Concentrações de ferro na atmosfera e em organismos: valores mínimos, médios e máximos determinados na região da bacia do arroio Sapucaia e nos de referência (Tainhas) e valores de referência (Allen, 1974, Bowel, 1979 e outros).

Ferro					
	mínimas	Ponto	médias	máximas	Ponto
Valores ref.ar($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,0008			14	
Valores ref.planta (mg/g)	0,04			0,7	
PTS -mg/g ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
Pt.1	19,040	1.2	41,966 (3,251)	88,012	1.2
Pt.2	20,070	2.2	36,119 (2,144)	71,486	2.2
Pt.3	8,538	3.5	24,486 (0,889)	37,449	3.5
<i>T.usn.</i> (mg/g)					
Tainhas Nativas(1.5 e 1.6)			1,253		
Linha 1 a	0,57	1.3	1,057	1,975	1.6
Linha 1 b	4,29	1.6	4,874	6,045	1.1
Linha 2 a	0,775	2.9	6,506	9,839	2.3
Linha 2 b	1,299	2.6	1,983	3,297	2.7
Linha 3 a	0,633	3.1	1,805	4,243	3.12
Linha 3 b	0,636	3.5	2,240	4,386	3.12

R.sim.(mg/g)					
Tainhas			3,089		
Linha 1 a	2,838	1.5	3,957	5,373	1.1
Linha 1 b	2,524	1.2	6,773	9,006	1.4
Linha 2 a	2,508	2.3	3,967	5,670	2.5
Linha 2 b	2,635	2.7	4,805	6,812	2.9
Linha 3 a	2,373	3.12	5,865	9,026	3.12
Linha 3 b	1,118	3.12	3,756	7,706	3.12
Can.sp.(mg/g)					
Tainhas			4,951		
Linha 1 a	1,341	1.5	2,789	3,782	1.4
Linha 1 b	2,731	1.2	10,137	23,584	1.7
Linha 2 a	2,802	2.11	4,132	5,434	2.4
Linha 2 b	4,175	2.8	5,185	6,900	2.9
Linha 3 a	1,579	3.4	5,741	11,385	3.14
Linha 3 b	0,814	3.4	4,643	11,385	3.12

5.4.6. LÍTIO

Na tabela 32, abaixo, são apresentadas as concentrações de lítio determinadas pelas análises dos organismos expostos e nativos:

Tabela 32 - Concentrações de lítio nos organismos, na primeira coleta (após 6 meses de exposição) e na segunda coleta (após 10 meses de exposição). Os espaços assinalados por ---, significam ausência de dados por insuficiência amostral.

Organismos de Tainhas	Concentrações mg/g
Tillandsia	0,051
Liquen A	0,025
Liquen B	0,029

Organismos nativos	Concentrações mg/g
Till.1.5 nat	0,065
Till.1.6 nat	0,068

Localização	Concentr. mg/g	Concentr. mg/g	Localização	Concentr. mg/g	Concentr. mg/g
	1 ^a coleta	2 ^a coleta		1 ^a coleta	2 ^a coleta
1.1 Till.	0,043	0,050	2.11 Liq A	0,042	---
1.1 Liq.A	0,033	0,029	2.11 Liq B	0,022	---
1.1 Liq. B	---	0,037	3.1 Till	0,054	0,054
1.2 Liq.A	0,027	0,033	3.1 Liq A	---	0,023
1.2 Liq.B	0,028	0,024	3.1 Liq B	0,026	0,029
1.3 Till.	0,213	---	3.2 Till	0,056	0,056
1.3 Liq.A	0,043	---	3.2 Liq B	0,044	0,057
1.4 Liq.A	0,022	0,029	3.3 Till	0,055	---
1.4 Liq.B	0,019	0,030	3.3 Liq A	0,036	0,030
1.5 Till.	0,042	---	3.3 Liq B	---	0,029
1.5 Liq.A	0,016	---	3.4 Till	0,050	---
1.5 Liq B	0,012	---	3.4 Liq A	---	0,023
1.6 Till.	0,025	0,033	3.4 Liq B	0,033	0,033
1.6 Liq A	0,023	0,026	3.5 Till	0,070	0,045
1.6 Liq.B	0,016	0,042	3.5 Liq A	0,026	0,024
1.7 Till.	0,050	0,054	3.5 Liq B	---	0,046
1.7 Liq. A	0,027	---	3.6 Till	0,057	---
1.7 Liq. B	---	0,045	3.6 Liq A	0,020	---
2.1 Liq.B	0,023	---	3.6 Liq B	---	0,047
2.2 Liq A	0,025	---	3.7 Till	0,051	0,048
2.3 Till	0,034	0,032	3.7 Liq A	0,030	0,025
2.3 Liq A	0,017	0,030	3.7 Liq B	---	0,046
2.4 Liq A	0,025	---	3.8 Till	0,049	0,038
2.4 Liq B	0,021	---	3.8 Liq A	0,022	---
2.5 Liq A	---	0,025	3.9 Till	0,039	0,036
2.5 Liq B	0,033	0,031	3.9 Liq A	---	0,023
2.6 Till	0,048	0,068	3.9 Liq B	0,029	0,031

2.6 Liq A	0,030	---	3.10 Till	0,053	0,054
2.7 Till	---	0,094	3.10 Liq A	0,026	0,024
2.7 Liq A	0,034	0,025	3.10 Liq B	---	0,035
2.7 Liq B	---	0,009	3.11 Till	0,042	0,043
2.8 Liq A	0,029	0,032	3.11 Liq B	0,025	0,033
2.8 Liq B	---	0,048	3.12 Till	0,061	0,056
2.9 Till	0,037	---	3.12 Liq A	---	0,032
2.9 Liq A	0,035	0,036	3.12 Liq B	0,035.	0,040
2.9 Liq B	---	0,031	3.14 Liq A	---	0,035
2.10 Liq B	0,026	---	3.14 Liq B	0,030	0,034

As variações das concentrações de lítio, em miligramas por grama de massa seca de *T.usneoides*, determinadas em indivíduos coletados após 6 meses de exposição (1ª coleta) e após 10 meses de exposição (2ª coleta), bem como as concentrações dos coletados nos pontos 1.5 e 1.6 da área de trabalho e na *T.usneoides* coletada em Tainhas, são apresentados na figura 79 e, os valores mínimos, médios e máximos, na figura 80:

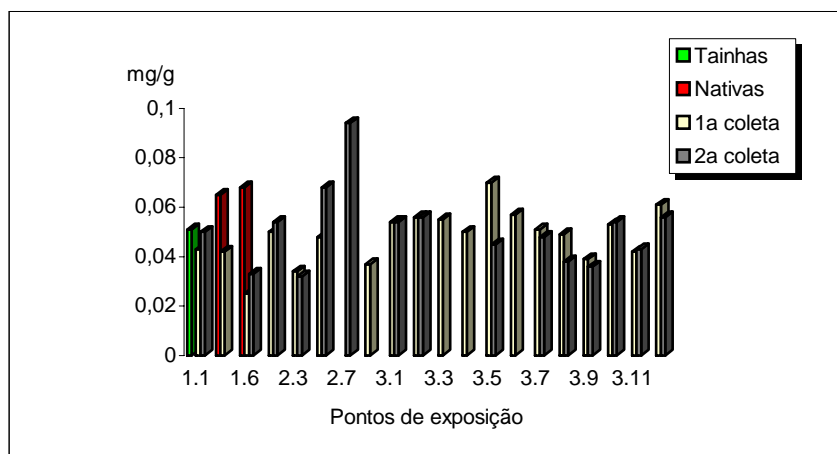


Figura 79 - Concentrações de lítio na *T. usneoides*.

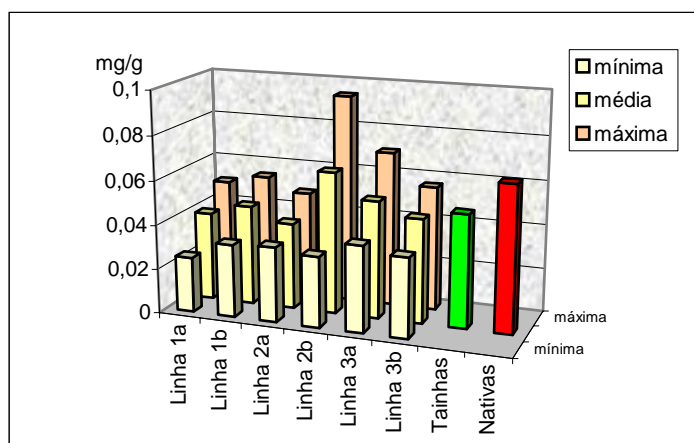


Figura 80 - Valores mínimos, médios e máximos do Li na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *T.usneoides*.

As concentrações de lítio encontradas na *R.simulans* após 6 meses e dez meses de exposição e os valores mínimos, médios e máximos em cada linha amostral, a cada período, podem ser observados nas figuras 81 e 82, respectivamente.

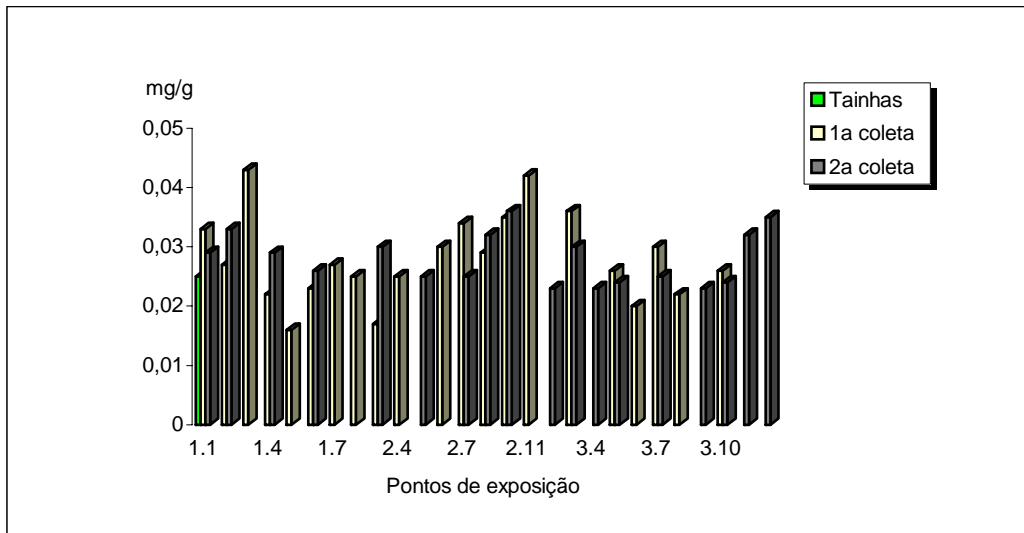


Figura 81 - Concentrações de lítio na *R.simulans*.

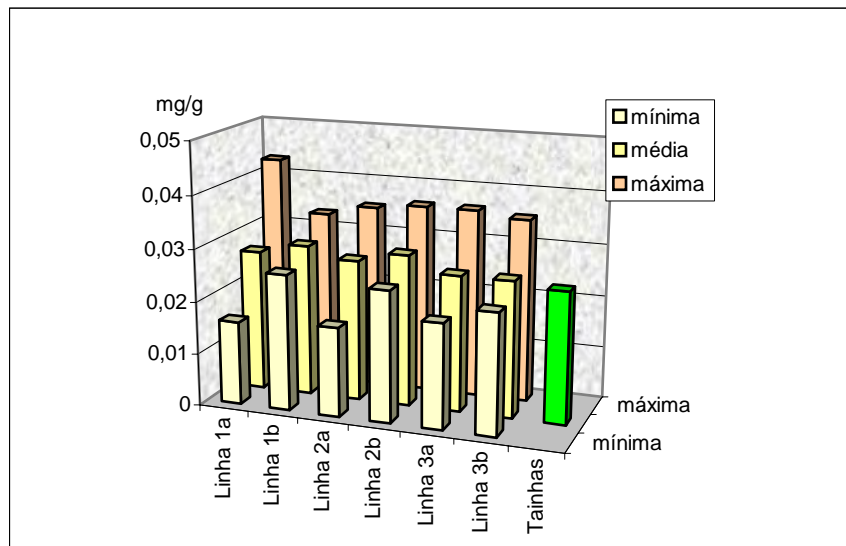


Figura 82 - Valores mínimos, médios e máximos do Li na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *R.simulans*..

Para a *Canomaculina sp.* as concentrações de lítio encontradas após 6 meses e dez meses de exposição e os valores mínimos, médios e máximos em cada

linha amostral, a cada período, podem ser observados nas figuras 83 e 84, respectivamente.

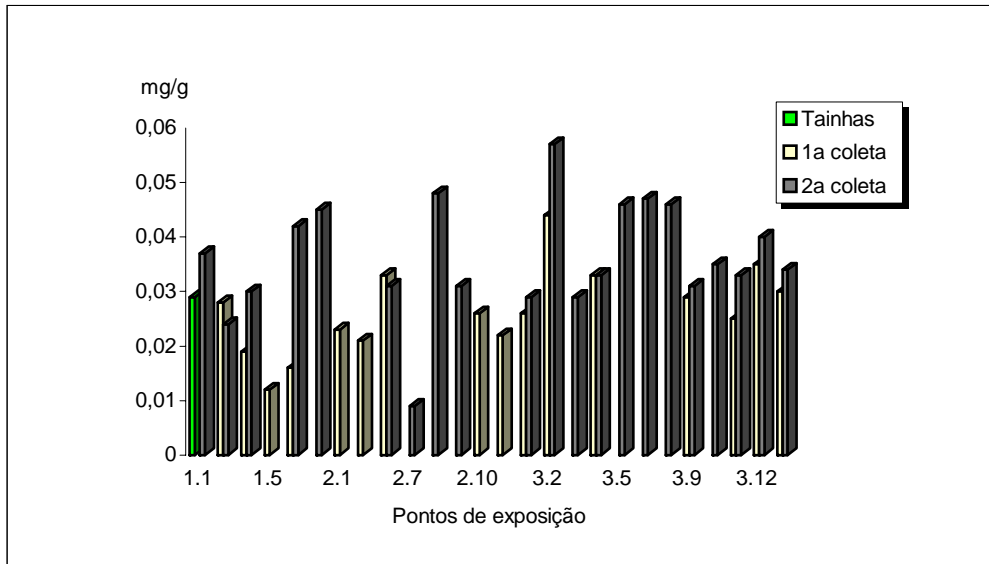


Figura 83 - Concentrações de lítio na *Canomaculina sp.*

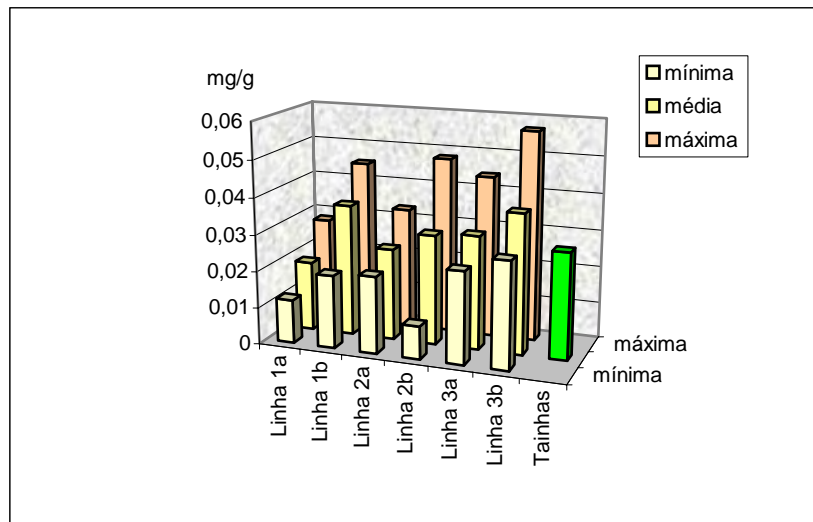


Figura 84 - Valores mínimos, médios e máximos do Li na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *Canomaculina sp.*

Para o lítio, as concentrações mínimas, médias e máximas na atmosfera e nos organismos estão sumarizadas na tabela a seguir:

Tabela 33 - Concentrações de lítio na atmosfera e em organismos: valores mínimos, médios e máximos determinados na região da bacia do arroio Sapucaia e nos de referência (Tainhas) e valores de referência (Allen, 1974, Bowel, 1979 e outros).

Lítio					
	mínimas	Ponto	médias	máximas	Ponto
Valores ref.ar(ng/m³)			2 (?)		
Valores ref.planta(μg/g)	0,01			3,4	
PTS (mg/g) (μg/g)					
Pt.1	0,022	1.2	0,084 (0,006)	0,151	1.2
Pt.2	0,037	2.2	0,074 (0,004)	0,274	2.2
Pt.3	0,000	3.5	0,069 (0,002)	0,116	3.5
T.usn.(mg/g)					
Tainhas Nativas(1.5 e 1.6)			0,051		
			0,066		
Linha 1 a	0,025	1.6	0,040	0,050	1.7
Linha 1 b	0,033	1.6	0,045	0,054	1.7
Linha 2 a	0,034	2.3	0,039	0,048	2.6
Linha 2 b	0,032	2.3	0,064	0,094	2.7
Linha 3 a	0,039	3.9	0,053	0,070	3.5
Linha 3 b	0,036	3.9	0,047	0,056	3.12
R.sim.(mg/g)					
Tainhas			0,025		
Linha 1 a	0,016	1.5	0,027	0,043	1.3
Linha 1 b	0,026	1.6	0,029	0,033	1.2
Linha 2 a	0,017	2.3	0,027	0,035	2.9
Linha 2 b	0,025	2.4	0,029	0,036	2.9
Linha 3 a	0,020	3.6	0,026	0,036	3.3
Linha 3 b	0,023	3.9	0,026	0,035	3.14
Can.sp.(mg/g)					
Tainhas			0,029		
Linha 1 a	0,012	1.5	0,019	0,028	1.2
Linha 1 b	0,020	1.2	0,036	0,045	1.7
Linha 2 a	0,021	2.4	0,025	0,033	2.5
Linha 2 b	0,031	2.5/9	0,030	0,048	2.8
Linha 3 a	0,025	3.11	0,031	0,044	3.2
Linha 3 b	0,029	3.4	0,038	0,057	3.2

5.4.7. MAGNÉSIO

As concentrações de magnésio, determinadas pelas análises dos indivíduos expostos e nativos, são apresentadas na tabela abaixo:

Tabela 34 - Concentrações de magnésio nos organismos, na primeira coleta (após 6 meses de exposição) e na segunda coleta (após 10 meses de exposição). Os espaços assinalados por ---, significam ausência de dados por insuficiência amostral.

Organismos de Tainhas	Concentrações mg/g
Tillandsia	0,407
Liquen A	1,031
Liquen B	1,448

Organismos nativos	Concentrações mg/g
Till.1.5 nat	1,114
Till.1.6 nat	1,082

Localização	Concentr. mg/g	Concentr. mg/g	Localização	Concentr. mg/g	Concentr. mg/g
	1 ^a coleta	2 ^a coleta		1 ^a coleta	2 ^a coleta
1.1 Till.	1,220	1,075	2.11 Liq B	1,095	---
1.1 Liq.A	1,281	1,011	3.1 Till	1,212	1,611
1.1 Liq. B	---	1,460	3.1 Liq A	---	1,308
1.2 Liq.A	2,987	2,524	3.1 Liq B	1,018	2,107
1.2 Liq.B	1,114	2,731	3.2 Till	1,423	2,444
1.3 Liq.A	4,784	---	3.2 Liq B	3,487	4,377
1.4 Liq.A	1,075	5,025	3.3 Till	3,247	---
1.4 Liq.B	1,011	11,050	3.3 Liq A	2,457	1,944
1.5 Till.	1,460	---	3.3 Liq B	---	3,036
1.5 Liq.A	4,036	---	3.4 Till	1,573	---
1.5 Liq B	0,488	---	3.4 Liq A	---	2,462
1.6 Till.	4,786	2,058	3.4 Liq B	1,570	1,355
1.6 Liq A	1,099	5,687	3.5 Till	1,500	2,034
1.6 Liq.B	3,943	1,457	3.5 Liq A	1,582	1,546
1.7 Till.	0,613	3,342	3.5 Liq B	---	2,641
1.7 Liq. A	3,178	---	3.6 Till	1,802	---
1.7 Liq. B	---	16,040	3.6 Liq A	1,221	---
2.1 Liq.B	1,462	---	3.6 Liq B	---	1,214
2.2 Liq A	1,007	---	3.7 Till	1,681	1,659
2.3 Till	1,424	1,357	3.7 Liq A	0,928	1,368
2.3 Liq A	1,417	1,595	3.7 Liq B	---	2,359
2.4 Liq A	1,370	---	3.8 Till	1,937	2,289
2.4 Liq B	1,093	---	3.8 Liq A	1,394	---
2.5 Liq A	---	1,850	3.9 Till	1,848	2,464
2.5 Liq B	0,827	0,889	3.9 Liq A	---	1,179
2.6 Till	0,967	1,503	3.9 Liq B	1,129	1,132

2.6 Liq A	3,209	---	3.10 Till	1,770	1,770
2.7 Till	---	0,837	3.10 Liq A	1,093	0,873
2.7 Liq A	1,005	0,804	3.10 Liq B	---	1,020
2.7 Liq B	---	0,908	3.11 Till	1,644	2,292
2.8 Liq A	1,467	1,083	3.11 Liq B	1,182	3,273
2.8 Liq B	---	1,378	3.12 Till	2,475	3,482
2.9 Till	1,298	---	3.12 Liq A	4,266	4,610
2.9 Liq A	2,230	2,371	3.12 Liq B	---	4,172
2.9 Liq B	---	2,074	3.14 Liq A	---	2,702
2.10 Liq B	0,896	---	3.14 Liq B	2,259	2,526
2.11 Liq A	1,805	---			

Para o magnésio, as variações das concentrações em miligramas por grama de massa seca de *T.usneoides*, determinadas em organismos coletados após 6 meses de exposição (1ª coleta) e após 10 meses de exposição (2ª coleta), bem como as concentrações dos organismos coletados nos pontos 1.5 e 1.6 da área de trabalho e na *T.usneoides* coletada em Tainhas, são apresentados no gráfico a seguir:

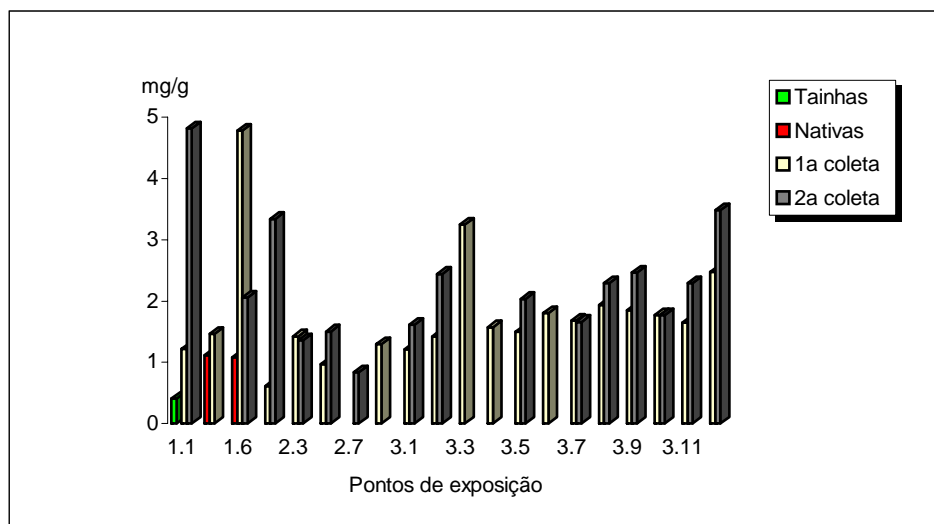


Figura 85 - Concentrações de magnésio na *T.usneoides*.

Em cada período de coleta os valores mínimos, médios e máximos do magnésio, nos pontos de cada linha, bem com os valores médios para estes organismos coletados em Tainhas e os nativos, podem ser comparados na figura seguinte:

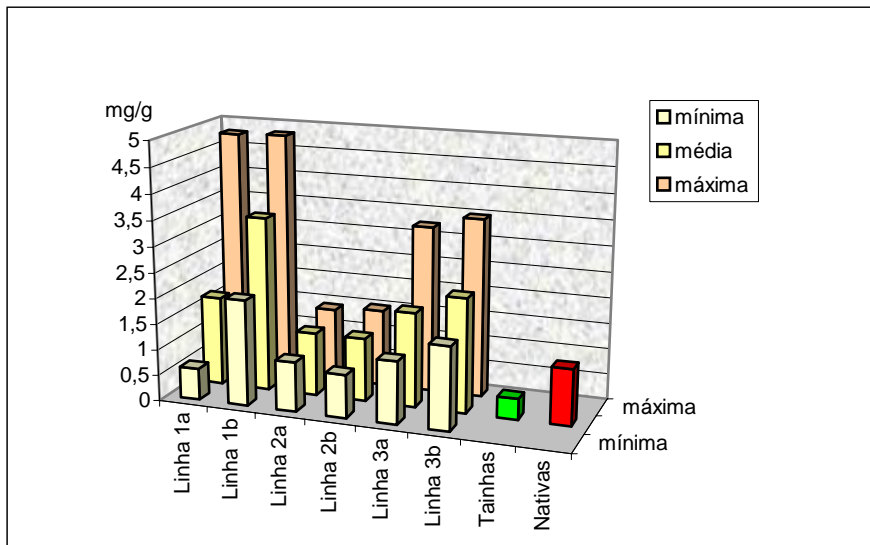


Figura 86 - Valores mínimos, médios e máximos do Mg na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *T.usneoides*.

As concentrações de magnésio encontradas na *R.simulans* após 6 meses e dez meses de exposição e os valores mínimos, médios e máximos em cada linha amostral, a cada período, podem ser observados nas figuras 87 e 88, respectivamente.

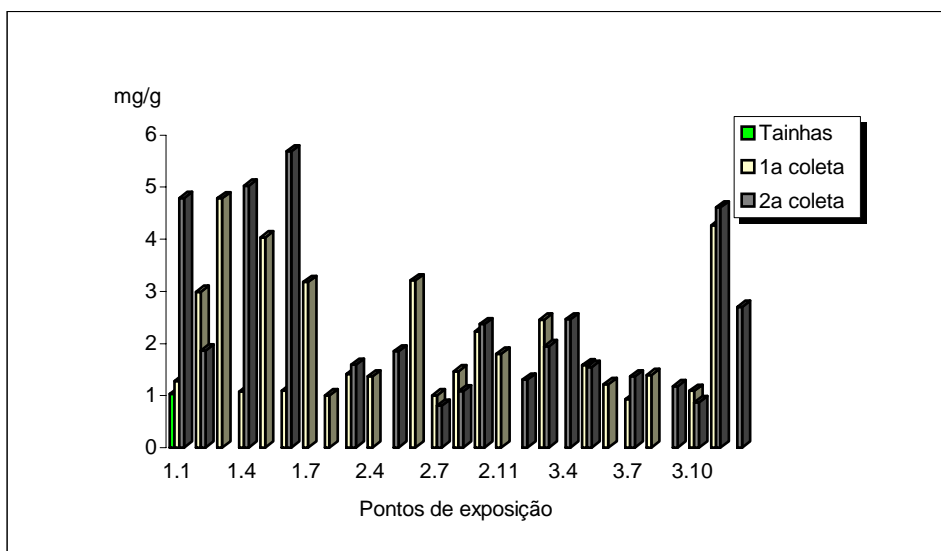


Figura 87 - Concentrações de magnésio na *R.simulans*.

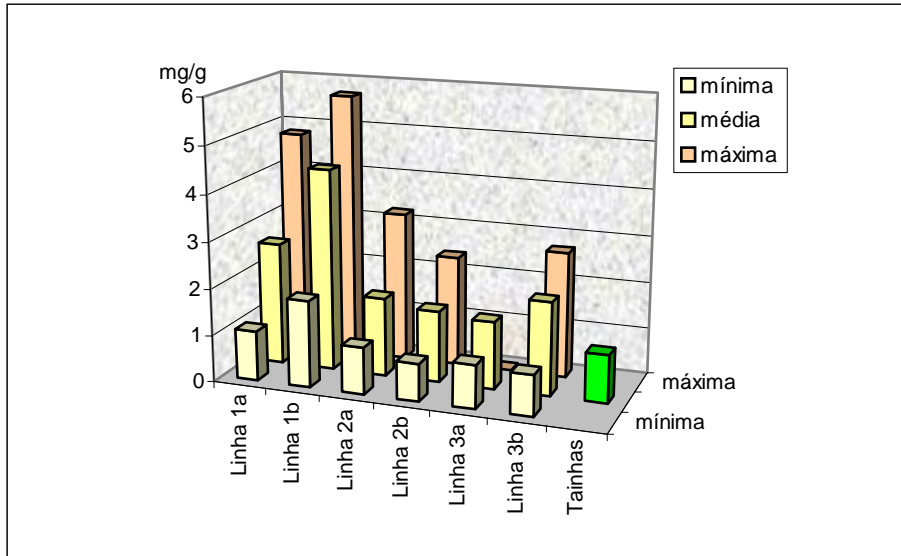


Figura 88 - Valores mínimos, médios e máximos do Mg na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *R.simulans*.

As concentrações de magnésio na *Canomaculina sp.*, encontradas após 6 meses e dez meses de exposição e os valores mínimos, médios e máximos em cada linha amostral, a cada período, podem ser observados nas figuras 89 e 90, respectivamente.

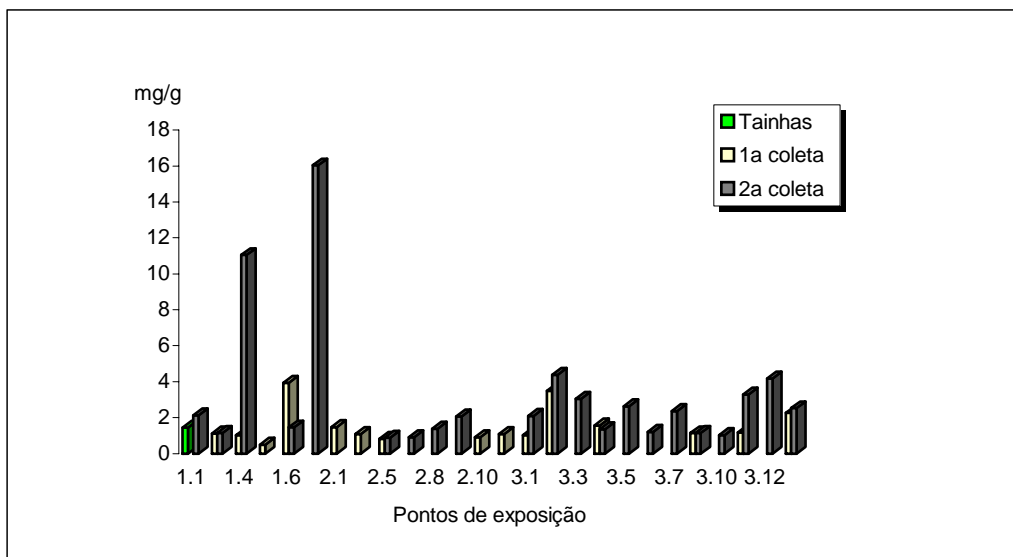


Figura 89 - Concentrações de magnésio na *Canomaculina sp.*

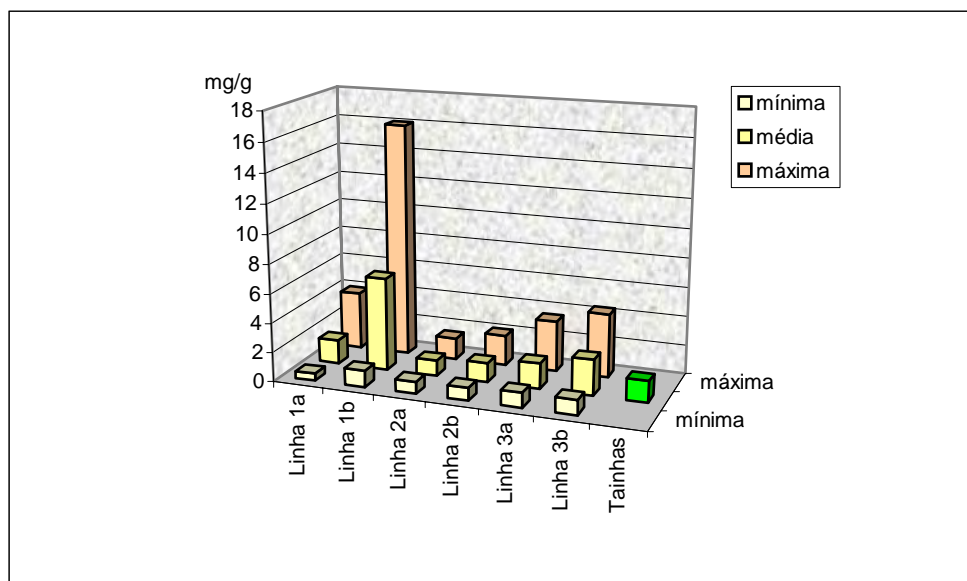


Figura 90 - Valores mínimos, médios e máximos do Mg na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *Canomaculina* sp..

As concentrações mínimas, médias e máximas do magnésio na atmosfera e nos organismos estão sumarizadas na tabela a seguir:

Tabela 35 - Concentrações de magnésio na atmosfera e em organismos: valores mínimos, médios e máximos determinados na região da bacia do arroio Sapucaia e nos de referência (Tainhas) e valores de referência (Allen, 1974, Bowel, 1979 e outros).

Magnésio					
	minimas	Ponto	médias.	máximas	Ponto
Valores ref. ar ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,001			11	
Valores ref. planta (mg/g)	1			9	
PTS (mg/g) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
Pt.1	2,553	1.2	11,380 (0,766)	35,077	1.2
Pt.2	1,830	2.2	10,315 (0,451)	43,637	2.2
Pt.3	2,898	3.5	13,459 (0,416)	27,769	3.5
<i>T.usn.</i> (mg/g)					
Tainhas			0,407		
Nativas(1.5 e 1.6)			1,098		
Linha 1 a	0,613	1.7	2,019	4,786	1.6
Linha 1 b	2,058	1.6	3,405	4,816	1.1

Linha 2 a	0,967	2.6	1,229	1,424	2.3
Linha 2 b	0,837	2.7	1,232	1,503	2.6
Linha 3 a	1,212	3.1	1,842	3,247	3.3
Linha 3 b	1,611	3.1	2,227	3,482	3.12
R.sim.(mg/g)					
Tainhas			1,031		
Linha 1 a	1,075	1.4	2,634	4,784	1.1
Linha 1 b	1,864	1.2	4,341	5,687	1.6
Linha 2 a	1,005	2.7	1,688	3,209	2.6
Linha 2 b	0,804	2.7	1,540	2,371	2.9
Linha 3 a	0,928	3.7.	1,445	4,266.	3.12
Linha 3 b	0,873	3.10	1,999	2,702	3.14
Can.sp.(mg/g)					
Tainhas			1,448		
Linha 1 a	0,488	1.5	1,639	3,943	1.6
Linha 1 b	1,133	1.2	6,361	16,040	1.7
Linha 2 a	0,827	2.5	1,074	1,462	2.1
Linha 2 b	0,889	2.5	1,312	2,074	2.9
Linha 3 a	1,018	3.1	1,744	3,487	3.2
Linha 3 b	1,020	3.10	2,434	4,377	3.2

5.4.8. MANGANÊS

Na tabela 36 são apresentadas as concentrações de manganês, determinadas pelas análises dos indivíduos expostos e nativos:

Tabela 36 - Concentrações de manganês nos organismos, na primeira coleta (após 6 meses de exposição) e na segunda coleta (após 10 meses de exposição). Os espaços assinalados por ---, significam ausência de dados por insuficiência amostral.

Organismos de Tainhas	Concentrações mg/g
Tillandsia	0,162
Liquen A	0,370
Liquen B	0,254

Organismos nativos	Concentrações mg/g
Till.1.5 nat	0,075
Till.1.6 nat	0,082

Localização	Concentr. mg/g	Concentr. mg/g	Localização	Concentr. mg/g	Concentr. mg/g
	1 ^a coleta	2 ^a coleta		1 ^a coleta	2 ^a coleta
1.1 Till.	0,176	0,214	2.11 Liq B	0,243	---
1.1 Liq.A	0,158	0,168	3.1 Till	0,174	0,131
1.1 Liq. B	---	0,310	3.1 Liq A	---	0,103
1.2 Liq.A	0,320	0,270	3.1 Liq B	0,148	0,036
1.2 Liq.B	0,264	0,249	3.2 Till	0,164	0,139
1.3 Liq.A	0,632	---	3.2 Liq B	0,123	0,133
1.4 Liq.A	0,232	0,206	3.3 Till	0,275	---
1.4 Liq.B	0,219	0,115	3.3 Liq A	0,112	0,073
1.5 Till.	0,231	---	3.3 Liq B	---	0,116
1.5 Liq.A	0,220	---	3.4 Till	0,188	---
1.5 Liq B	0,053	---	3.4 Liq A	---	0,181
1.6 Till.	0,262	0,250	3.4 Liq B	0,081	0,188
1.6 Liq A	0,263	0,191	3.5 Till	0,176	0,148
1.6 Liq.B	0,115	0,205	3.5 Liq A	0,185	0,172
1.7 Till.	0,141	0,192	3.5 Liq B	---	0,158
1.7 Liq. A	0,302	---	3.6 Till	0,132	---
1.7 Liq. B	---	0,264	3.6 Liq A	0,066	---
2.1 Liq.B	0,221	---	3.6 Liq B	---	0,023
2.2 Liq A	0,143	---	3.7 Till	0,241	0,190
2.3 Till	0,194	0,185	3.7 Liq A	0,094	0,096
2.3 Liq A	0,197	0,256	3.7 Liq B	---	0,430
2.4 Liq A	0,281	---	3.8 Till	0,198	0,176
2.4 Liq B	0,235	---	3.8 Liq A	0,226	---
2.5 Liq B	0,224	0,204	3.9 Till	0,289	0,311
2.6 Till	0,209	0,204	3.9 Liq A	---	0,140
2.6 Liq A	0,719	---	3.9 Liq B	0,124	0,086
2.7 Till	---	0,123	3.10 Till	0,425	0,256
2.7 Liq A	0,193	0,256	3.10 Liq A	0,194	0,116

2.7 Liq B	---	0,031	3.10 Liq B	---	0,184
2.8 Liq A	0,256	0,252	3.11 Till	0,130	0,161
2.8 Liq B	---	0,140	3.11 Liq B	0,115	0,332
2.9 Till	0,151	---	3.12 Till	0,218	0,257
2.9 Liq A	0,378	0,469	3.12 Liq A	0,350	0,401
2.9 Liq B	---	0,397	3.12 Liq B	---	0,424
2.10 Liq B	0,329	---	3.14 Liq A	---	0,130
2.11 Liq A	0,346	---	3.14 Liq B	0,180	0,206

No manganês, as variações das concentrações em miligramas por grama de massa seca de *T.usneoides*, determinadas em indivíduos coletados após 6 meses de exposição (1ª coleta) e após 10 meses de exposição (2ª coleta), bem como as concentrações dos indivíduos coletados nos pontos 1.5 e 1.6 da área de trabalho e na *T.usneoides* coletada em Tainhas, são apresentados no gráfico a seguir:

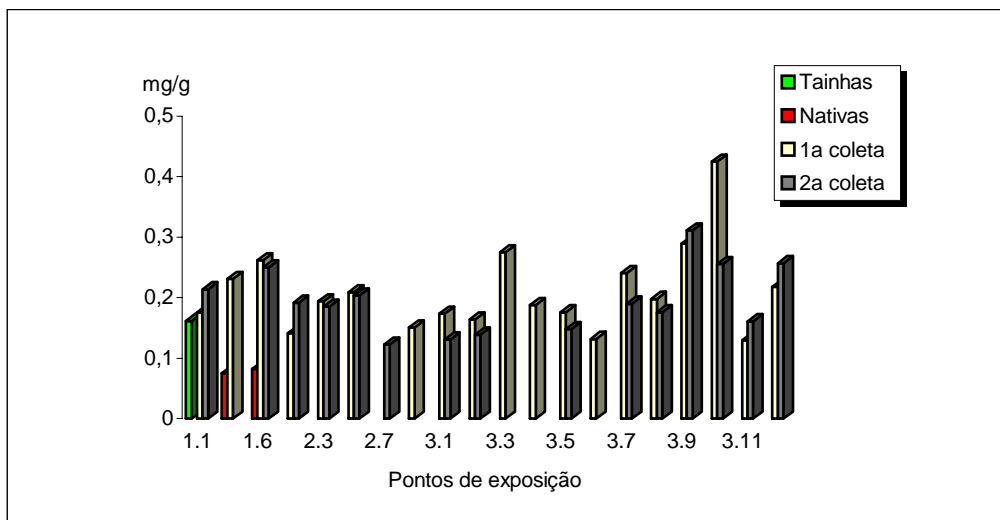


Figura 91 - Concentrações de manganês na *T.usneoides*.

Os valores mínimos, médios e máximos do manganês, nos pontos de cada linha, bem com os valores médios para os coletados em Tainhas e os nativos, em cada período de coleta, podem ser comparados na figura seguinte:

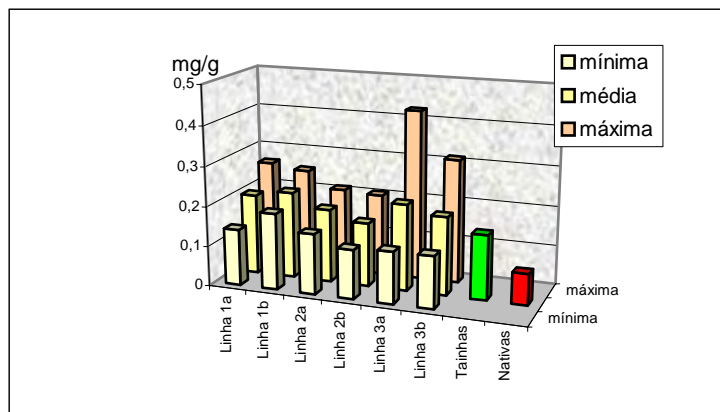


Figura 92 - Valores mínimos, médios e máximos do Mn na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *T.usneoides*.

As concentrações deste elemento encontradas na *R.simulans* após 6 meses e dez meses de exposição e os valores mínimos, médios e máximos em cada linha amostral, a cada período, podem ser observados nas figuras que seguem:

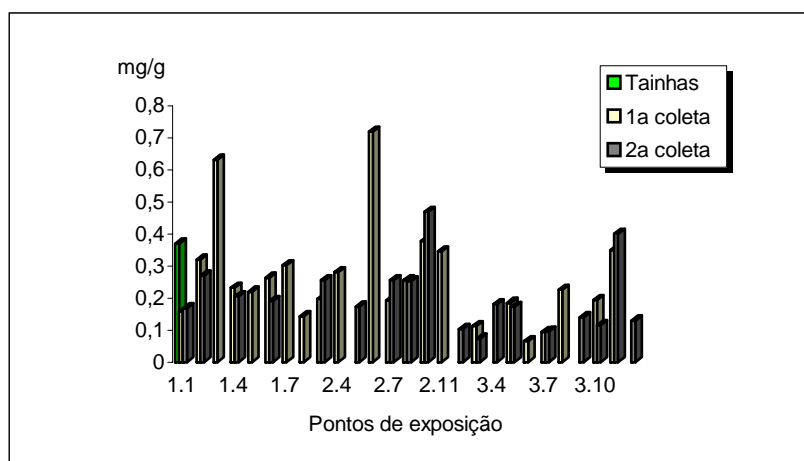


Figura 93 - Concentrações de manganês na *R.simulans*.

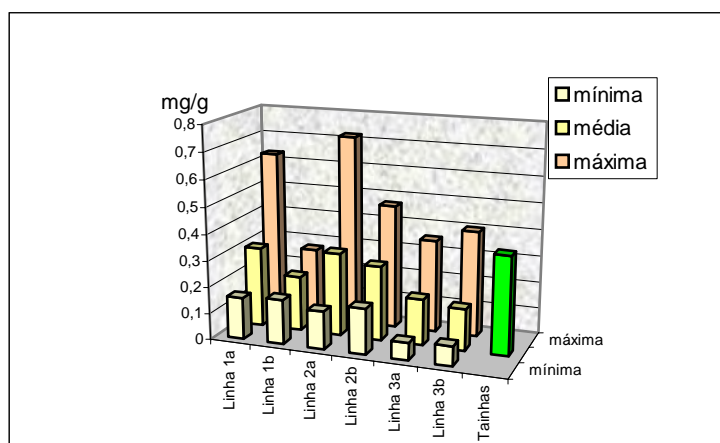


Figura 94 - Valores mínimos, médios e máximos do Mn na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *R.simulans*.

As concentrações de manganês na *Canomaculina sp.*, encontradas após 6 meses e dez meses de exposição e os valores mínimos, médios e máximos em cada linha amostral, a cada período, podem ser observados nas figuras 95 e 96, respectivamente.

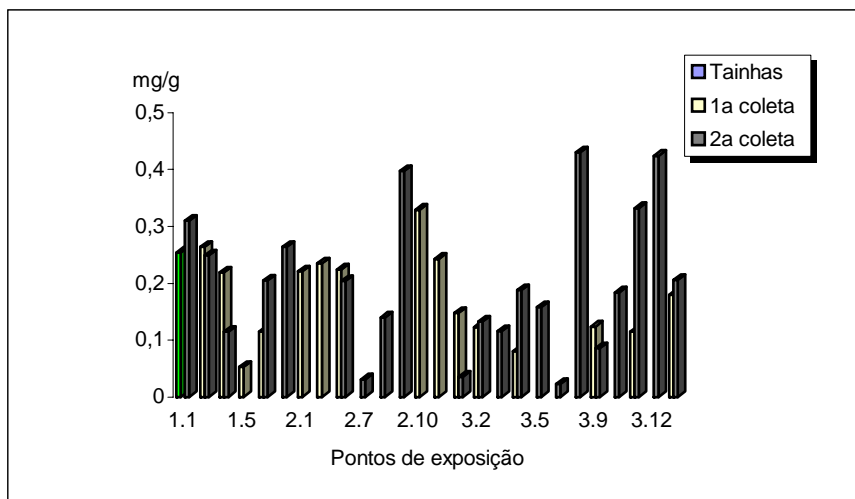


Figura 95 - Concentrações de manganês na *Canomaculina sp.*

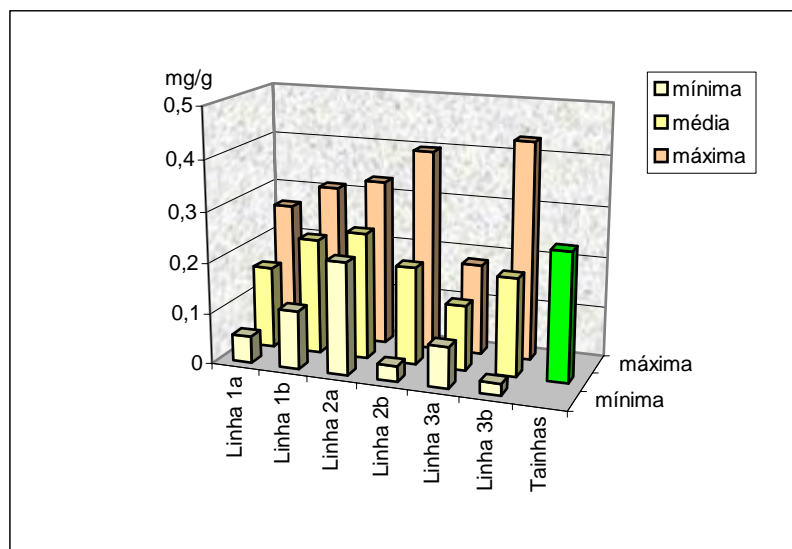


Figura 96 - Valores mínimos, médios e máximos do Mn na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *Canomaculina sp.*

Para o manganês, as concentrações mínimas, médias e máximas na atmosfera e nos organismos são apresentadas na tabela que segue:

Tabela 37 - Concentrações de manganês na atmosfera e em organismos: valores mínimos, médios e máximos determinados na região da bacia do arroio Sapucaia e nos de referência (Tainhas) e valores de referência (Allen, 1974, Bowel, 1979 e outros).

Manganês					
	minimas	Ponto	médias.	máximas	Ponto
Valores ref. ar ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,01			0,15	
Valores ref. planta (mg/g)	0,05			1	
PTS (mg/g) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	mínimas	Ponto.	médias	máximas	Ponto
Pt.1	0,392	1.2	1,040(0,081)	2,304	1.2
Pt.2	0,312	2.2	0,709 (0,039)	2,175	2.2
Pt.3	0,077	3.5	0,529 (0,018)	1,013	3.5
T.usn.(mg/g)					
Tainhas			0,162		
Nativas(1.5 e 1.6)			0,078		
Linha 1 a	0,141	1.7	0,164	0,262	1.6
Linha 1 b	0,192	1.7	0,218	0,250	1.7
Linha 2 a	0,151	2.9	0,184	0,209	2.1
Linha 2 b	0,123	2.7	0,160	0,204	2.9
Linha 3 a	0,130	3.11	0,217	0,425	3.10
Linha 3 b	0,131	3.1	0,196	0,311	3.9
R.sim.(mg/g)					
Tainhas			0,370		
Linha 1 a	0,158	1.1	0,303	0,632	1.3
Linha 1 b	0,168	1.1	0,208	0,270	1.2
Linha 2 a	0,143	2.2	0,314	0,719	2.6
Linha 2 b	0,173	2.5	0,281	0,469	2.9
Linha 3 a	0,066	3.6	0,175	0,350	3.12
Linha 3 b	0,073	3.3	0,156	0,401	3.12
Can.sp.(mg/g)					
Tainhas			0,254		
Linha 1 a	0,053	1.5	0,162	0,264	1.2
Linha 1 b	0,115	1.4	0,228	0,310	1.1
Linha 2 a	0,221	2.1	0,250	0,329	2.10
Linha 2 b	0,141	2.8	0,247	0,397	2.9
Linha 3 a	0,081	3.4	0,128	0,180	3.14
Linha 3 b	0,023	3.6	0,193	0,430	3.7

5.4.9. MERCÚRIO

Na tabela 38 são apresentadas as concentrações de mercúrio, determinadas pelas análises dos indivíduos expostos e nos nativos:

Tabela 38 - Concentrações de mercúrio nos organismos, na primeira coleta (após 6 meses de exposição) e na segunda coleta (após 10 meses de exposição). Os espaços assinalados por ---, significam ausência de dados por insuficiência amostral.

Organismos de Tainhas	Concentrações µg/g
Tillandsia	30,107
Liquen A	2,161
Liquen B	84,805

Organismos nativos	Concentrações µg/g
Till.1.5 nat	0,937
Till.1.6 nat	0,951

Localização	Concentr. µg/g	Concentr. µg/g	Localização	Concentr. µg/g	Concentr. µg/g
	1 ^a coleta	2 ^a coleta		1 ^a coleta	2 ^a coleta
1.1 Till.	15,368	0,174	2.11 Liq B	0,533	---
1.1 Liq.A	0,611	0,226	3.1 Till	0,398	0,423
1.1 Liq. B	---	0,785	3.1 Liq A	---	---
1.2 Liq.A	0,290	0,405	3.1 Liq B	1,474	1,978
1.2 Liq.B	1,275	0,347	3.2 Till	1,448	0,060
1.3 Till	15,319	---	3.2 Liq B	2,018	1,488
1.3 Liq.A	2,258	---	3.3 Till	0,252	---
1.4 Liq.A	0,572	0,231	3.3 Liq A	0,802	0,546
1.4 Liq.B	2,371	9,343	3.3 Liq B	---	---
1.5 Till.	0,599	---	3.4 Till	0,266	---
1.5 Liq.A	0,534	---	3.4 Liq A	---	1,844
1.5 Liq B	0,308	---	3.4 Liq B	2,130	1,888
1.6 Till.	0,347	0,666	3.5 Till	1,271	1,427
1.6 Liq A	0,063	0,321	3.5 Liq A	1,240	1,033
1.6 Liq.B	1,743	1,293	3.5 Liq B	---	1,855
1.7 Till.	0,269	1,378	3.6 Till	0,352	---
1.7 Liq. A	0,664	---	3.6 Liq A	0,549	---
1.7 Liq. B	---	4,127	3.6 Liq B	---	9,672
2.1 Liq.B	0,775	---	3.7 Till	0,299	0,483
2.2 Liq A	5,027	---	3.7 Liq A	0,515	0,820
2.3 Till	0,368	0,558	3.7 Liq B	---	2,854
2.3 Liq A	1,768	1,004	3.8 Till	0,656	0,642
2.4 Liq A	0,786	---	3.8 Liq A	0,140	---
2.4 Liq B	0,400	---	3.9 Till	0,020	0,739
2.5 Liq A	---	0,615	3.9 Liq A	---	1,142
2.5 Liq B	3,411	0,578	3.9 Liq B	0,232	1,037
2.6 Till	0,410	0,679	3.10 Till	0,188	0,975

2.6 Liq A	0,662	---	3.10 Liq A	0,331	1,045
2.7 Liq A	7,230	0,332	3.10 Liq B	---	---
2.7 Liq B	---	3,912	3.11 Till	0,150	0,418
2.8 Liq A	18,524	2,806	3.11 Liq B	0,235	6,268
2.8 Liq B	---	2,517	3.12 Till	0,040	0,437
2.9 Till	0,488	---	3.12 Liq A	0,945	0,501
2.9 Liq A	0,952	2,788	3.12 Liq B	---	0,658
2.9 Liq B	---	2,020	3.14 Liq A	---	0,709
2.10 Liq B	4,212	---	3.14 Liq B	0,048	1,010

As variações das concentrações de mercúrio, em microgramas por grama de massa seca de *T.usneoides*, determinadas nos indivíduos coletados após 6 meses de exposição (1ª coleta) e após 10 meses de exposição (2ª coleta), bem como as concentrações dos coletados nos pontos 1.5 e 1.6 da área de trabalho e na *T.usneoides* coletada em Tainhas, são apresentados no gráfico a seguir:

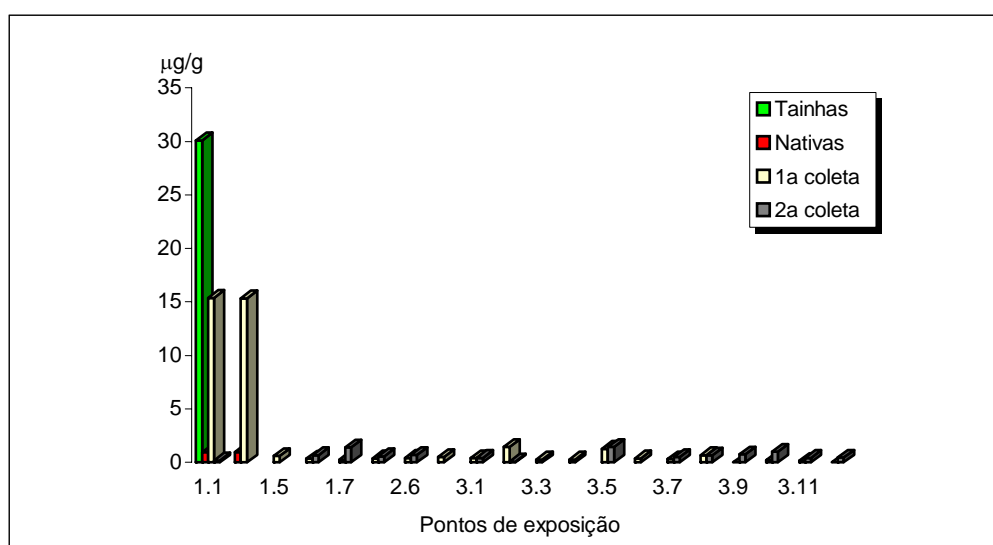


Figura 97 - Concentrações de mercúrio na *T.usneoides*

Em cada período de coleta os valores mínimos, médios e máximos do mercúrio, nos pontos de cada linha, bem com os valores médios para os indivíduos coletados em Tainhas e os nativos, podem ser comparados na figura seguinte:

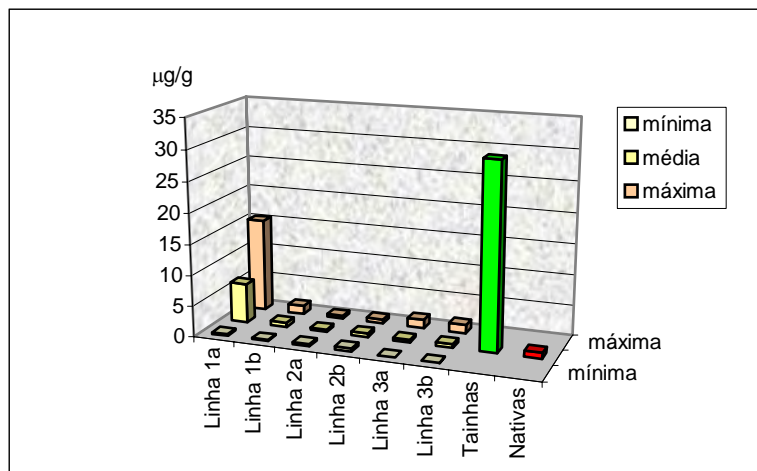


Figura 98 - Valores mínimos, médios e máximos do Hg na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *T.usneoides*.

As concentrações de mercúrio encontradas na *R.simulans* após 6 meses e dez meses de exposição e os valores mínimos, médios e máximos em cada linha amostral, a cada período, podem ser observados nas figuras 99 e 100, respectivamente.

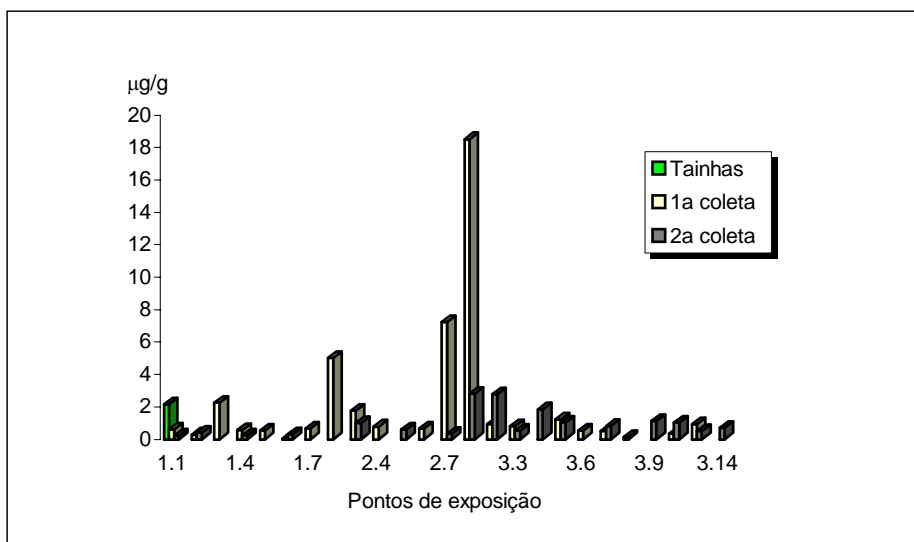


Figura 99 - Concentrações de mercúrio na *R.simulans*.

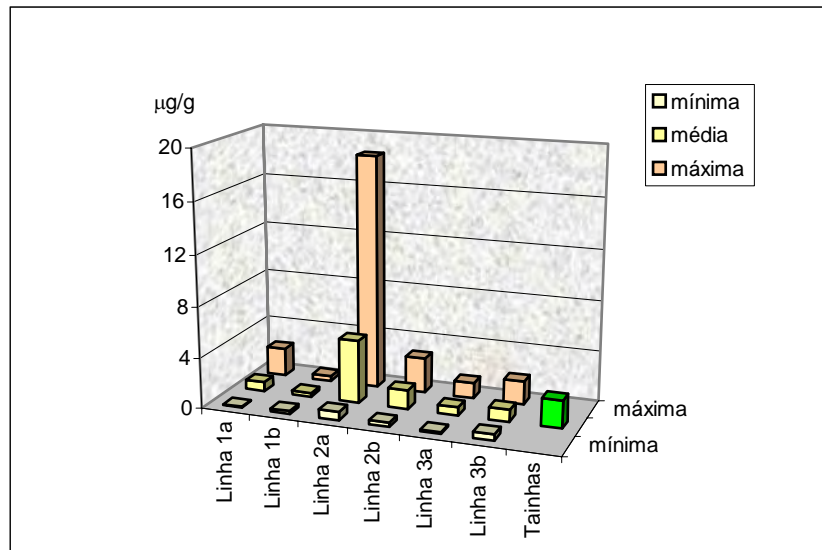


Figura 100 - Valores mínimos, médios e máximos do Hg na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *R.simulans*.

As concentrações de mercúrio na *Canomaculina sp.*, encontradas após 6 meses e dez meses de exposição e os valores mínimos, médios e máximos em cada linha amostral, a cada período, podem ser observados nas figuras 101 e 102, respectivamente.

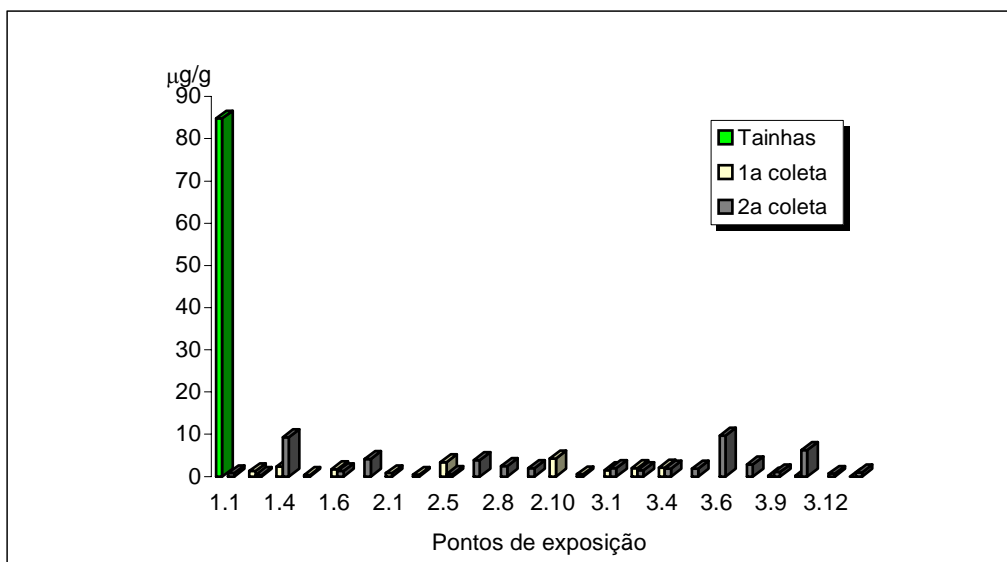


Figura 101 - Concentrações de mercúrio na *Canomaculina sp.*

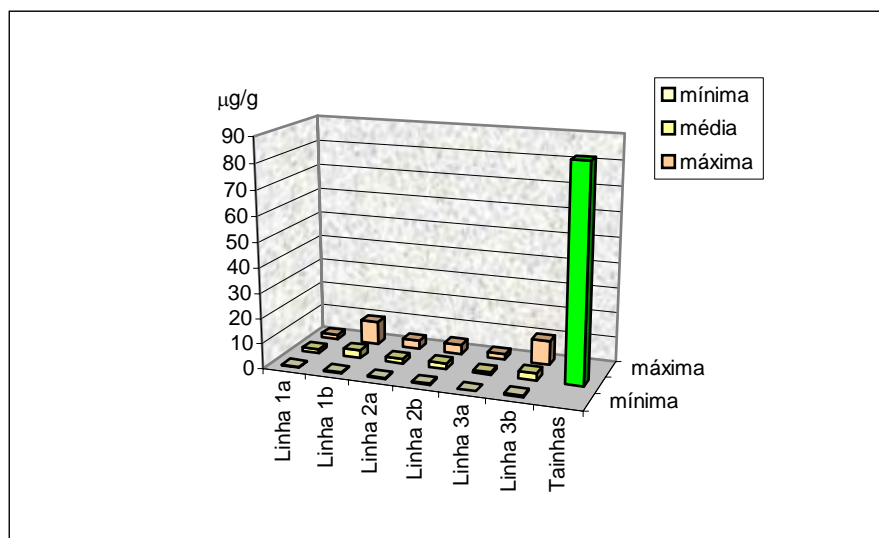


Figura 102 - Valores mínimos, médios e máximos do Hg na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *Canomaculina sp.*.

Para o mercúrio, as concentrações mínimas, médias e máximas na atmosfera e nos organismos estão sumarizadas na tabela abaixo:

Tabela 39 - Concentrações de mercúrio na atmosfera e em organismos: valores mínimos, médios e máximos determinados na região da bacia do arroio Sapucaia e nos de referência (Tainhas) e valores de referência (Allen, 1974, Bowel, 1979 e outros).

Mercúrio					
	mínimas	Ponto	médias	máximas	Ponto
Valores de ref. ar ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			1		
Valores de ref. plantas ($\mu\text{g}/\text{g}$)	0,05			0,1	
PTS ($\mu\text{g}/\text{g}$) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
Pt.1	0,589	1.2	2,223 (0,0022)	3,690	1.2
Pt.2	0,744	2.2	1,925 (0,0019)	4,882	2.2
Pt.3	0,000	3.5	2,200 (0,0021)	6,621	3.5
<i>T.usn.</i> ($\mu\text{g}/\text{g}$)					
Tainhas			30,107		
Nativas(1.5 e 1.6)			0,944		
Linha 1 a	0,269	1.7	6,480	15,368	1.1
Linha 1 b	0,174	1.1	0,739	1,378	1.7
Linha 2 a	0,368	2.3	0,422	0,488	2.9
Linha 2 b	0,558	2.3	0,618	0,679	2.7
Linha 3 a	0,000	3.9/12	0,440	1,448	3.2
Linha 3 b	0,060	3.2	0,622	1,427	3.5

<i>R.sim.</i> (ug/g)					
Tainhas			2,161		
Linha 1 a	0,063	1.6	0,713	2,258	1.3
Linha 1 b	0,226	1.1	0,295	0,405	1.2
Linha 2 a	0,662	2.6	4,992	18,524	2.8
Linha 2 b	0,332	2.7	1,509	2,806	2.8
Linha 3 a	0,140	3.8	0,646	1,240	3.5
Linha 3 b	0,501	3.12	0,955	1,844	3.4
<i>Can.sp.</i> (ug/g)					
Tainhas			84,805		
Linha 1 a	0,308	1.5	1,424	1,743	1.6
Linha 1 b	0,347	1.2	3,179	9,343	1.4
Linha 2 a	0,400	2.4	1,866	3,411	2.5
Linha 2 b	0,578	2.5	2,256	3,912	2.7
Linha 3 a	0,000	3.14	1,014	2,130	3.4
Linha 3 b	0,658	3.12	2,870	9,672	3.6

5.4.9. POTÁSSIO

As concentrações de potássio determinadas pelas análises dos indivíduos coletados na área controle, em Tainhas, indivíduos de *T.usneoides* nativos da área da bacia do arroio Sapucaia e nos indivíduos expostos nas 3 linhas que cruzam a bacia, são apresentadas na tabela 40 abaixo.

Tabela 40 - Concentrações de potássio nos organismos, na primeira coleta (após 6 meses de exposição) e na segunda coleta (após 10 meses de exposição). Os espaços assinalados por ---, significam ausência de dados por insuficiência amostral.

Organismos de Tainhas	Concentrações mg/g
Tillandsia	9,637
Liquen A	3,449
Liquen B	3,632

Organismos nativos	Concentrações mg/g
Till.1.5 nat	12,450
Till.1.6 nat	12,800

Localização	Concentr. mg/g	Concentr.s mg/g	Localização	Concentr. mg/g	Concentr.s mg/g
	1ª coleta	2ª coleta		1ª coleta	2ª coleta
1.1 Till.	8,018	9,483	2.11 Liq B	1,953	---
1.1 Liq.A	3,950	3,228	3.1 Till	10,658	10,453
1.1 Liq. B	---	3,531	3.1 Liq A	---	3,032
1.2 Liq.A	3,528	2,032	3.1 Liq B	2,846	3,857
1.2 Liq.B	3,190	2,226	3.2 Till	9,588	9,957
1.3 Liq.A	3,803	---	3.2 Liq B	4,102	3,975
1.4 Liq.A	3,558	2,851	3.3 Till	9,643	---
1.4 Liq.B	3,620	2,523	3.3 Liq A	2,980	3,325
1.5 Till.	9,071	---	3.3 Liq B	---	2,725
1.5 Liq.A	2,972	---	3.4 Till	9,214	---
1.5 Liq B	6,928	---	3.4 Liq A	---	1,773
1.6 Till.	4,599	4,087	3.4 Liq B	3,070	3,100
1.6 Liq A	2,953	2,608	3.5 Till	9,052	6,379
1.6 Liq.B	29,875	3,248	3.5 Liq A	2,487	2,598
1.7 Till.	9,241	9,078	3.5 Liq B	---	4,107
1.7 Liq. A	0,312	---	3.6 Till	9,985	---
1.7 Liq. B	---	2,667	3.6 Liq A	2,275	---
2.1 Liq.B	1,937	---	3.6 Liq B	---	5,094
2.2 Liq A	2,463	---	3.7 Till	9,359	1,277
2.3 Till	4,459	4,129	3.7 Liq A	3,369	3,368
2.3 Liq A	2,165	3,563	3.7 Liq B	---	5,037
2.4 Liq A	1,862	---	3.8 Till	7,955	4,963
2.4 Liq B	1,725	---	3.8 Liq A	2,619	---
2.5 Liq A	---	1,818	3.9 Till	5,071	4,423
2.5 Liq B	3,646	3,323	3.9 Liq A	---	2,533
2.6 Till	8,631	13,473	3.9 Liq B	2,996	3,840
2.6 Liq A	3,110	---	3.10 Till	6,754	6,730

2.7 Till	---	0,040	3.10 Liq A	2,815	1,985
2.7 Liq A	3,335	3,147	3.10 Liq B	---	4,759
2.7 Liq B	---	0,427	3.11 Till	6,888	7,072
2.8 Liq A	2,846	2,948	3.11 Liq B	1,769	2,947
2.8 Liq B	---	2,391	3.12 Till	11,890	10,018
2.9 Till	5,001	---	3.12 Liq A	3,755	3,722
2.9 Liq A	3,474	3,068	3.12 Liq B	---	4,312
2.9 Liq B	---	3,016	3.14 Liq A	---	3,828
2.10 Liq B	1,799	---	3.14 Liq B	3,392	2,866
2.11 Liq A	0,361	---			

As variações das concentrações de potássio, em miligramas por grama de massa seca de *T.usneoides*, determinadas nos indivíduos em estudo, são apresentados no gráfico a seguir:

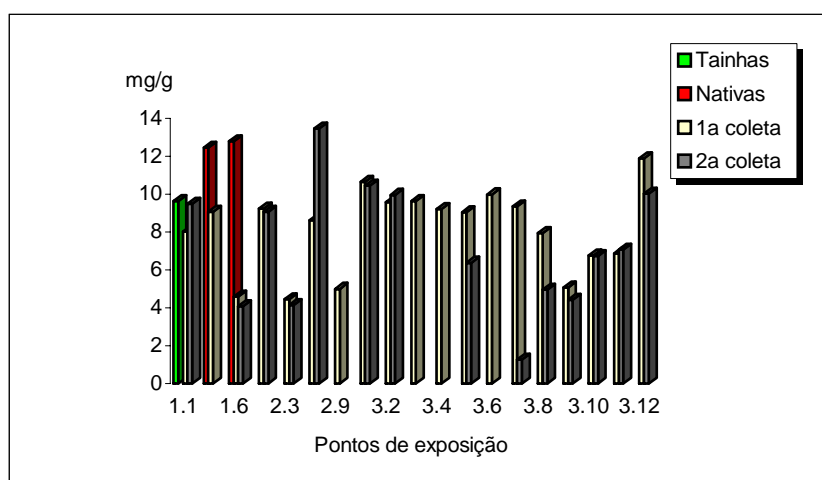


Figura 103 - Concentrações de potássio na *T.usneoides*.

Na figura abaixo, observamos os valores extremos e médios nos indivíduos expostos, nos nativos e no coletado em Tainhas:

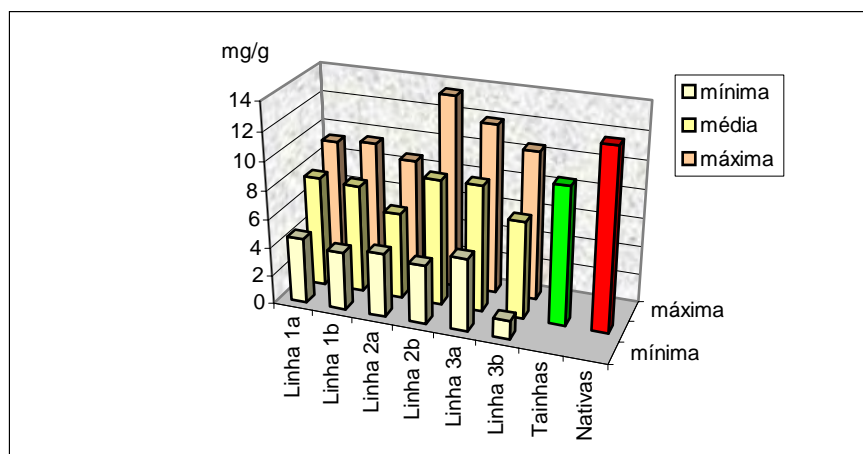


Figura 104 - Valores mínimos, médios e máximos do K na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *T.usneoides*.

As concentrações do potássio na *Rimelia simulans* coletada em Tainhas e nas expostas, são apresentadas abaixo.

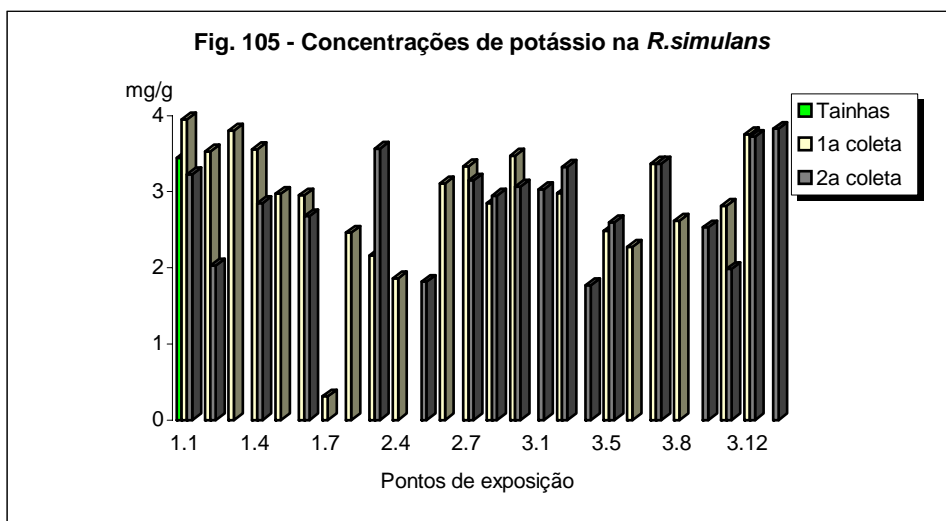


Figura 105 - Concentrações de potássio na *R.simulans*.

Os valores extremos e médios nos indivíduos de *R.simulans* expostos e no coletado em Tainhas, são apresentados a seguir:

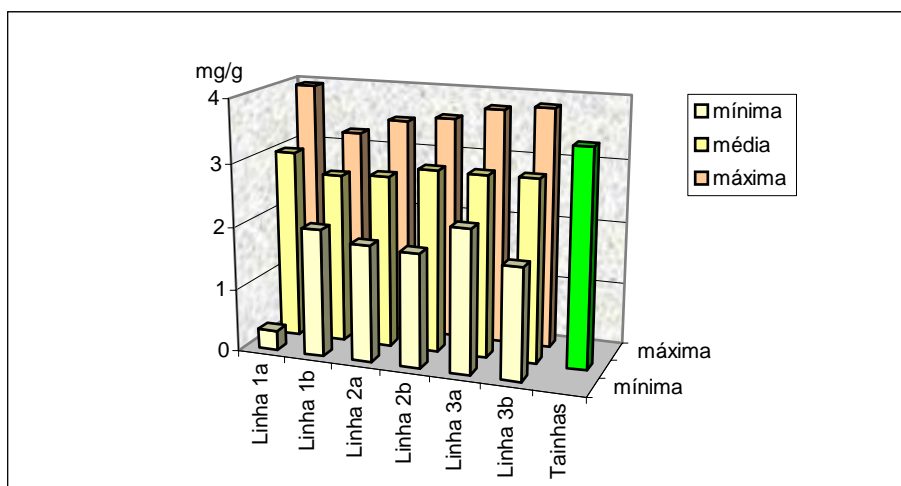


Figura 106 - Valores mínimos, médios e máximos do K na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *R.simulans*.

As concentrações do potássio na *Canomaculina sp* coletada em Tainhas e nas expostas, são apresentadas abaixo, seguidas das representações de seus valores médios e extremos.

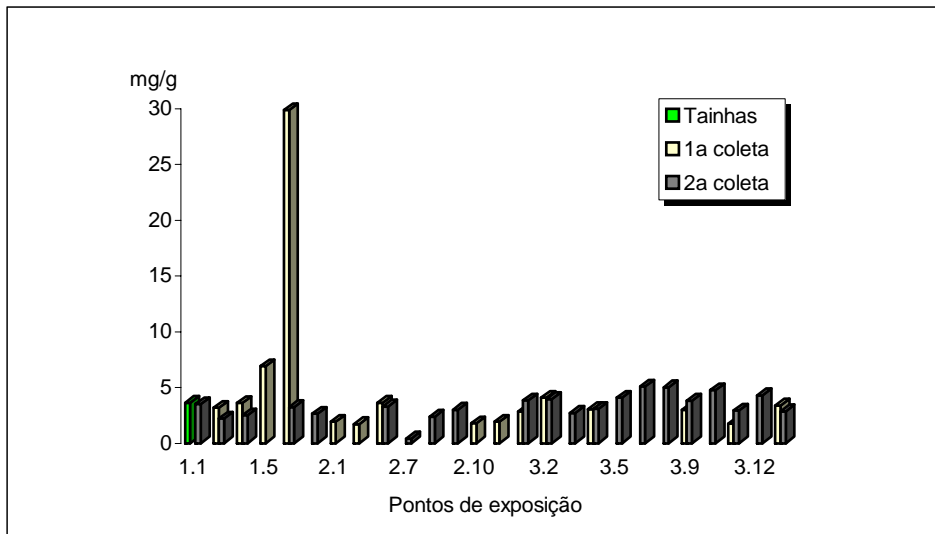


Figura 107 - Concentrações de potássio na *Canomaculina sp.*

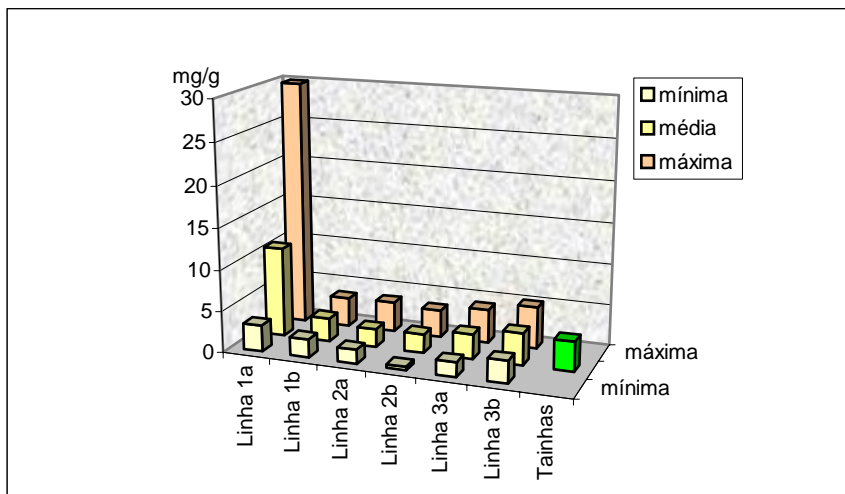


Figura 108 - Valores mínimos, médios e máximos do K na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *Canomaculina sp.*

Após a realização das análises das concentrações do potássio na atmosfera e nos organismos, as concentrações mínimas, médias e máximas estão sumarizadas na tabela a seguir:

Tabela 41 - Concentrações de potássio na atmosfera e em organismos: valores mínimos, médios e máximos determinados na região da bacia do arroio Sapucaia e nos de referência (Tainhas) e valores de referência (Allen, 1974, Bowel, 1979 e outros).

Potássio					
	mínimas	Ponto	médias	máximas	Ponto
Valores de ref. ar ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,0003			40	
Valores de ref. plantas (mg/g)	5			34	
PTS (mg/g) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	mínimas	Ponto	médias	máximas	Ponto
Pt.1	1,487	1.2	4,139 (0,336)	9,429	1.2
Pt.2	1,630	2.2	3,833 (0,236)	7,557	2.2
Pt.3	1,525	3.5	3,657 (0,127)	6,536	3.5
T.usn.(mg/g)					
Tainhas Nativas(1.5 e 1.6)			9,637		
			12,625		
Linha 1 a	4,599	1.6	7,732	9,241	1.7
Linha 1 b	4,087	1.6	7,549	9,483	1.1
Linha 2 a	4,459	2.3	6,030	8,631	2.6
Linha 2 b	4,129	2.3	8,801	13,473	2.6
Linha 3 a	5,071	3.9	8,838	11,89	3.12
Linha 3 b	1,277	3.7	6,808	10,453	3.12
R.sim.(mg/g)					
Tainhas			3,445		
Linha 1 a	0,312	1.7	3,011	3,950	1.1
Linha 1 b	2,032	1.2	2,697	3,228	1.1
Linha 2 a	1,862	2.4	2,75	3,474	2.9
Linha 2 b	1,818	2.5	2,908	3,563	2.3
Linha 3 a	2,275	3.6	2,900	3,755	3.12
Linha 3 b	1,773	3.4	2,907	3,828	3.14
Can.sp.(mg/g)					
Tainhas			3,632		
Linha 1 a	3,190	1.2	10,903	29,875	1.6
Linha 1 b	2,226	1.2	2,839	3,531	1.1
Linha 2 a	1,725	2.4	2,212	3,646	2.5
Linha 2 b	0,427	2.7	2,289	3,323	2.5
Linha 3 a	1,769	3.11	3,029	4,102	3.2
Linha 3 b	2,725	3.3	3,885	5,096	3.6

5.4.11. SÓDIO

As concentrações de sódio, determinadas pelas análises dos organismos expostos e nativos, são apresentadas na tabela abaixo:

Tabela 42 - Concentrações de sódio nos organismos, na primeira coleta (após 6 meses de exposição) e na segunda coleta (após 10 meses de exposição). Os espaços assinalados por ---, significam ausência de dados por insuficiência amostral.

Organismos de Tainhas	Concentrações mg/g
Tillandsia	12,637
Liquen A	3,663
Liquen B	3,710

Organismos nativos	Concentrações mg/g
Till.1.5 nat	15,747
Till.1.6 nat	18,222

Localização	Concentr. mg/g	Concentr. mg/g	Localização	Concentr. mg/g	Concentr. mg/g
	1ª coleta	2ª coleta		1ª coleta	2ª coleta
1.1 Till.	10,039	11,611	2.11 Liq A	1,726	---
1.1 Liq.A	4,674	3,959	2.11 Liq B	2,692	---
1.1 Liq. B	---	4,493	3.1 Till	12,038	12,536
1.2 Liq.A	4,790	3,264	3.1 Liq A	---	3,347
1.2 Liq.B	4,718	3,982	3.1 Liq B	3,337	4,245
1.3 Till.	7,415	---	3.2 Till	11,515	1,528
1.3 Liq.A	4,277	---	3.2 Liq B	5,027	51,948
1.4 Liq.A	3,974	3,300	3.3 Till	12,782	---
1.4 Liq.B	3,925	3,094	3.3 Liq A	42,382	3,772
1.5 Till.	14,043	---	3.3 Liq B	---	3,492
1.5 Liq.A	3,134	---	3.4 Till	9,524	---
1.5 Liq B	2,427	---	3.4 Liq A	---	2,746
1.6 Till.	9,583	8,395	3.4 Liq B	3,111	3,684
1.6 Liq A	3,640	3,322	3.5 Till	10,050	6,991
1.6 Liq.B	3,022	4,492	3.5 Liq A	2,503	2,798
1.7 Till.	13,407	12,050	3.5 Liq B	---	4,604
1.7 Liq. A	3,301	---	3.6 Till	15,650	---
1.7 Liq. B	---	3,822	3.6 Liq A	2,511	---
2.1 Liq.B	3,107	---	3.6 Liq B	---	5,476
2.2 Till	---	---	3.7 Till	11,489	9,955
2.2 Liq A	3,192	---	3.7 Liq A	3,571	3,928
2.3 Till	5,132	5,027	3.7 Liq B	---	5,472
2.3 Liq A	2,443	4,043	3.8 Till	9,765	7,429
2.4 Liq A	3,027	---	3.8 Liq A	3,238	---
2.4 Liq B	2,373	---	3.9 Till	5,608	5,404
2.5 Liq A	---	2,871	3.9 Liq A	---	2,705
2.5 Liq B	4,050	3,515	3.9 Liq B	3,421	3,763
2.6 Till	13,563	15,650	3.10 Till	7,678	8,672

2.6 Liq A	3,519	---	3.10 Liq A	3,670	2,454
2.7 Till	---	6,006	3.10 Liq B	---	4,577
2.7 Liq A	4,035	3,230	3.11 Till	10,366	10,997
2.7 Liq B	---	0,124	3.11 Liq B	3,103	4,262
2.8 Liq A	3,205	3,648	3.12 Till	15,288	13,120
2.8 Liq B	---	3,056	3.12 Liq A	5,380	4,864
2.9 Till	7,321	---	3.12 Liq B	---	5,348
2.9 Liq A	3,829	3,818	3.14 Liq A	---	4,818
2.9 Liq B	---	3,729	3.14 Liq B	4,471	3,750
2.10 Liq B	2,471	---			

As variações das concentrações do sódio, em miligramas por grama de massa seca de *T.usneoides*, determinadas em indivíduos coletados após 6 meses de exposição (1ª coleta) e após 10 meses de exposição (2ª coleta), bem como as concentrações dos coletados nos pontos 1.5 e 1.6 da área de trabalho e na *T.usneoides* coletada em Tainhas, são apresentados abaixo:

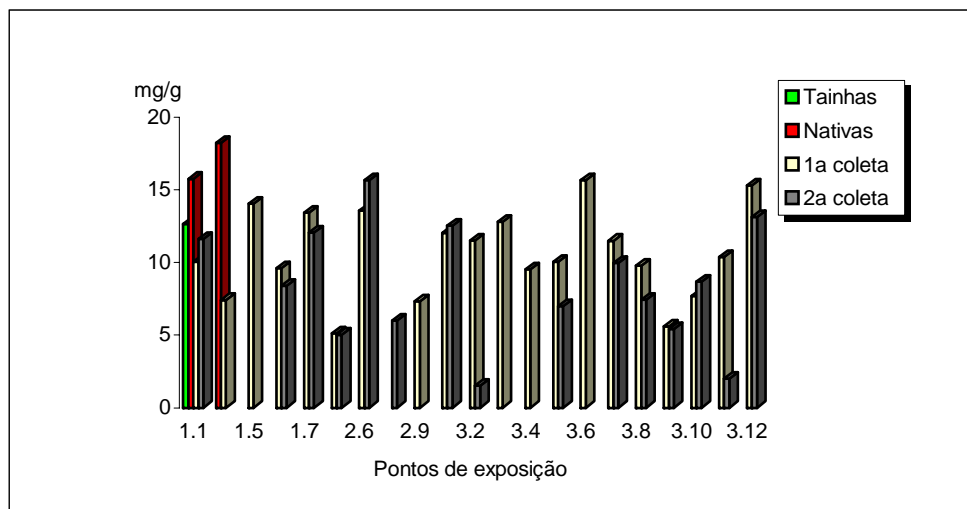


Figura 109 - Concentrações de sódio na *T.usneoides*.

Em cada período de coleta os valores mínimos, médios e máximos do sódio, podem ser comparados na figura seguinte:

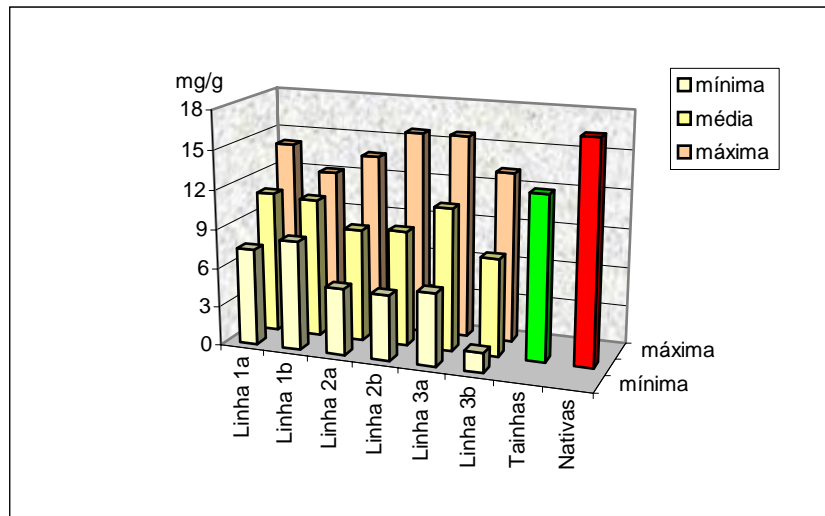


Figura 110 - Valores mínimos, médios e máximos do Na na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *T.usneoides*.

As concentrações de sódio encontradas na *R.simulans* após 6 meses e dez meses de exposição e os valores mínimos, médios e máximos em cada linha amostral, a cada período, podem ser observados nas figuras 111 e 112, respectivamente.

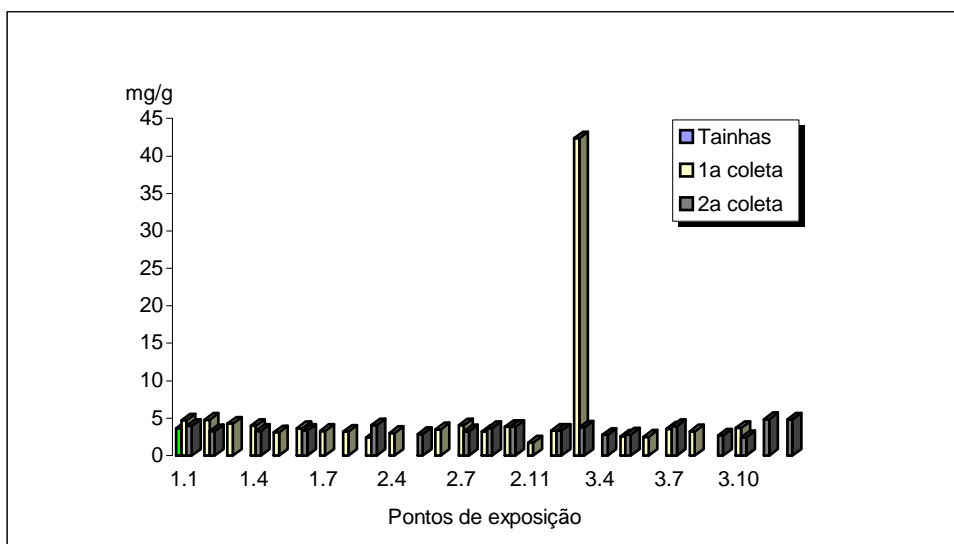


Figura 111 - Concentrações de sódio na *R.simulans*.

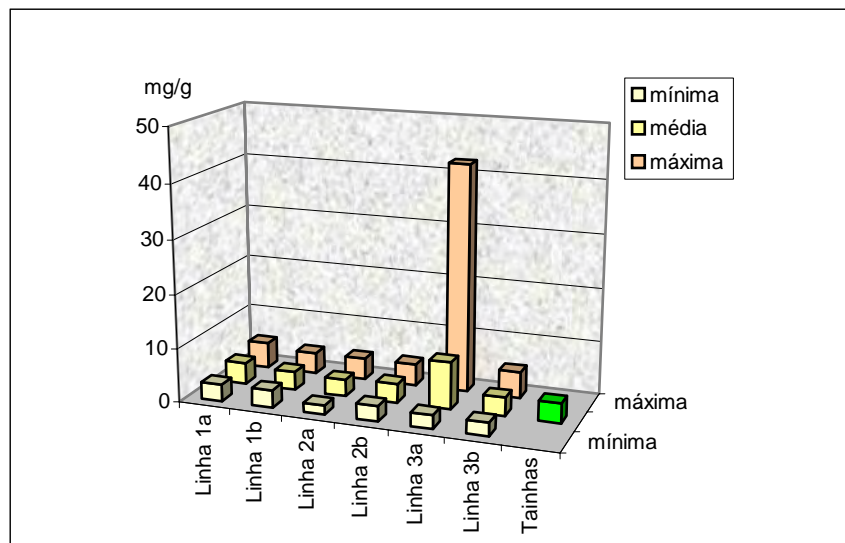


Figura 112 - Valores mínimos, médios e máximos do Na na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *R.simulans*.

As concentrações de sódio na *Canomaculina sp.*, determinadas após 6 meses e dez meses de exposição e os valores mínimos, médios e máximos em cada linha amostral, a cada período, podem ser observados nas figuras 113 e 114, respectivamente.

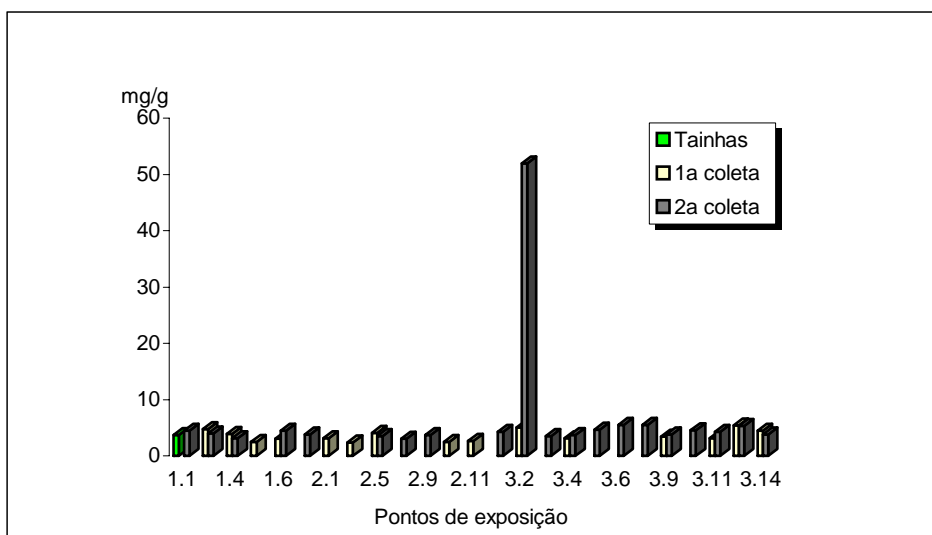


Figura 113 - Concentrações de sódio na *Canomaculina sp.*.

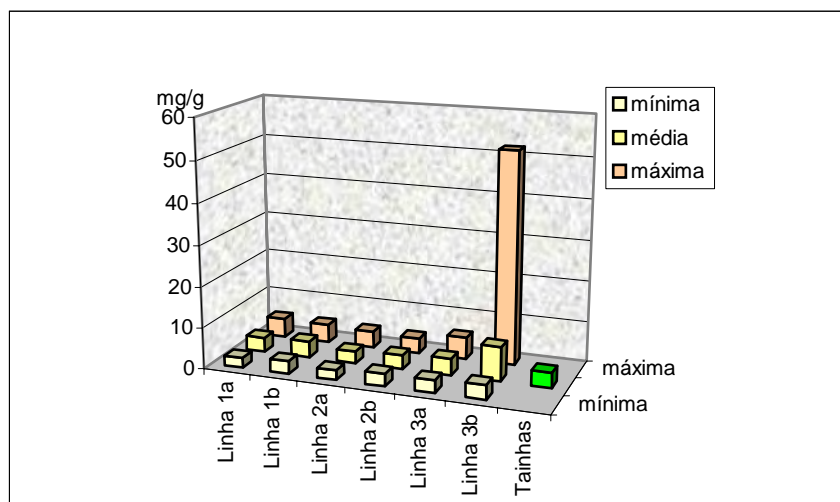


Figura 114 - Valores mínimos, médios e máximos ao Na na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *Canomaculina sp.*.

Para o sódio, na atmosfera e nos organismos, as concentrações mínimas, médias e máximas estão sumarizadas na tabela a seguir:

Tabela 43 - Concentrações de sódio na atmosfera e em organismos: valores mínimos, médios e máximos determinados na região da bacia do arroio Sapucaia e nos de referência (Tainhas) e valores de referência (Allen, 1974, Bowel, 1979 e outros).

Sódio					
	mínimas	Ponto	médias	máximas	Ponto
Valores de ref. ar ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,007			7	
Valores de ref. plantas (mg/g)	0,035			3	
PTS (mg/g) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
Pt.1	2,682	1.2	21,907 (1,560)	97,898	1.2
Pt.2	2,935	2.2	25,259 (1,590)	173,42	2.2
Pt.3	5,590	3.5	19,197 (0,795)	62,672	3.5
T.usn.(mg/g)					
Tainhas			12,637		
Nativas(1.5 e 1.6)			16,984		
Linha 1 a	7,415	1.3	10,897	14,043	1.5
Linha 1 b	8,395	1.6	10,685	12,050	1.7
Linha 2 a	5,132	2.3	8,672	13,563	2.6
Linha 2 b	5,027	2.3	8,894	15,650	2.6
Linha 3 a	5,608	3.9	10,979	15,650	3.6
Linha 3 b	1,528	3.2	7,514	13,120	3.12

<i>R.sim.</i> (mg/g)					
Tainhas			3,663		
Linha 1 a	3,134	1.5	3,970	4,79	1.2
Linha 1 b	3,264	1.2	3,461	3,959	1.1
Linha 2 a	1,726	2.11	3,122	4,035	2.7
Linha 2 b	2,871	2.5	3,522	4,043	2.3
Linha 3 a	2,511	3.6	8,784	42,382	3.3
Linha 3 b	2,454	3.10	3,492	4,864	3.12
<i>Can.sp.</i> (mg/g)					
Tainhas			3,710		
Linha 1 a	2,427	1.5	3,523	4,718	1.2
Linha 1 b	3,094	1.4	3,976	4,493	1.1
Linha 2 a	2,373	2.4	2,938	4,050	2.5
Linha 2 b	3,056	2.8	3,433	3,729	2.9
Linha 3 a	3,103	3.11	4,085	5,380	3.12
Linha 3 b	3,492	3.3	8,385	51,948	3.2

5.4.12. ZINCO

As concentrações de zinco determinadas pelas análises dos organismos expostos e nativos são apresentadas na tabela 44 abaixo:

Tabela 44 - Concentrações de zinco nos organismos, na primeira coleta (após 6 meses de exposição) e na segunda coleta (após 10 meses de exposição). Os espaços assinalados por ---, significam ausência de dados por insuficiência amostral.

Organismos de Tainhas	Concentrações mg/g
Tillandsia	0,022
Liquen A	0,054
Liquen B	0,049

Organismos nativos	Concentrações mg/g
Till.1.5 nat	0,125
Till.1.6 nat	0,240

Localização	Concentr. mg/g		Localização	Concentr. mg/g	
	1 ^a coleta	2 ^a coleta		1 ^a coleta	2 ^a coleta
1.1 Till.	0,219	0,455	2.11 Liq B	0,054	---
1.1 Liq.A	0,153	0,181	3.1 Till	0,031	0,023
1.1 Liq. B	---	0,318	3.1 Liq A	---	0,041
1.2 Liq.A	0,055	0,121	3.1 Liq B	0,062	0,029
1.2 Liq.B	0,030	0,171	3.2 Till	0,038	0,025
1.3 Liq.A	0,087	---	3.2 Liq B	0,084	0,044
1.4 Liq.A	0,018	0,106	3.3 Till	0,036	---
1.4 Liq.B	0,232	0,075	3.3 Liq A	0,082	0,036
1.5 Till.	0,081	---	3.3 Liq B	---	0,029
1.5 Liq.A	0,043	---	3.4 Till	0,032	---
1.5 Liq B	0,022	---	3.4 Liq A	---	0,066
1.6 Till.	0,129	0,190	3.4 Liq B	0,054	0,065
1.6 Liq A	0,181	0,115	3.5 Till	0,044	0,032
1.6 Liq.B	0,071	0,169	3.5 Liq A	0,039	0,029
1.7 Till.	0,065	0,166	3.5 Liq B	---	0,046
1.7 Liq. A	0,109	---	3.6 Till	0,040	---
1.7 Liq. B	---	0,164	3.6 Liq A	0,065	---
2.1 Liq.B	0,167	---	3.6 Liq B	---	0,067
2.2 Liq A	0,602	---	3.7 Till	0,049	0,039
2.3 Till	0,061	0,069	3.7 Liq A	0,059	0,070
2.3 Liq A	0,079	0,071	3.7 Liq B	---	0,051
2.4 Liq A	0,168	---	3.8 Till	0,078	0,066
2.4 Liq B	0,088	---	3.8 Liq A	0,113	---
2.5 Liq A	---	0,071	3.9 Till	0,038	0,035
2.5 Liq B	0,103	0,101	3.9 Liq A	---	0,036
2.6 Till	0,049	0,056	3.9 Liq B	0,050	0,044
2.6 Liq A	0,050	---	3.10 Till	0,043	0,023
2.7 Till	---	0,177	3.10 Liq A	0,044	0,032

2.7 Liq A	0,109	0,156	3.10 Liq B	---	0,077
2.8 Liq A	0,051	0,088	3.11 Till	0,048	0,103
2.8 Liq B	---	0,104	3.11 Liq B	0,076	0,083
2.9 Till	0,043	---	3.12 Till	0,042	0,050
2.9 Liq A	0,098	0,118	3.12 Liq A	0,105	0,072
2.9 Liq B	---	0,085	3.12 Liq B	---	0,053
2.10 Liq B	0,116	---	3.14 Liq A	---	0,077
2.11 Liq A	0,154	---	3.14 Liq B	0,087	0,082

Para o zinco, as variações das concentrações em miligramas por grama de massa seca de *T.usneoides*, determinadas em indivíduos coletados após 6 meses de exposição e após 10 meses de exposição, nos de Tainhas e nos nativos da região, são observadas na figura 115 abaixo:

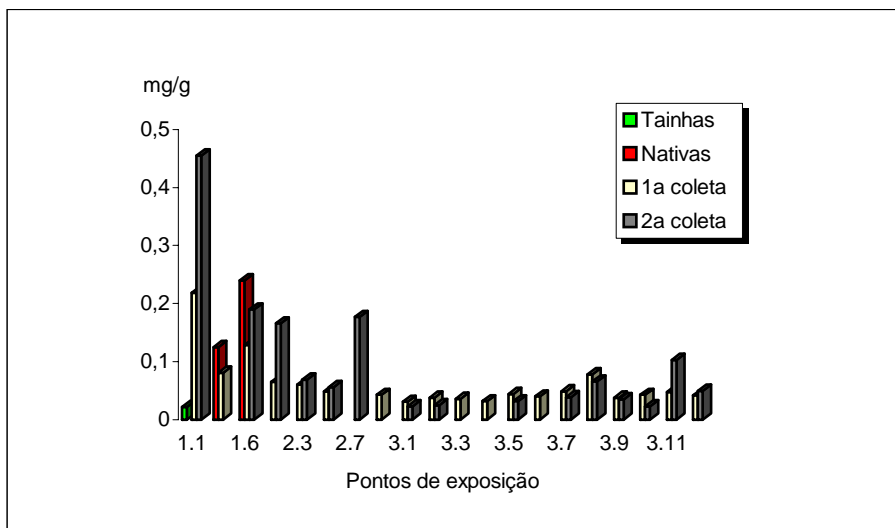


Figura 115 - Concentrações de zinco na *T.usneoides*

Os valores extremos e médios do zinco, para os indivíduos analisados, podem ser observados abaixo:

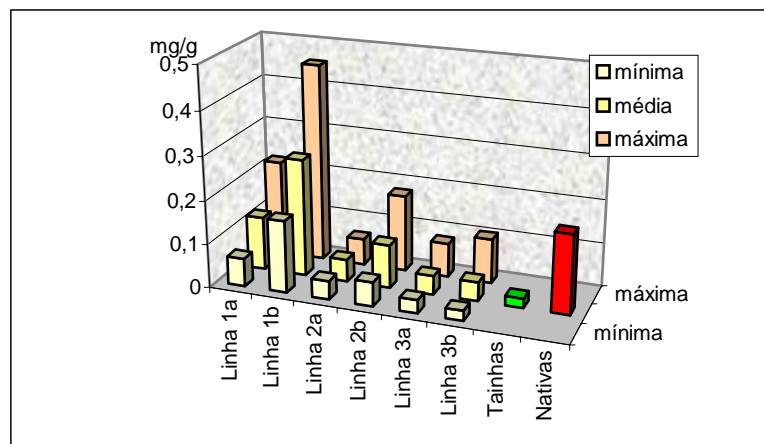


Figura 116 - Valores mínimos, médios e máximos do Zn na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *T.usneoides*.

Na *R.simulans*, o zinco nos indivíduos de Tainhas, nos coletados após 6 meses de exposição e nos coletados após dez meses apresentou concentrações observadas abaixo:

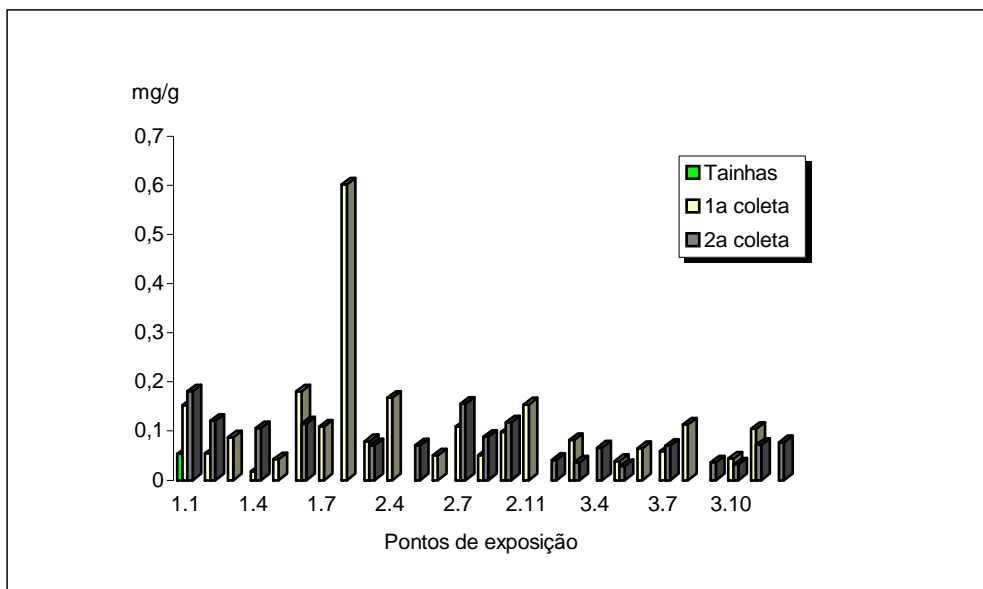


Figura 117 - Concentrações de zinco na *R.simulans*

Para a *R.simulans*, as concentrações do zinco nos indivíduos de Tainhas, nos coletados após 6 meses de exposição e nos coletados após dez meses apresentaram variações extremas e médias observáveis abaixo:

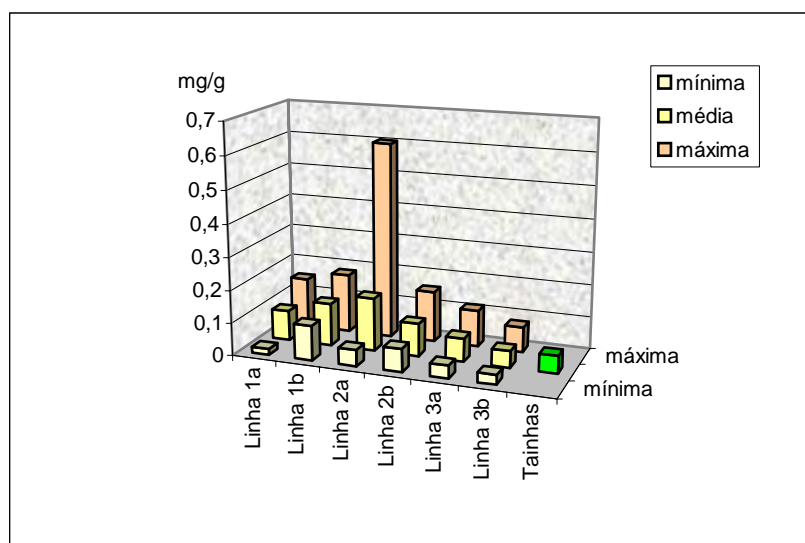


Figura 118 - Valores mínimos, médios e máximos do Zn na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *R.simulans*.

Na *Canomaculina sp.*, o comportamento de zinco pode ser observado nas figuras que seguem:

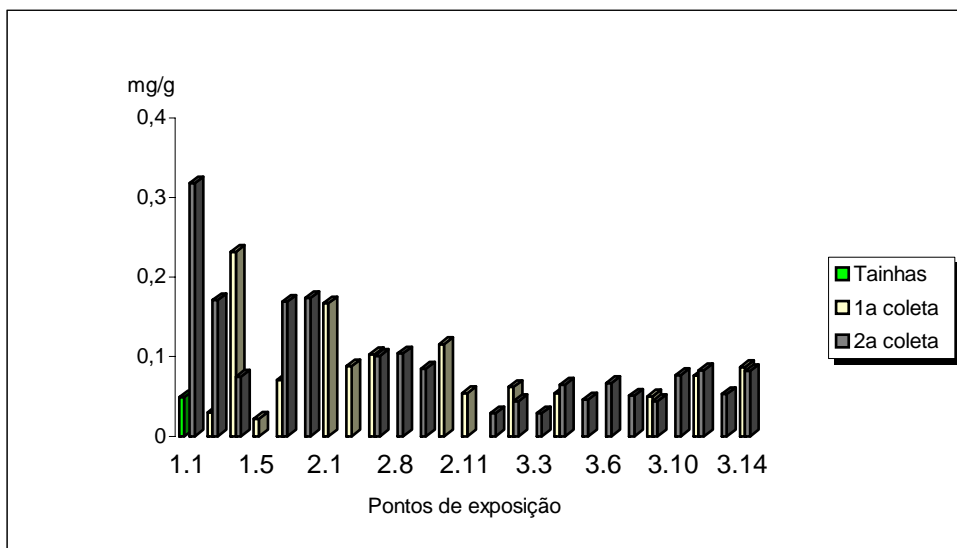


Figura 119 - Concentrações de zinco na *Canomaculina sp.*

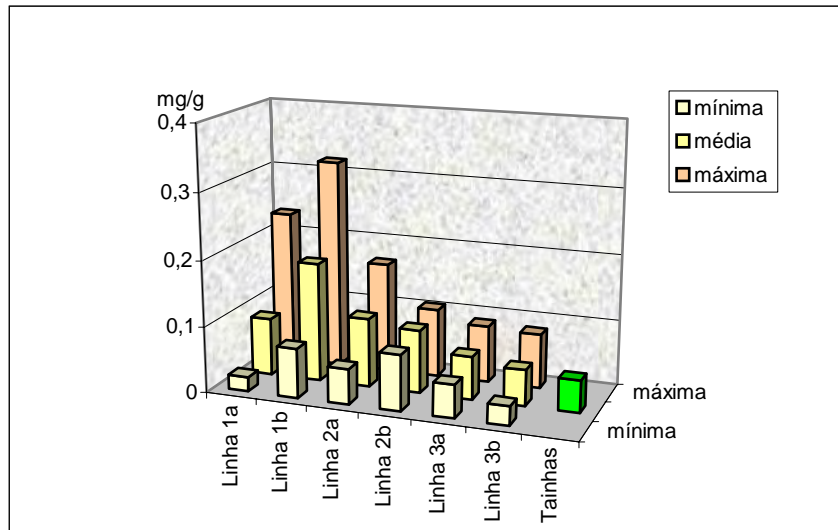


Figura 120 - Valores mínimos, médios e máximos do Zn na 1ª (a) e 2ª (b) coleta em *Canomaculina sp.*

A seguir estão sumarizadas as concentrações mínimas, médias e máximas determinadas para o zinco, na atmosfera e nos organismos:

Tabela 45 - Concentrações de zinco na atmosfera e em organismos: valores mínimos, médios e máximos determinados na região da bacia do arroio Sapucaia e nos de referência (Tainhas) e valores de referência (Allen, 1974, Bowel, 1979 e outros).

Zinco					
	mínimas	Ponto	médias	máximas	Ponto
Valores de ref. ar ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,00003			16	
Valores de ref. plantas (mg/g)	0,015			0,4	
PTS (mg/g) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	mínimas	Ponto	médias	máximas	Ponto
Pt.1	0,582	1.2	1,829 (0,138)	3,723	1.2
Pt.2	0,604	2.2	1,401 (0,089)	3,735	2.2
Pt.3	0,148	3.5	0,855 (0,029)	4,255	3.5
<i>T.usn.</i> (mg/g)					
Tainhas			0,022		
Nativas(1.5 e 1.6)			0,182		
Linha 1 a	0,065	1.7	0,123	0,219	1.1
Linha 1 b	0,166	1.7	0,270	0,455	1.1
Linha 2 a	0,043	2.9	0,051	0,061	2.3
Linha 2 b	0,056	2.6	0,100	0,177	2.7
Linha 3 a	0,031	3.1	0,043	0,078	3.8
Linha 3 b	0,023	3.1	0,044	0,103	3.11
<i>R.sim.</i> (mg/g)					
Tainhas			0,054		
Linha 1 a	0,018	1.4	0,092	0,153	1.1
Linha 1 b	0,106	1.4	0,130	0,181	1.1
Linha 2 a	0,050	2.6	0,163	0,602	2.2
Linha 2 b	0,071	2.5	0,100	0,156	2.7
Linha 3 a	0,039	3.5	0,072	0,113	3.8
Linha 3 b	0,029	3.5	0,051	0,077	3.14
<i>Can.sp.</i> (mg/g)					
Tainhas			0,049		
Linha 1 a	0,022	1.5	0,088	0,232	1..4
Linha 1 b	0,075	1.4	0,181	0,318	1.1
Linha 2 a	0,054	2.11	0,105	0,167	2.1
Linha 2 b	0,085	2.5	0,096	0,104	2..8
Linha 3 a	0,050	3.9	0,065	0,087	3.14
Linha 3 b	0,029	3.1	0,055	0,083	3.11

5.5. APLICAÇÕES DE TÉCNICAS DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA.

Dos filtros com as poeiras atmosféricas coletadas durante o período de estudo de metais em suspensão atmosférica na sub-bacia do arroio Sapucaia, alguns filtros foram separados e, destes, foram retiradas frações de 0,25cm², metalizadas e submetidas à observação por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Esta observação se destinou à investigação dos constituintes das poeiras da região por observação das partículas retidas pelos filtros de quartzo, como se pode ver na amostra abaixo.

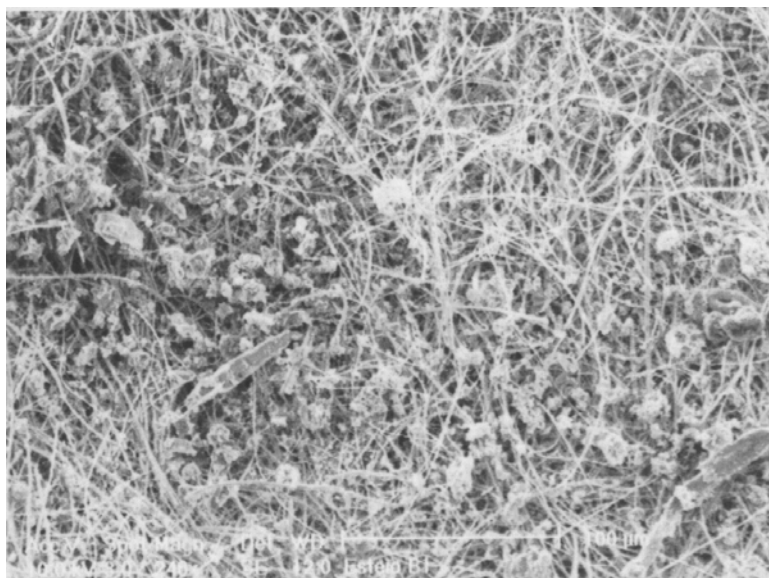


Fig. 121 - Fração de filtro de quartzo contendo poeiras atmosféricas coletadas na região da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia.

Esta técnica permitiu igualmente investigar o tamanho das partículas constituintes destas amostras, por comparação de suas respectivas imagens com a escala micrométrica da MEV, permitindo a observação da diversidade de tamanhos e formas dos constituintes da amostra coletada (fig. 122), oportunizando a associação destes aos parâmetros climáticos que interferem nos fenômenos de dispersão e precipitação destas partículas.

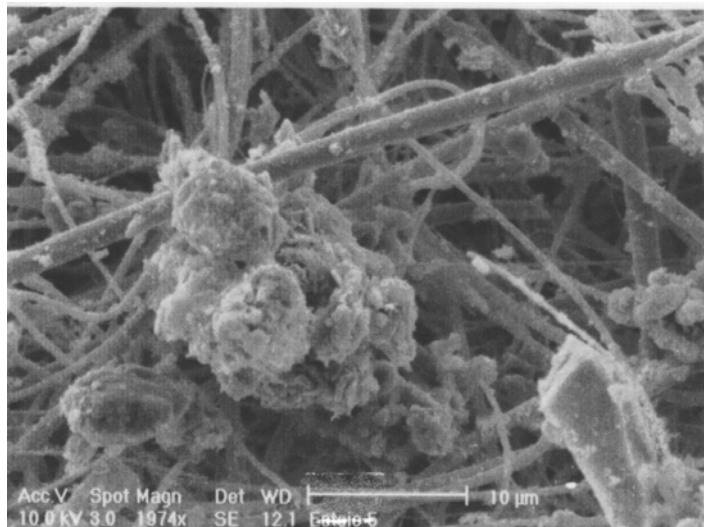


Fig. 122 - Observação de tamanho -por comparação com a escala micrométrica- e forma de partícula coletada em filtro de quartzo.

Como esta técnica permite, além da observação, a análise elementar percentual da amostra total selecionada ou ainda de partículas específicas que possam ser de interesse para a investigação, foram também selecionadas algumas amostras, com o objetivo de investigar a possível origem de elementos metálicos que possam ser absorvidos pelos organismos expostos e nativos.

Esta técnica permitiu também a observação da presença de outros contaminantes não metálicos que possam somar seus efeitos aos elementos metálicos ou possivelmente apresentar sinergia com os mesmos quando absorvidos por tecidos vivos. Foi também possível investigar a presença de constituintes naturais nas poeiras.

Para conhecer a constituição e aspecto do filtro branco e evitar uma possível interpretação analítica sem levar em conta estes constituintes, foi realizada igualmente uma observação e análise por MEV de um filtro não exposto, cujo resultado pode ser observado na figura 123.

Desta análise se obteve a composição elementar percentual do filtro: 54,33% de silício (Si) e 45,67% de oxigênio (O).

Após esta, foram igualmente selecionadas, observadas e analisadas por MEV, diversas partículas presentes nas amostras de filtros com particulados

coletados na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia, como nos exemplares apresentados nas figuras 124, 125 e 126.

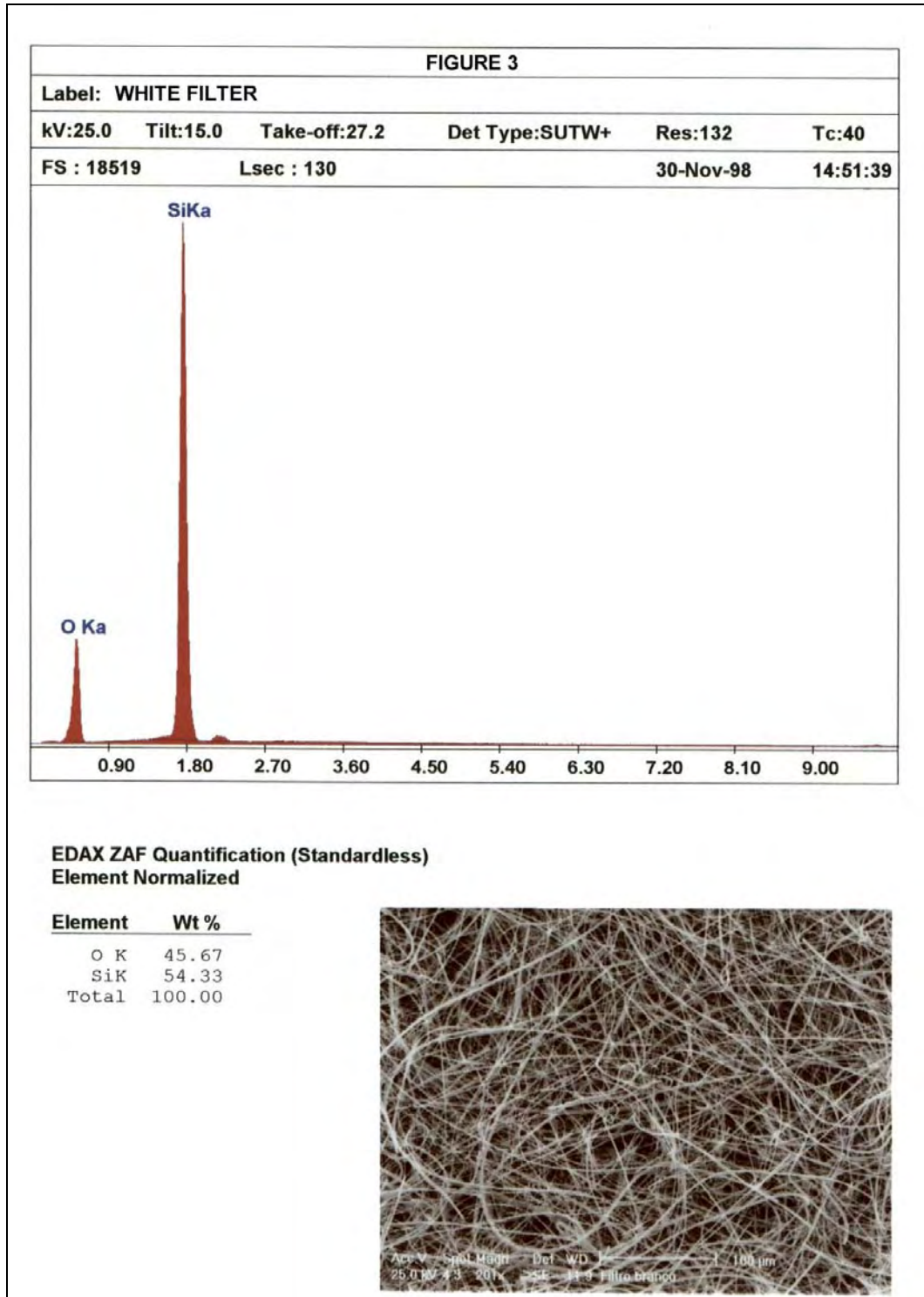


Fig. 123 - Análise e observação do filtro de quartzo não exposto.

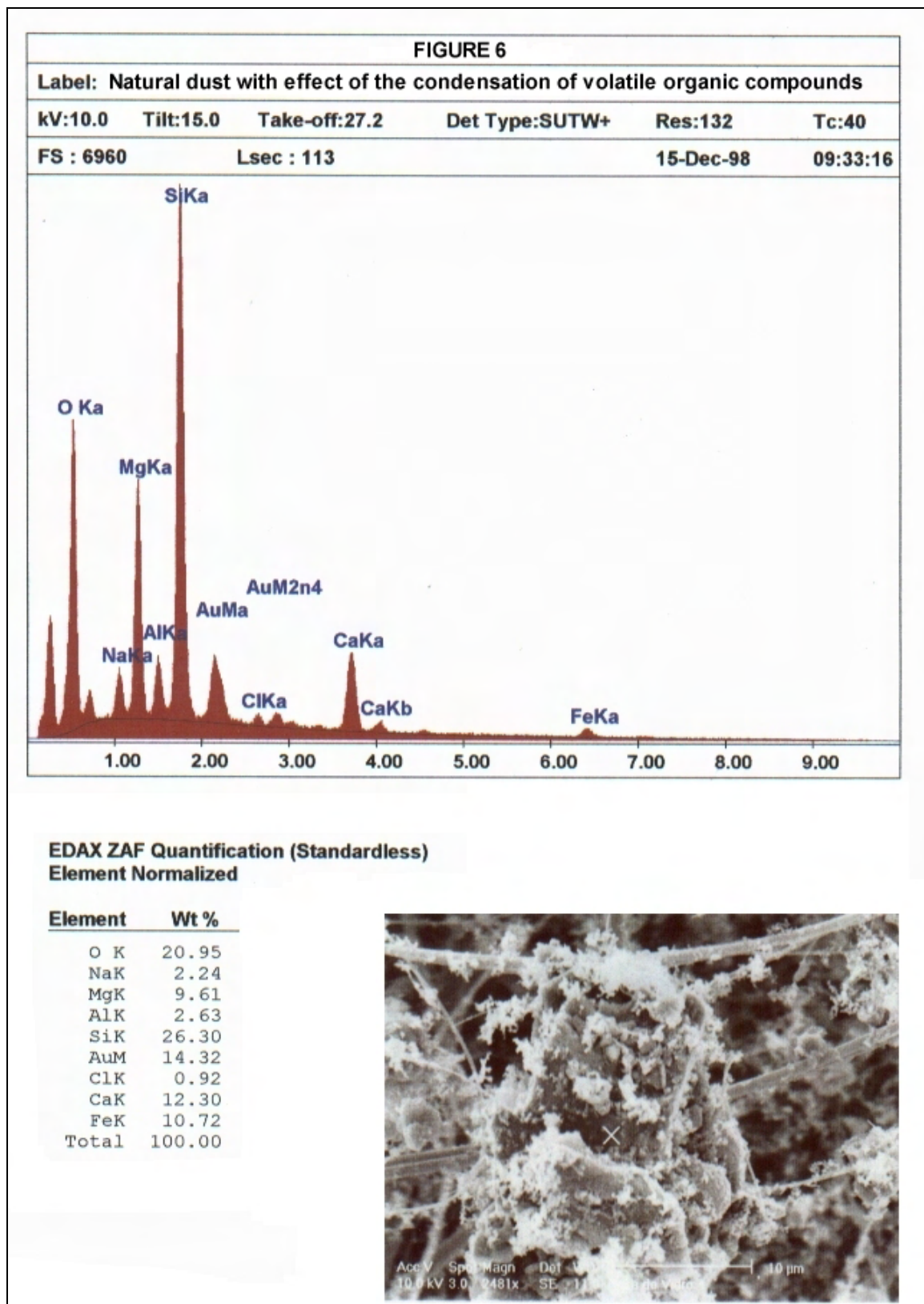


Fig. 124 - Partícula de poeira de solo com condensação de compostos orgânicos voláteis (COVs).

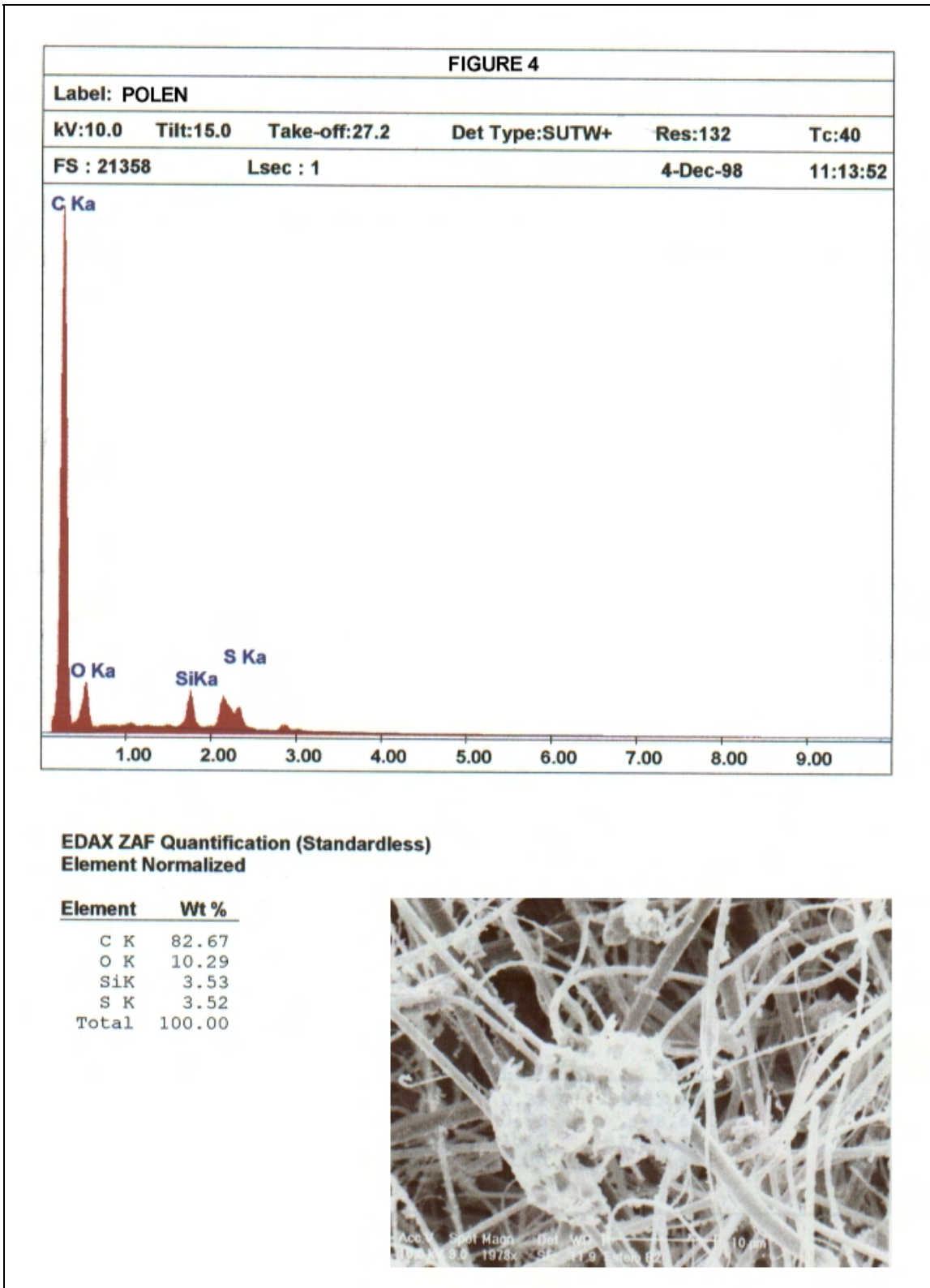
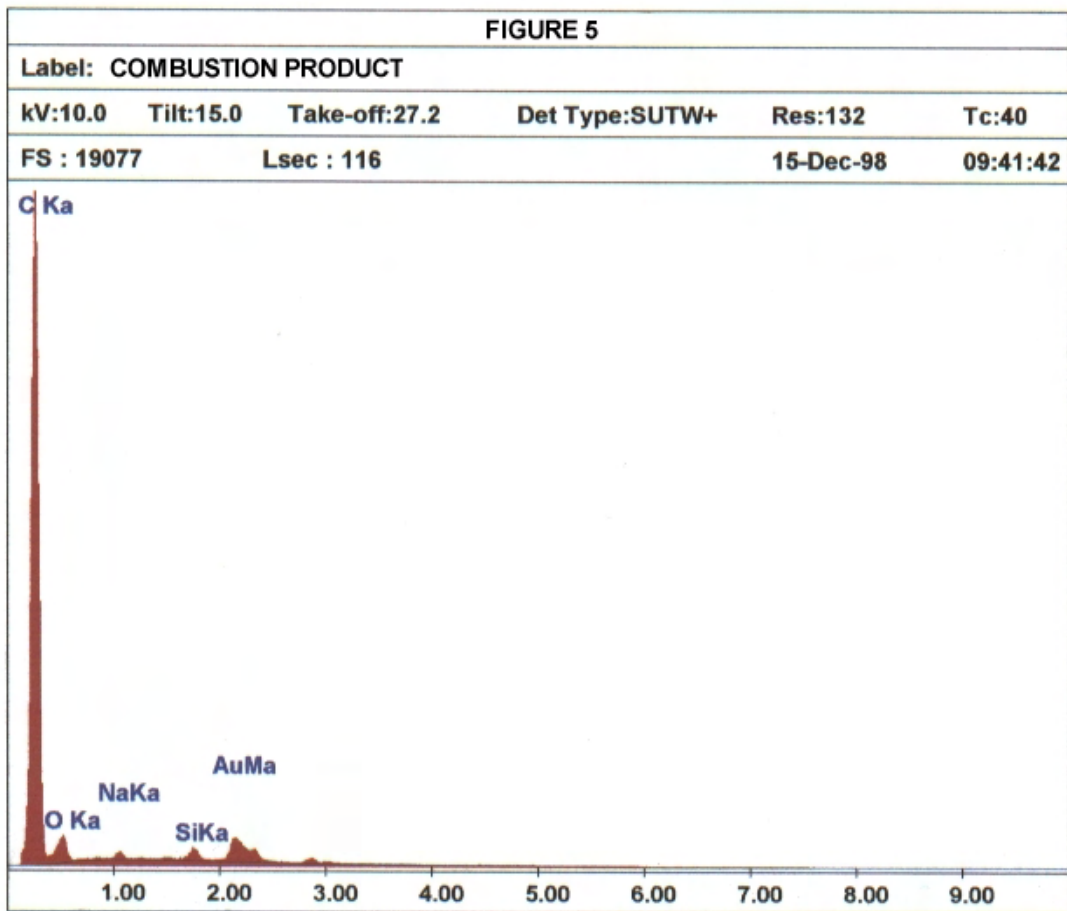


Fig. 125 - Fragmento de pólen retido no filtro de quartzo exposto.



**EDAX ZAF Quantification (Standardless)
Element Normalized**

Element	Wt %
C K	82.79
O K	5.22
NaK	0.67
SiK	1.20
AuM	10.12
Total	100.00

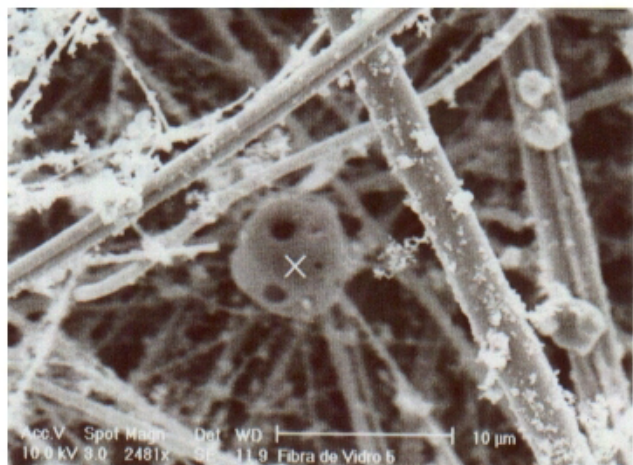


Fig. 126 - Pequena partícula resultante de combustão retida nas fibras do filtro juntamente com micro-partículas e COVs condensados.

Como alguns indivíduos de *T.usneoides* nativos foram encontrados nos pontos 1.5 e 1.6 da linha 1 que cruza a bacia hidrográfica na área industrial, foram realizadas observações, por MEV, de frações destes indivíduos em diversas escalas de observação (figuras 127 a 129).

Para fins de observação de possíveis alterações provocadas pelas diferenças climáticas (principalmente umidade e pluviosidade) e pela exposição dos organismos coletados em Tainhas e expostos durante 10 meses na mesma região da bacia onde foram coletados os indivíduos nativos, foram também observadas, por MEV, frações de indivíduos coletados em Tainhas não expostos à atmosfera da região da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia (figuras 130 a 132) e frações destes indivíduos expostos durante 10 meses (figuras 133 a 136). As alterações observadas (fig. 127 a 129 e 133 a 136) parecem ser uma resposta a impactos, porém a natureza destes impactos não pode ser definida apenas através destas imagens, podendo representar um conjunto de ações de fatores climáticos e de poluentes atmosféricos diversos (atmosfera ácida, metais ou particulados diversos, compostos orgânicos voláteis, etc.).

Nativas de Esteio (Pontos 1.5 e 1.6)

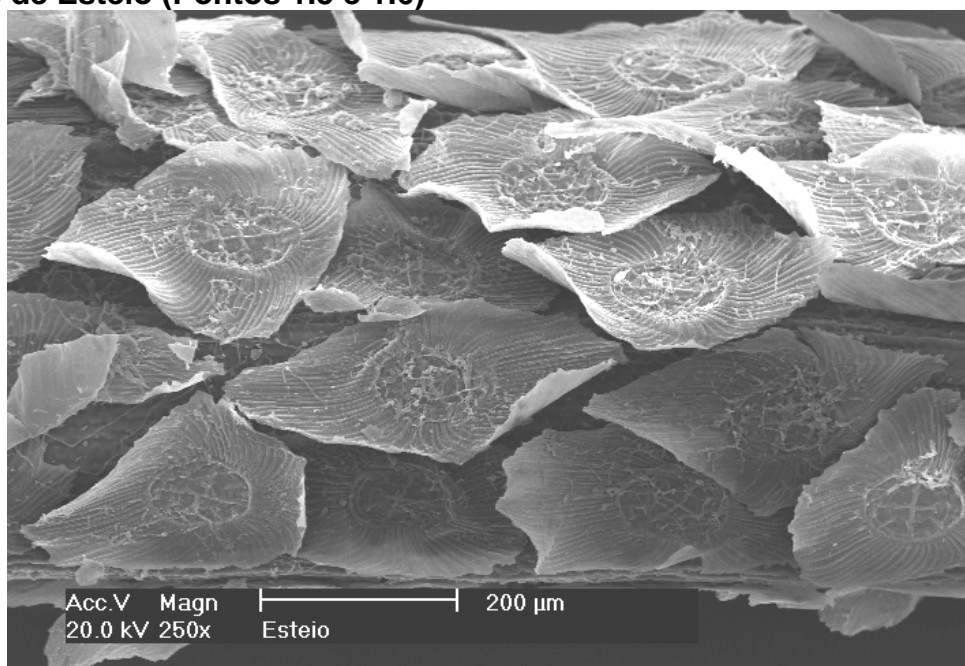


Fig. 127 - Fração de *T.usneoides* nativa da região da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia, coletada em Esteio, observada por MEV, com aumento de 250 vezes.

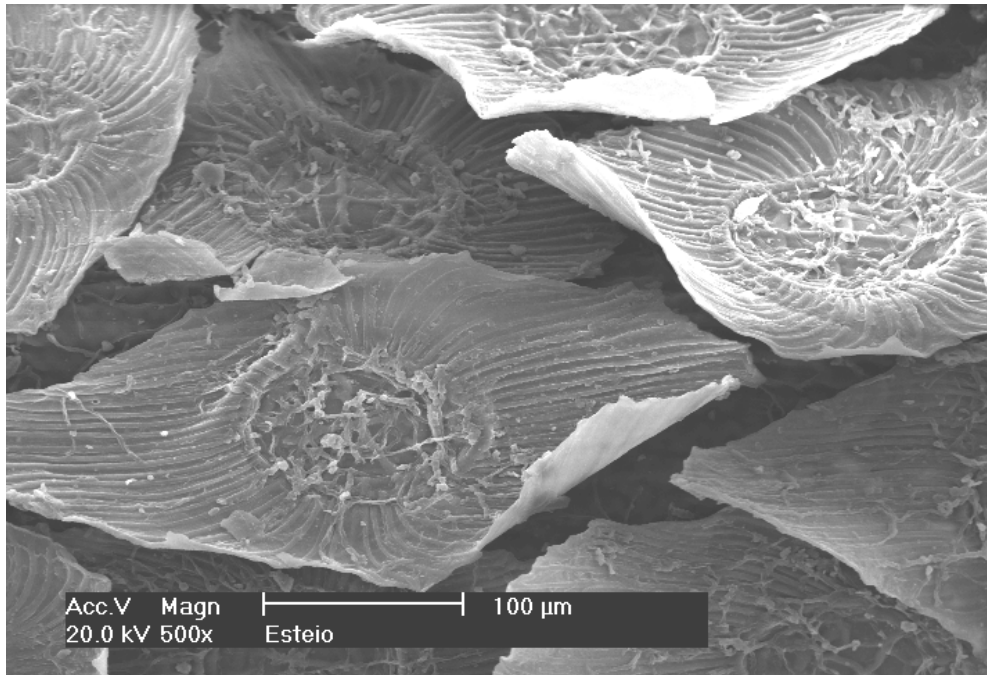


Fig. 128 - Fração de *T.usneoides* nativa, observada por MEV, com aumento de 500 vezes.

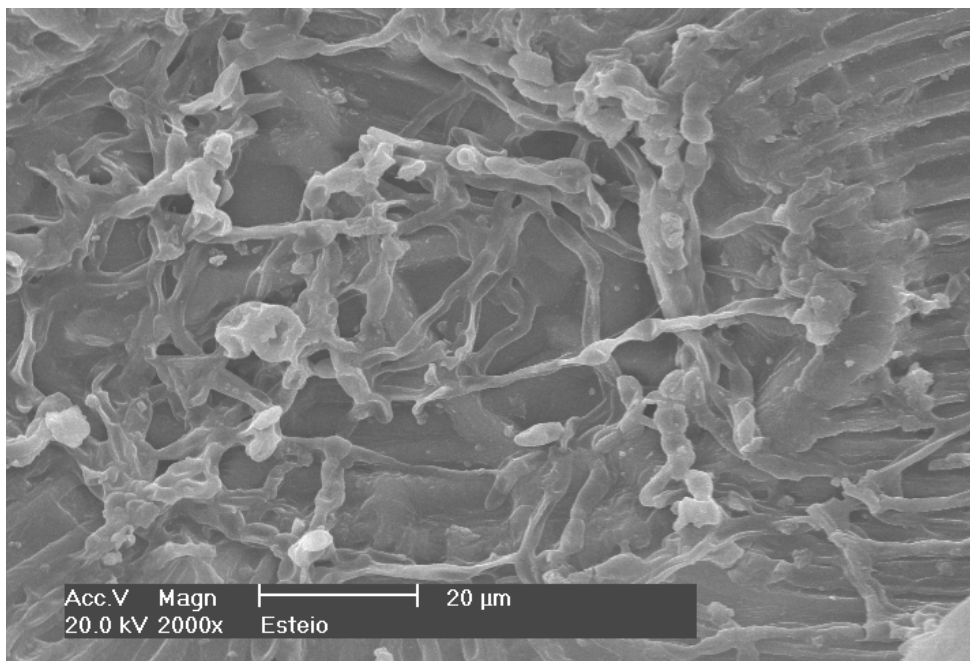


Fig. 129 - Fração de *T.usneoides* nativa, observada por MEV, com aumento de 2000 vezes.

Coletadas em Tainhas, não expostas

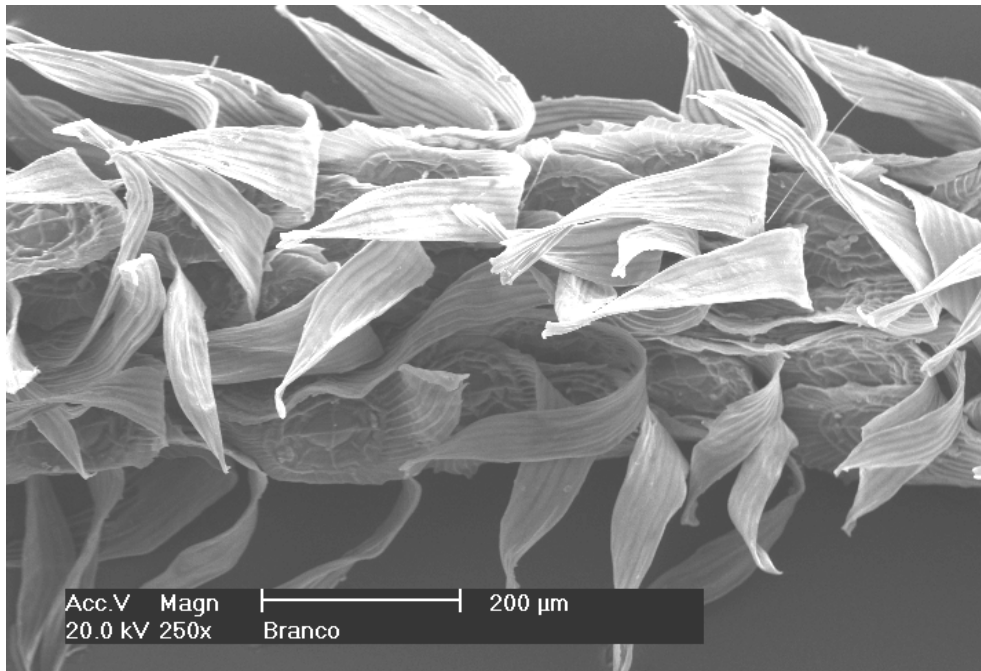


Fig. 130 - Fração de *T.usneoides* coletada em Tainhas, não exposta, observada por MEV, com aumento de 250 vezes.

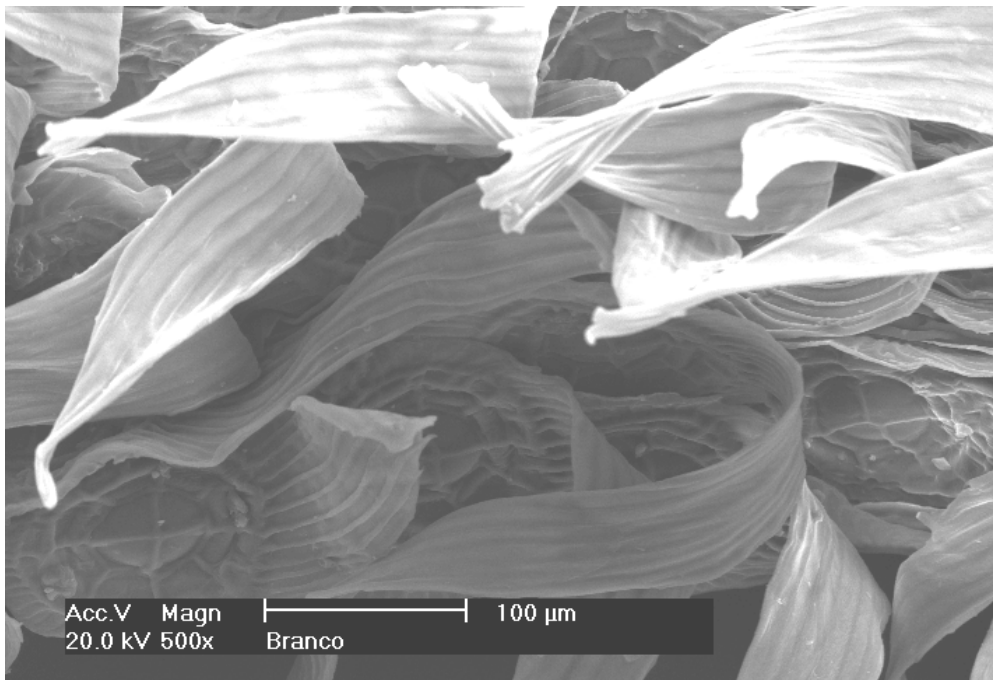


Fig. 131 - Fração de *T.usneoides* coletada em Tainhas, não exposta, observada por MEV, com aumento de 500 vezes.

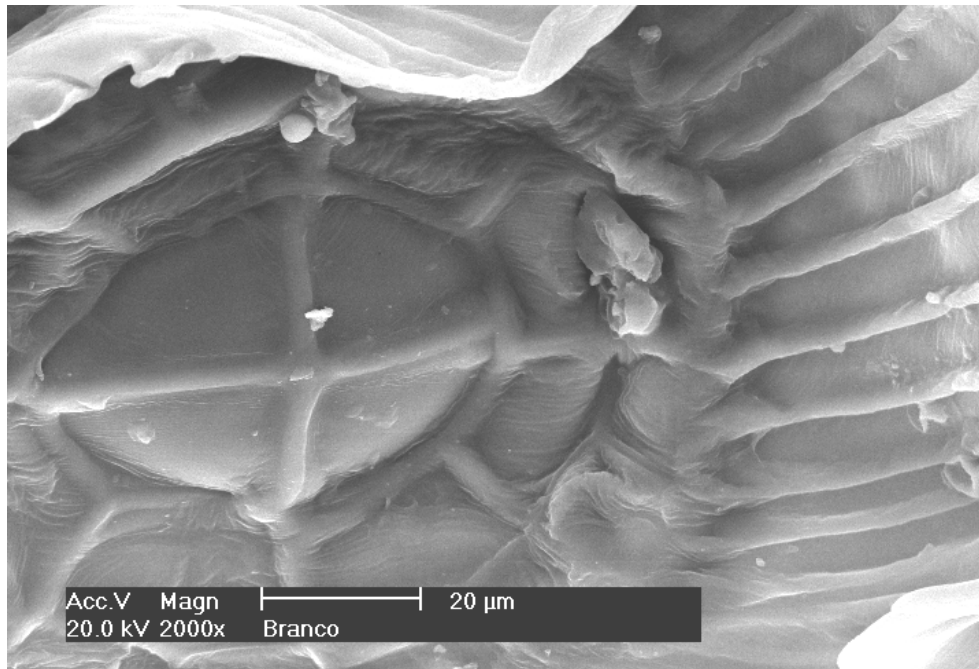


Fig. 132 - Fração de *T.usneoides* coletada em Tainhas, não exposta, observada por MEV, com aumento de 2000 vezes.

***T.usneoides* Expostas (10meses)**

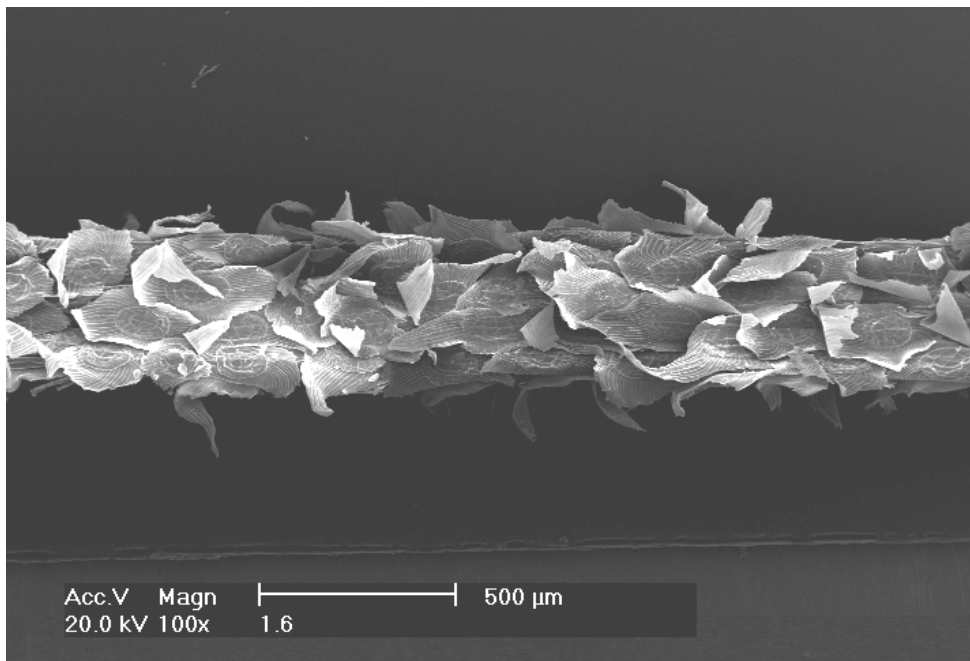


Fig. 133 - Fração de *T.usneoides* exposta por 10 meses, observada por MEV, com aumento de 100 vezes.

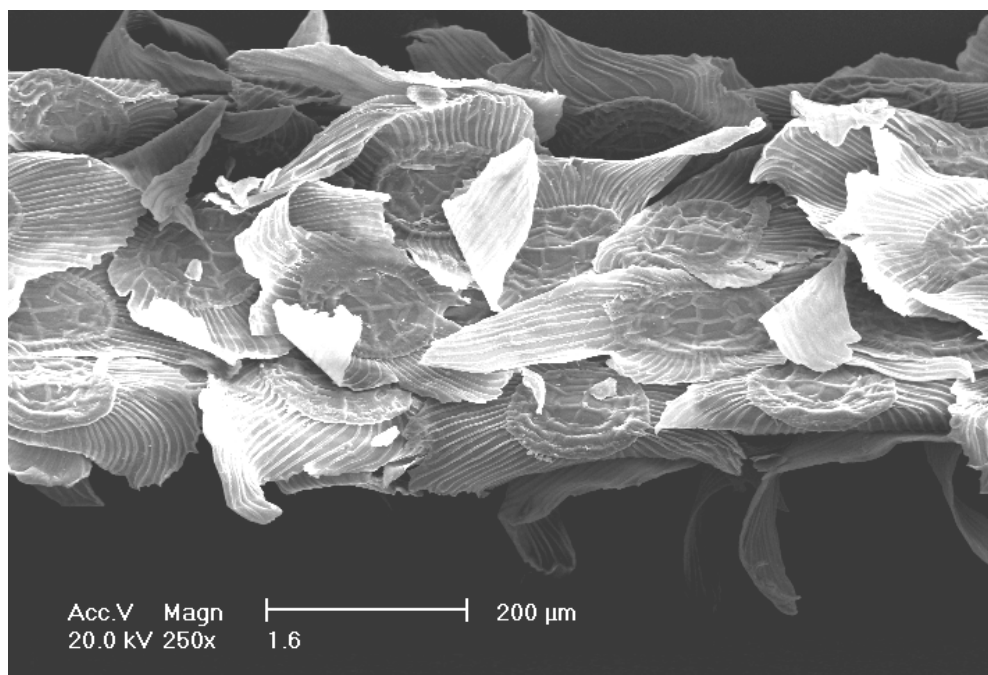


Fig. 134 - Fração de *T.usneoides* exposta por 10 meses, observada por MEV, com aumento de 250 vezes.

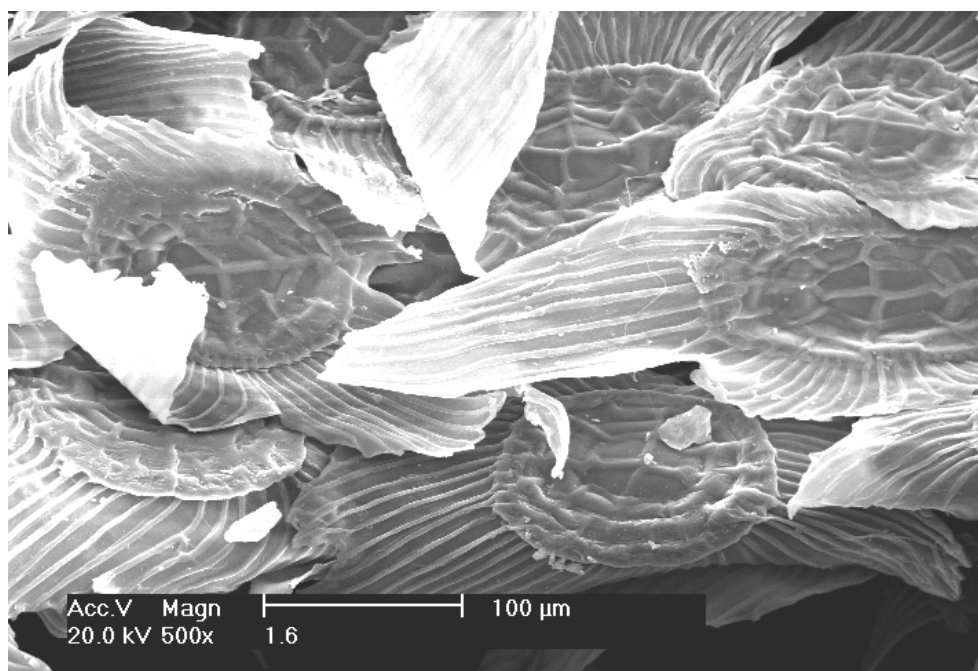


Fig. 135 - Fração de *T.usneoides* exposta por 10 meses, observada por MEV, com aumento de 500 vezes.

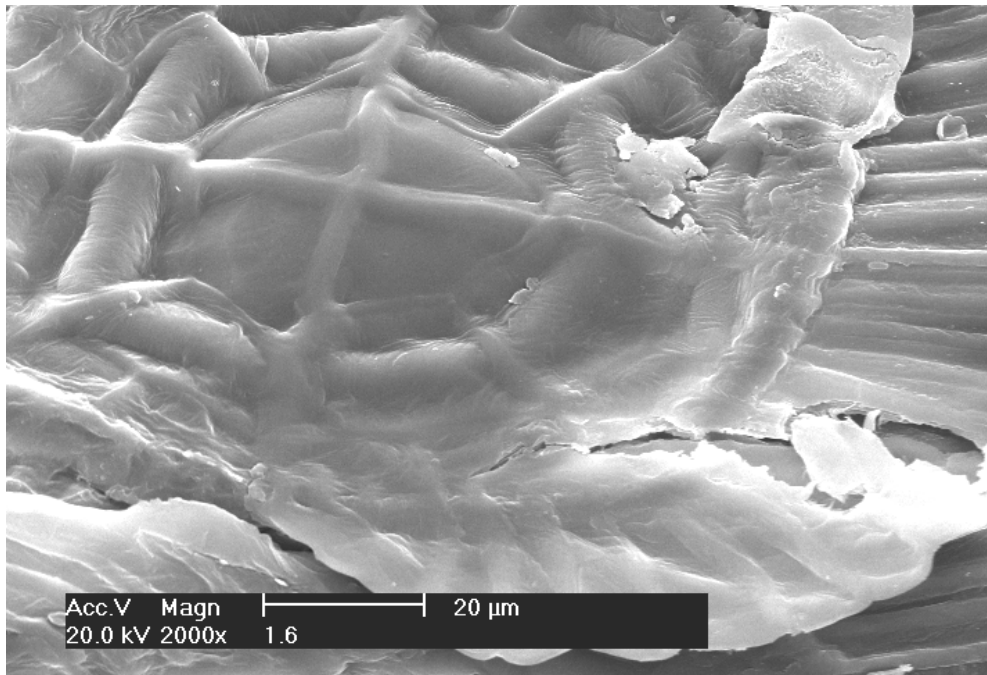


Fig. 136 - Fração de *T.usneoides* exposta por 10 meses, observada por MEV, com aumento de 2000 vezes.

Estas observações foram realizadas apenas para a *T.usneoides* pois não foram encontrados indivíduos de *R.simulans* e de *Canomaculina* sp. nativos da região da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia.

5.6. TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Para comparar as concentrações médias de cada elemento em cada espécie estudada, entre as três linhas amostrais, foram realizados testes ANOVA. Os dados a seguir mostram as análises de Variância para os 6 primeiros meses de exposição (tabela 46) e após 10 meses de exposição (tabela 47).

Tabela 46 - Análise de Variância para comparação entre linhas (6 meses)

	Linha	n	Média mg/g***	Desvio- padrão	F	Valor de p
Al T.usn.	1	5	1,221	0,418	1,45	0,262
	2	3	1,143	0,187		
	3	12	1,602	0,604		
Al R.sim	1	7	4,590	1,166	0,58	0,568
	2	8	5,229	2,363		
	3	7	4,183	1,872		
Al Canomac.	1	4	3,172	1,754	2,36	0,137
	2	5	5,374	1,142		
	3	6	3,810	1,794		
Ca T.usn.	1	5	4,196	1,505	0,39	0,684
	2	3	3,968	0,042		
	3	12	3,581	1,433		
Ca R.sim	1	7	3,268	2,054	0,10	0,903
	2	8	3,508	1,501		
	3	7	3,742	2,295		
Ca Canomac.	1	4	2,040	0,816	1,33	0,304
	2	4	1,863	0,137		
	3	6	3,421	2,403		
Cu T.usn.	1	4	0,054	0,051	1,32	0,295
	2	3	0,019	0,001		
	3	12	0,045	0,023		
Cu R.sim	1	7	0,094	0,076	1,68	0,215
	2	7	0,151	0,127		
	3	7	0,068	0,023		
Cu Canomac.	1	4	0,076	0,037	0,32	0,736
	2	5	0,123	0,158		
	3	6	0,086	0,036		
Pb T.usn.	1	4	0,148	0,054	7,61	0,005**
	2	3	0,140	0,180		
	3	12	0,016	0,019		
Pb R.sim	1	7	0,426	0,174	13,29	0,000**
	2	7	0,337	0,189		
	3	7	0,030	0,048		
Pb Canomac.	1	4	0,659	0,369	11,54	0,001**
	2	6	0,275	0,127		
	3	6	0,054	0,033		
Fe T.usn.	1	5	1,058	0,578	7,75	0,004**
	2	3	6,506	4,985		
	3	12	1,805	1,310		
Fe R.sim	1	7	3,957	0,953	1,86	0,186
	2	7	3,968	0,940		

	Linha	n	Média mg/g***	Desvio- padrão	F	Valor de p
	3	6	5,339	2,261		
Fe Canomac.	1	4	2,790	1,200	1,69	0,226
	2	5	4,132	0,966		
	3	6	5,741	3,697		
Li T.usn.	1	4	0,040	0,011	5,26	0,018*
	2	3	0,040	0,007		
	3	12	0,053	0,008		
Li R.sim	1	7	0,027	0,009	0,31	0,736
	2	8	0,030	0,008		
	3	6	0,027	0,006		
Li Canomac.	1	4	0,019	0,007	5,93	0,015*
	2	5	0,025	0,005		
	3	7	0,032	0,006		
Mg T.usn.	1	4	2,020	1,878	0,68	0,520
	2	3	1,230	0,236		
	3	12	1,843	0,541		
Mg R.sim	1	7	2,634	1,507	1,37	0,277
	2	8	1,689	0,734		
	3	7	1,849	1,176		
Mg Canomac.	1	4	1,639	1,560	0,71	0,511
	2	5	1,075	0,247		
	3	6	1,774	0,954		
Mn T.usn.	1	4	0,203	0,054	0,26	0,772
	2	3	0,185	0,030		
	3	12	0,218	0,082		
Mn R.sim	1	7	0,304	0,154	1,90	0,177
	2	8	0,314	0,182		
	3	7	0,175	0,097		
Mn Canomac.	1	4	0,163	0,096	6,08	0,015*
	2	5	0,250	0,045		
	3	6	0,129	0,033		
Hg T.usn.	1	5	0,006	0,008	3,87	0,043*
	2	2	0,000	0,000		
	3	12	0,000	0,000		
Hg R.sim	1	7	0,001	0,001	3,08	0,071
	2	7	0,005	0,006		
	3	7	0,001	0,000		
Hg Canomac.	1	4	0,001	0,001	0,63	0,548
	2	5	0,002	0,002		
	3	6	0,001	0,001		
K T.usn.	1	4	7,732	2,158	2,52	0,112
	2	3	6,030	2,268		
	3	12	8,838	1,876		
K R.sim	1	7	3,011	1,249	0,16	0,851
	2	7	2,751	0,608		
	3	7	2,900	0,517		
K Canomac.	1	4	10,903	12,758	2,45	0,129
	2	5	2,212	0,807		
	3	6	3,029	0,762		
Na T.usn.	1	5	10,897	2,774	0,71	0,505
	2	3	8,672	4,375		
	3	12	10,979	2,858		

	Linha	n	Média mg/g***	Desvio- padrão	F	Valor de p
Na R.sim	1	7	3,970	0,648	0,95	0,403
	2	8	3,122	0,748		
	3	7	8,748	14,838		
Na Canomac.	1	4	3,523	1,007	2,16	0,158
	2	5	2,939	0,682		
	3	6	4,086	1,007		
Zn T.usn.	1	4	0,124	0,069	9,73	0,002**
	2	3	0,051	0,009		
	3	12	0,043	0,012		
Zn R.sim	1	7	0,092	0,059	1,29	0,297
	2	8	0,164	0,182		
	3	7	0,072	0,029		
Zn Canomac.	1	4	0,089	0,098	0,60	0,566
	2	5	0,106	0,041		
	3	5	0,066	0,015		

*** Mercúrio em µg/g

** Diferença significativa ao nível de 1%

* Diferença significativa ao nível de 5%

Tabela 47 - Análise de Variância para comparação entre linhas (10 meses)

	Linha	n	Média mg/g***	Desvio- padrão	F	Valor de p
Al T.usn.	1	3	4,300	0,595	4,55	0,034*
	2	3	3,083	2,382		
	3	9	2,043	0,689		
Al R.sim	1	4	5,511	1,805	1,52	0,252
	2	5	5,697	2,029		
	3	9	4,071	1,843		
Al Canomac.	1	5	6,618	2,841	2,58	0,103
	2	4	4,333	2,595		
	3	12	3,956	1,826		
Ca T.usn.	1	3	7,079	1,600	14,37	0,001**
	2	2	4,168	1,097		
	3	9	3,210	0,905		
Ca R.sim	1	4	3,687	1,644	0,48	0,627
	2	5	3,157	0,861		
	3	9	2,900	1,398		
Ca Canomac.	1	5	4,945	2,698	0,52	0,605
	2	3	3,072	0,926		
	3	12	4,832	3,087		
Cu T.usn.	1	3	0,040	0,002	0,16	0,855
	2	3	0,051	0,033		
	3	9	0,045	0,025		
Cu R.sim	1	4	0,061	0,016	2,72	0,098
	2	5	0,075	0,038		
	3	9	0,045	0,012		
Cu Canomac.	1	5	0,085	0,022	2,22	0,138
	2	4	0,043	0,013		
	3	12	0,074	0,037		
Pb T.usn.	1	3	0,078	0,085	0,16	0,852
	2	2	0,066	0,024		

	3	9	0,207	0,494		
Pb R.sim	1	4	0,347	0,257	4,45	0,036*
	2	3	0,297	0,216		
	3	8	0,062	0,095		
Pb Canomac.	1	5	0,460	0,243	7,78	0,003**
	2	5	0,147	0,092		
	3	12	0,091	0,173		
Fe T.usn.	1	3	4,874	1,014	5,36	0,022*
	2	3	1,983	1,138		
	3	9	2,240	1,373		
Fe R.sim	1	4	6,774	2,931	2,33	0,131
	2	5	4,806	1,788		
	3	9	3,756	2,309		
Fe Canomac.	1	5	10,137	8,190	1,89	0,184
	2	3	5,186	1,493		
	3	11	4,992	3,668		
Li T.usn.	1	3	0,046	0,011	1,66	0,231
	2	3	0,065	0,031		
	3	9	0,048	0,008		
Li R.sim	1	4	0,029	0,003	0,67	0,526
	2	5	0,030	0,005		
	3	8	0,027	0,005		
Li Canomac.	1	5	0,036	0,009	1,04	0,373
	2	4	0,030	0,016		
	3	12	0,038	0,009		
Mg T.usn.	1	3	3,405	1,380	6,38	0,013*
	2	3	1,232	0,350		
	3	9	2,227	0,574		
Mg R.sim	1	4	4,341	1,695	7,32	0,006**
	2	5	1,541	0,621		
	3	9	1,999	1,148		
Mg Canomac.	1	5	6,362	6,800	3,20	0,065
	2	4	1,312	0,556		
	3	12	2,434	1,143		
Mn T.usn.	1	3	0,219	0,029	0,56	0,586
	2	3	0,171	0,042		
	3	9	0,197	0,063		
Mn R.sim	1	4	0,209	0,044	2,84	0,090
	2	5	0,281	0,111		
	3	9	0,157	0,098		
Mn Canomac.	1	5	0,229	0,074	0,15	0,865
	2	4	0,193	0,154		
	3	12	0,193	0,136		
Hg T.usn.	1	3	0,001	0,001	0,10	0,905
	2	2	0,001	0,000		
	3	9	0,001	0,000		
Hg R.sim	1	4	0,000	0,000	3,27	0,068
	2	5	0,002	0,001		
	3	8	0,001	0,000		
Hg Canomac.	1	5	0,003	0,004	0,11	0,895
	2	4	0,002	0,001		
	3	10	0,003	0,003		

K T.usn.	1	3	7,549	3,005	0,28	0,762
	2	2	8,801	6,607		
	3	9	6,808	3,030		
K R.sim	1	4	2,698	0,499	0,15	0,860
	2	5	2,909	0,652		
	3	9	2,907	0,732		
K Canomac.	1	5	2,839	0,537	5,98	0,010*
	2	4	2,289	1,301		
	3	12	3,885	0,836		
Na T.usn.	1	3	10,685	1,996	0,66	0,533
	2	3	8,894	5,871		
	3	9	7,515	4,107		
Na R.sim	1	4	3,461	0,333	0,01	0,992
	2	5	3,522	0,470		
	3	9	3,492	0,913		
Na Canomac.	1	5	3,977	0,578	0,42	0,664
	2	3	3,433	0,344		
	3	12	8,386	13,737		
Zn T.usn.	1	3	0,270	0,160	10,52	0,002**
	2	3	0,101	0,066		
	3	9	0,044	0,026		
Zn R.sim	1	4	0,131	0,034	12,59	0,001**
	2	5	0,101	0,036		
	3	9	0,051	0,020		
Zn Canomac.	1	5	0,181	0,087	13,75	0,000**
	2	3	0,097	0,010		
	3	12	0,056	0,019		

*** Mercúrio em µg/g

** Diferença significativa ao nível de 1%

* Diferença significativa ao nível de 5%

Também foram testadas as concentrações de cada elemento, em cada espécie exposta, por linha, comparadas com as concentrações médias encontradas nas mesmas espécies não expostas, originárias de Tainhas (referência), após 6 meses e após 10 meses de exposição, determinando-se valores significativamente superiores e significativamente inferiores aos mesmos por meio do teste *t* de *Student* (tabelas 48, 49, 50 e 51).

Isto possibilita o estudo de bioacumulação de elementos (em vermelho, nas tabelas) ou de possíveis processos de desassimilação dos elementos (em verde, nas tabelas) devidos provavelmente a diferenças das concentrações destes elementos nas atmosferas regionais, fatores climáticos ou limites de tolerância a estes elementos em cada espécie.

Tabela 48- Valores médios de referência encontrados em Tainhas

<i>Elementos / Indivíduos</i>	<i>Média mg/g***</i>
Al T.usn	0,240
Al R.sim	4,585
Al Canom.	7,008
Ca T.usn	1,685
Ca R.sim	3,163
Ca Canom.	0,337
Cu T.usn	0,002
Cu R.sim	0,017
Cu Canom.	0,016
Pb T.usn	0,161
Pb R.sim	0,009
Pb Canom.	0,008
Fe T.usn	0,229
Fe R.sim	3,089
Fe Canom.	4,951
Li T.usn	0,051
Li R.sim	0,025
Li Canom.	0,029
Mg T.usn	0,407
Mg R.sim	1,031
Mg Canom.	1,448
Mn T.usn	0,162
Mn R.sim	0,370
Mn Canom.	0,254
Hg T.usn	0,030
Hg R.sim	0,002
Hg Canom.	0,085
K T.usn	9,637
K R.sim	3,445
K Canom.	3,632
Na T.usn	12,637
Na R.sim	3,663
Na Canom.	3,710
Zn T.usn	0,022
Zn R.sim	0,054
Zn Canom.	0,049

*** Mercúrio em µg/g

Tabela 49 - Teste t de Student para comparação entre os valores observados na linha 1 (6 e 10 meses)

Elementos / Espécie	Linha 1 - T6					Linha 1 - T10				
	n	Média mg/g*	DP	t	Valor de p	n	Média mg/g*	DP	t	Valor de p
Al T.usn	5	1,221	0,418	5,249	0,006	3	4,300	0,595	11,826	0,007
Al R.sim	7	4,590	1,166	0,012	0,991	4	5,511	1,805	1,026	0,381
Al Canom.	4	3,172	1,754	-4,375	0,022	5	6,618	2,841	-0,307	0,774
Ca T.usn	5	4,196	1,505	3,731	0,020	3	7,079	1,600	5,838	0,028
Ca R.sim	7	3,268	2,054	0,135	0,897	4	3,687	1,644	0,637	0,569
Ca Canom.	4	2,040	0,816	4,174	0,025	5	4,945	2,698	3,819	0,019
Cu T.usn	4	0,054	0,051	2,001	0,139	3	0,040	0,002	43,466	0,001
Cu R.sim	7	0,094	0,076	2,678	0,037	4	0,061	0,016	5,365	0,013
Cu Canom.	4	0,076	0,037	3,260	0,047	5	0,085	0,022	6,992	0,002
Pb T.usn	4	0,148	0,054	-0,494	0,655	3	0,078	0,085	-1,694	0,232
Pb R.sim	7	0,426	0,174	6,360	0,001	4	0,347	0,257	2,627	0,079
Pb Canom.	4	0,659	0,369	3,528	0,039	5	0,460	0,243	4,165	0,014
Fe T.usn	5	1,058	0,578	3,206	0,033	3	4,874	1,014	7,933	0,016
Fe R.sim	7	3,957	0,953	2,411	0,053	4	6,774	2,931	2,514	0,087
Fe Canom.	4	2,790	1,200	-3,604	0,037	5	10,137	8,190	1,416	0,230
Li T.usn	4	0,040	0,011	-2,073	0,130	3	0,046	0,011	-0,828	0,495
Li R.sim	7	0,027	0,009	0,696	0,513	4	0,029	0,003	2,959	0,060
Li Canom.	4	0,019	0,007	-3,014	0,057	5	0,036	0,009	1,712	0,162
Mg T.usn	4	2,020	1,878	1,717	0,184	3	3,405	1,380	3,763	0,064
Mg R.sim	7	2,634	1,507	2,815	0,031	4	4,341	1,695	3,907	0,030
Mg Canom.	4	1,639	1,560	0,245	0,822	5	6,362	6,800	1,616	0,181
Mn T.usn	4	0,203	0,054	1,492	0,232	3	0,219	0,029	3,352	0,079
Mn R.sim	7	0,304	0,154	-1,133	0,300	4	0,209	0,044	-7,376	0,005
Mn Canom.	4	0,163	0,096	-1,898	0,154	5	0,229	0,074	-0,770	0,484
Hg T.usn	5	0,006	0,008	-6,476	0,003	3	0,001	0,001	-82,963	0,000
Hg R.sim	7	0,001	0,001	-73,313	0,000	4	0,000	0,000	-412,042	0,000
Hg Canom.	4	0,001	0,001	-190,588	0,000	5	0,003	0,004	-49,000	0,000
K T.usn	4	7,732	2,158	-1,766	0,176	3	7,549	3,005	-1,203	0,352
K R.sim	7	3,011	1,249	-0,919	0,393	4	2,698	0,499	-2,993	0,058
K Canom.	4	10,903	12,758	1,140	0,337	5	2,839	0,537	-3,305	0,030
Na T.usn	5	10,897	2,774	-1,402	0,234	3	10,685	1,996	-1,694	0,232
Na R.sim	7	3,970	0,648	1,254	0,257	4	3,461	0,333	-1,213	0,312
Na Canom.	4	3,523	1,007	-0,371	0,735	5	3,977	0,578	1,032	0,360
Zn T.usn	4	0,124	0,069	2,932	0,061	3	0,270	0,160	2,682	0,115
Zn R.sim	7	0,092	0,059	1,704	0,139	4	0,131	0,034	4,506	0,020
Zn Canom.	4	0,089	0,098	0,812	0,476	5	0,181	0,087	3,402	0,027

* Mercúrio em µg/g

Valor significativamente inferior ao ponto de Tainhas

Valor significativamente superior ao ponto de Tainhas

Tabela 50- Teste t de Student para comparação entre os valores observados na linha 2 (6 e 10 meses)

Elementos / Espécie	Linha 2 - T6					Linha 2 - T10				
	n	Média	DP	t	Valor de p	n	Média	DP	t	Valor de p
Al T.usn	3	1,143	0,187	8,345	0,014	3	3,083	2,382	2,067	0,175
Al R.sim	8	5,229	2,363	0,771	0,466	5	5,697	2,029	1,225	0,288
Al Canom.	5	5,374	1,142	-3,201	0,033	4	4,333	2,595	-2,061	0,131
Ca T.usn	3	3,968	0,042	94,444	0,000	2	4,168	1,097	3,200	0,193
Ca R.sim	8	3,508	1,501	0,650	0,537	5	3,157	0,861	-0,016	0,988
Ca Canom.	4	1,863	0,137	22,206	0,000	3	3,072	0,926	5,112	0,036
Cu T.usn	3	0,019	0,001	50,000	0,000	3	0,051	0,033	2,617	0,120
Cu R.sim	7	0,151	0,127	2,784	0,032	5	0,075	0,038	3,377	0,028
Cu Canom.	5	0,123	0,158	1,513	0,205	4	0,043	0,013	3,954	0,029
Pb T.usn	3	0,140	0,180	-0,199	0,861	2	0,066	0,024	-5,588	0,113
Pb R.sim	7	0,337	0,189	4,591	0,004	3	0,297	0,216	2,314	0,147
Pb Canom.	6	0,275	0,127	5,139	0,004	5	0,147	0,092	3,374	0,028
Fe T.usn	3	6,506	4,985	2,181	0,161	3	1,983	1,138	2,669	0,116
Fe R.sim	7	3,968	0,940	2,473	0,048	5	4,806	1,788	2,148	0,098
Fe Canom.	5	4,132	0,966	-1,896	0,131	3	5,186	1,493	0,272	0,811
Li T.usn	3	0,040	0,007	-2,663	0,117	3	0,065	0,031	0,760	0,526
Li R.sim	8	0,030	0,008	1,722	0,129	5	0,030	0,005	2,178	0,095
Li Canom.	5	0,025	0,005	-1,845	0,139	4	0,030	0,016	0,094	0,931
Mg T.usn	3	1,230	0,236	6,037	0,026	3	1,232	0,350	4,084	0,055
Mg R.sim	8	1,689	0,734	2,534	0,039	5	1,541	0,621	1,836	0,140
Mg Canom.	5	1,075	0,247	-3,380	0,028	4	1,312	0,556	-0,488	0,659
Mn T.usn	3	0,185	0,030	1,304	0,322	3	0,171	0,042	0,354	0,757
Mn R.sim	8	0,314	0,182	-0,870	0,413	5	0,281	0,111	-1,792	0,148
Mn Canom.	5	0,250	0,045	-0,180	0,866	4	0,193	0,154	-0,794	0,485
Hg T.usn	2	0,000	0,000	-591,000	0,001	2	0,001	0,000	-587,000	0,001
Hg R.sim	7	0,005	0,006	-6,148	0,001	5	0,002	0,001	-34,119	0,000
Hg Canom.	5	0,002	0,002	-103,313	0,000	4	0,002	0,001	-121,459	0,000
K T.usn	3	6,030	2,268	-2,754	0,110	2	8,801	6,607	-0,179	0,887
K R.sim	7	2,751	0,608	-3,021	0,023	5	2,909	0,652	-1,838	0,140
K Canom.	5	2,212	0,807	-3,933	0,017	4	2,289	1,301	-2,065	0,131
Na T.usn	3	8,672	4,375	-1,570	0,257	3	8,894	5,871	-1,104	0,385
Na R.sim	8	3,122	0,748	-2,044	0,080	5	3,522	0,470	-0,671	0,539
Na Canom.	5	2,939	0,682	-2,528	0,065	3	3,433	0,344	-1,394	0,298
Zn T.usn	3	0,051	0,009	5,480	0,032	3	0,101	0,066	2,051	0,177
Zn R.sim	8	0,164	0,182	1,706	0,132	5	0,101	0,036	2,880	0,045
Zn Canom.	5	0,106	0,041	3,057	0,038	3	0,097	0,010	8,083	0,015

* Mercúrio em µg/g

Valor significativamente inferior ao ponto de Tainhas

Valor significativamente superior ao ponto de Tainhas

Tabela 51 - Teste t de Student para comparação entre os valores observados na linha 3 (6 e 10 meses)

Elementos / espécie	Linha 3 - T6					Linha 3 - T10				
	n	Média mg/g*	DP	t	Valor de p	n	Média mg/g*	DP	t	Valor de p
Al T.usn	12	1,602	0,604	7,806	0,000	9	2,043	0,689	7,857	0,000
Al R.sim	7	4,183	1,872	-0,567	0,591	9	4,071	1,843	-0,837	0,427
Al Canom.	6	3,810	1,794	-4,366	0,007	12	3,956	1,826	-5,792	0,000
Ca T.usn	12	3,581	1,433	4,582	0,001	9	3,210	0,905	5,055	0,001
Ca R.sim	7	3,742	2,295	0,667	0,529	9	2,900	1,398	-0,565	0,588
Ca Canom.	6	3,421	2,403	3,143	0,026	12	4,832	3,087	5,044	0,000
Cu T.usn	12	0,045	0,023	6,506	0,000	9	0,045	0,025	5,270	0,001
Cu R.sim	7	0,068	0,023	5,908	0,001	9	0,045	0,012	6,780	0,000
Cu Canom.	6	0,086	0,036	4,700	0,005	12	0,074	0,037	5,406	0,000
Pb T.usn	12	0,016	0,019	-26,908	0,000	9	0,207	0,494	0,282	0,785
Pb R.sim	7	0,030	0,048	1,161	0,290	8	0,062	0,095	1,583	0,157
Pb Canom.	6	0,054	0,033	3,430	0,019	12	0,091	0,173	1,663	0,124
Fe T.usn	12	1,805	1,310	4,167	0,002	9	2,240	1,373	4,396	0,002
Fe R.sim	6	5,339	2,261	2,437	0,059	9	3,756	2,309	0,867	0,411
Fe Canom.	6	5,741	3,697	0,524	0,623	11	4,992	3,668	0,037	0,971
Li T.usn	12	0,053	0,008	0,887	0,394	9	0,048	0,008	-1,251	0,246
Li R.sim	6	0,027	0,006	0,710	0,509	8	0,027	0,005	1,214	0,264
Li Canom.	7	0,032	0,006	1,109	0,310	12	0,038	0,009	3,659	0,004
Mg T.usn	12	1,843	0,541	9,196	0,000	9	2,227	0,574	9,516	0,000
Mg R.sim	7	1,849	1,176	1,839	0,116	9	1,999	1,148	2,529	0,035
Mg Canom.	6	1,774	0,954	0,838	0,440	12	2,434	1,143	2,989	0,012
Mn T.usn	12	0,218	0,082	2,333	0,040	9	0,197	0,063	1,640	0,140
Mn R.sim	7	0,175	0,097	-5,328	0,002	9	0,157	0,098	-6,528	0,000
Mn Canom.	6	0,129	0,033	-9,251	0,000	12	0,193	0,136	-1,548	0,150
Hg T.usn	12	0,000	0,000	-219,548	0,000	9	0,001	0,000	-224,776	0,000
Hg R.sim	7	0,001	0,000	-136,384	0,000	8	0,001	0,000	-128,447	0,000
Hg Canom.	6	0,001	0,001	-213,441	0,000	10	0,003	0,003	-91,187	0,000
K T.usn	12	8,838	1,876	-1,475	0,168	9	6,808	3,030	-2,801	0,023
K R.sim	7	2,900	0,517	-2,788	0,032	9	2,907	0,732	-2,204	0,059
K Canom.	6	3,029	0,762	-1,937	0,111	12	3,885	0,836	1,049	0,317
Na T.usn	12	10,979	2,858	-2,009	0,070	9	7,515	4,107	-3,742	0,006
Na R.sim	7	8,748	14,838	0,907	0,399	9	3,492	0,913	-0,561	0,590
Na Canom.	6	4,086	1,007	0,914	0,403	12	8,386	13,737	1,179	0,263
Zn T.usn	12	0,043	0,012	5,992	0,000	9	0,044	0,026	2,519	0,036
Zn R.sim	7	0,072	0,029	1,696	0,141	9	0,051	0,020	-0,457	0,660
Zn Canom.	5	0,066	0,015	2,429	0,072	12	0,056	0,019	1,253	0,236

* Mercúrio em µg/g

Valor significativamente inferior ao ponto de Tainhas

Valor significativamente superior ao ponto de Tainhas

Para possibilitar a visualização de áreas da bacia que apresentaram as menores concentrações dos elementos analisados em cada região integrante da bacia do arroio Sapucaia avaliada, foram comparadas as **concentrações mínimas** de cada elemento, determinadas em cada ponto de coleta de particulados atmosféricos, bem como as concentrações mínimas de cada elemento, relacionadas com o ponto de exposição em cada linha de trabalho, por espécie estudada. Os resultados podem ser observados no quadro 1.

Neste mesmo quadro se pode observar a evolução da relação de cada espécie em estudo com cada elemento químico analisado em seus tecidos, comparando os valores obtidos após a primeira e a pós a segunda coleta.

As diferentes regiões da bacia foram representadas por cores diferenciadas, para facilitar a observação:

	Área rural: P3, para coleta de particulados e L 3, para exposição de organismos
	Área urbana: P2, para coleta de particulados e L 2, para exposição de organismos
	Área industrial: P1, para coleta de particulados e L 1, para exposição de organismos

Para evidenciar resultados, os obtidos na segunda coleta foram apresentados em vermelho.

Quadro 1 -Concentrações dos elementos: Menores mínimas							
Elementos	Atmosfera	<i>T.usneoides</i>		<i>R.simulans</i>		<i>Canomaculina sp.</i>	
		1a.coleta	2a.coleta	1a.coleta	2a.coleta	1a.coleta	2a.coleta
Alumínio	P3	1.7	3.3	3.7	2.7	1.5	2.7
Cálcio	P3	3.5	3.5	2.3	1.4	1.5	3.6
Chumbo	P3	3.10/11	3.10/12	3.10	3.10	3.9	3.9/11
Cobre	P3	1.1	2.6	2.3	3.1	3.9	3.9
Ferro	P3	1.3	3.5	3.12	3.12	1.5	3.4
Lítio	P3	1.6	2.3	1.5	3.9	1.5	1.2
Magnésio	P2	1.7	3.1	3.7	2.7	1.5	2.5
Manganês	P3	3.11	2.7	3.6	3.3	1.5	3.6
Mercúrio	P3	3.9/12	3.2	1.6	1.1	3.14	1.2
Potássio	P1	2.3	3.7	1.7	3.4	2.4	2.7
Sódio	P1	2.3	3.2	2.11	3.10	2.4	2.8
Zinco	P3	3.1	3.1	3.5	3.5	1.5	3.1

Para evidenciar as áreas da bacia hidrográfica que apresentaram as **maiores concentrações médias** de cada elemento, tanto na atmosfera como nas espécies estudadas, bem como a diferença de resultados entre a primeira e a segunda coleta para cada elemento, estes resultados são apresentados no quadro 2.

Quadro 2 - Concentrações dos elementos: Maiores médias							
Elementos	Atmosfera	<i>T.usneoides</i>		<i>R.simulans</i>		<i>Canomaculina sp.</i>	
		1a.coleta	2a.coleta	1a.coleta	2a.coleta	1a.coleta	2a.coleta
Alumínio	P1	L3	L1	L2	L2	L2	L1
Cálcio	P1	L1	L1	L3	L1	L3	L1
Chumbo	P1	L1	L3	L2	L1	L1	L1
Cobre	P1	L1	L2	L2	L2	L2	L1
Ferro	P1	L2	L1	L3	L1	L3	L1
Lítio	P1	L1	L2	L1/L2	L1/L2	L3	L3
Magnésio	P1	L1	L1	L1	L1	L3	L1
Manganês	P1	L3	L1	L2	L2	L2	L2
Mercúrio	P1	L1	L1	L2	L2	L2	L1
Potássio	P1	L3	L2	L1	L2	L1	L3
Sódio	P2	L3	L1	L3	L2	L3	L3
Zinco	P1	L1	L1	L2	L1	L2	L1

O mesmo trabalho foi realizado **concentrações máximas** de cada elemento, para possibilitar a avaliação de concentrações pico e possibilitar um estudo de relações com fatores climáticos, atividades antrópicas localizadas ou variações nos indivíduos de cada espécie em estudo. Estas concentrações podem ser observadas no quadro abaixo.

Quadro 3 - Concentrações dos elementos: Maiores máximas							
Elementos	Atmosfera	<i>T.usneoides</i>		<i>R.simulans</i>		<i>Canomaculina sp.</i>	
		1a.coleta	2a.coleta	1a.coleta	2a.coleta	1a.coleta	2a.coleta
Alumínio	P3	3.3	2.7	2.11	2.7	2.4	1.7
Cálcio	P1	3.10	1.7	3.7	3.12	3.14	3.12
Chumbo	P2	2.3	3.9	2.4	1.2	1.4	1.2
Cobre	P3	1.5	3.11	2.4	2.7	2.10	3.2
Ferro	P1	2.3	1.1	3.12	1.4	3.14	1.7
Lítio	P2	1.7	2.1	1.3	2.9	3.2	3.2
Magnésio	P2	1.6	1.1	1.1	1.6	1.6	1.7
Manganês	P1	3.10	3.9	2.6	2.9	2.10	2.9
Mercúrio	P3	1.1	3.5	2.8	2.8	2.5	3.6
Potássio	P1	3.12	2.6	1.1	3.4	1.6	3.6
Sódio	P2	3.6	2.6	3.3	3.12	3.12	3.2
Zinco	P3	1.1	1.1	2.2	1.1	1.4	1.1

Para facilitar a observação de áreas de menor ou maior impacto, bem como uma possível sinergia ou interferência entre os elementos constituintes das poeiras atmosféricas, os três quadros acima foram sumarizados no quadro 4, onde os macro elementos, necessários em grandes quantidades como nutrientes, foram destacados em verde. Os pontos que apresentaram semelhança de picos mínimos máximos e médios com as concentrações atmosféricas, em cada espécie foram destacados com cor vermelha para ar e com cor alaranjada para espécie.

Quadro 4 - Relações entre picos mínimos, médios e máximos dos elementos na atmosfera e nos indivíduos das espécies estudadas.

Picos mín.	Al	Ca	Pb	Cu	Fe	Li	Mg	Mn	Hg	K	Na	Zn
ar	3	3	3	3	3	3	2	3	3	1	1	3
<i>t.usn.</i>	3,3	3,5	3,1	2,6	3,5	2,3	3,1	2,7	3,2	3,7	3,2	3,1
<i>r.sim.</i>	2,7	1,4	3,1	3,1	3,12	3,9	2,7	3,3	1,1	3,4	3,1	3,5
<i>canom.</i>	2,7	3,6	3,9	3,9	3,4	1,2	2,5	3,6	1,2	2,7	2,8	3,1

méd. máx	Al	Ca	Pb	Cu	Fe	Li	Mg	Mn	Hg	K	Na	Zn
ar	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
<i>t.usn.</i>	1	1	3	2	1	2	1	1	1	2	1	1
<i>r.sim.</i>	2	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2	1
<i>canom.</i>	1	1	1	1	1	3	1	1	1	2	3	1

Picos max	Al	Ca	Pb	Cu	Fe	Li	Mg	Mn	Hg	K	Na	Zn
ar	3	1	2	3	1	2	2	1	3	1	2	3
<i>t.usn.</i>	2,7	1,7	3,9	3,11	1,1	2,1	1,1	3,9	3,5	2,6	2,6	1,1
<i>r.sim.</i>	2,7	3,12	1,2	2,7	1,4	2,9	1,6	2,9	2,8	3,4	3,12	1,1
<i>canom.</i>	1,7	3,12	1,2	3,2	1,7	3,2	1,7	2,9	3,6	3,6	3,2	1,1

Macroelemento

pico atmosférico

pico em organismo

5.7. GEOPROCESSAMENTO

O mapa base da área total de trabalho na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia obtido com o software Adobe Illustrator 10, tendo como base imagens de satélite do Projeto EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária "CD Brasil Visto do Espaço", a carta topográfica, Folha SH.22-V-D-VI-4, MI-2970/4 - São Leopoldo, do Ministério do Exército, mapa da Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Sapucaia, elaborado pelo Programa Integrado de Recuperação de áreas Degradadas - METROPLAN e dados de campo obtidos com GPS, pode ser observado na figura 137, que apresenta as linhas 1, 2 e 3, onde foram expostos os indivíduos das três espécies estudadas.

Para representar os gradientes de concentração dos elementos analisados nos particulados atmosféricos, em relação a sua dispersão na atmosfera, foram comparadas suas concentrações médias em mg/kg de partículas totais em suspensão atmosférica e em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, em cada região da bacia hidrográfica.

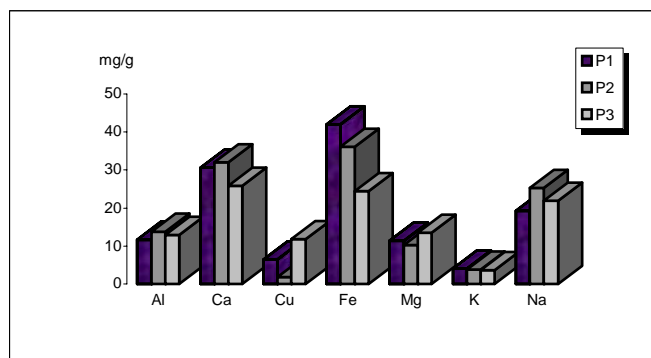


Figura 137 - Concentrações médias de Al, Ca, Cu, Fe, Mg, K e Na na massa de particulados nas três regiões da bacia do Sapucaia.

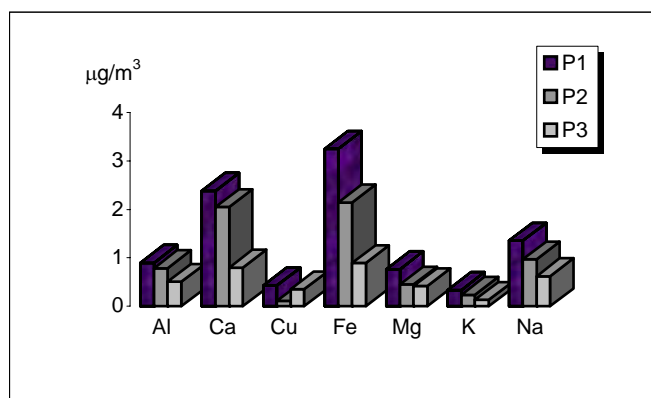


Figura 138 - Concentrações médias de Al, Ca, Cu, Fe, Mg, K e Na por m^3 de ar nas três regiões da bacia do Sapucaia.

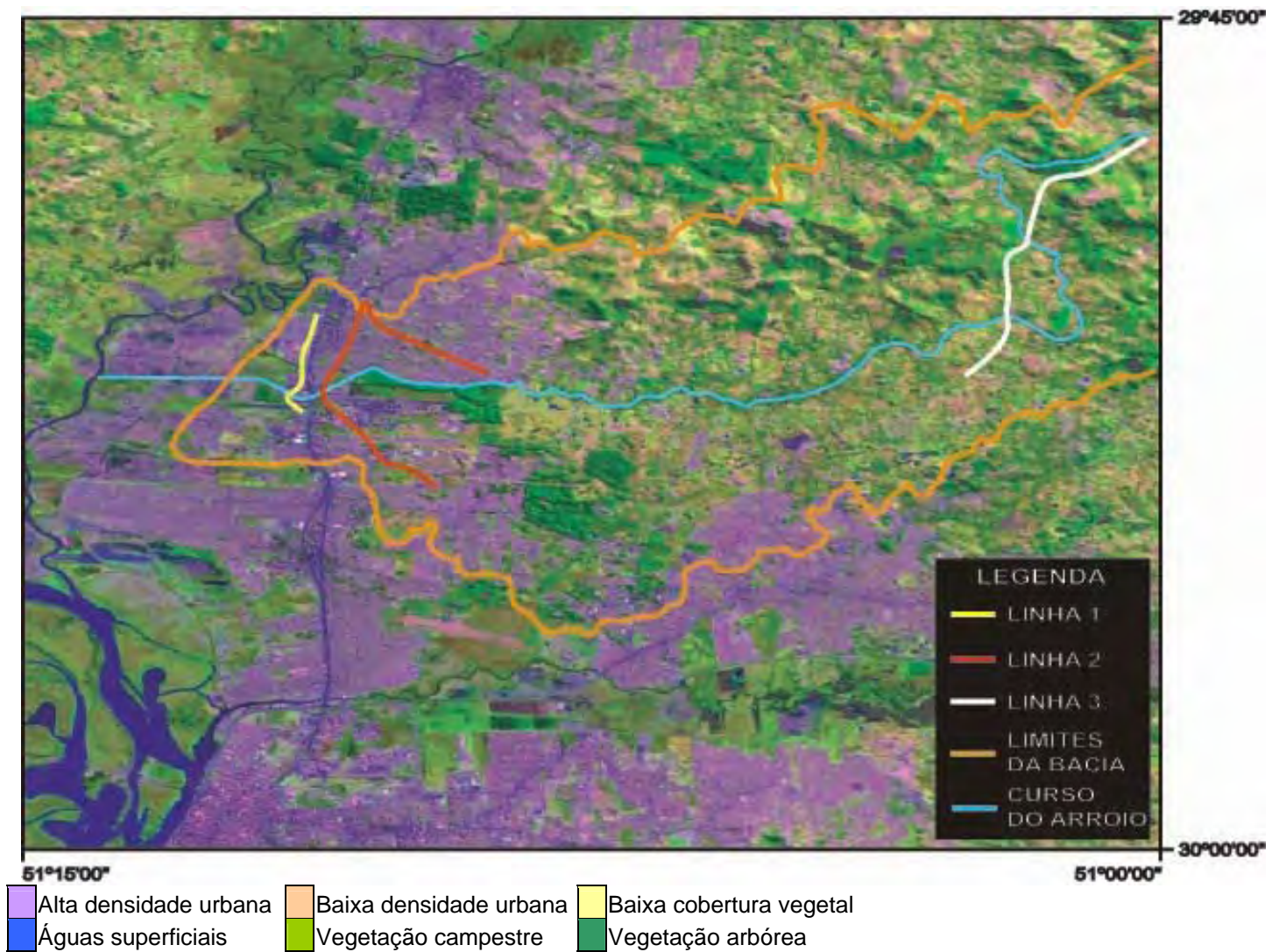


Fig. 139 - Mapa da área de trabalho na sub-bacia hidrográfica do arroio Sapucaia.

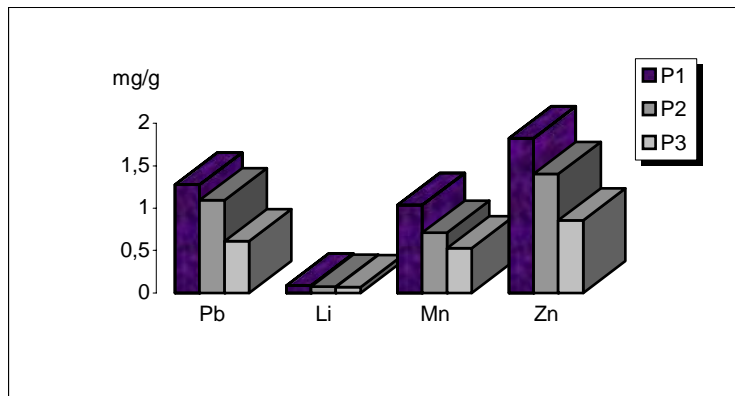


Figura 140 - Médias de concentrações de Pb, Li, Mn e Zn na massa de poeira nas três regiões da bacia do Sapucaia.

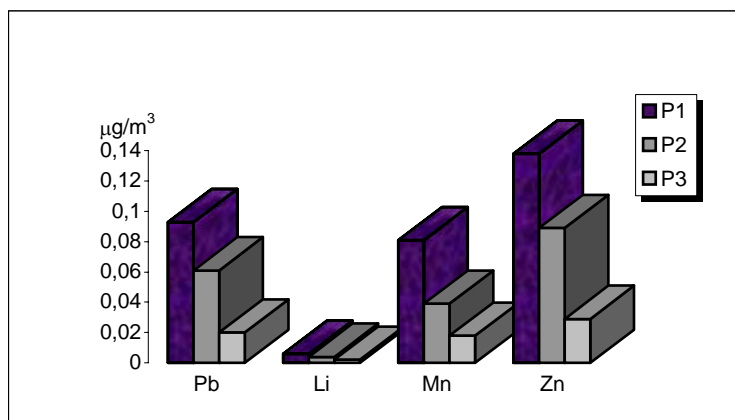


Figura 141 - Médias de concentrações de Pb, Li, Mn e Zn por m³ de ar nas três regiões da bacia do Sapucaia.

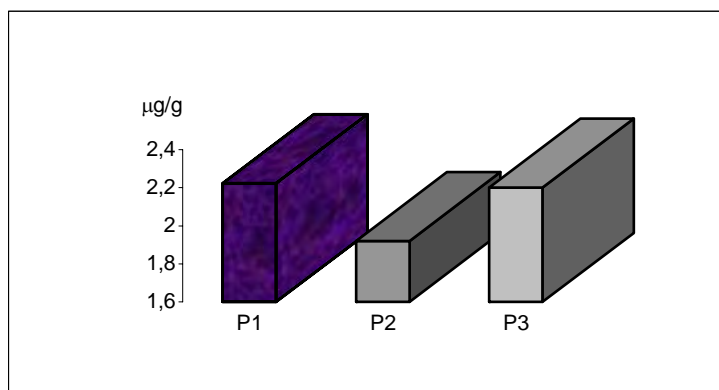


Figura 142 - Médias de concentrações de Hg na massa de poeira nas três regiões da bacia do Sapucaia.

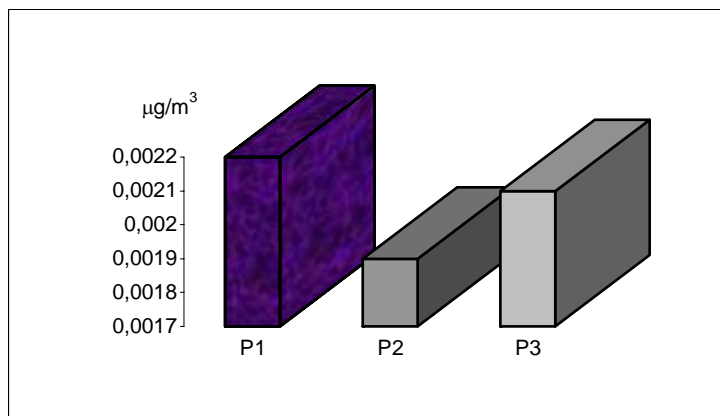
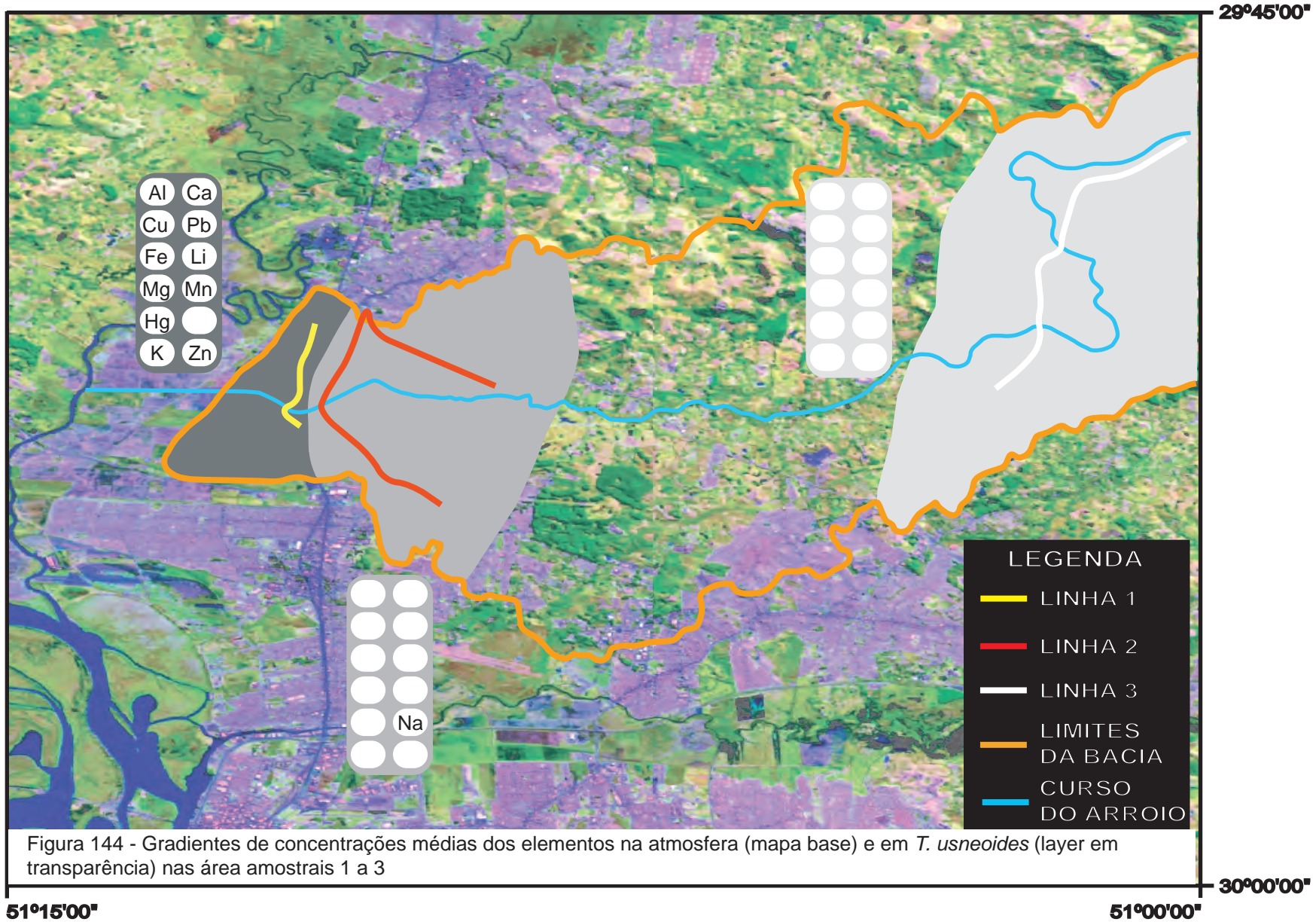
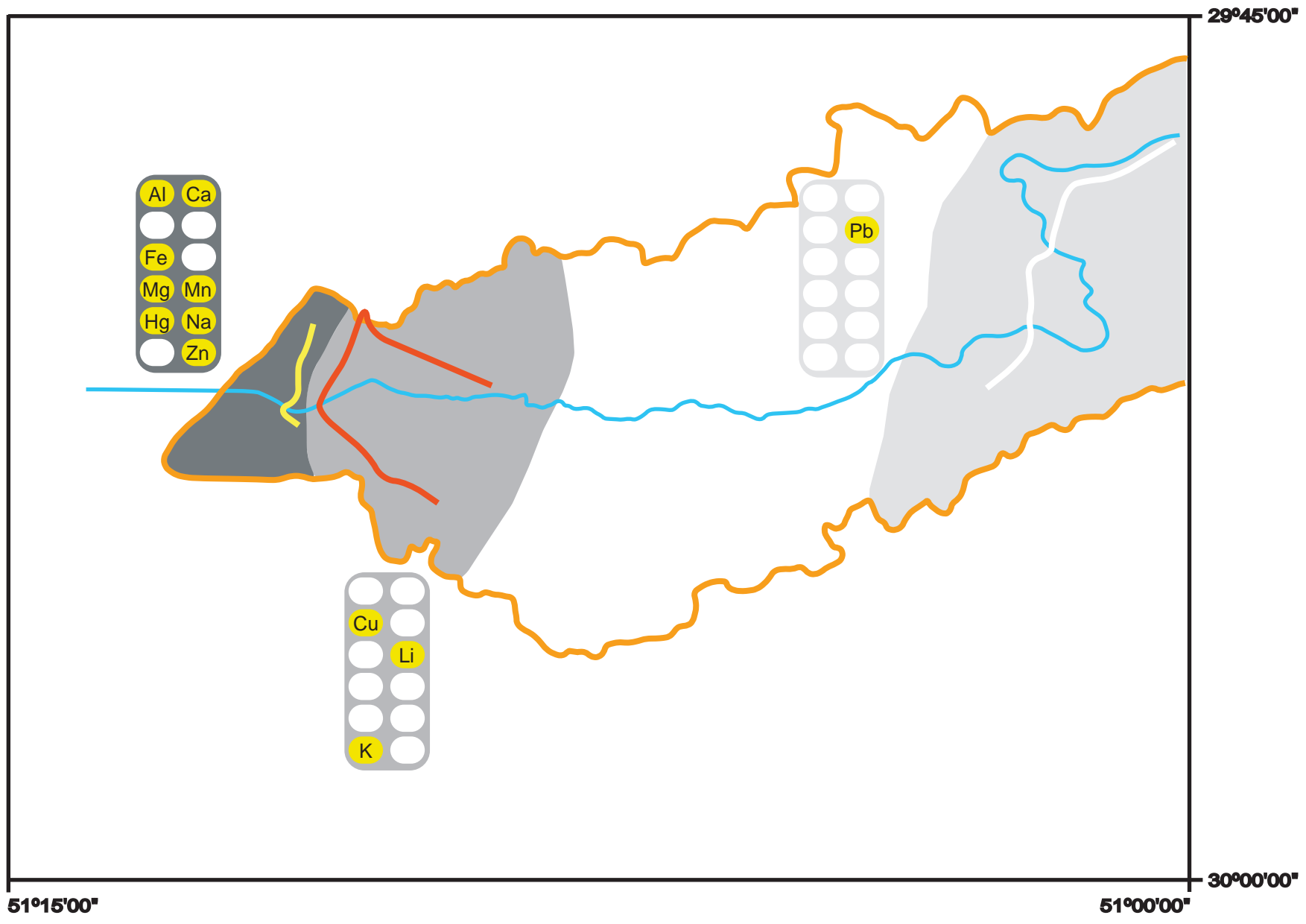


Figura 143 - Médias de concentrações de Hg por m³ de ar nas três regiões da bacia do Sapucaia.

Comparando-se estas concentrações com as concentrações médias dos elementos nos tecidos das três espécies expostas, pode-se observar as concordâncias e diferenças das maiores médias concentradas pelos indivíduos em cada linha de exposição (ver tabelas ímpares, de 23 a 45) e as maiores médias dos elementos nas partículas coletadas em cada região estudada na bacia hidrográfica.

Utilizando-se as maiores concentrações médias de cada elemento nas partículas totais em suspensão atmosférica, delimitaram-se, sobre o mapa da área de trabalho, fig, 139, áreas com gradientes de concentrações atmosféricas, baseados na ocorrência de maiores concentrações atmosféricas médias de elementos, em cada uma das três regiões estudadas na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia, gerando figura que serviu de base para comparar estas concentrações com as maiores concentrações médias dos elementos determinadas em cada uma das três espécies. Estas comparações foram efetuadas produzindo, para cada espécie individualmente, um layer em transparência, sobreposto ao mapa com os gradientes de concentrações atmosféricas. O produto final pode ser observado na figura 144, para a *T.usneoides*, na figura 145, para a *R.simulans* e na figura 146, para a *Canomaculina sp.*.





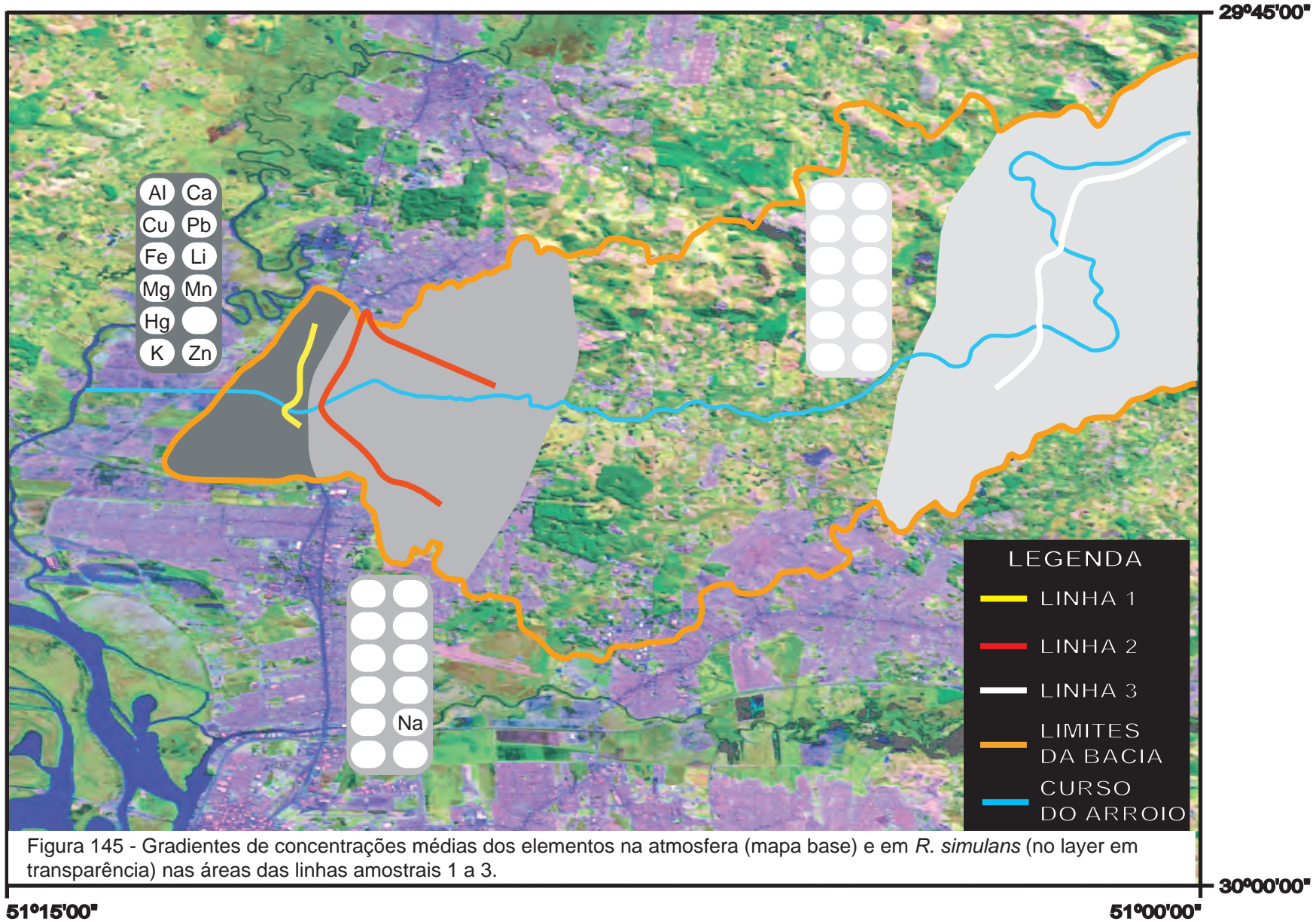
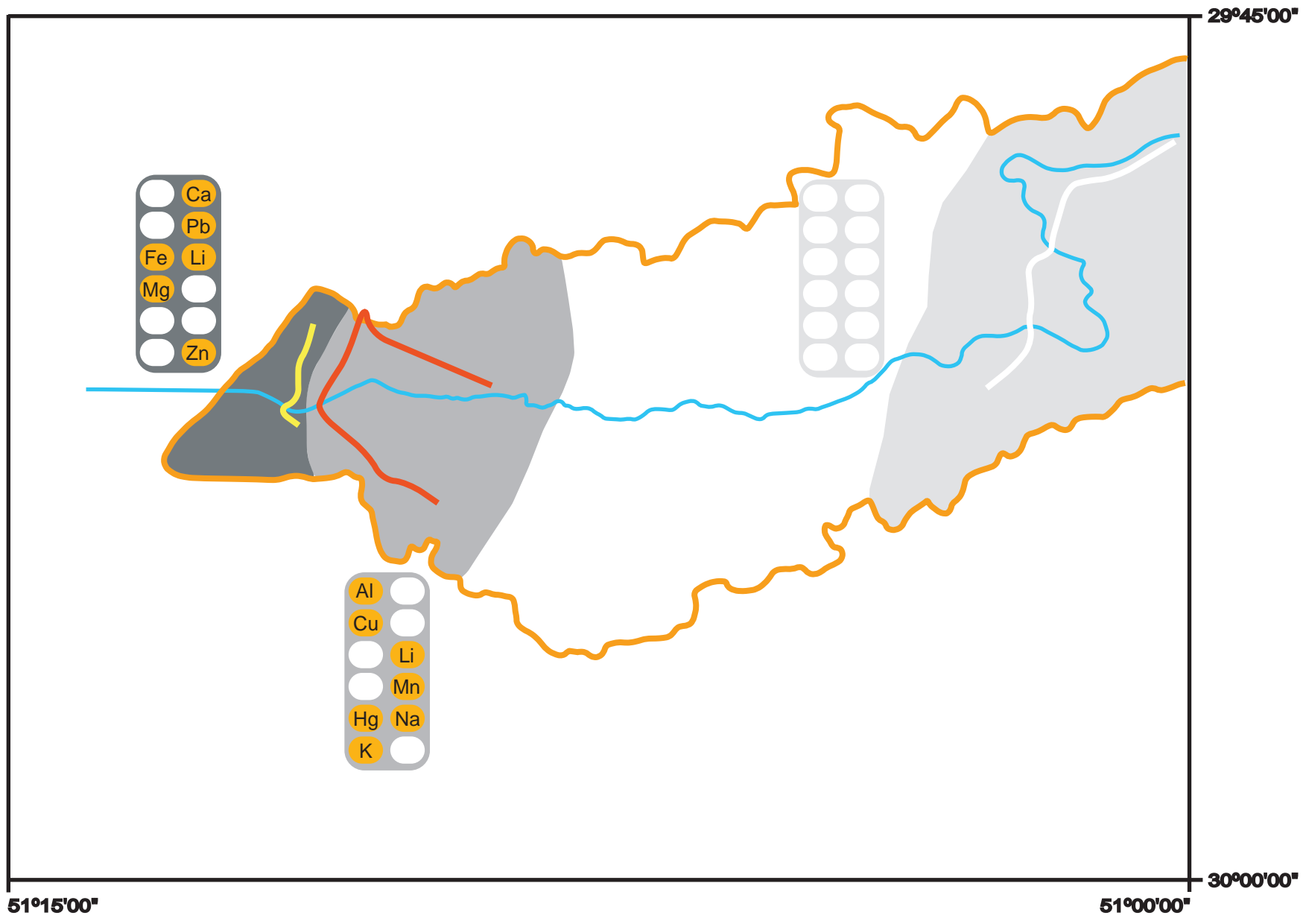


Figura 145 - Gradientes de concentrações médias dos elementos na atmosfera (mapa base) e em *R. simulans* (no layer em transparência) nas áreas das linhas amostrais 1 a 3.



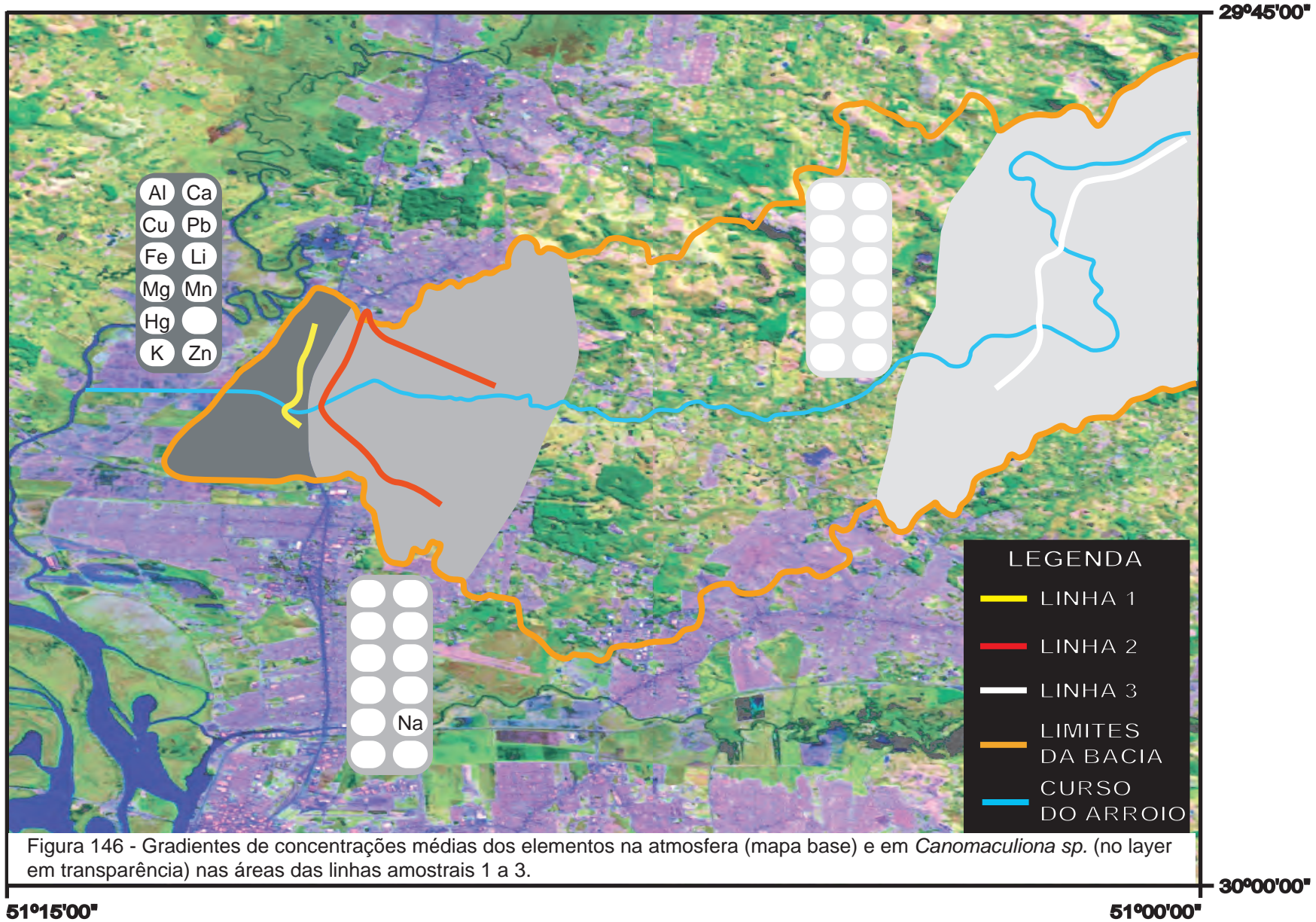
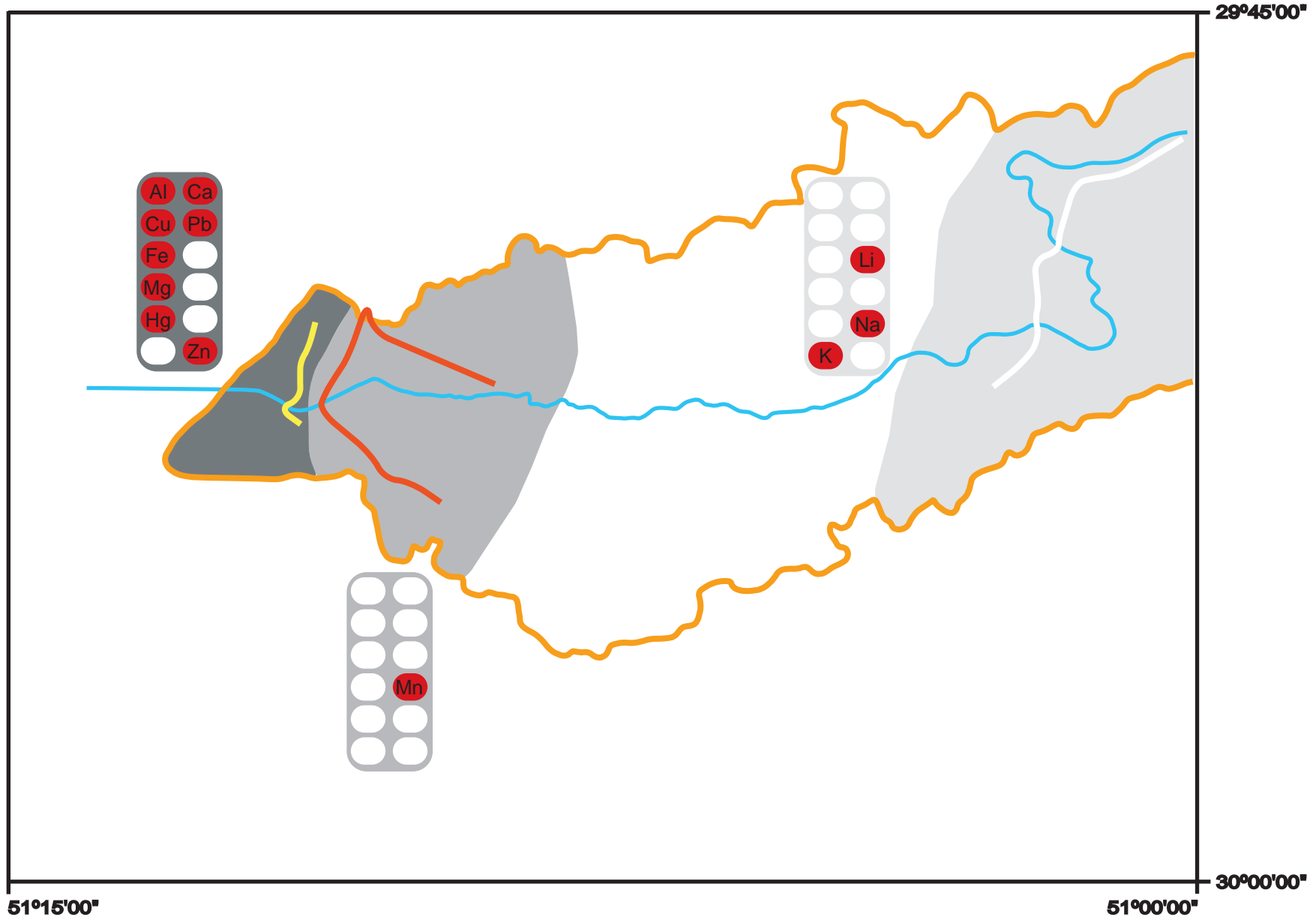


Figura 146 - Gradientes de concentrações médias dos elementos na atmosfera (mapa base) e em *Canomaculiona* sp. (no layer em transparência) nas áreas das linhas amostrais 1 a 3.



6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1. EM RELAÇÃO ÀS PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO ATMOSFÉRICA

Conforme o apresentado na fundamentação teórica, no item 2.2, a principal fonte de poluição atmosférica é a atividade antrópica que, através implantação de fontes fixas (indústrias, plantas térmicas e outras) e fontes móveis (veículos movidos a combustíveis fósseis, principalmente), lança uma grande quantidade de poluentes à atmosfera, notadamente em áreas de aglomeração urbana.

A rugosidade do terreno, as condições meteorológicas e a estabilidade do contaminante na atmosfera afetam sua dispersão, fazendo com que alguns se precipitem próximos da fonte emissora, enquanto outros, levados por correntes atmosféricas, podem ser precipitados em locais distantes de suas origens.

Observando as figuras 7 a 16, observa-se uma nítida predominância de ventos do quadrante sudeste, que podem trazer partículas em suspensão de áreas de grande concentração urbana e industrial, para regiões de atividades menos impactantes. Estes contaminantes encontram na região rural da bacia do arroio Sapucaia, barreiras que dificultam sua dispersão. Estas barreiras são formadas principalmente pelos patamares da Serra Geral e pela Formação Botucatu, pontos de maior altitude na área da bacia hidrográfica (figuras 3 e 22), e estão localizadas ao norte e a nordeste da área.

Na tabela 8 e figura 23 observamos as variações das concentrações das partículas totais em suspensão atmosférica (PTS) no período de coleta de amostras. Mesmo com a grande oscilação de valores a cada coleta, podemos observar uma nítida diferença entre as concentrações médias coletadas no ponto 1, área industrial, no ponto 2, área urbana e no ponto 3, área rural.

A concentração média das partículas na área industrial é mais de duas vezes maior que a concentração na área rural ($81,869 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $35,829 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente). As concentrações pico são quase quatro vezes maiores ($240,090 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $66,750 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente), conforme os resultados apresentados na tabela 9 e figura 24.

As concentrações da área industrial superaram levemente, em uma amostragem, o valor máximo do Padrão Primário estabelecido pela Resolução nº

03/90 do CONAMA para amostragens de 24 horas ($240\mu\text{g}/\text{m}^3$). A concentração média nesta área superou igualmente o Padrão Primário para a MGA, média geométrica anual ($80\mu\text{g}/\text{m}^3$) (ver Tabela 3 e 4). Lembramos que Padrões Primários indicam concentrações acima das quais a saúde humana pode ser afetada. Em função da predominância dos ventos sul/sudeste, a área industrial é também influenciada pelas emissões atmosféricas provenientes da área urbana, com maior densidade nas posições sul a sudeste da área da bacia hidrográfica. A área urbana apresentou concentrações que ultrapassaram os valores estabelecidos por esta mesma Resolução como Padrões Secundários ($150\mu\text{g}/\text{m}^3$ para 24 horas e $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ como MGA). Estes padrões são concentrações abaixo das quais se prevê um dano mínimo aos organismos e ao ambiente. Na área rural, as concentrações das PTS se mantiveram bem abaixo dos Padrões Primário e Secundário durante todo o período.

Na análise das partículas coletadas, as maiores concentrações médias de chumbo, ferro, manganês, mercúrio, potássio e zinco por grama de poeira foram determinadas na área industrial. Porém a presença do potássio pode ser relacionada também com a utilização de fertilizantes nas culturas de arroz localizadas a oeste desta área. O alumínio, o cálcio, o lítio e o sódio apresentaram maiores concentrações médias por grama de poeira na área urbana e o cobre e o magnésio apresentaram suas maiores médias na área rural.

A dispersão atmosférica destes elementos constituintes das partículas, com concentrações calculadas em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, apresentou maiores concentrações médias por metro cúbico de ar para todos os elementos na região industrial, com exceção do sódio, que apresentou sua maior média na área urbana.

Pela comparação das concentrações dos elementos analisados em massa de particulados (em mg/g) e em volume de ar (em $\mu\text{g}/\text{m}^3$), observamos uma diferença na constituição na concentração das partículas em suspensão atmosférica em cada região da bacia, como pode ser observado nas tabelas 23, 25, 27, 29, 31, 33, 35, 37, 39, 41, 43 e 45.

Para a maior parte dos elementos, as concentrações médias ficaram dentro dos valores citados pelos diversos autores, conforme relatos do item 2.2.5 (Bowen, 1979, Azevedo e Chassin, 2003 e outros), para atmosferas urbanas e áreas industrializadas porém, diversos destes elementos como, cálcio, chumbo, magnésio,

mercúrio, potássio, sódio e zinco estão presentes, em maior percentagem, nas partículas finas (PM10), podendo ser facilmente assimilados pelos organismos vivos (Ponka, 1998; Cerná et al, 1999 e 2000; Prochnow et al, 2001, Azevedo e Chassin, 2003 e outros). A concentração média do alumínio na área industrial excedeu a faixa citada pelos diversos autores; o mesmo ocorreu também para o cobre, na área industrial e na rural. A alta concentração destes dois elementos na área industrial se explica, em especial, pela presença de indústrias metal-mecânicas, na região. A alta concentração de cobre na área rural pode ser decorrente de manipulação de sulfatos deste elemento, utilizados como fungicidas, inseticidas, conservantes de madeira ou da incineração de resíduo sólido, além da interferência de áreas industrializadas localizadas no município de Gravataí, mais ao sudeste da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia, de onde pode ser trazido por ventos do quadrante sudeste, predominantes na região (ver fig.7 a 16).

6.2. EM RELAÇÃO AOS ORGANISMOS

Nos indivíduos expostos, verificou-se que a assimilação dos elementos analisados não ocorreu de maneira similar em todas as espécies, apresentando diferenças típicas. Em alguns casos, ficou evidenciada uma relação das concentrações assimiladas, para cada elemento, com as concentrações atmosféricas do mesmo, em cada região da atmosfera da bacia hidrográfica.

Pôde-se também observar a interferência de fatores climáticos e orográficos que interferiram na dispersão dos poluentes, principalmente das partículas mais finas, levando emissões de áreas industriais e urbanas até a área rural, onde o relevo forma barreira para os processos de dispersão.

Também ficaram evidenciadas relações entre as concentrações assimiladas e as atividades regionais da área da bacia.

Observando-se os valores médios de cada elemento concentrado pelas espécies expostas, podemos verificar diferenças no processo assimilativo entre as espécies.

Na linha 1, região mais industrializada da bacia, a *T.usneoides* exposta durante 10 meses, apresentou as maiores concentrações médias de alumínio,

cálcio, ferro, magnésio, manganês, mercúrio, sódio e zinco. As concentrações máximas nesta linha para esta espécie, ocorreram no ponto 1.7(norte da linha), para o elemento cálcio, revelando a interferência da indústria cimenteira localizada nas proximidades e, no ponto 1.1(sul da linha), para os elementos ferro, magnésio e zinco, evidenciando a proximidade da atividade metal-mecânica. O chumbo, que apresentou as maiores médias atmosféricas nesta linha, não encontrou no entanto correspondência nos valores concentrados pela *T.usneoides*, que concentrou valores médios mais altos deste elemento na área rural, onde as concentrações atmosféricas foram mais baixas. Esta constatação merece uma especial atenção, pois esta espécie é citada como acumuladora de altas concentrações de chumbo (Margalef, 1998).

Na linha 2, na área mais urbana da bacia ocorreram, em indivíduos de *T.usneoides* expostos, as maiores concentrações médias para os elementos cobre, lítio e potássio. No ponto 2.6 ocorreram concentrações máximas de sódio e potássio e, no ponto 2.7, de alumínio e lítio, determinadas para os indivíduos desta espécie expostos. Estes pontos estão localizados na região central desta linha, em área tipicamente urbana. Considerando que a *T.usneoides* é uma espécie de mecanismo de fotossíntese CAM (Flores, 1980), sua atuação na concentração de elementos pode ter sido afetada pela ocorrência acentuada da iluminação artificial noturna existente em toda esta linha.

Na linha 3, o único elemento que apresentou a maior concentração média na *T.usneoides*, foi o chumbo. No ponto 3.9 ocorreram concentrações máximas de chumbo e de manganês para esta espécie exposta na bacia do arroio Sapucaia e, no ponto 3.11 para o cobre e no 3.5 para o mercúrio. Todos estes pontos estão localizados em pequenas propriedades rurais mas, além das atividades rurais, estes pontos, principalmente o ponto 3.9, estão localizados nas proximidades do aterro sanitário de Santa Tecla. Para a *T.usneoides*, as menores concentrações de elementos assimilados pelos indivíduos expostos ocorreram apenas nas linhas 2 e 3. Na linha 2, as menores concentrações ocorreram para o cobre (ponto 2.6), lítio (ponto 2.3) e manganês (2.7). Na linha 3 ocorreram as menores concentrações de elementos assimiladas: no ponto 3.1, para o magnésio e zinco, no ponto 3.2, para mercúrio e sódio, no ponto 3.3, para o alumínio, no ponto 3.5, para o cálcio e o ferro.

Todos estes localizados em pequenas propriedades rurais. No ponto 3.7, próximo de pequenos estabelecimentos comerciais, ocorreu a menor assimilação de potássio em *T. usneoides*. As menores assimilações de chumbo ocorreram nos pontos 3.10 e 3.12, pequenas propriedades rurais.

Segundo Lima, 2003, devemos levar em consideração outras variáveis que podem ter afetado os processos de bioacumulação dos indivíduos expostos, como a faixa etária dos indivíduos (não determinada), condições climáticas e microclimáticas e luminosidade, além das atividades regionais.

Em relação às *T.usneoides* **nativas** da região da bacia do arroio Sapucaia, encontradas apenas na linha 1, ponto 1.5 e ponto 1.6 (Parque de Exposições de Esteio), as concentrações de alumínio nos indivíduos expostos foram sempre maiores, em todas as linhas, do que as concentrações médias deste elemento nos nativos. Isto pode, conforme Lima, 2003, indicar uma possível adaptação do organismo ao agente contaminante. Todas as concentrações médias deste elemento nos indivíduos expostos foram também superiores às médias dos indivíduos coletados em **Tainhas**.

Para o cálcio, as concentrações médias foram todas maiores nos indivíduos expostos do que nos coletados em Tainhas porém, com exceção da linha 1, após dez meses de exposição, menores que nas nativas. Pode-se inferir que, com maior disponibilidade deste elemento, as concentrações dos indivíduos expostos tendem a igualar estas concentrações às das nativas, por observação do aumento que ocorreu de um modo geral nestas concentrações da primeira para a segunda coleta (ver tabela 25).

O chumbo apresentou concentrações maiores nos indivíduos de Tainhas do que nos nativos da região. Os expostos diminuíram as concentrações deste elemento da primeira para a segunda coleta, com exceção da linha 3. Talvez, esta relação inversa às concentrações atmosféricas deste elemento revele a interferência da ação de predadores nos indivíduos expostos, indicando uma investigação maior na bioacumulação deste elemento pela *T.usneoides*

As concentrações médias de cobre e de ferro nas *T.usneoides* expostas foram maiores do que nos indivíduos de Tainhas e nos nativos da região, indicando processos de bioacumulação.

O lítio apresentou em Tainhas, uma concentração maior do que destes indivíduos expostos nas linhas 1 e 3, mas menor do que a concentração nos indivíduos nativos. Porém, na linha 2, as concentrações foram praticamente iguais aos organismos nativos.

Para o manganês, as concentrações em *T.usneoides* foram maiores que nas nativas, porém variaram bastante nos organismos expostos, indicando a possível interferência de outros fatores.

O mercúrio apresentou uma concentração extremamente elevada em Tainhas, não apenas na *T.usneoides*, mas também nas duas outras espécies estudadas. No caso da *T.usneoides*, estas concentrações são muito maiores do que nos organismos nativos, indicando que as concentrações atmosféricas deste elemento na região selecionada como referência para qualidade do ar devido ao baixo impacto antrópico, devem ser bastante elevadas. Esta provável concentração elevada de mercúrio na atmosfera de Tainhas pode estar relacionada com aerossóis marinhos que sobem com correntes atmosféricas para a região dos Aparados da Serra, em forma de densos nevoeiros. Porém, após 10 meses de exposição, a concentração de mercúrio ficou abaixo da concentração das nativas, indicando processos de eliminação deste elemento do tecido desta bromeliácea.

O potássio e o sódio apresentaram concentrações maiores nas nativas, mas os indivíduos de Tainhas não expostos tiveram concentrações maiores que as dos expostos, revelando a ação de interferentes estressantes à assimilação destes elementos sobre os indivíduos expostos. Estes interferentes podem estar relacionados com fatores climáticos, principalmente diferenças de umidade e pluviosidade, com outros poluentes ou na própria constituição do material particulado. Certas argilas possuem capacidade de fixar o íon potássio (também o amônio), atraindo estes cátions para as superfícies internas no perimeio de suas unidades cristalográficas, fixando-os numa forma não permutável, a partir da qual são liberados de forma muito lenta para as plantas e para os microorganismos, sendo que estes últimos concorrem com as plantas na assimilação deste elemento. O sódio, geralmente se apresenta em formas catiônicas mais assimiláveis que o potássio, substituindo muitas vezes a presença deste íon em processos de assimilação de nitrogênio (Brady, 1979).

As concentrações de zinco nas *T.usneoides* de Tainhas foram significativamente menores do que as das nativas da região da bacia do Sapucaia mas, após dez meses de exposição, estas concentrações aumentaram, chegando a superar as concentrações das nativas, na linha 1, indicando processos de bioacumulação deste elemento e, também, uma possível adaptação dos indivíduos nativos ao agente contaminante (Lima, 2003).

Para a ***R.simulans***, exposta na linha 1, maiores concentrações médias de elementos acumulados foram as de cálcio, chumbo, ferro, magnésio e zinco, ocorrendo picos de chumbo no ponto 1.2, de ferro no ponto 1.4, de magnésio no ponto 1.6 e de zinco no ponto 1.1, evidenciando uma nítida interferência das atividades regionais (indústria cimenteira, para o Ca e o Mg e indústrias metal-mecânicas para o Pb, Fe e Zn) sobre os indivíduos expostos.

Na linha 2, os indivíduos de *R.simulans* apresentaram maiores concentrações médias acumuladas para os elementos alumínio, cobre, manganês, mercúrio, potássio e sódio, com picos máximos de concentração para o alumínio no ponto 2.5, o cobre no 2.7, o mercúrio no 2.8, e manganês no ponto 2.9. O lítio apresentou as maiores médias de concentrações nas linhas 1 e 2, onde foram similares.

Na linha 3, a *R.simulans* não apresentou maiores concentrações médias acumuladas para nenhum dos elementos estudados, mas ocorreram picos máximos de concentrações acumuladas para os elementos cálcio e sódio no ponto 3.12 e para o potássio no ponto 3.14.

Para esta espécie, as menores concentrações de elementos assimilados ocorreram no ponto 1.5 para o lítio, no 1.6 para o mercúrio; ambos no Parque de Exposições, em Esteio, e para o potássio no ponto 1.7. O cálcio e o cobre apresentaram as menores concentrações assimiladas no ponto 2.3 (campus da ULBRA) e o sódio no ponto 2.11. O zinco apresentou valor mínimo assimilado em *R.simulans* no ponto 3.5, de manganês no ponto 3.6, de magnésio no ponto 3.7, de chumbo no ponto 3.10 e de ferro no ponto 3.12.

Não foram encontrados indivíduos de *R.simulans* nativas nas linhas de exposição das unidades amostrais, mas as comparações, em termos de bioacumulação, podem ser realizadas com os organismos de referência, coletados

em Tainhas e não expostos à atmosfera da região da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia.

Para o alumínio, as concentrações médias deste elemento, nos indivíduos expostos nas linhas 1 e 2, foram superiores às concentrações médias deste elemento nos indivíduos não expostos coletados em Tainhas. Na linha 3, ocorreu uma perda gradativa de concentração deste elemento ao longo do tempo de exposição.

As concentrações de cálcio nestes organismos foram apenas um pouco maiores que nas não expostas, nos pontos 1 e 2, revelando uma tendência a perdas deste elemento nestas áreas.

Para o chumbo, houve aumento de concentrações deste elemento em todas as linhas, em relação aos organismos não expostos. Deve no entanto haver uma concentração limite tolerada por esta espécie pois, após acumular concentrações elevadas em 6 meses de exposição nas linhas 1 e 2, estas concentrações decaíram nos meses seguintes. O mesmo não ocorreu na linha 3, onde as concentrações acumuladas de chumbo foram mais baixas, prosseguindo a acumulação até ao término dos 10 meses de exposição. Segundo Dal Piva, 2001, íons são absorvidos seletivamente pelas plantas e controlados por um feedback, de maneira que a absorção é controlada pela própria concentração interna; este pode ser o fator que explica o comportamento da *R.simulans* em relação ao chumbo.

O comportamento do cobre na *R.simulans* foi bastante similar ao chumbo, diferindo apenas na linha 3, que apresentou comportamento similar as linhas 1 e 2. Observando as concentrações atmosféricas, constatamos uma alta concentração de cobre na área rural.

O ferro, o magnésio e o zinco sofreram aumentos de concentrações em indivíduos expostos em todas as linhas, em relação aos não expostos, notadamente na linha 1, área industrial. O zinco, porém, sofreu um pequeno decréscimo de concentração após os 10 meses de exposição, na linha 3.

O manganês, na *R.simulans*, apresentou diminuição gradativa, ao longo dos 10 meses, em suas concentrações nos indivíduos expostos em relação às concentrações determinadas nos indivíduos não expostos, indicando a interferência de fatores regionais na assimilação deste elemento. Comportamento semelhante

ocorreu com o mercúrio, elemento de concentrações elevadas em organismos não expostos que diminuíram com o tempo de exposição. Notou-se, no entanto, um pico extremamente elevado na concentração de mercúrio no indivíduo de *R.simulans* exposto no ponto 2.8, em área residencial.

Para o potássio, a *R.simulans* apresentou pequena perda na concentração deste nutriente em relação aos organismos não exposto, em todas as linhas. As concentrações de sódio se mantiveram praticamente estáveis durante a exposição, com exceção do ponto 3.3, onde houve um pico extremamente elevado na concentração deste elemento no indivíduo exposto.

As concentrações de lítio, nos indivíduos expostos, não variaram significativamente nas *R.simulans*, em relação às não expostas, coletadas em Tainhas.

A ***Canomaculina sp.*** apresentou, na linha 1, as maiores concentrações médias para os elementos alumínio, cálcio, chumbo, ferro, magnésio, mercúrio e zinco, ocorrendo picos máximos de concentração para o zinco, no ponto 1.1, para o chumbo, no ponto 1.2, ambos em áreas industriais e para o alumínio, ferro, zinco e magnésio, no ponto 1.7, localizado em residência próxima da área industrial.

Apenas o manganês apresentou a maior concentração média acumulada nesta espécie na linha 2, ocorrendo o pico de concentração máxima acumulada deste elemento pela *Canomaculina* no ponto 2.9.

Os elementos lítio, sódio e potássio apresentaram suas maiores concentrações médias acumuladas nesta espécie, na linha 3. Nesta linha ocorreram os picos máximos de concentrações acumuladas na *Canomaculina sp.* para os elementos cobre, lítio e sódio, no ponto 3.2; no ponto 3.6 ocorrem os picos para o mercúrio e potássio e no ponto 3.12, para o cálcio.

Os picos mínimos de concentração dos elementos na *Canomaculina sp.* foram, de lítio e mercúrio no ponto 1.2 da linha 1, de magnésio no ponto 2.5, de alumínio e de potássio no ponto 2.7, e de sódio no ponto 2.8 da linha 2, na linha 3, os menores acúmulos ocorreram para o zinco, no ponto 1.1, ferro no ponto 3.4, cálcio e manganês, no ponto 3.6 e cobre e chumbo no ponto 3.9, sendo que este último apresentou a mesma mínima no ponto 3.11.

Nas comparações das concentrações entre indivíduos expostos e os não expostos da *Canomaculina sp.*, notamos uma diminuição nas concentrações do alumínio. As concentrações de cálcio sofreram um grande aumento, principalmente nas linhas 1 e 3. Isto ocorreu também para o chumbo, notadamente na linha 1 onde, após atingir um pico elevado de concentração após 6 meses de exposição, houve um decréscimo na concentração após 10 meses, permanecendo ainda extremamente elevado em relação aos indivíduos não expostos.

As concentrações de cobre aumentaram nos indivíduos expostos, em todas as linhas, em relação aos não expostos. O ferro e o magnésio sofreram um grande acúmulo de concentração nos indivíduos de *Canomaculina sp.* expostos na linha 1. Nas demais linhas as variações não foram tão significativas.

O lítio teve pequenos acréscimos de concentrações nos indivíduos expostos nas linhas 1 e 3, após uma pequena diminuição inicial (após os primeiros 6 meses) em relação aos indivíduos não expostos.

As concentrações de manganês sofreram pequenos decréscimos, um pouco mais acentuados na linha 3.

As concentrações de mercúrio, nos indivíduos de *Canomaculina sp.* coletados em Tainhas, foram surpreendentemente altas. As concentrações deste elemento foram muito altas em todas as três espécies coletadas em Tainhas, mas extremamente maiores na *Canomaculina sp.*. Este fato exclui os organismos coletados em Tainhas como organismos de referência para estudos de bioacumulação do mercúrio. As concentrações atmosféricas deste elemento, na região de Tainhas, devem ser extremamente elevadas, provavelmente provenientes de aerossóis marinhos que sobem a esta região pelos Aparados da Serra, já que não existe outra fonte aparente deste elemento nos arredores. Makhholm e Bennet, 1998, em seu trabalho com *Hypogymnia physoides*, provaram uma relação entre as concentrações assimiladas de mercúrio e a distância da fonte do mesmo.

Nas *Canomaculina sp.* expostas, houve uma grande perda de concentração deste elemento nos primeiros 6 meses, talvez relacionada a fatores climáticos e À concentrações atmosféricas, seguida de um lento acréscimo até ao final de 10 meses de exposição. Talvez este acréscimo aumentasse se os organismos

continuassem expostos, mas para comprovar esta tendência, seriam necessários mais estudos.

O potássio, após um grande acréscimo de concentrações nos indivíduos expostos na linha 1 nos primeiros 6 meses, apresentou perda de concentrações e pequenas variações nas demais linhas. As concentrações de sódio na *Canomaculina sp.* sofreram aumentos de concentrações expressivos em relação aos indivíduos não expostos apenas na linha 3. O zinco apresentou maiores concentrações nos indivíduos exposto na linha 1 e, em menor escala, na linha 2.

Devemos lembrar que um forte interferente nas concentrações dos elementos nos indivíduos expostos, em relação aos não expostos, nas três espécies estudadas, pode ser o fator *clima*, pois o clima da região de Tainhas difere bastante em termos de temperaturas, umidade relativa do ar, pluviosidade e regime de ventos, do clima da região da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia. Também é importante a sensibilidade de cada espécie aos poluentes atmosféricos, que pode interferir de maneira diferente na atividade fotossintética de cada espécie e, conseqüentemente, nos processos assimilativos ao longo do tempo de exposição (Häffner et al, 2001). Alguns metais pesados, como o zinco, também podem provocar estresse oxidativo em tecidos de algumas espécies de líquens, provocando respostas nos organismos (Cuny et al, 2004).

Comparando as concentrações dos elementos determinadas nas espécies analisadas com as faixas de concentrações destes mesmos elementos citadas por diversos autores (Allen, 1974, Bowel, 1979 e outros) para "plantas" ou para diversas espécies de líquens (Shaw, 1989), (não foram encontradas, na literatura consultada, faixas equivalentes específicas para bromeliáceas), podemos observar alguns dados interessantes.

Para os indivíduos coletados em **Tainhas** (não expostos na área da bacia do arroio Sapucaia), as concentrações médias determinadas para os elementos manganês e zinco ficaram dentro destas faixas, nas três espécies analisadas. O cobre e o magnésio ficaram abaixo da faixa de referência para a *T.usneoides* e dentro desta, para as duas outras espécies. As concentrações de cálcio ficaram abaixo desta faixa para a *T.usneoides* e para a *Canomaculina sp.*. O potássio ficou dentro da faixa para a *T.usneoides*, e abaixo da mesma para as duas espécies de

liquens. As concentrações de alumínio e de ferro ficaram dentro das faixas citadas na *T.usneoides* e acima destas para as duas outras espécies. O chumbo apresentou valores maiores que os de referência apenas nas *T.usneoides*. O sódio e em especial, o lítio e o mercúrio apresentaram, nas três espécies coletadas em Tainhas, concentrações bem superiores às faixas de concentrações citadas pelos autores.

Este estudo de concentrações evidencia um comportamento diferenciado das três espécies na assimilação dos elementos no seu ecossistema de origem, mas também indica alterações na qualidade do ar desta região, considerada de baixo impacto ambiental.

Sugere também adaptações bioquímicas que podem ter ocorrido nos indivíduos expostos, como respostas metabólicas às alterações de parâmetros ambientais ou toxicidade por metais pesados, nos processos de acumulação e/ou destoxificação (Dey e Harborne, 1997 apud Dal Piva, 2001). Deve-se também levar em conta o tempo de exposição dos indivíduos (10 meses), tempo este bastante curto para que todas as possíveis modificações nos rotas metabólicas pudessem se efetivar. Provavelmente, exposição por tempo mais prolongado talvez apresentasse respostas ainda mais alteradas nos processos de acumulação e/ou destoxificação. Mesmo assim, se pode considerar que, em especial na assimilação de alguns dos elementos analisados, os indivíduos expostos deram respostas significativas às condições alteradas, em relação ao seu ambiente de origem, a que foram expostos.

Nas *T.usneoides* **nativas** da área da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia, as concentrações do alumínio, cálcio, magnésio, manganês, potássio e zinco ficaram dentro das faixas de concentrações citadas pelos autores. Os demais elementos: chumbo, cobre, ferro, lítio, mercúrio e sódio, ficaram acima destas faixas de concentrações.

Nos indivíduos **expostos**, as concentrações médias dos elementos cálcio, magnésio, manganês e zinco ficaram dentro das faixas de concentrações citadas para as três espécies expostas, após 10 meses de exposição. As concentrações do potássio ficaram nestas faixas apenas para a *T.usneoides*, ficando abaixo da mesma nos dois liquens. As concentrações de: alumínio, chumbo, cobre, ferro, lítio, sódio e mercúrio ficaram acima do limite superior destas faixas, em todas as linhas de exposição, para as três espécies.

6.3. PARTICULADOS ATMOSFÉRICOS x ESPÉCIES EXPOSTAS

Nos particulados atmosféricos coletados no ponto 1, localizado na área industrial, as maiores concentrações médias por massa de poeira ocorreram para os elementos chumbo, ferro, lítio, manganês, mercúrio, potássio e zinco. Por metro cúbico de ar, as maiores concentrações médias ocorreram para estes mesmos elementos e ainda para o alumínio, cálcio, cobre e magnésio. Comparando com as maiores médias de elementos acumulados nas três espécies expostas, observamos que apenas o **cálcio**, o **ferro**, o **magnésio** e o **zinco** mantêm uma concordância de maiores médias na linha 1, tanto na concentração por volume de ar atmosférico como nos organismos.

O **chumbo** presente nos particulados manteve esta concordância apenas com a *R.simulans* e a *Canomaculina sp.*, mas temos de considerar que houve grande predação nos indivíduos de *T.usneoides* expostos nesta linha, o que pode ter interferido nos resultados finais, ou indicar que esta espécie possui um mecanismo de eliminação de concentrações muito altas deste elemento, pois a concentração média acumulada determinada na primeira coleta, após 6 meses de exposição foi maior que na segunda, após 10 meses de exposição, sendo também a maior entre as três regiões estudadas na bacia do arroio Sapucaia. Na primeira coleta, as concentrações médias deste elemento acumuladas pela *T.usneoides* foram as menores de toda a bacia (ver tabela 27). Esta constatação parece ser evidenciada pelas concentrações médias de chumbo encontradas em indivíduos nativos desta espécie, encontrados apenas na linha 1, Parque de Exposições de Esteio, pontos 1,5 e 1.6, que apresentaram concentrações baixas de chumbo, apesar de terem se desenvolvido na região da bacia que apresentou as maiores concentrações atmosféricas deste elemento.

Os picos de concentração de chumbo tanto na *R.simulans* como na *Canomaculina sp.* ocorreram no ponto 1.2, localizado em área industrial próximo a atividade metal-mecânica e petroquímica. Em Grenoble, França, Gombert e Asta, 1998, utilizaram nove diferentes espécies de líquens para verificar sua relação com as concentrações de chumbo (e de cádmio) emitidas por um incinerador, associadas

a direção de ventos predominantes, encontrando diferenças entre os valores concentrados pelas diferentes espécies, o que também ocorreu entre as duas espécies expostas, mesmo mantendo relação com os gradientes de concentração atmosférica. Estudo em rodovias francesas (Cuny et al, 2001) também confirmaram a concentração de chumbo em tecidos de líquens nativos, *Xanthoria parietina* e em expostos, *Parmelia caperata*, sendo esta última igualmente utilizada por Loppi, 2003, em Pistóia, para estudar a acumulação de chumbo e outros elementos, dentre os quais cobre e zinco, em atmosferas urbanas, onde igualmente foram evidenciados processos de bioacumulação.

O **mercúrio** atmosférico encontrou uma concordância com as concentrações médias acumuladas apenas pelas *T.usneoideses* e *Canomaculina sp.* na linha 1, evidenciando a relação destas espécies com a proximidade das fontes geradoras. Esta relação já havia sido estudada para a *Hypogymnia physoides*, por Makhholm e Bennett, 1998. Nesta linha, o **manganês** encontrou concordância apenas com a *T.usneoideses*.

Apesar da maior média de concentrações atmosféricas de **potássio** ter ocorrido na linha 1, suas maiores concentrações médias ocorreram na linha 2 para a *T.usneoideses* e para a *R.simulans*, e na linha 3, para a *Canomaculina sp.*, o que parece indicar uma interferência da modificação dos fatores climáticos em relação às condições existentes na região de origem dos indivíduos expostos (Tainhas). É também importante considerar a possível interferência de metais pesados ou de outros contaminantes atmosféricos na assimilação deste elemento essencial.

Ao contrário do trabalho de Pyatt, 1999, houve redução nas concentrações de potássio, determinadas em indivíduos expostos, em relação às concentrações determinadas em indivíduos nativos da região da bacia, sendo igualmente constatada redução em relação aos indivíduos coletados em Tainhas não submetidos à exposição.

No ponto 2, os elementos que apresentaram as maiores concentrações médias nos particulados atmosféricos foram o alumínio, o cálcio e o sódio por grama de poeira; por metro cúbico de ar, apenas o sódio apresentou as maiores concentrações médias na linha 2. O **lítio**, de maior concentração atmosférica média na linha 1, mas bastante similares às da linha 2, apresentou suas maiores

concentrações médias na linha 2, na *T.usneoideses* e na *R.simulans*. Apenas esta última apresentou relação com o **sódio** atmosférico, enquanto a primeira acumulou concentrações maiores deste elemento na linha 1 e a *Canomaculina sp.* na linha 3.

O **cálcio** apresentou maior concentração média por grama de material particulado atmosférico na linha 2, onde ocorreu uma menor amplitude de variação de concentrações em relação à linha 1. Na linha 1, a concentração média foi um pouco menor porém, sendo uma área mais plana e de espaços mais abertos que a linha 2 (menor rugosidade do terreno), apresentou uma grande amplitude de variação de concentrações, indicando a interferência do vento na dispersão desta espécie química. Por metro cúbico de ar, as concentrações deste elemento foram mais elevadas na linha 1 (ver tabela 25). Este elemento essencial apresentou as maiores concentrações médias acumuladas nesta linha, em todas as espécies expostas, indicando relação mais estreita dos processos de concentração de cálcio em seus tecidos com as concentrações deste elemento no volume de ar.

O ponto 3 apresentou o menor número de elementos com maiores concentrações médias por grama de poeira, sendo estas constatadas apenas para o cobre e o magnésio. Por metro cúbico de ar nenhum elemento apresentou as maiores concentrações médias nesta linha. Nas três espécies expostas; apenas a *T.usneoideses* apresentou a maior média para o chumbo nesta linha e a *Canomaculina sp.* para os três metais alcalinos.

No caso do **cobre**, parece haver uma semelhança na assimilação deste elemento com a assimilação do chumbo, pois as maiores concentrações em indivíduos expostos ocorreram, para a *T.usneoideses* e a *R.simulans*, na linha 2, onde ocorreram concentrações atmosféricas mais baixas deste elemento. Porém, como o coletor de material particulado desta linha foi instalado no campus da Universidade Luterana do Brasil, área de impacto relativamente baixo, pode haver, neste caso, a interferência da localização deste amostrador.

A *Canomaculina sp.* apresentou maiores concentrações médias assimiladas na linha 1, seguidas pela linha 3, onde ocorreram, também nesta ordem, as maiores médias atmosféricas deste elemento. Esta mesma correlação de uma espécie de líquen com o cobre atmosférico, diferenciada de outras espécies, já havia sido constatada por Nayaka, 2003, na Índia, em trabalho realizado com diversas espécies

de líquens. O cobre atmosférico é um elemento de origem tipicamente antrópica. Sua concentração mais elevada na atmosfera da região rural da bacia pode ser atribuída, principalmente, a utilização deste elemento como fungicida em atividades agropecuárias ou às atividades mineradoras (basalto, arenito, argilas) realizadas na região .

Para o **magnésio**, a maior concentração média por volume de ar encontrou relação com as concentrações assimiladas pelos organismos. Este elemento essencial, de maneira similar ao cálcio, apresentou maiores concentrações médias assimiladas, nas três espécies expostas, na linha 1.

De maneira geral, a linha 1 apresentou as maiores concentrações médias para o maior número de elementos, tanto para os constituintes do material particulado atmosférico, como para o assimilado pelas espécies expostas. A linha 3 apresentou a menor ocorrência de maiores concentrações médias, tanto na atmosfera como em organismos para os elementos analisados, evidenciando uma melhor qualidade do ar troposférico. Nesta região também ocorreram menores incidências de picos máximos de concentrações de elementos, tanto na atmosfera como nos organismos, e uma maior ocorrência de picos mínimos destes elementos.

Convém destacar que, em relação às variações das concentrações dos elementos assimilados pelos indivíduos expostos, de um ponto para outro na mesma linha, precisamos levar em conta outros fatores além das concentrações atmosféricas dos elementos, dos fatores ambientais (clima, relevo, barreiras de dispersão) e das atividades desenvolvidas nas proximidades do ponto de exposição. É necessário considerar também características do próprio indivíduo, principalmente a diferença na capacidade de assimilação entre organismos jovens e maduros.

Também devem ser consideradas interferências micro climáticas, principalmente em relação à circulação da massa de ar, às variações localizadas de umidade do ar, luz solar incidente, exposição maior ou menor às precipitações pluviométricas e temperatura (Zannetti, 1990; Lovett, 1994; Pompéia, 1997; Beceiro-Gonzáles, 1998; Carvalho, 2000).

É também relevante a interferência de outras substâncias químicas, tanto inorgânicas como orgânicas, que podem formar diferentes compostos com estes elementos estudados, modificando sua relação com os mecanismos de assimilação,

e ainda, a presença de espécies químicas oxidantes (como SO₂, O₃ troposférico e VOCs) que podem provocar lesões em tecidos, citados por Kong, 1999, Häffner, 2001, Brighigna, 2002 e outros. Também é importante a presença de amônia na atmosfera, que reage com ânions diversos (principalmente sulfatos e nitratos), formando sais higroscópicos que, junto com a umidade do ar, formam núcleos que absorvem ou adsorvem outros cátions, acelerando sua precipitação, mesmo sem a lavagem atmosférica provocada pela chuva, e facilitando sua absorção por tecidos vivos (Boubel, 1994; EPA, 1996; Baird, 1998; Heinsohn, 1999).

Apesar de predadores, principalmente aves durante o período de primavera, terem interferido sobre os organismos expostos, foram constatados outros danos profundos que necrosaram totalmente indivíduos de *R.simulans* nos pontos 2.4 (área urbana) e 3.4 (área rural). Também foram constatados danos parciais (tecidos parcialmente necrosados) em diversos indivíduos de *R.simulans* e de *Canomaculina sp.* em todas as linhas de exposição. Porém, não podemos ligar estes danos apenas aos elementos estudados, mas devemos considerar todos os interferentes possíveis, acima descritos.

6.4. RELAÇÕES À APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA

A técnica da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) se evidenciou como uma excelente técnica para a investigação física dos constituintes das partículas em suspensão atmosférica. Por ser uma técnica não destrutiva, permite preservar os fragmentos de filtros com as poeiras coletadas, facilitando a investigação sobre a natureza da sua composição. Porém, como técnica analítica, sua resposta é bastante baixa, dando respostas apenas em composições centesimais; não evidencia a presença de elementos-traço.

Mas, em contrapartida, permite a determinação percentual de componentes não metálicos, porém apenas em partículas selecionadas para tal finalidade, pois uma varredura em área mais ampla inclui os constituinte do próprio filtro (ver figuras 123 a 126).

Nos organismos vivos, permite visualizar áreas de deposição ou de assimilação de material atmosférico (Amado Filho et al, 2002), servindo como

instrumento para a investigação de possíveis alterações morfológicas entre indivíduos de referência, nativos e expostos. No caso da *T.usneoides*, sugerem alterações morfológicas em indivíduos coletados em áreas de menor impacto ambiental, quando expostos a atmosferas mais impactadas, resultando em morfologias que se aproximam das de indivíduos que se desenvolveram naturalmente em áreas de maior impacto (ver figuras 127 a 136). No entanto, isto merece um estudo mais detalhado, pois existem inúmeros fatores que podem estar relacionados a estas alterações encontradas, como condições climáticas, poluição por gases inorgânicos (alguns indivíduos, expostos experimentalmente à vapores orgânicos, não apresentaram estas alterações) ou ainda, tratar-se de uma sub-espécie.

6.5. RELAÇÕES ESTATÍSTICAS

Das aplicações dos testes ANOVA, comparando-se as concentrações dos elementos nos indivíduos expostos por 6 meses em cada linha, observaram-se variâncias com diferenças significativas ao nível de 1%, em indivíduos de *T.usneoides*, para os elementos cálcio e zinco e, ao nível de 5%, para os elementos alumínio, ferro e magnésio, entre as concentrações determinadas para cada uma das 3 linhas .

Para a *R.simulans*, as diferenças significativas ao nível de 1% ocorreram para as concentrações dos elementos magnésio e zinco e, ao nível de 5%, para as do chumbo.

Para a *Canomaculina* sp., as diferenças ao nível de 1% ocorreram apenas para as concentrações do zinco e, ao nível de 5%, para as concentrações dos elementos chumbo e potássio.

Após 10 meses de exposição, estas variâncias entre linhas de exposição não apresentaram alterações.

As comparações estatísticas das concentrações de cada elemento determinadas em indivíduos de cada uma das três espécies, coletadas em Tainhas e não expostas às condições atmosféricas da área da bacia do arroio Sapucaia, com as mesmas espécies expostas por 6 meses e por 10 meses nesta área, pela

aplicação do **Teste t de Student**, evidenciaram **valores significativamente inferiores** aos de Tainhas, para o elemento mercúrio nas três espécies expostas, tanto durante 6 como durante 10 meses de exposição, nas três linhas, sugerindo concentrações atmosféricas altas de mercúrio na região utilizada como referência para este trabalho.

Segundo os resultados do **teste t**, a *T.usneoides* exposta apresentou valores significativamente menores de chumbo do que a não exposta, nos primeiros 6 meses de exposição, na linha 3. O potássio e o sódio apresentaram valores significativamente menores nos organismos expostos por 10 meses na linha 3.

O **teste t** apontou para a *R.simulans* expostas, valores significativamente menores de potássio, após 6 meses de exposição, nas linhas 2 e 3. Para o manganês, estes valores ocorreram na linha 3 após 6 meses de exposição e nas linhas 1 e 3, após 10 meses de exposição.

Para a *Canomaculina sp.*, valores significativamente inferiores em organismos expostos ocorreram, após 6 meses de exposição, para o alumínio, em todas as linhas e, após 10 meses, na linha 3. Nos primeiros 6 meses de exposição, estes valores também ocorreram para as concentrações de magnésio e potássio, na linha 2 e de manganês na linha 3. Após 10 meses de exposição, os valores significativamente inferiores aos de Tainhas, só ocorreram em organismos expostos na linha 1, para o elemento potássio.

Estes valores significativamente inferiores aos de Tainhas, indicados pelo **teste t**, indicam perda de concentrações de elementos assimilados em Tainhas, por indivíduos expostos na área da bacia do arroio Sapucaia. Estas perdas, com exceção do mercúrio, variam de uma espécie para a outra, indicando a interferência provável de diferenças climáticas ou de outras espécies químicas presentes na atmosfera da área de exposição capazes de interferir nos mecanismos de assimilação ou perda de concentrações de elementos características de cada espécie.

O **Teste t de Student**, evidenciou **valores significativamente superiores** de concentrações de alguns metais em indivíduos expostos, em relação às concentrações destes mesmos metais encontrados em indivíduos coletados em Tainhas, evidenciando algumas das espécies utilizadas como possíveis

bioindicadores para as concentrações de alguns elementos específicos. Não podemos, no entanto, considerar este estudo conclusivo por ter ocorrido durante o período de exposição dos indivíduos, principalmente durante o início da primavera, uma intensa predação. Esta predação ocorreu predominantemente na linha 2, sobre indivíduos de *T.usneoides*; em escala decrescente, este fato ocorreu também nas linhas 1 e 3. Devemos também considerar que não foram determinadas as faixas etárias dos indivíduos expostos, outro fator que pode afetar os processos de assimilação (Larcher, 2000).

Mesmo considerando estes fatores, o **teste t** apontou alguns resultados relevantes.

A *T.usneoides* exposta apresentou valores significativamente superiores aos de Tainhas nas concentrações de alumínio, cálcio e ferro, em todas as linhas, após 6 meses de exposição e nas linhas 1 e 3, após 10 meses de exposição. Na linha dois, onde restaram poucos fragmentos de indivíduos desta espécie após os 10 meses de exposição, estes valores não ocorreram para concentrações de nenhum dos elementos analisados, provavelmente em função de insuficiência amostral.

Para o cobre, a *T.usneoides* apresentou valores significativamente superiores nas linhas 2 e 3, após 6 meses de exposição e nas linhas 1 e 3, após 10 meses. O magnésio e o zinco apresentaram estes valores nas linhas 2 e 3 após 6 meses e na linha 3 após 10 meses de exposição. Para o manganês, esta ocorrência foi registrada apenas na linha 3, após 6 meses de exposição.

A *R.simulans* concentrou valores de cobre significativamente superiores aos de Tainhas em todas as linhas, e em todos os períodos de exposição, indicando uma boa bioacumulação deste elemento. Para o chumbo, os valores significativamente superiores ocorreram apenas nos primeiros 6 meses, nas linhas 1 e 2, desaparecendo após os 10 meses de exposição, o que nos pode levar a levantar a hipótese de que esta espécie tenha uma concentração máxima assimilável para este elemento que, quando atingida, passe a ativar mecanismos de excreção. A *R.simulans* apresentou ainda valores de concentrações acumuladas significativamente superiores aos de Tainhas para o ferro, após 6 meses de exposição na linha 2, para o magnésio, após 6 meses, nas linhas 1 e 2 e após 10 meses de exposição nas 1 e 3 e ainda para o zinco, após 10 meses de exposição,

nas linhas 1 e 2, revelando um processo mais lento na assimilação deste elemento, que poderia levar a concentrações teoricamente mais altas em exposições mais prolongadas.

A *Canomaculina sp.* apresentou valores de concentrações significativamente superiores aos de Tainhas para o cálcio, após 6 meses de exposição nas linhas 2 e 3 e, em todas as linhas, após 10 meses. Para o cobre, nesta espécie, os valores superiores ocorreram nas linhas 1 e 3 após 6 meses e em todas as linhas, após 10 meses, indicando também nesta espécie, a bioacumulação deste elemento.

O chumbo foi acumulado em valores significativamente maiores que os de Tainhas pela *Canomaculina sp.*, em todas as linhas nos primeiros 6 meses e nas linhas 1 e 2, após 10 meses de exposição. O lítio e o magnésio apresentaram estes valores apenas após 10 meses de exposição, na linha 3. Para o zinco, a *Canomaculina sp.* apresentou um comportamento bastante similar ao da *R.simulans*, acumulando valores significativamente superiores na linha 2, após 6 meses de exposição e, após 10 meses, nas linhas 1 e 2.

Esta análise estatística evidencia diferenças na assimilação de contaminantes atmosféricos por parte das três espécies utilizadas neste trabalho, mas aponta também algumas semelhanças, como no caso do cobre e do zinco para as duas espécies de líquens, indo de encontro a vários trabalhos já realizados com diversas espécies de plantas, caracterizadas como metalófilas, com capacidades diferenciadas de bioacumulação para metais pesados específicos (Porto, 1981, 1983, 1986 1989, Mozeto, Raya-Rodrigues et al, 1995, Prochnow, 1995, Dal Piva, 2001).

De um modo geral, pela observação mensal dos indivíduos expostos, a *R.simulans* demonstrou uma maior sensibilidade ao ambiente de exposição, em relação ao seu ambiente natural, em Tainhas. Após 6 meses de exposição, dois indivíduos, um na linha 2 (em área urbana, mas próximo de indústrias) e outro na área rural (pequeno sítio), apresentaram necrose total de seus tecidos. Após 10 meses, diversos indivíduos apresentaram danos (necrose parcial), em todas as linhas de exposição. A *Canomaculina sp.* apresentou danos em seus tecidos apenas em alguns indivíduos das três linhas, após 10 meses. Estes danos parciais ou totais podem estar relacionados a presença de outros poluentes, como o dióxido de

enxofre, que podem reduzir severamente a atividade fotossintética dos indivíduos, levando a necrose parcial ou total de seus tecidos (Larcher, 2000, Häffner, 2001, Cuny, 2004 e outros). A *T.usneoides* sofreu principalmente ação predatória nas linhas 1 e 2, menos intensa na linha 3, mas os indivíduos restantes não apresentaram danos visíveis de tecidos sendo, aparentemente, a espécie de maior tolerância a condições da atmosfera a que indivíduos foram expostos. Todavia, esta é apenas uma constatação visual, pois a microscopia eletrônica, utilizada para a observação de alguns fragmentos de indivíduos expostos da *T.usneoides*, revelou algumas alterações nas estruturas de suas escamas absorventes.

Estes danos observados não podem ser atribuídos apenas às alterações da qualidade do ar provocadas pelos elementos estudados. Outros interferentes, tanto cátions metálicos como ânions, gases inorgânicos, compostos orgânicos e chuva ácida, podem contribuir, isoladamente ou em sinergia, para a formação de tecidos danificados ou morte de indivíduos, tanto dos expostos como dos nativos (Boubel, 1994; Nebel, 1998, Heinson, 1999 e outros).

A alteração das condições climáticas e de altitude em relação às condições de origem dos indivíduos expostos é outro conjunto de fatores interferentes. A altitude média de Tainhas é de 870 metros, enquanto que as altitudes médias calculadas para as linhas 1, 2 e 3 foram, respectivamente 8 metros, 26,5 metros e 60 metros. A temperatura da região de origem das três espécies expostas é, em média, mais baixa que a da região da bacia do arroio Sapucaia, apresentando até mesmo a ocorrência de neve. A região de Tainhas apresenta também maior índice de precipitações pluviométricas que a área da bacia.

6.6. ESPACIALIZAÇÃO: DADOS ATMOSFÉRICOS E DOS BIOINDICADORES

A utilização do mapa base da área total de trabalho na bacia hidrográfica do arroio Sapucaia obtido com o software Adobe Illustrator 10, tendo como base imagens de satélite do Projeto EMBRAPA, a carta topográfica, do Ministério do Exército (Folha SH.22-V-D-VI-4, MI-2970/4 - São Leopoldo), o mapa da Sub-bacia Hidrográfica do Arroio Sapucaia (METROPLAN), e dados de campo obtidos com GPS, para o traçado das linhas 1, 2 e 3, onde foram expostos os indivíduos das três

espécies estudadas (fig. 137), relacionado às áreas de ocorrência das maiores concentrações médias de cada elemento, gerou o mapa de gradientes de contaminação atmosférica. Este serviu como base para layers em transparências, individualizados por espécies, de áreas de ocorrência de maiores concentrações médias de elementos em cada uma das espécies estudadas.

Esta técnica demonstrou ser um bom instrumento para investigar concordâncias e discordâncias entre as concentrações atmosféricas dos elementos analisados e as concentrações destes mesmos elementos em cada uma das espécies. Isto permitiu identificar, nas três espécies, gradientes de concentração dos elementos cálcio, ferro, magnésio e zinco similares aos gradientes atmosféricos, indicando que podem ser utilizadas como uma ferramenta de baixo custo para estudo de gradientes de impacto atmosférico por estes quatro elementos, em redes de biomonitoramento.

Esta espacialização também facilita a observação da sensibilidade de cada espécie às concentrações atmosféricas dos doze elementos analisados, indicando *Canomaculina sp.* como a mais sensível por concentrar, em gradientes similares aos atmosféricos, oito dos doze elementos analisados; *T.usneoides* apresentou este comportamento em relação a sete elementos. A espécie que apresentou a menor sensibilidade, em relação aos elementos constituintes das partículas totais em suspensão atmosférica analisados, foi *R.simulans*, com resposta para apenas cinco dos elementos.

Também fica mais evidente a observação da fraca sensibilidade, ou de uma possível interferência de outros poluentes ou também, de condições climáticas, na assimilação dos elementos alcalinos sódio e potássio (e, em menor escala, por encontrar resposta em *R.simulans*, do lítio).

A sensibilidade às concentrações atmosféricas dos elementos alumínio, chumbo, cobre, manganês e mercúrio foi diferente nas três espécies, diferenças estas observadas facilmente pela sobreposição dos layers ao mapa de gradientes atmosféricos, indicando que uma rede de biomonitoramento para gradientes de concentrações atmosféricas destes elementos deve utilizar organismos específicos.

7. CONCLUSÃO

1. Os estudos realizados com o material particulado atmosférico coletado na área da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia permitiram concluir que maiores concentrações médias ocorrem na região industrial da bacia, comprovadas pelas amostras coletadas no ponto 1, localizado na linha 1; foi igualmente possível concluir que a área de características rurais (linha 3, ponto 3) é a que apresenta as concentrações médias mais baixas de material particulado atmosférico.

2. A comparação dos valores médios das concentrações dos elementos na massa de material particulado coletado indicou diferenças na constituição química das partículas em cada uma das regiões estudadas. O material particulado coletado na área industrial apresentou concentrações médias mais elevadas de metais pesados na massa de poeira (chumbo, ferro, manganês, mercúrio e zinco) em relação às outras duas áreas, excetuando o cobre, que apresentou maior concentração média na área rural da bacia. Os elementos mais leves (alumínio, cálcio, lítio, magnésio e sódio) apresentaram concentrações médias mais elevadas na área urbana e na rural, excetuando o potássio que apresentou sua maior concentração média na área rural, provavelmente em função da utilização de fertilizantes nas culturas de arroz contíguas à esta área.

3. Os resultados indicaram que, apesar das diferentes concentrações dos elementos na massa das partículas coletadas, as maiores concentrações por volume de ar ocorreram na linha 1 para todos os elementos analisados, com exceção do sódio, que apresentou sua maior concentração em volume de ar na linha 2.

4. As três espécies utilizadas: *T. usneoides*, *R.simulans* e *Canomaculina sp.* apresentaram diferenças na assimilação dos metais analisados, mas pode ser observada uma semelhança no comportamento dos dois líquens, principalmente em relação à assimilação do cobre e do zinco.

5. Também foram observados nos indivíduos das três espécies, coletados em Tainhas, concentrações muito mais elevadas de mercúrio em seus tecidos do que as concentrações determinadas em indivíduos expostos, e em indivíduos de *T. usneoides* nativas da região da bacia hidrográfica do arroio Sapucaia.

6. As concentrações elevadas de mercúrio em indivíduos não expostos sugerem concentrações atmosféricas mais elevadas deste elemento em Tainhas e, em consequência, uma relação entre estas concentrações e as dos indivíduos, permitindo concluir a ocorrência de processos de eliminação de mercúrio dos seus tecidos, quando as concentrações atmosféricas deste elemento são mais baixas.

7. As concentrações médias dos elementos alumínio, chumbo, cobre, ferro, lítio, sódio e mercúrio ficaram acima da faixa de concentrações citadas para plantas segundo diversos autores, após a exposição por dez meses na região da bacia do arroio Sapucaia, em todas as três áreas de estudo, permitindo concluir que as três espécies em estudo têm maior capacidade de concentrar estes elementos em seus tecidos, caracterizando-se assim como tolerantes e bons bioindicadores.

8. As concentrações de potássio ficaram nestas faixas citadas pelos autores de referência, apenas para a *T.usneoides*, ficando abaixo das mesmas nos dois líquens, tanto nos indivíduos expostos como nos localizados em Tainhas. Os testes estatísticos mostram perdas significativas deste elemento, nas três espécies, após 10 meses de exposição, principalmente na linha 1 (*R.simulans* e *Ganomaculina* sp.) e na linha 3 (*t.usneoides* e *R.simulans*), sugerindo que a presença de outros poluentes atmosféricos, principalmente os de atmosferas ácidas produzem perdas deste nutriente, de modo similar ao que acontece em solos acidificados.

9. As concentrações de cálcio, magnésio, manganês e zinco ficaram dentro das faixas indicadas, com aumento das concentrações dos elementos em todas as espécies, em relação aos organismos de Tainhas, com exceção do manganês, nos dois líquens. Ao longo dos dez meses de exposição, apenas as concentrações de magnésio apresentaram aumento constante nas três espécies, em todas as linhas.

10. O estudo estatístico evidenciou o potencial de bioacumulação da *T.usneoides* para os elementos alumínio, cálcio, cobre e ferro porém, devido à ação de predadores, consideramos importante uma investigação mais apurada.

11. Através do teste t *R.simulans* e *Canomaculina sp.* se evidenciaram como bioacumuladoras de cobre, tendo as duas espécies acumulado concentrações significativamente superiores as de Tainhas tanto após 6 como após 10 meses de exposição.

12. A *Canomaculina sp.*, pelo mesmo teste t, evidenciou ser bioacumuladora de cálcio, tendo acumulado concentrações significativamente superiores deste elemento, em todas as linhas, tanto após 6 como após 10 meses de exposição.

13. O zinco, pelos testes estatísticos, parece ser concentrado de modo mais lento pelas espécies estudadas, tendo sido acumulado em concentrações significativamente superiores as de Tainhas apenas nas linhas 1 e 2, após 10 meses de exposição, pela *Canomaculina sp.* e pela *R.simulans*.

14. A técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), mostrou ser um excelente recurso para investigar as formas e origens de constituintes das partículas totais em suspensão atmosférica (PTS) porém, devido aos seus limites de detecção, não é uma boa técnica quantitativa para investigação de elementos constituintes das PTS. A MEV é no entanto um recurso valioso para observação de deposições das partículas em organismos e um recurso para avaliação de possíveis alterações estruturais.

15. A ação de predadores, principalmente aves durante o período de primavera, demonstrou ser um interferente na avaliação dos processos de bioacumulação de elementos constituintes das PTS, devido à perda de alguns indivíduos expostos, principalmente da espécie *T.usneoides*.

16. Os indivíduos de referência, coletados em Tainhas, apresentaram para alguns elementos, concentrações mais altas do que as determinadas nos organismos nativos da área da bacia e do que nos indivíduos expostos, o que leva a supor que as concentrações atmosféricas destes elementos naquela região sejam mais elevadas, ou não tenham outros interferentes nos processos de assimilação pelas espécies estudadas.

17. As duas espécies de líquens demonstraram mais sensibilidade ao ambiente de exposição, com danos parciais ou totais em seus tecidos, em diversos pontos de exposição.

18. A falta de padronização dos indivíduos expostos pode ter interferido nos resultados finais de bioacumulação. Para resultados mais conclusivos em relação a bioacumulação, o cultivo destas espécies em atmosferas controladas poderia fornecer organismos padronizados, mais indicados para este tipo de estudo. No entanto, verificaram-se claras tendências que permitiram espacializar os dados que nos reforçaram a influência das fontes de emissões sobre os organismos vivos e sobre possíveis danos às populações humanas.

19. Os dados espacializados através do geoprocessamento evidenciaram os gradientes de concentração (área industrial>área urbana>área rural) dos elementos na atmosfera da bacia hidrográfica, permitindo uma melhor visualização das relações dos organismos vivos com o compartimento atmosférico no que se refere a processos de bioacumulação dos elementos.

9. BIBLIOGRAFIA

Aldea, D.C., Álvarez, M.T.M., Rodríguez, J.S., 1998 – **Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, 2.Bachillerato** – McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U. – Madrid, España

Allen, S.E., 1974 – **Chemical Analysis of Ecological Materials** – Blackwell Scientific Publications - Oxford, Inglaterra - 569p

Amado Filho, G.M., Andrade, L.R., Farina, M., Malm, O., 2002 – Hg localization in *Tillandsia usneoides* L. (Bromeliaceae), an atmospheric biomonitor - Elsevier Science Ltd. - **Atmospheric Environment**, 36, pp 881-887.

Azevedo, F.A., 2003 – **Toxicologia do mercúrio** – RiMa/InterTox - São Paulo, SP, Brasil - 272p.

Azevedo, F.A.; Chasin, A.A.M., 2003 – **Metais - Gerenciamento da toxicidade** – Ed.Atheneu/InterTox - São Paulo, SP, Brasil - 554p.

Azevedo, F.A.; Chasin, A.A.M., 2004 – **Bases toxicológicas da Ecotoxicologia** – RiMa/InterTox - São Paulo, SP, Brasil - 340p.

Baird, C., 1998 - **Environmental Chemistry** – 2nd ed., W.H. Freeman and Company, New York, USA –557p

Bari, A., Rosso, A., Minciardi, M. R., Troiani, F., Piervittori, R., 2001 – Analysis of heavy metals in atmospheric particulates in relation of their bioaccumulation in explanted *Pseudevernia furfuracea* – **Environmental Monitoring and Assessment** 69 - 205-220. Kluwer Academic Publishers - Netherlands.

Beatty, R.D., Kerber, J.D., 1993 – **Concepts, Instrumentation and Techniques in Atomic Absorption Spectrophotometry.** – Perkin Elmer Corporation, 1993.

Beceiro-González, E., Andrade-Garda, J.M., Serrano-Velasco, E., López-Mahia, P., Prada-Rodríguez, D., 1998 – **Characterization of Anthropogenic and Natural Emissions of Particulate Heavy Metals in a Surrounding Area of A Coruña.** – Dep. Analytical Chemistry, University of A Coruña, Espanha, - *Afinidad LV*, 475 – p 207-212.

Bowen, H.J.M., 1979 – **Environmental Chemistry of the Elements** – Academic Press, London, 333p.

Brady, N.C., 1979 – **Natureza e Propriedades dos Solos** - Biblioteca Universitária Freitas Bastos, Rio de Janeiro, 647p.

Brighina, L., Papini, A., Mosti, S., Cornia, A., Bocchini, P., Galletti, G., 2002 - The use of tropical bromeliads (*Tillandsia spp.*) for monitoring atmospheric pollution in the town of Florence, Italy – **Revista de Biologia Tropical**, Vol 50, Iss 2, pp577-584. Universidad de Costa Rica - San José, Costa Rica.

Boubel, R.W., Fox, D.L., Turner, D.B., Stern, A.C., 1994 – **Fundamentals of Air Pollution** – 3rd ed. – Academic Press, California, USA

Butcher, D.J., Sneddon, J., 1998 – **A Practical Guide to Graphite Furnance Atomic Absorption Spectrometry.** – A Wiley – Interscience Publication – New York, USA

Carlosena, A., Andrade, J.M., Prada, D., 1988 – Searching for Heavy Metals Grouping Roadside Soils as a Function of Motorized Traffic Influence. – *Talanta* – **The International Journal of Pure and Applied Analytical Chemistry**, 47 – p 753 – 767.

Carlosena, A., López-Mahia, P., Muniategui, E. F. S., Prada, D., 1998 – Determination of Chromium in nitric Acid Extracts of Soils by Flame and Electrothermal Atomic Absorption Spectrometry. – **Journal of Analytical Atomic Spectrometry**, 13. P. 1361 a-1361

Carvalho, F.G., Jablonski, A., Teixeira, E.C., 2000 – Estudo das Partículas Totais em Suspensão e Metais Associados em Áreas Urbanas – **Química Nova**, Brasil, p 614 – 617

Cercasov, V., Pantelica, A., Salagean, M., Caniglia, G., Scarlat, A. 2002 - Comparative study of the suitability of three lichen species to trace-element air monitoring– **Environmental Pollution**, Vol 119, Iss 1, pp 129-139. Elsevier Sciences LTD - Oxon, England.

Cerqueira, L., 2000 – Emissões Atmosféricas, Veículos Comprometem a Qualidade do Ar - **Saneamento Ambiental**, Ano XI, n.64, São Paulo, Brasil – p 38-39

Cerná, M., Pastorková, A., Vrbíková, V., Schmid, J., Rössner, P., 1999 – Mutagenicity Monitoring of Airborne Particulate Matter (PM10) in the Czech Republic – **Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis** (Elsevier Science), Vol.444, p. 373-386

Cerná, M., Pochmanová, D., Pastorková, A., Benesz, I., Lenicek, J., Topinka, J., Binková, B., 2000 – Genotoxicity of Urban Air Pollutants in Czech Republic – Part I. Bacterial Mutagenic Potencies of Organic Compounds Adsorbed on PM10 particulates – **Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis** (Elsevier Science), Vol.469, p. 77-82

Cerná, M., Topinka, J., Schwarz, L.R., Wiebel, F.J., Wolff, T., 2000 – Genotoxicity of Urban Air Pollutants in Czech Republic – Part II. DNA Adduct

Formation in Mammalian Cells by Extractable Organic Matter – **Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis** (Elsevier Science), Vol.469, p. 83-93

CONAMA, 1990 – **Resolução n.03 do Conselho Nacional do Meio Ambiente** – Brasília, DF, Brasil.

Cuny, D., van Haluwyn, C., Pesch, R., 2001 – Biomonitoring of Trace Elements in Air and in Soil Compartments along thje major Motorway in France – **Water, Air and Soil Pollution**: 125 - 273-289. Kluwer Academic Publishers - Netherlands.

Cuny, D., van Haluwyn, C., Shirali, P., Zerimech, F., Jérôme, L., Hguenoer, J. M., 2004 – Cellular impact of metal trace elements in terricoluos lichen *Diploschistes muscorum* (scop.) R.Sant. - Identification of oxidative stress biomarkers – **Water, Air and Soil Pollution**: 152 - 55-69. Kluwer Academic Publishers - Netherlands.

Currie, L.A., Conny, J.M., Klouda, G.A., Klimnedinst, D.B., Biegalski, S.R., VanValkenburgh, J., Benner, B.A. and Dibb, J.E. , 1997- Identifying Isotopic and Molecular Fire Tracers in the Polar Atmosphere and Cryosphere - Proc.**16th Int.Radiocarbon Conference**, Groningen

Dal Piva, G.G.S, 2001 – **Metais Pesados (cádmio, cobre e chumbo) e sua relação com a biossíntese de metabólitos secundários em ecótipos de *Baccharis trimera* (Less.) A.P.de Candolle - Compositae** – Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Botânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 205p.

Derisio, J. C., 1992 – **Introdução ao Controle da Poluição Ambiental** – 1.ed. – CETESB, São Paulo, Br.

Dey, Harbone, J.B. 1997 – **Plant biochemistry** – Ed. Academic Press.

Dockery, D.W. *et al*, 1993 – An Association Between Air-Pollution and Mortality in Six United-States Cities. – **New England Journal of Medicine**, 329, p 1753-1759.

Domenéch, X., 1995 – **Química Atmosférica, Origen y Efectos de la Contaminación** – Miraguano Ediciones, Espanha

Doull, J., Klaassen, C.D., Amdur, M.O., 1980 – **Casarett and Doull's Toxicology - The basic science of poisons**. – 2. Ed. – Macmillan Publishing Co., Inc., NY, USA.

Drew, D., 1998 – **Processos interativos homem-meio ambiente**. – 4. Ed. – Ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, Brasil.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- **CD Brasil Visto do Espaço** - 2004 – <http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br>

EPA – Environmental Protection Agency- Office of Air & Radiation, 1997 – **Health and Environmental Effects of Particulate Matter**. – EPA – USA.

EPA - Environmental Protection Agency, 1996 – **Air Quality for Particulate Matter** – EPA/500/P-95/001aF – USA.

Ferraro, L.W., Hasenack, H., Zurita, M.L.L., Tolfo, A.M., 2000 – **Qualidade do Ar em Porto Alegre : Aspectos do Clima de Porto Alegre** – Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMAN), Porto Alegre, Brasil. P 16 – 27.

Ferin, J., Oberdorster, G., Penney, D.P., 1992 – Pulmonary Retention of Ultrafine and Fine Particles in Rats – **Am.J. Respir. Cell Mol. Biol.** 6, p 535-542

Flores, F.E.V., 1980 – **Reaktionen von *Tillandsia usneoides* L. nach experimentalen Belastungen mit Kupfer und Cadmium** – Universität Ulm - Polyfoto Dr.Vogt KG, Stuttgart, Alemanha - 111 p

Fortey, R., 2000 – **Vida: Uma Biografia Não-autorizada** – Ed.Record, Rio de Janeiro, Br.

Frizzo, T.C.E., Porto,M.L., 2004 – Zoneamento da vegetação e sua relação com a ocorrência de estruturas mineralizadas na mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS, Brasil – **Iheringia, Ser.Bot.**, Porto Alegre, V.59, n.1, p 5-12, jan./jun.

Garty, J., Weissman, L., Cohen, Y., Karnieli, A., Orlovsky, L., 2001 - Transplanted lichens in and around Mount Carmel National Park and the Haifa Bay industrial region in Israel: Physiological and chemical responses – **Environmental Research**, Vol 85, Iss 2, pp 159-176. Academic Press Inc - San Diego USA.

Gilmour, P.S., Brown, D.M., Lindsay, T.G., 1996 - Adverse health effects of PM10 particles involvement or iron in generation of hydroxyl radical – **Occupational Environment Med.**, Vol 53, n.12, pp 817-822.

Gombert, S., Asta, J., 1998 – The effect of refuse incinerator fumes on the lead and cadmium content of experimentally exposed corticolous lichens – **Water, Air and Soil Pollution: 104** - 29-40. Kluwer Academic Publishers - Netherlands.

González Soto, E., Alonso Rodrigues, E., Lopez Mahia, P., Muniategui Lorenzo, S., Prada Rodrigues, D., 1996 – Determination of Trace Elements in Tree Leaves. – **Annali di Chimica**, 86, p.181 –191.

Grüninger, W., Gruner, E., Schnitzer, I, 1980 – **Flechten und Luftqualität**– Fischbach Druck, , Reutlingen, Germany.

Grüniger, W., Gruner, E., Sippel, A., Würth, R., 2000 – **Flechten und Luftqualität in Reutlingen** – Fischbach Druck, , Reutlingen, Germany.

Häffner, E., Lomsky, B., Hynek, V., Hällgren, J. E., Batic, F., Pfanz, H., 2001 – Air Pollution and Lichen Physiology - Physiological responses of different lichens in a transplant experiment following an SO₂ gradient – **Water, Air and Soil Pollution: 131** - 185-201. Kluwer Academic Publishers - Netherlands.

Harrison, R.M., Jones, M., Collins, G., 1999 – Measurements of the Physical Properties of Particles in the Urban Atmosphere – Pergamon, **Atmospheric Environment** (Elsevier Science), vol. 33, p 309-321.

Heinsohn, R.J., Kabel, R.L., 1999 – **Sources and Control of Air Pollution** – Prentice Hall, Nw. Jersey, USA.

Hughes, M.N., Poole, R.K., 1989 – **Metals and Micro-organisms** – Chapman and Hall , London.

Husk, G.J., Weishampel, J.F., Schlesinger, W.H., 2004 – Mineral dynamics in Spanish moss, *Tillandsia usneoides* L. (Bromeliaceae), from central Florida, USA - Elsevier - **Science of the Total Environment**, 321, pp 165-173.

IBGE, 1990 - **Geografia do Brasil, Vol2. - Região Sul** - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 419 p.

ISO, 1995 – **Air Quality: Particle Size Fraction Definitions for Health-related Sampling** - International Standardization Organization - ISO 7708 – Genebra

IUPAC, 1990 – Glossary of Atmospheric Chemistry Terms – International Union of Pure And Applied Chemistry, Applied Chemistry Division, Commission on Atmospheric Chemistry. **Pure and Applied Chemistry** 62 (11) p 2167-2219.

Jeran, Z., Jacimovic, R., Batic, F., Mavsar, R., 2002 - Lichens as integrating air pollution monitors – **Environmental Pollution**, Vol 120, Iss 1, pp 107-113. Elsevier SCI LTD - Oxon, England.

Kong, F.X., Hu, W., Chao, S.Y., Sang, W.L., Wang, L.S. 1999 - Physiological responses of lichen *Xanthoparmelia mexicana* to oxidative stress of SO₂ – **Environmental and Experimental Botany** 42 - 201-209. Elsevier Science.

Larcher, W., 2000 – **Ecofisiologia Vegetal** – RiMa, São Carlos SP. 531p.

Lima, J.S., 2003 – **Bioindicação, Biomonitoramento: Aspectos Bioquímicos e Morfológicos** – Tec Hoje, www.ietec.com.br/ietec/techoje/techoje/meioambiente

Lodge, Jr. J.P., 1998 - **Methods of Air Sampling and Analysis** – Third Edition – Lewis Publishers, INC.

Loppi, S., Perintos, S.A., Dominicis, V., 1999 - Soil contribution to the elemental composition of epiphytic lichen (Tuscany, Central Italy) – **Environmental Monitoring and Assessment** 58 - 121-131. Kluwer Academic Publishers - Netherlands.

Loppi, S., Corsini, A., 2003 – Diversity of epiphytic lichens and metal contents on *Parmelia caperata* thalli as monitors of air pollution in the town of Pistoia (C Italy) – **Environmental Monitoring and Assessment** 86 - 289-301. Kluwer Academic Publishers - Netherlands.

Lowett, G.M., 1994 – Atmospheric deposition of nutrients and pollutants in North America: ecological perspective. – **Ecol. Appl.** 4: 629-650.i

Makholm, M.M., Bennett, J.P., 1998 – Mercury accumulation in transplanted *Hypogimnia physoides* lichens downwind of Wisconsin chlor-alkali plant – **Water, Air and Soil Pollution**: 102 - 427-436. Kluwer Academic Publishers - Netherlands.

Margalef, R., 1998 – **Ecologia**. – Ediciones Onega, S.A., Barcelona, Espanha. 951 p.

Maynard, R.L., Waller, R., 1996 – Suspended Particulate Matter and Health: New Light on an Old Problem. – **Thorax**, **51**, p 1174-1176.

Menegat, R., Porto, M.L., Carraro, C.C., Fernandes, L.A.D., (coordenadores) 1998 – **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. – Ed.Universidade/UFRGS, Porto Alegre, RS, 228p.

MERCK, 1992 – **Atomic Absorption Spectroscopy , an Introduction**.

METROPLAN, 1999 - **Considerações sobre Conceitos e Delimitação da Região Metropolitana de Porto Alegre** - Governo do Estado do Rio Grande do Sul, Secretaria da Coordenação e do Planejamento - METROPLAN, Porto Alegre, RS, Brasil, 31 p.

METROPLAN, 2001 – **Programa Integrado de Recuperação de Áreas Degradadas - Projeto: Programa Integrado da Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Sapucaia**. – Governo do Estado do Rio Grande do Sul - Secretaria da Coordenação e Planejamento, Porto Alegre, RS, 116p.

Monge-Najera, J., Gonzales, M.I., Rossi, M.R., Mendez, V.H., 2002 - A new method to assess air pollution using lichens as bioindicators – **Revista de Biologia Tropical**, Vol 50, Iss 1, pp321-325. Universidade de Costa Rica - San José, Costa Rica.

Mozeto, A.A., Vélez, E., Raya-Rodrigues, M.T., Garcia, M., Machado, N.A.F., Fonseca, O.J.M., 1995 - Parâmetros ambientais e biológicos da lagoa Emboaba, planície costeira setentrional do Rio Grande do Sul. **Boletim do Instituto de Biociências**, 54 - UFRGS, Porto Alegre,

Nayaka, N., 2003 - Distribution pattern and heavy metal accumulation in lichen of Bangalore city with special reference to Lalbagh garden – **Current Science**, Vol 84, Iss 5, pp674-680.

Nebel, B.J., Wright, R.T., 1998 – **Environmental Science** – 6th Edition – Prentice Hall. New Jersey USA. 698 p.

Nimer, E., 1989 – **Climatologia do Brasil** – 2. Edição – IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 422 p.

Nimis, P.L., Lazzarin, G., Lazzarin, A., Skert, N., 2000 - Biomonitoring of trace elements with lichens in Veneto (NE Italy) – **Science of the Total Environment** Vol 255, Iss 1-3, pp 97-111. Elsevier Science BV, Netherlands.

Niosh Monitoring Methods, 1977 - **Niosh Manual of Analytical Methods** – Department of Health, Education, and Welfare. – National Institute for Occupational Safety and Health. – Cincinnati, Ohio, USA.

Noronha, L.C., 1998 - **Baía de todas as Águas- Preservação e Gerenciamento Ambiental na Bacia Hidrográfica do Guaíba**. - Secretaria Executiva do Pró Guaíba, Porto Alegre, RS, Brasil, 112 p.

Oberdorster, G. *et al*, 1995, Association of Particulate Air-Pollution and Acute Mortality. – **Toxicology**, 7.

Organização Mundial de la Salud, 2000 – **Atenção Primária Ambiental** – 2 ed. OPS/OMS, Brasília, Br

Organização Pan-Americana de Saúde, 1998 – **Programa Marco de Atenção ao Meio Ambiente** – 1 ed. OPAS, Brasília, Br

Osório Neto, E., 1996 – **Espectrofotometria de Absorção Atômica** – Departamento de Química – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.

Paoliello, M.M.B., CHASIN, A.A.M., 2001 – Ecotoxicologia do chumbo e seus compostos – **Cadernos de Referência Ambiental**, 144, Salvador, Brasil – p. 135-144

Paoliello, M.M.B., Gutierrez, P.R., Turini, C.A., Matsuo, T., Mezzaroba, L., Barbosa, D.S., Alvarenga, A.L.P., Carvalho, S.R.Q., Figueiroa, G., Leite, V.G.M., Gutierrez, A.C., Nogueira, K.B. Inamine, W.S., Zavatti, A.M., 1997 – Valores de referência para plumbemia em população urbana – **Revista de Saúde Pública**, vol.31, n.2, Universidade de São Paulo, Brasil – p. 144-148

Patra, M., Sharma, A., 2000 - Mercury toxicity in plants – **Botanical Review**, Vol 66, Iss 3, pp379-422. New York Botanical Garden, USA.

Peters, A., Wichmann, H.E., Tuch, T., Heinrich, J., Heyder, J., 1997 – Respiratory Effects are Associated with the Number of Ultrafine Particles. – **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, 155, p137 -138.

Pompéia, S.L., 1997 – **Sucessão secundária da Mata Atlântica em áreas afetadas pela poluição atmosférica de Cubatão** – SP. –Tese de Doutorado , Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 203p.

Ponka, A., 1998 – Mortality and Air Pollution in Helsinki – **Archives of Environmental Health**, July-August

Porto, M.L., 1981 - **Beitrage zur Schwermetallvegetation von RGS, Brasilien** - Ulm, Universität Ulm, Tese de Doutorado, 76 p.

Porto, M.L., 1983 - **Monografia da Escola Superior de Guerra, tema 45 E** - Gruoi 34, Rio de Janeiro, 1983, 102p.

Porto, M.L., 1986 - Vegetação metalófito e o desenvolvimento do setor mineral - **Revista do Centro de Agropecuária do Trópico Úmido**. p 171-183.

Porto, M.L., 1986 - Tolerância ao cobre em ecótipos de *Schinus Lenticifolius* March (Anacardiaceae) de áreas de mineração no Rio Grande do Sul, Brasil. **Acta Bot. Bras.**, v. 3, n.2, p23-31.

Porto, M.L., Prochnow, T.R., 2000 - Carvão e Meio Ambiente. – **Avaliação de uma área de rejeitos da mineração de carvão com vistas a bioindicadores vegetais para metais pesados**. - Centro de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Ed. Universidade/UFRGS. p. 673-694.

Porto, M.L., Silva, M.F.F. 1989 - Tipos de vegetação metalófito em áreas da Serra dos Carajás e de Minas Gerais, Brasil. - **Acta Bot.Bras.** v.3, n.2, p 13-21.

Prochnow, T.R., 1995 – **Avaliação de áreas com rejeitos da mineração de carvão, com ênfase em bioindicadores vegetais para metais pesados, no município de Charqueadas, RS** – Dissertação de Mestrado - Centro de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 135p.

Prochnow E. , Prochnow T., Liberman B. , Torres E., Ocácia G. Soliman E. , Bianchi A . , Coimbra M., 1999 – Análise de Partículas em Suspensão na Região Metropolitana da Grande Porto Alegre- Técnicas Analíticas para Identificação de Metais em Poeira - **III FOREMA, Forum Regional de Energias e Meio Ambiente**, pg 132, ULBRA, Canoas.

Prochnow T., Liberman B. , Pakter R., Chiamonte E., Carvalho J.C., Moreira D.M., Prochnow E., Coimbra M., 2002 – A method for accurate measurement of chemical elements concentrations present in total suspended particulates and PM10 in the atmosphere - **Ciência & Natura**, Universidade Federal de Santa Maria - Centro de Ciências Naturais e Exatas, Vol. Especial - Dispersion Process - Santa Maria, RS. pp 127-144.

Pyatt, F.B., Grattan, J.P., Lacy, D., Pyatt, A.J., Seaward, R.D. 1999 - Comparative effectiveness of *Tillandsia usneoides* L. and *Parmotrema praesorediosum* (Nyl.) Hale as bio-indicators of atmospheric pollution in Louisiana (U.S.A.) – **Water, Air and Soil Pollution** 111 - 317-326. Kluwer Academic Publishers - Netherlands.

Rantal, P., 2001 - Changes in urban lichen diversity after a fall in sulphur dioxide levels in the city of Tampere, SW Finland – **Annales Botanici Fennici**, Vol 38, Iss 4, pp 295-304. Finnish Zoological Botanical Publishing Board - Helsinki, Finland.

Reitz, R., 1983- **Bromeliáceas e malária-bromélia endêmica** – Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 808p.

Retallack, S., Bunyard, P., 2001- A crise do clima – **The Ecologist**- UK, vol.29, n.2, p 7 – 10

Rocha, P. K., 2002 - **Desenvolvimento de bromélias em ambientes protegidos com diferentes alturas e níveis de sombreamento** – Tese de mestrado - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo - Piracicaba - SP. 89p.

Rocha, J. C., Rosa, A.H., Cardoso, A.A., 2004 - **Introdução à Química Ambiental** – Ed.Bookman - Porto Alegre, RS ,154p.

Roorda-Knape, M.C., Janssen, N.A.H., DeHartog, J.J., Van Vliet, P.H.N., Harssema, H., Brunek Reef, B., 1998 – Air Pollution from Traffic in City Districts near Major Motorways.- Pergamon, **Atmospheric Environment** (Elsevier Science), vol.32, n.11, p. 1921-1930.

Sanches, J.C.D. e Pintaude, D., 1983 – Arsênio, Selênio e Mercúrio em carvões sul-riograndenses – **Carvão, Informação e Pesquisa**, 6 - Porto Alegre, RS, Brasil, 67 - 72.

Santi, A.M.M., 2000 – Monitoramento da Qualidade do Ar no Município de Itabira – MG: Avaliação dos resultados em Anos Recentes (1997/99) e das Perspectivas de Modernização da Rede de Monitoramento no Contexto do Licenciamento Ambiental Corretivo da CVRD - **XXVII Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria Y Ambiental – Las Américas y la Accion por el Medio Ambiente en el Milênio**, Porto Alegre, RS – Brasil – p 300-301.

Santos, S.T.F., Machado Júnior, M., 1999 – **Monitoramento da Qualidade do Ar no Pólo Petroquímico do Sul – Segurança, Saúde e Meio Ambiente – Relatório de Desempenho – COPESUL- Companhia Petroquímica do Sul, Triunfo/RS, Brasil.**

Scutari, N.C., Theinhardt, N.I., 2001 - Identification of urban lichens in the field: A case Study for Buenos Aires City (Argentina) – **Mycotaxon**, Vol. 38, pp 427-445. Mycotaxon LTD - Ithaca, USA.

Shaw, A.J., 1989 - **Heavy metal tolerance in plants: Evolutionary aspects** – CRC Press, Florida, USA, 355 p.

Silva, J.P., 1989 – **As Origens de Canoas** – 4. Ed. – Prefeitura Municipal de Canoas – Canoas, RS –Brasil.

Silva, S.T., 1997 – A Proteção da Qualidade do Ar – **Anais do 2. Congresso Internacional de Direito Ambiental** “5 Anos após a Eco 92/ 5 Years after Rio” – Instituto O Direito por um Planeta Verde, São Paulo, Br. P257-276.

Smith, W. H., 1990 – **Forest nutrient cycling: toxic ions. In: Air Pollution and Forests: interactions between air contaminants and forest ecosystems.** 2nd ed. New York, NY: Springer-Verlang; pp 225-268 (Springer series on environmental management).

Stiling, P., 1999 – **Ecology, Theories and Applications.** 3rd ed. Ed. Prentice Hall, NY, U.S.A. - 638p.

Streck, C.D., Migliavacca, D.M., Ortiz, L. Teixeira, E.C., Rosa, A.R., 1999 – Impacto Ambiental Proveniente das Atividades do Processamento de Carvão na Região de Candiota, RS – **Anais de Terceiro FOREMA, Fórum Regional de Energia e Meio Ambiente**, Canoas, RS, Brasil p. 164 –171.

Steubing, L., Fangmeier, A., 1992 – **Pflanzen - ökologisches Praktikum** – UTB Für Wissenschaft, Stuttgart, Germany, 205p

Tommervik, H., Johansen, M.E., Pedersen, J.P., Guneriussen, T., 1998 - Integration of remote and in-situ data in an analysis of the air pollution effects on terrestrial ecosystems in the border areas between Norway and Russia – **Environmental Monitoring and Assessment** 49 - 51-85. Kluwer Academic Publishers - Netherlands.

Tungel, S.G., Yenison-KaraKas, S., 2003 – Elemental concentration in Lichen in Western Anatolia – **Water, Air and Soil pollution: Focus** 3 - 97-107. Kluwer Academic Publishers - Netherlands.

Ulshofer, J., Rosner, H.J., 2001 - GIS-based analysis of lichen mappings and air pollution in the area of Reutlingen (Baden-Wurttemberg, Germany) –

Meteorologidche Zeitschrift, Vol 10, Iss 4, pp 261-265. Gebruder Borntraeger - Stuttgart, Germany.

Vaitsman, D.S.; Afonso, J.C.; Dutra, P.B., 2001 – **Para que servem os elementos químicos**. – Ed. Interciência – Rio de Janeiro, Brasil - 286p.

Van Loon, J.C., 1985 – **Selected Methods of Trace Metal Analysis**. – John Wiley & Sons – USA

vanLoon, G.W., Duffy, S.J., 2000 – **Environmental Chemistry, a global perspective** – Oxford University Press, Great Britain, 492p

Vandecasteele, C. Block, C.B., 1993 – **Modern Methods for Trace Element Determination**. – Ed. John Wiley & Sons - Great Britain

Vanz, A., 2000 – **Estudo Geoquímico das Precipitações Sólidas Atmosféricas em Rio Grande** – Dissertação de mestrado em Oceanografia Física, Química e Geológica – Fundação Universidade Federal do Rio Grande do Sul - FURG.

Vassiliou, M., Dick, T., 2000 – **Carvão e Meio Ambiente. – Metais Tóxicos Associados ao Particulado Atmosférico da Região Carbonífera do Baixo Jacuí, RS** – Brasil. Centro de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Ed. Universidade/UFRGS. p. 469 – 479.

Vokou, D., Pirintsos, S.A., Loppi, S., 1999 - Lichen as bioindicators of temporal variations in air quality around Thessaloniki, northern Greece – **Ecological Research**, Vol 14, Iss 2, pp 89-96 - Blackwell Science Asia.

Wagner, G., 1985 – Uptake, Accumulation and Effects of Heavy Metals in Plant and Food Webs. – **VI Simpósio de Ecologia, UFRGS/Saarbrücken**, Porto Alegre, RS, Brasil – p 1-12.

Wark, K., Warner, C.F., Davis, W.T., 1998 – **Air Pollution, Its Origin and Control** – 3rd edition, Addison Wesley Longman, Inc., USA

Welz, B., 1985 – **Atomic Absorption Spectrometry**. – Rev.Edition – VCH Verlagsgesellschaft – Weinheim, Germany

World Bank, 1998 – **Brazil, Managing Pollution Problems** – Report n. 16635, February 27.

Wolterbeek, B., 2002 - Biomonitoring of trace element air pollution: principles, possibilities and perspectives – **Environmental Pollution**, Vol 120, Iss 1, pp 11-21. Elsevier SCI LTD - Oxon, England.

Zannetti, P., 1990 - **Air Pollution Modeling, Theories, Computational Methods and Available Software** - Van Nostrand Reinhold, N.Y.

Zubieta, A.C., 1995 – **Estudio de Métodos Analíticos para la Determinación de Metales en Suelos y Vegetación. Influencia del Tráfico Rodado**. – Universidade da Coruña, Faculdade de Ciências, Departamento de Química Analítica.

Zurita, M.L.L., Tolfo, A.M., 2000 – **Qualidade do Ar em Porto Alegre** – Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMAN), Porto Alegre, Brasil