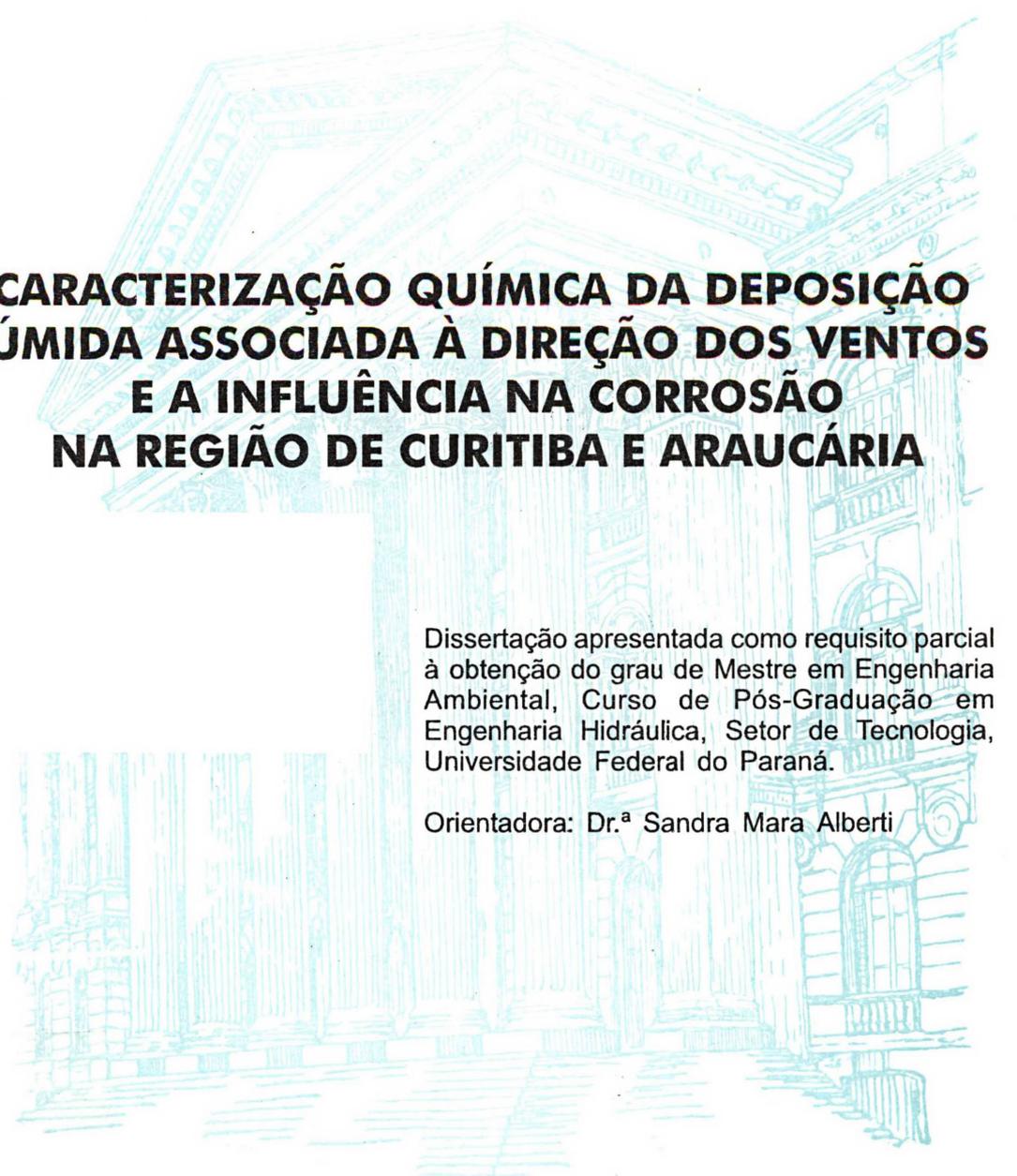


ROSANE MADRUGA RIBEIRO



**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA DEPOSIÇÃO  
ÚMIDA ASSOCIADA À DIREÇÃO DOS VENTOS  
E A INFLUÊNCIA NA CORROSÃO  
NA REGIÃO DE CURITIBA E ARAUCÁRIA**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
à obtenção do grau de Mestre em Engenharia  
Ambiental, Curso de Pós-Graduação em  
Engenharia Hidráulica, Setor de Tecnologia,  
Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Dr.<sup>a</sup> Sandra Mara Alberti

CURITIBA

2001

ROSANE MADRUGA RIBEIRO

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA DEPOSIÇÃO  
ÚMIDA ASSOCIADA À DIREÇÃO DOS VENTOS  
E A INFLUÊNCIA NA CORROSÃO  
NA REGIÃO DE CURITIBA E ARAUCÁRIA**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
à obtenção do grau de Mestre em Engenharia  
Ambiental, Curso de Pós-Graduação em  
Engenharia Hidráulica, Setor de Tecnologia,  
Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Dr.<sup>a</sup> Sandra Mara Alberti

CURITIBA

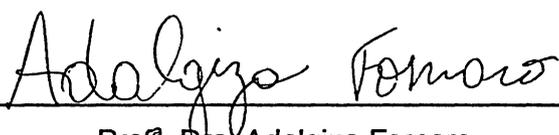
2001

ROSANE MADRUGA RIBEIRO

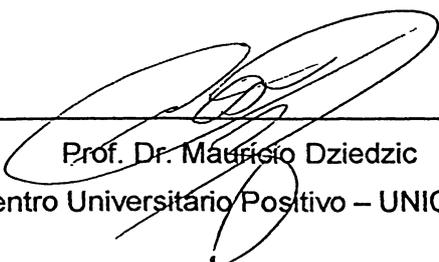
**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA DEPOSIÇÃO ÚMIDA ASSOCIADA A DIREÇÃO DOS VENTOS E A INFLUÊNCIA NA CORROSÃO NA REGIÃO DE CURITIBA E ARAUCÁRIA**

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup>. Dra. Sandra Mara Alberti (orientadora)  
Universidade Federal do Paraná - UFPR

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup>. Dra. Adalgiza Fomaro  
Instituto de Estudos Astronômicos e Geofísicos – IAG - SP

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Paulo Roberto Janissek  
Universidade Federal do Paraná - UFPR

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Maurício Dziedzic  
Centro Universitário Positivo – UNICENP

05 de outubro de 2001

## AGRADECIMENTOS

Sinto que sou protegida por anjos enviados por Deus. Não são muitos, mas, certamente, sei que dou muito trabalho a eles.

Para a realização deste sonho, pude contar com alguns deles, sob várias maneiras. Aqui tenho a oportunidade para listar meus agradecimentos...

A Deus.

À Sandra Mara Alberti, pela orientação.

Ao Irineu Gomes de Amorim Junior, que com seu amor, conforto e compreensão, contribuiu e incentivou-me muito.

Aos meus pais, Suzana e João Carlos, pela base de minha personalidade e princípios.

Aos meus sobrinhos e afilhados, Kaio Vinícius e Marcus Vinícius, pela alegria de criança, à minha irmã Karla e à família Amorim.

Ao Prof. José Eduardo Prates, do SIMEPAR, pela co-orientação.

Ao Quím. Sidney Pacheco, à Eng<sup>a</sup> Máriam T. P. Aguiar e aos funcionários da estação meteorológica do INMET.

Às minhas amigas da “salinha” do mestrado de Engenharia Hidráulica pelo apoio e momentos de descontração.

Agradeço também à cidade de Curitiba  
por ter recebido esta gaúcha.

“isso de querer ser  
exatamente aquilo que a  
gente é ainda vai  
nos levar além”

(Paulo Leminski)

## RESUMO

O problema de poluição atmosférica envolve aspectos químicos (produção e transformação dos poluentes e corrosão dos materiais) e fatores meteorológicos (em relação ao transporte e à remoção). Este projeto foi realizado em duas partes paralelas, abordando primeiro os aspectos químicos e, em seguida, os meteorológicos, relacionados à poluição atmosférica. As observações preliminares foram realizadas em Curitiba, em 1998 e 1999, no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC, localizado no Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná - UFPR. O objetivo central deste trabalho está em realizar um estudo-diagnóstico da qualidade da água de chuva na região de Curitiba e Araucária, relacionando-o com os aspectos teóricos da sua corrosividade nos materiais de estruturas aéreas, bem como o efeito do pH, dióxido de carbono, cloretos, ácido sulfídrico e vento, podendo-se relacionar este último com a intensidade da chuva. O prejuízo acarretado a monumentos históricos é visto claramente, pois a perda de detalhes das estruturas de metais, concretos e polímeros é muito evidente. Para atingir os objetivos propostos, foram realizadas coletas de amostras e determinações analíticas para a caracterização da deposição úmida na cidade de Curitiba - PR, desde fevereiro de 2000 até janeiro de 2001, e Araucária - PR, com eventos em alguns meses de 2000. A amostragem da água de chuva foi realizada através de dois coletores automáticos que estão instalados, um no Centro Politécnico em Curitiba e outro em Araucária. A composição das amostras de chuva foi determinada como função do pH, condutividade, cátions (amônio -  $\text{NH}_4^+$  e potássio -  $\text{K}^+$ ) e ânions (fluoreto -  $\text{F}^-$ , cloreto -  $\text{Cl}^-$ , sulfato -  $\text{SO}_4^{2-}$ , nitrato -  $\text{NO}_3^-$ , formiato -  $\text{HCOO}^-$  e acetato -  $\text{H}_3\text{C}_2\text{OO}^-$ ). As 144 amostras realizadas em Curitiba e as 21 amostras realizadas em Araucária, mostraram que a água da chuva, nessas regiões, encontrou-se em uma faixa de pH que varia de 4,5 até 7,4. Com esse trabalho foi possível retirar algumas informações a respeito das características químicas da precipitação local no período de coleta. Pode-se relacionar a intensidade de chuva e a direção dos ventos (à pressão de 850 hPa e ao nível da superfície) com a concentração de poluentes, e o fluxo de automóveis no local com a concentração de íons acetato e formiato.

## ABSTRACT

The atmospheric pollution issue involves chemical aspects (transformation and production of the pollutants and corrosibility in the aerial structures materials) and meteorological factors (in relation to transport and to the removal of the pollutants). This project was carried out in two parts, considering, first, the chemicals aspects and then the meteorological aspects related to the air pollution. The preliminary observations occurred in Curitiba, Brazil, from 1998 to 1999, at the Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (Institute of Technology for the Development) - LACTEC, located at Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná (Polytechnic Center of Federal University of Paraná) - UFPR. The aim of this research is to analyse the quality of the rain water in the cities of Curitiba and Araucária, relating the results to the theoretical aspects of the corrosibility in the aerial structures materials, as well as the effect of pH, carbon dioxide, chlorides, sulphidric acid and wind, being the last one related to the rain intensity. The damage in historical monuments is clearly observed by the loss of details in the metals structures, concrete and polymers. To accomplish the proposed aims, collection of samples and analytic determinations were carried out in order to determine the characterization the humid deposition in the cities of Curitiba and Araucaria, from February 2000 to January 2001. The samples of the rain water were collected using an automatic collector that is installed at Polytechnic Center and in Araucaria. The parameters analysed to characterize the rain water were pH, conductivity, cations (mainly ammonium -  $\text{NH}_4^+$  and potassium -  $\text{K}^+$ ) and anions (fluorides -  $\text{F}^-$ , chlorides -  $\text{Cl}^-$ , sulfates -  $\text{SO}_4^{2-}$ , nitrates -  $\text{NO}_3^-$ , formiate -  $\text{HCOO}^-$  and acetate -  $\text{H}_3\text{C}_2\text{OO}^-$ ). The observations showed that the rain water, in those areas, presents a pH variation between 4,5 and 7,4. This research made possible to get some information regarding the chemical characterization of the local precipitation in the analysed period. It could relate the rain intensity and the wind route (in pressure of 850 hPa and at the level of the surface) to the concentration of pollutants, and the local automobiles traffic to the concentration of acetate and formiate ions.

## SUMÁRIO

|  |             |
|--|-------------|
| <b>LISTA DE FIGURAS.....</b>   | <b>ix</b>   |
| <b>LISTA DE TABELAS.....</b>   | <b>xi</b>   |
| <b>LISTA DE GRÁFICOS.....</b>  | <b>xiii</b> |
| <b>LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS.....</b>   | <b>xvii</b> |
| <b>RESUMO.....</b>   | <b>i</b>    |
| <b>ABSTRACT.....</b>   | <b>ii</b>   |
| <b>1 INTRODUÇÃO.....</b>   | <b>1</b>    |
| <b>2 JUSTIFICATIVA PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO</b>                              | <b>4</b>    |
| 2.1 ASPECTOS QUÍMICOS.....   | 4           |
| 2.2 ASPECTOS METEOROLÓGICOS.....   | 5           |
| 2.3 ASPECTOS CORROSIVOS.....   | 8           |
| 2.3.1 Mecanismo de Corrosão Atmosférica Aquosa ou Úmida.....                           | 9           |
| 2.3.2 A Influência da Água da Chuva na Corrosão dos Metais.....                        | 10          |
| 2.3.3 Influência da Água da Chuva na Corrosão do Concreto.....                         | 12          |
| 2.3.4 Influência da Água da Chuva na Corrosão nos Polímeros.....                       | 13          |
| <b>3 CONSIDERAÇÕES SOBRE A DEPOSIÇÃO ÁCIDA.....</b>                                    | <b>14</b>   |
| 3.1 HISTÓRICO DA DEPOSIÇÃO ÁCIDA.....  | 14          |
| 3.2 TIPOS DE REAÇÕES QUE OCORRE COM OS GASES SO <sub>2</sub> E NO <sub>x</sub> .....   | 19          |
| 3.2.1 Oxidação de SO <sub>2</sub> e de compostos de nitrogênio (NO <sub>x</sub> )..... | 19          |
| 3.2.2 Reação do SO <sub>2</sub> e do NO <sub>2</sub> com a Água.....                   | 20          |
| 3.2.3 Reação de Fotólise do NO <sub>2</sub> .....                                      | 20          |
| 3.2.4 Reação do SO <sub>2</sub> com Radical Livre.....                                 | 21          |
| 3.2.5 Reação do SO <sub>2</sub> com Ozônio.....  | 21          |
| 3.2.6 Tipos de Reações que Produzem o Acetato e o Formiato.....                        | 21          |
| 3.3 DEPOSIÇÃO DO SO <sub>2</sub> .....   | 22          |
| 3.4 TIPOS DE POLUENTES.....  | 23          |
| 3.5 FONTES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS.....  | 23          |
| 3.5.1 Fonte de SO <sub>2</sub> .....   | 24          |
| 3.5.1.1 Fontes naturais.....   | 24          |
| 3.5.1.2 Fontes artificiais.....  | 25          |
| 3.5.2 Fonte de NO <sub>x</sub> .....   | 25          |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.5.3 Fontes de Poluentes na Região de Curitiba e Araucária.....            | 26        |
| 3.5.3.1 Principais poluentes em Curitiba.....                               | 26        |
| 3.5.3.2 Principais poluentes em Araucária.....                              | 28        |
| 3.5.4 Legislação Brasileira e Fixação de Padrões.....                       | 28        |
| 3.6 EFEITOS DA PRECIPITAÇÃO ÁCIDA.....                                      | 29        |
| 3.6.1 Efeito à Vegetação.....   | 30        |
| 3.6.2 Efeito à Saúde.....   | 31        |
| 3.6.3 Efeito às Estruturas.....   | 31        |
| 3.6.4 Efeito à Água dos rios e ao Solo.....                                 | 32        |
| 3.7 REDUÇÃO DO EFEITO DA CHUVA ÁCIDA.....                                   | 33        |
| 3.7.1 Redução da emissão do SO <sub>2</sub> .....                           | 33        |
| 3.7.2 Redução da emissão de compostos de nitrogênio (NO <sub>x</sub> )..... | 34        |
| 3.8 DEPOSIÇÃO E TRANSPORTE DE POLUENTES.....                                | 34        |
| <b>4 METODOLOGIA.....</b>   | <b>36</b> |
| 4.1 COLETA DE ÁGUA DE CHUVA.....  | 36        |
| 4.1.1 Coletor de Água de Chuva.....   | 37        |
| 4.1.2 Pontos de Coletas.....  | 39        |
| 4.1.3 Período e Intervalo das Amostragens de Chuva.....                     | 41        |
| 4.1.4 Preservação das Amostras.....   | 42        |
| 4.1.5 Parâmetros Analisados.....  | 42        |
| 4.2 METODOLOGIA DE ANÁLISE QUÍMICA.....                                     | 43        |
| 4.2.1 Medidas de Volume.....  | 43        |
| 4.2.2 Medidas de pH.....  | 44        |
| 4.2.3 Medidas de Condutividade.....   | 44        |
| 4.2.4 Determinação de Cátions e Ânions.....                                 | 45        |
| 4.3 METODOLOGIA DE DADOS METEOROLÓGICOS.....                                | 46        |
| 4.3.1 Medidas Pluviométricas.....   | 46        |
| 4.3.2 Modelo RAMS.....  | 47        |
| 4.3.2.1 Configuração do RAMS.....   | 48        |
| 4.3.2.2 Estrutura de Grade do Modelo.....                                   | 48        |
| 4.4 Tratamento dos Dados .....  | 51        |
| 4.4.1 Elaboração do Gráfico do Balanço Iônico.....                          | 51        |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.4.2 Cálculo da Diferença entre as Concentrações de Cátions e Ânions.....     | 52        |
| 4.4.3 Elaboração do Gráfico da Condutividade Equivalente.....                  | 52        |
| <b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES – CURITIBA.....</b>                               | <b>54</b> |
| 5.1 ESTUDOS INTRA-EVENTOS .....  | 54        |
| 5.1.1 Intra-eventos fevereiro/2000.....  | 54        |
| 5.1.1.1 Evento dia 15 de fevereiro/2000.....                                   | 55        |
| 5.1.1.2 Evento dia 16 de fevereiro/2000.....                                   | 59        |
| 5.1.2 Intra-Eventos Junho/2000.....  | 62        |
| 5.1.2.1 Evento dia 20 de junho/2000.....                                       | 62        |
| 5.1.3 Intra-eventos agosto/2000.....   | 65        |
| 5.1.3.1 Evento dia 03 de agosto/2000.....                                      | 65        |
| 5.1.4 Intra-eventos setembro/2000.....   | 65        |
| 5.1.4.1 Evento dia 12 de setembro/2000.....                                    | 66        |
| 5.1.4.2 Evento dia 13 de setembro/2000.....                                    | 70        |
| 5.1.4.3 Evento dia 15 de setembro/2000.....                                    | 70        |
| 5.1.5 Intra-eventos outubro/2000.....  | 74        |
| 5.1.5.1 Evento dia 10 de outubro/2000.....                                     | 74        |
| 5.1.6 Intra-eventos novembro/2000.....   | 78        |
| 5.1.6.1 Evento dia 21 de novembro/2000.....                                    | 78        |
| 5.1.6.2 Evento dia 30 de novembro/2000.....                                    | 78        |
| 5.1.7 Intra-eventos janeiro/2001.....  | 82        |
| 5.1.7.2 Evento dia 12 de janeiro/2001.....                                     | 82        |
| 5.2 ESTUDOS INTER-EVENTOS.....   | 87        |
| 5.2.1 Estudo Inter-eventos do dia 4 para 14 de fevereiro/2000.....             | 87        |
| 5.2.2 Estudo Inter-eventos do dia 16 para 22 de fevereiro.....                 | 87        |
| 5.2.3 Estudo Inter-eventos do dia 1 <sup>o</sup> para 15 de março.....         | 88        |
| 5.2.4 Estudo Inter-eventos do dia 28 de março para 3 de abril.....             | 88        |
| 5.2.5 Estudo Inter-eventos do dia 3 para 17 de abril.....                      | 89        |
| 5.2.6 Estudo Inter-eventos do dia 18 de abril para 1 <sup>o</sup> de maio..... | 89        |
| 5.2.7 Estudo Inter-eventos do dia 3 e 12 de maio.....                          | 90        |
| 5.2.8 Estudo Inter-eventos do dia 16 e 26 de maio.....                         | 90        |
| 5.2.9 Estudo Inter-eventos do dia de 26 de maio e 18 de junho.....             | 91        |

|  |     |
|--|-----|
| 5.2.10 Estudo Inter-eventos do dia 21 e 26 de junho.....               | 91  |
| 5.2.11 Estudo Inter-eventos do dia 30 de junho e 2 de julho.....       | 92  |
| 5.2.12 Estudo Inter-eventos do dia 15 e 22 de julho.....               | 92  |
| 5.2.13 Estudo Inter-eventos do dia 10 e 15 de agosto.....              | 93  |
| 5.2.14 Estudo Inter-eventos do dia 17 e 26 de agosto.....              | 93  |
| 5.2.15 Estudo Inter-eventos do dia 2 e 10 de setembro.....             | 93  |
| 5.2.16 Estudo Inter-eventos do dia 19 e 22 de setembro.....            | 94  |
| 5.2.17 Estudo Inter-eventos do dia 22 e 24 de setembro.....            | 94  |
| 5.2.18 Estudo Inter-eventos do dia 24 de setembro e 1º de outubro..... | 95  |
| 5.2.19 Estudo Inter-eventos do dia 1º de outubro e 4 de outubro.....   | 95  |
| 5.2.20 Estudo Inter-eventos do dia 4 e 10 de outubro.....              | 96  |
| 5.2.21 Estudo Inter-eventos do dia 13 e 18 de outubro.....             | 96  |
| 5.2.22 Estudo Inter-eventos do dia 27 de outubro e 10 de novembro..... | 97  |
| 5.2.23 Estudo Inter-eventos do dia 17 e 20 de novembro.....            | 97  |
| 5.2.24 Estudo Inter-eventos do dia 30 de novembro e 4 de dezembro..... | 98  |
| 5.2.25 Estudo Inter-eventos do dia 4 e 13 de dezembro.....             | 98  |
| 5.2.26 Estudo Inter-eventos do dia 15 e 21 de dezembro.....            | 99  |
| 5.2.27 Estudo Inter-eventos dos dias 23 e 28 de dezembro.....          | 100 |
| 5.2.28 Estudo Inter-eventos dos dias 16 e 22 de janeiro.....           | 100 |
| 5.2.29 Estudo Inter-eventos dos dias 22 e 30 de janeiro.....           | 101 |
| 5.3 ESTUDOS MENSAIS.....   | 102 |
| 5.3.1 Fevereiro/2000.....  | 102 |
| 5.3.2 Março/2000.....  | 103 |
| 5.3.3 Abril/2000.....  | 103 |
| 5.3.4 Maio/2000.....   | 104 |
| 5.3.5 Junho/2000.....  | 105 |
| 5.3.6 Julho/2000.....  | 106 |
| 5.3.7 Agosto/2000.....   | 106 |
| 5.3.8 Setembro/2000.....   | 107 |
| 5.3.9 Outubro/2000.....  | 108 |
| 5.3.10 Novembro/2000.....  | 109 |
| 5.3.11 Dezembro/2000.....  | 109 |

|  |            |
|--|------------|
| 5.3.12 Janeiro/2001.....   | 110        |
| 5.3.13 Discussão Geral entre os Meses do Período de Estudo.....  | 111        |
| 5.4 ESTUDOS SAZONAIS.....  | 114        |
| 5.5 ESTUDOS DOS ÍONS ACETATO E FORMIATO.....   | 117        |
| <b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES - ARAUCÁRIA.....</b>  | <b>118</b> |
| 6.1 ESTUDOS INTER-EVENTOS DE ARAUCÁRIA.....  | 119        |
| 6.1.1 Evento dia 2 de maio/2000.....   | 119        |
| 6.1.2 Evento dia 3 de maio/2000.....   | 120        |
| 6.1.3 Evento dia 4 de maio/2000.....   | 120        |
| 6.1.4 Evento dia 17 de maio/2000.....  | 121        |
| 6.1.5 Evento dia 26 de maio/2000.....  | 121        |
| 6.1.6 Evento dia 28 de junho/2000.....   | 121        |
| 6.1.7 Evento dia 5 de setembro/2000.....   | 122        |
| 6.1.8 Evento dia 20 de setembro/2000.....  | 122        |
| 6.1.9 Evento dia 19 de outubro/2000.....   | 122        |
| 6.1.10 Evento dia 4 de dezembro/2000.....  | 123        |
| 6.1.11 Evento dia 10 de janeiro/2000.....  | 123        |
| 6.1.12 Evento dia 30 de janeiro/2000.....  | 123        |
| <b>7 FATORES METEOROLÓGICOS.....</b>   | <b>124</b> |
| <b>8 ASSOCIAÇÃO ENTRE O CAMPO DE VENTO DE SUPERFÍCIE E DE<br/>ALTITUDE E A CONCENTRAÇÃO DE ELEMENTOS QUÍMICOS EM<br/>CURITIBA.....</b> | <b>134</b> |
| 8.1 DADOS.....   | 134        |
| 8.2 EVENTOS ANALISADOS EM CURITIBA.....  | 134        |
| 8.2.1 Análise Comparativa dos Ventos de Superfície e de Altitude do dia 23 de<br>Março/2000, às 16h e às 22h.....                      | 135        |
| 8.2.2 Análise Comparativa dos Ventos de Superfície e de Altitude do dia 28 de<br>Março/2000 à 01h.....                                 | 137        |
| 8.2.3 Análise Comparativa dos Ventos de Superfície e de Altitude do dia 03 de<br>Abril/2000 às 21h.....                                | 139        |
| 8.2.4 Análise Comparativa dos Ventos de Superfície e de Altitude do dia 26 de<br>Maio/2000 às 7h.....                                  | 141        |

|  |            |
|--|------------|
| 8.2.5 Análise Comparativa dos Ventos de Superfície e de Altitude do evento do dia 20 de Junho/2000 das 12h05 às 18h.....   | 143        |
| 8.2.6 Análise Comparativa dos Ventos de Superfície e de Altitude do dia 10 de Julho/2000 às 4h e às 9h.....  | 145        |
| <b>9 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS.....</b>  | <b>149</b> |
| <b>11 PERSPECTIVAS DE TRABALHOS FUTUROS.....</b>   | <b>152</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>  | <b>153</b> |
| <b>ANEXO 1 - TABELAS DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E METEOROLÓGICAS DOS EVENTOS OCORRIDOS EM CURITIBA E EM ARAUCÁRIA.....</b>  | <b>160</b> |
| <b>ANEXO 2 - LAUDO FORNECIDO PELO LACTEC.....</b>  | <b>180</b> |
| <b>ANEXO 3 - FOTO QUE DEMONSTRAM A CORROSÃO EM ESTRUTURAS AÉREAS EM CURITIBA.....</b>  | <b>181</b> |
| <b>ANEXO 4 - FOTO DOS EQUIPAMENTOS DE DETERMINAÇÃO DE SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> E MATERIAL PARTICULADO NO INTERIOR DA ESTAÇÃO DE QUALIDADE DO AR – LACTEC.....</b> | <b>183</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|  |     |
|--|-----|
| FIGURA 1 - ESQUEMA DA CORROSÃO POR "PITES" .....   | 9   |
| FIGURA 2 - CICLO HIDROLÓGICO: PROCESSOS DE CONDENSAÇÃO E<br>EVAPORAÇÃO DA ÁGUA.....                                    | 15  |
| FIGURA 3 - ESQUEMA DAS REAÇÕES DO SO <sub>2</sub> NA GOTA DA CHUVA.....  | 17  |
| FIGURA 4 - ESQUEMA DO COLETOR AUTOMÁTICO.....  | 38  |
| FIGURA 5 – FOTO DO COLETOR UTILIZADO.....  | 38  |
| FIGURA 6 - MAPA DE CURITIBA QUE INDICA O LOCAL DO COLETOR.....   | 39  |
| FIGURA 7- MAPA DE ARAUCÁRIA QUE INDICA O LOCAL DO COLETOR.....   | 40  |
| FIGURA 8 - FOTO DE UMA ESTAÇÃO DE QUALIDADE DO AR.....   | 40  |
| FIGURA 9 - EXEMPLO DA ÁREA DO DOMÍNIO DO MODELO COM O<br>CAMPO DE VENTO E A GRADE UTILIZADA.....                       | 50  |
| FIGURA 10 - VENTO DE SUPERFÍCIE FORNECIDO PELO SIMEPAR DO<br>DIA 23 DE MARÇO/2000 ÀS 16h.....                          | 135 |
| FIGURA 11 - VENTO DE ALTITUDE A 850 hPa EXTRAÍDO DO RAMS DO<br>DIA 23 DE MARÇO/2000 ÀS 16h - HORÁRIO LOCAL.....        | 136 |
| FIGURA 12 - PREVISÃO DA CHUVA E DO VENTO DE SUPERFÍCIE<br>FORNECIDO PELO MODELO RAMS - 23 DE<br>MARÇO/2000 ÀS 13h..... | 137 |
| FIGURA 13 - VENTO DE SUPERFÍCIE FORNECIDO PELO SIMEPAR DO<br>DIA 28 DE MARÇO/2000 À 01h.....                           | 138 |
| FIGURA 14 - VENTO DE ALTITUDE A 850 hPa EXTRAÍDO DO RAMS DO<br>DIA 28 DE MARÇO/2000 À 01h.....                         | 138 |
| FIGURA 15 - PREVISÃO DA CHUVA E DO VENTO DE SUPERFÍCIE<br>FORNECIDO PELO MODELO RAMS - 03 DE<br>ABRIL/2000 ÀS 19h..... | 139 |
| FIGURA 16 - VENTO DE SUPERFÍCIE FORNECIDO PELO SIMEPAR DO<br>DIA 03 DE ABRIL/2000 ÀS 21h.....                          | 140 |
| FIGURA 17 - VENTO DE ALTITUDE A 850 hPa EXTRAÍDO DO RAMS DO<br>DIA 03 ABRIL/2000 ÀS 21h.....                           | 141 |
| FIGURA 18 - VENTO DE SUPERFÍCIE FORNECIDO PELO SIMEPAR DO DIA<br>26 DE MAIO/2000 ÀS 7h 7h.....                         | 142 |

|  |     |
|--|-----|
| FIGURA 19 - VENTO DE ALTITUDE A 850 hPa EXTRAÍDO DO RAMS - 26<br>DE MAIO/2000 ÀS 7h.....                               | 142 |
| FIGURA 20 - VENTO DE SUPERFÍCIE FORNECIDO PELO SIMEPAR DO<br>DIA 20 DE JUNHO/2000 ÀS 15h.....                          | 143 |
| FIGURA 21 - VENTO DE ALTITUDE A 850 hPa EXTRAÍDO DO RAMS DO<br>DIA 20 DE JUNHO/2000 ÀS 16h.....                        | 144 |
| FIGURA 22 - PREVISÃO DA CHUVA E DO VENTO DE SUPERFÍCIE<br>FORNECIDO PELO MODELO RAMS - 20 DE<br>JUNHO/2000 ÀS 11h..... | 145 |
| FIGURA 23 - VENTO DE SUPERFÍCIE FORNECIDO PELO SIMEPAR DO<br>DIA 10 DE JULHO/2000 ÀS 04h.....                          | 146 |
| FIGURA 24 - VENTO DE SUPERFÍCIE FORNECIDO PELO SIMEPAR DO<br>DIA 10 DE JULHO/2000 ÀS 09h.....                          | 146 |
| FIGURA 25 - VENTO DE ALTITUDE A 850 hPa EXTRAÍDO DO RAMS DO<br>DIA 10 DE JULHO/2000 ÀS 04h.....                        | 147 |
| FIGURA 26 - VENTO DE ALTITUDE A 850 hPa EXTRAÍDO DO RAMS DO<br>DIA 10 JULHO/2000 ÀS 09h.....                           | 147 |

**LISTA DE TABELAS**

|  |     |
|--|-----|
| TABELA 1 - PADRÕES NACIONAIS DE QUALIDADE DO AR, RESOLUÇÃO<br>CONAMA 03/90.....  | 29  |
| TABELA 2 – EVENTOS COLETADOS EM CURITIBA NO PERÍODO DE<br>FEVEREIRO /2000 A JANEIRO/2001.....  | 41  |
| TABELA 3 - VARIÁVEIS EXTRAÍDAS DO MODELO.....  | 49  |
| TABELA 4 - CONDUTÂNCIA EQUIVALENTE.....  | 53  |
| TABELA 5 - EVENTOS COLETADOS EM ARAUCÁRIA NO ANO DE 2000<br>E 2001.....  | 118 |
| TABELA 5 - RESULTADOS DAS MÉDIAS E DAS FREQUÊNCIAS DAS<br>CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DAS CHUVAS EM<br>RELAÇÃO À DIREÇÃO DO VENTO EM CURITIBA..... | 124 |

**LISTA DE TABELAS DOS DADOS DE CURITIBA – ANEXO 1**

|  |     |
|--|-----|
| TABELA A1 – CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE CHUVA DO MÊS DE<br>FEVEREIRO/2000.....                  | 161 |
| TABELA A2 – CONCENTRAÇÃO DOS CÁTIOS E ÂNIOS PRESENTES NA ÁGUA<br>DA CHUVA EM FEVEREIRO/2000..... | 162 |
| TABELA A3– CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE CHUVA DO MÊS DE<br>MARÇO/2000.....                       | 163 |
| TABELA A4 – CONCENTRAÇÃO DOS CÁTIOS E ÂNIOS PRESENTES NA<br>ÁGUA DA CHUVA EM MARÇO/2000.....     | 163 |
| TABELA A5 – CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE CHUVA DO MÊS DE<br>ABRIL/2000.....                      | 164 |
| TABELA A6 – CONCENTRAÇÃO DOS CÁTIOS E ÂNIOS PRESENTES<br>NA ÁGUA DA CHUVA EM ABRIL/2000.....     | 164 |
| TABELA A7 – CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE CHUVA DO MÊS DE<br>MAIO/2000.....                       | 165 |
| TABELA A8 – CONCENTRAÇÃO DOS CÁTIOS E ÂNIOS PRESENTES<br>NA ÁGUA DA CHUVA EM MAIO/2000.....      | 165 |
| TABELA A9 – CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE CHUVA DO MÊS DE<br>JUNHO/2000.....                      | 166 |
| TABELA A10 – CONCENTRAÇÃO DOS CÁTIOS E ÂNIOS PRESENTES<br>NA ÁGUA DA CHUVA EM JUNHO/2000.....    | 166 |
| TABELA A11 – CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE CHUVA DO MÊS DE<br>JULHO/2000.....                     | 167 |
| TABELA A12 – CONCENTRAÇÃO DOS CÁTIOS E ÂNIOS PRESENTES<br>NA ÁGUA DA CHUVA EM JULHO/2000.....    | 167 |
| TABELA A13 – CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE CHUVA DO MÊS DE<br>AGOSTO/2000.....                    | 168 |

|  |     |
|--|-----|
| TABELA A14 – CONCENTRAÇÃO DOS CÁTIOS E ÂNIOS PRESENTES<br>NA ÁGUA DA CHUVA EM AGOSTO/2000.....   | 168 |
| TABELA A15 – CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE CHUVA DO MÊS DE<br>SETEMBRO/2000.....                  | 169 |
| TABELA A16 – CONCENTRAÇÃO DOS CÁTIOS E ÂNIOS PRESENTES<br>NA ÁGUA DA CHUVA EM SETEMBRO/2000..... | 170 |
| TABELA A17 – CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE CHUVA DO MÊS DE<br>OUTUBRO/2000.....                   | 171 |
| TABELA A18 – CONCENTRAÇÃO DOS CÁTIOS E ÂNIOS PRESENTES<br>NA ÁGUA DA CHUVA EM OUTUBRO/2000.....  | 172 |
| TABELA A19 – CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE CHUVA DO MÊS DE<br>NOVEMBRO/2000.....                  | 173 |
| TABELA A20 – CONCENTRAÇÃO DOS CÁTIOS E ÂNIOS PRESENTES<br>NA ÁGUA DA CHUVA EM NOVEMBRO/2000..... | 174 |
| TABELA A21 – CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE CHUVA DO MÊS DE<br>DEZEMBRO/2000.....                  | 175 |
| TABELA A22 – CONCENTRAÇÃO DOS CÁTIOS E ÂNIOS PRESENTES<br>NA ÁGUA DA CHUVA EM DEZEMBRO/2000..... | 175 |
| TABELA A23 – CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE CHUVA DO MÊS DE<br>JANEIRO/2000.....                   | 176 |
| TABELA A24 – CONCENTRAÇÃO DOS CÁTIOS E ÂNIOS PRESENTES<br>NA ÁGUA DA CHUVA EM JANEIRO/2000.....  | 176 |
| TABELA B1 – CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE CHUVA DE<br>ARAUCÁRIA - 2000.....                       | 178 |
| TABELA B2 – CONCENTRAÇÃO DOS CÁTIOS E ÂNIOS PRESENTES<br>NA ÁGUA DA CHUVA DE ARAUCÁRIA/2000..... | 179 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|  |    |
|--|----|
| GRÁFICO 1 – BALANÇO IÔNICO - 15 DE FEVEREIRO/2000.....   | 55 |
| GRÁFICO 2 – RELAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE MEDIDA E SOMA DOS<br>ÍONS - 15 DE FEVEREIRO/2000.....          | 56 |
| GRÁFICO 3 – RELAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE E INTENSIDADE DA<br>CHUVA - 15 DE FEVEREIRO/2000.....          | 56 |
| GRÁFICO 4 – RELAÇÃO ENTRE pH E CONDUTIVIDADE - 15 DE<br>FEVEREIRO/2000.....                            | 58 |
| GRÁFICO 5 – CONDUTIVIDADE EQUIVALENTE - 15 DE FEVEREIRO/2000.....                                      | 58 |
| GRÁFICO 6 – BALANÇO IÔNICO - 16 DE FEVEREIRO/2000.....   | 59 |
| GRÁFICO 7 – RELAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE E A SOMA DOS ÍONS -<br>16 FEVEREIRO/2000.....                  | 59 |
| GRÁFICO 8 - RELAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE E INTENSIDADE DA<br>CHUVA - 16 DE FEVEREIRO/2000.....          | 60 |
| GRÁFICO 9 – RELAÇÃO GRÁFICA ENTRE O pH E A CONDUTIVIDADE - 16<br>DE FEVEREIRO.....                     | 61 |
| GRÁFICO 10 – CONDUTIVIDADE EQUIVALENTE - 16 DE<br>FEVEREIRO.....                                       | 61 |
| GRÁFICO 11- BALANÇO IÔNICO - 20 DE JUNHO.....  | 62 |
| GRÁFICO 12 - RELAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE E SOMA TOTAL DOS<br>IONS - 20 DE JUNHO.....                   | 63 |
| GRÁFICO 13 – RELAÇÃO ENTRE A CONDUTIVIDADE E INTENSIDADE DA<br>CHUVA - 20 DE JUNHO.....                | 63 |
| GRÁFICO 14 – RELAÇÃO ENTRE pH E CONDUTIVIDADE - 20 DE<br>JUNHO.....                                    | 64 |
| GRÁFICO 15 – CONDUTIVIDADE EQUIVALENTE - 20 DE JUNHO.....  | 64 |
| GRÁFICO 16 – BALANÇO IÔNICO - 12 DE SETEMBRO.....  | 66 |
| GRÁFICO 17 – CONDUTIVIDADE E SOMA TOTAL DAS CONCENTRAÇÕES DOS<br>ÍONS ANALISADOS - 12 DE SETEMBRO..... | 67 |
| GRÁFICO 18 – CONDUTIVIDADE E INTENSIDADE DA CHUVA - 12 DE<br>SETEMBRO.....                             | 68 |
| GRÁFICO 19 – VARIAÇÃO ENTRE pH E A CONDUTIVIDADE - 12 DE<br>SETEMBRO.....                              | 69 |
| GRÁFICO 20 –CONDUTIVIDADE EQUIVALENTE - 12 DE SETEMBRO.....  | 69 |

|  |     |
|--|-----|
| GRÁFICO 21 - BALANÇO IÔNICO - 15 DE SETEMBRO.....  | 71  |
| GRÁFICO 22 - RELAÇÃO ENTRE A CONDUTIVIDADE MEDIDA E A SOMA DAS<br>CONCENTRAÇÕES DOS ÍONS ANALISADOS - 15 DE<br>SETEMBRO..... | 71  |
| GRÁFICO 23 - CONDUTIVIDADE E A INTENSIDADE DA CHUVA.....   | 72  |
| GRÁFICO 24 – RELAÇÃO ENTRE pH E A CONDUTIVIDADE - 15 DE<br>SETEMBRO.....   | 73  |
| GRÁFICO 25 – CONDUTIVIDADE EQUIVALENTE 15 DE SETEMBRO.....   | 73  |
| GRÁFICO 26 – BALANÇO IÔNICO - 10 DE OUTUBRO.....   | 74  |
| GRÁFICO 27 - MOSTRA A VARIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE COM A SOMA DE<br>TODOS OS ÍONS ANALISADOS - 10 DE OUTUBRO.....               | 75  |
| GRÁFICO 28 - CONDUTIVIDADE EQUIVALENTE - 10 DE OUTUBRO.....  | 75  |
| GRÁFICO 29 - VARIAÇÃO DO pH COM A CONDUTIVIDADE - 10 DE<br>OUTUBRO.....  | 77  |
| GRÁFICO 30 - VARIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE COM A INTENSIDADE DA<br>CHUVA - 10 DE OUTUBRO.....                                    | 77  |
| GRÁFICO 31 – VARIAÇÃO ENTRE A CONDUTIVIDADE E A INTENSIDADE - 30<br>DE NOVEMBRO.....   | 79  |
| GRÁFICO 32 - MOSTRA A VARIAÇÃO ENTRE O pH E A - 30 DE NOVEMBRO.....  | 79  |
| GRÁFICO 33 - MOSTRA A VARIAÇÃO ENTRE A CONDUTIVIDADE E A SOMA DA<br>CONCENTRAÇÃO DOS ÍONS - 30 DE NOVEMBRO.....              | 80  |
| GRÁFICO 34 - BALANÇO IÔNICO - 30 DE NOVEMBRO.....  | 81  |
| GRÁFICO 35 - CONDUTIVIDADE EQUIVALENTE.....  | 82  |
| GRÁFICO 36 – BALANÇO IÔNICO - 12 DE JANEIRO.....   | 84  |
| GRÁFICO 37 – VARIAÇÃO ENTRE A CONDUTIVIDADE E A SOMA DOS ÍONS<br>ANALISADOS - 12 DE JANEIRO.....                             | 84  |
| GRÁFICO 38 – VARIAÇÃO DO pH COM A CONDUTIVIDADE - 12 DE<br>JANEIRO.....  | 85  |
| GRÁFICO 39 – VARIAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE E A INTENSIDADE DA<br>CHUVA - 12 DE JANEIRO.....                                   | 85  |
| GRÁFICO 40 - CONDUTIVIDADE EQUIVALENTE - 12 DE JANEIRO/2000.....   | 86  |
| GRÁFICO 41 – BALANÇO IÔNICO FEVEREIRO/2000.....  | 102 |
| GRÁFICO 42 – BALANÇO IÔNICO MARÇO/2000.....  | 103 |
| GRÁFICO 43 – BALANÇO IÔNICO ABRIL/2000.....  | 104 |
| GRÁFICO 44 – BALANÇO IÔNICO MAIO/2000.....   | 105 |

|   |     |
|---|-----|
| GRÁFICO 45 – BALANÇO IÔNICO JUNHO/2000.....   | 105 |
| GRÁFICO 46 – BALANÇO IÔNICO JULHO/2000.....   | 106 |
| GRÁFICO 47 – BALANÇO IÔNICO AGOSTO/2000.....  | 107 |
| GRÁFICO 48 – BALANÇO IÔNICO SETEMBRO/2000.....                                      | 108 |
| GRÁFICO 49 – BALANÇO IÔNICO OUTUBRO/2000.....                                       | 108 |
| GRÁFICO 50 – BALANÇO IÔNICO NOVEMBRO/2000.....                                      | 109 |
| GRÁFICO 51 – BALANÇO IÔNICO DEZEMBRO/2000.....                                      | 110 |
| GRÁFICO 52 – BALANÇO IÔNICO JANEIRO/2000.....                                       | 111 |
| GRÁFICO 53 – HISTOGRAMA ANUAL DO pH DA ÁGUA DA CHUVA DAS<br>AMOSTRAS COLETADAS..... | 111 |
| GRÁFICO 54 – VARIAÇÃO ANUAL DO pH COM A INTENSIDADE DA CHUVA.....                   | 112 |
| GRÁFICO 55 – VARIAÇÃO ANUAL DA INTENSIDADE COM A INTENSIDADE.....                   | 112 |
| GRÁFICO 56 – VARIAÇÃO ANUAL DO pH DA CHUVA.....                                     | 113 |
| GRÁFICO 57 – BALANÇO IÔNICO ANUAL.....  | 113 |
| GRÁFICO 58 - VARIAÇÃO SAZONAL DO pH E DA CONDUTIVIDADE.....                         | 115 |
| GRÁFICO 59 – VARIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE COM A INTENSIDADE.....                       | 116 |
| GRÁFICO 60– HISTOGRAMA DE pH COM O VENTO A NOROESTE .....                           | 125 |
| GRÁFICO 61 - HISTOGRAMA DE CONDUTIVIDADE COM O VENTO A<br>NOROESTE.....             | 125 |
| GRÁFICO 62 – HISTOGRAMA DE INTENSIDADE DA CHUVA COM O VENTO A<br>NOROESTE.....      | 126 |
| GRÁFICO 63 – HISTOGRAMA DE pH COM O VENTO A OESTE.....                              | 126 |
| GRÁFICO 64 – HISTOGRAMA DA INTENSIDADE DA CHUVA COM O VENTO A<br>OESTE.....         | 127 |
| GRÁFICO 65 – HISTOGRAMA DA CONDUTIVIDADE COM O VENTO A<br>OESTE.....                | 127 |
| GRÁFICO 66 – HISTOGRAMA DO pH COM O VENTO A SUDOESTE.....                           | 128 |
| GRÁFICO 67 – HISTOGRAMA DA CONDUTIVIDADE COM O VENTO A<br>SUDOESTE.....             | 128 |
| GRÁFICO 68 – HISTOGRAMA DA INTENSIDADE DA CHUVA COM O VENTO A<br>SUDOESTE.....      | 129 |
| GRÁFICO 69 – HISTOGRAMA DA CONDUTIVIDADE COM O VENTO A<br>NORDESTE.....             | 129 |
| GRÁFICO 70 – HISTOGRAMA DA INTENSIDADE COM O VENTO A<br>NORDESTE.....               | 130 |

|  |     |
|--|-----|
| GRÁFICO 71 – HISTOGRAMA DO pH COM O VENTO A NORDESTE.....                      | 130 |
| GRÁFICO 72 – HISTOGRAMA DA INTENSIDADE DA CHUVA COM O<br>VENTO A SUDOESTE..... | 131 |
| GRÁFICO 73 – HISTOGRAMA DA CONDUTIVIDADE COM O VENTO A<br>NORDESTE.....        | 131 |
| GRÁFICO 74 – HISTOGRAMA DA INTENSIDADE COM O VENTO A<br>NORDESTE.....          | 132 |
| GRÁFICO 75 – HISTOGRAMA DO pH COM O VENTO A NORDESTE.....                      | 132 |
| GRÁFICO 76 – HISTOGRAMA DE pH COM O VENTO A SUL.....                           | 133 |
| GRÁFICO 77 – HISTOGRAMA DE pH COM O VENTO A NORTE.....                         | 133 |

**LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS**

$H_2O_2$  – molécula de peróxido de hidrogênio

$CO_2$  – molécula de dióxido de carbono

$H_2CO_3$  - molécula de ácido carbônico

$SO_2$  – molécula de dióxido de enxofre

$NO_2$  - molécula de dióxido de nitrogênio

$H_2O$  – molécula de água

→ seta que indica o caminho da reação

CO – monóxido de carbono

$O_2$  – molécula de oxigênio

hPa – hecta Pascal, unidade de pressão

UFPR – Universidade Federal do Paraná

LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento

mL - mililitros

mm/h – milímetros por hora

T - temperatura

$^{\circ}C$  – graus Celsius, unidade de temperatura

pH – potencial hidrogeniônico

mol/L – mol por litro, unidade de concentração

COND. – condutividade

$\mu S/cm$  – micro Simens por centímetro, unidade de condutividade

$AC^-$  - íon acetato

$FOR^-$  - íon formiato

$H^+$  - íon hidrogênio

$Na^+$  - íon sódio

$NH_4^+$  - íon amônio

$K^+$  - íon potássio

$Mg^{+2}$  - íon magnésio

$Ca^{+2}$  – íon cálcio

$F^-$  - íon flúor

$Cl^-$  - íon cloro

$NO_3^-$  - íon nitrato

$SO_4^{-2}$  – íon sulfato

<0,005 - nível de detecção cromatográfica, em ppm, para cada íon

<50 - nível de detecção cromatográfica, em ppb, para cada íon

< l.d. – maior que o limite de detecção da técnica utilizada

## 1 INTRODUÇÃO

Pode-se definir poluição como qualquer alteração nas características do meio que cause prejuízos (PAWLOWSKY, 1996). A poluição é gerada pelo uso dos recursos pelo homem (antropogênica), como também é proveniente de emissões naturais, o que caracteriza as fontes naturais e artificiais dos gases que contribuem para a chuva ácida.

A chuva já foi considerada composta por água limpa e neutra, pois se pensava que era formada, de uma maneira bem simplificada, pelo mesmo princípio da destilação (evaporação e condensação).

O estudo da chuva ácida teve início em 1661-1662, quando *Evelyn* e *Graunt*, dois pesquisadores ingleses, notaram a influência das emissões industriais nas plantas e na saúde humana. Identificaram também a existência do transporte de poluentes entre a Inglaterra e a França. Uma revisão histórica mostra que a deposição ácida não é um fenômeno recente (COWLING, 1982).

Dentre os vários processos de remoção de poluentes atmosféricos, a deposição úmida, ou chuva, pode também remover poluentes presentes no ar. A remoção de poluentes da atmosfera por meio da deposição úmida é significativa não só para espécies solúveis em água como também por arraste para material particulado.

Na estação de Monitoramento da Qualidade do Ar, mantida e operada pelo Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC, localizada no Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba – PR, foram amostrados e analisados 27 eventos de precipitação, em agosto de 1998 e no período de julho e setembro de 1999.

Nos eventos preliminares amostrados é importante destacar as observações no ano de 1998, o dia 05 de agosto a água de chuva apresentou um valor de pH de 4,6, chegando a 3,8 no dia 12 de agosto; uma condutividade mínima de 17,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (05/08/1998) e máxima de 69,2  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (12/08/1998). Para os eventos de agosto de 1998, quando a direção do vento foi sudeste/noroeste e a intensidade de chuva foi de 1,53 mm/h, foram obtidas as concentrações dos seguintes cátions:  $\text{K}^+$  (potássio) = 1 ppm e  $\text{SO}_4^{2-}$  (sulfato) = 2,0 ppm. Os valores de concentrações máximas para o mês de agosto de 1998 foram detectados com vento sudeste/nordeste, com

intensidade de 0,02 mm/h, uma concentração de  $K^+$  3,9 ppm e  $Cl^-$  6,4 ppm (PEREIRA, 1998). Para os eventos de 1999, tem-se pH mínimo de 4,5 para o dia 14 de setembro e máximo de 5,8 para dia 27 de julho. A condutividade máxima detectada foi de 160,30  $\mu S/cm$  correspondente ao dia 06 de setembro, valor este supostamente em função da grande estiagem do período de 27 (vinte e sete) dias sem chuva, ocasionando maior concentração dos poluentes como  $K^+$  25,0 ppm e  $Cl^-$  22,0 ppm, transportados pelo vento de direção sudeste (RIBEIRO, 1999).

Vale ressaltar que a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB (SP) adota o valor de pH 5,65 como fronteira de ácido/base para água de chuva. Assim, para valores inferiores a este, a chuva é considerada ácida.

Estas observações preliminares indicam a necessidade de se monitorar o aspecto da qualidade da água de chuva nesta região (dados inexistentes) onde se encontra a estação de monitoramento da qualidade do ar. Também é importante que se tenha conhecimento da origem dos elementos poluentes para que se possa adotar medidas de controle e acompanhamento.

O Estado do Paraná, do ponto de vista industrial, tem progredido muito. Registros revelam que o Estado do Paraná possui 5300 indústrias no ano de 2001 e uma circulação de 2.351.408 veículos cadastrados. Para a cidade de Curitiba, há um cadastro de 250 entre indústrias/comércio/serviços e um total de 700.332 veículos cadastrados, relacionado a um total de 1.586.848 habitantes. Já para a cidade de Araucária há 47 indústrias cadastradas, 20.510 veículos cadastrados para um número de 94.137 habitantes (IBGE, 2001; FIEP, 2001; AECIAR, 2001; DETRAN/PR – jul, 2001). Estes dados podem, de forma aproximada, expressar uma noção do progresso e do nível da qualidade do ar de Curitiba e Araucária.

No Brasil, país com um vasto território e uma grande população, concentrada, principalmente em áreas urbanas, os estudos relativos à qualidade do ar ainda são escassos. Cabe lembrar dos trabalhos de emergência que foram feitos na cidade de Cubatão - São Paulo, na década de 1980, por ser considerada uma das regiões mais poluídas. A política governamental, de um modo geral, tem estimulado a preservação ambiental por meio da criação e manutenção de parques florestais de interesse urbanístico, social e de utilização pública e uma legislação reguladora da atividade industrial e comercial. Entretanto, poucas são as informações sobre índices de qualidade e nível de poluição, especialmente atmosféricas, na maioria das

idades brasileiras. Embora sejam escassos os estudos com objetivo de caracterizar a composição química da água de chuva, alguns trabalhos já indicam sintomas do problema de chuva ácida nas regiões mais industrializadas. Um dos primeiros estudos de caracterização química de águas de chuva foi realizado através de coleta manual, com 108 amostras no Instituto de Física da Universidade de São Paulo – USP (FORNARO, 1991).

Com base nos descritos anteriores, o objetivo principal deste trabalho é realizar um diagnóstico da qualidade da água de chuva na região de Curitiba (capital do Estado do Paraná) e Araucária (município próximo à capital e centro industrial do Paraná). Serão também identificadas a região das principais fontes emissoras dos principais elementos poluentes que eventualmente forem encontrados dissolvidos na água da chuva.

O presente trabalho também pretende abordar alguns aspectos teóricos que relacionam a composição da água de chuva e sua corrosividade aos materiais de estruturas aéreas.

Faz parte do objetivo deste estudo, caracterizar quimicamente a deposição úmida associada ao transporte de poluentes através da análise da direção de ventos de superfície e de altitude. Para a análise do campo de vento de altitude é utilizado o modelo Regional Atmospheric Modeling System – RAMS. Para isso, foi preciso realizar:

- a) Análise das características químicas da água da chuva;
- b) Correlacionar aspectos teóricos da água da chuva com a corrosividade de materiais;
- c) Informações sobre direção dos ventos de superfície e de altitude durante os eventos, relacionando às características químicas da água da chuva. Tais dados observados serão comparados com os resultados de previsão climática, emitidos pelo modelo computacional RAMS.

## 2 JUSTIFICATIVA PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Tendo em vista que o problema de poluição atmosférica envolve aspectos químicos - no que concerne a transformação e produção dos poluentes - e fatores meteorológicos - em relação ao transporte e à remoção, este estudo será apresentado em duas partes, abordando separadamente os aspectos químicos e meteorológicos relacionados ao problema atmosférico, já que foram realizadas observações preliminares que indicaram a presença de espécies ácidas na chuva na região em estudo, Curitiba e Araucária, ambas no estado do Paraná.

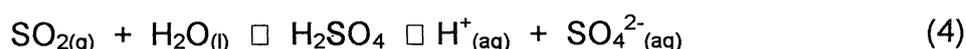
### 2.1 ASPECTOS QUÍMICOS

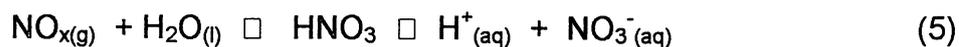
Um valor de pH de 5,6 é considerado "fronteira natural" na caracterização de águas de chuva como ácida (CHARLSON, 1982; LIKENS, 1976; SEINFELD, 1986). Isso representa a acidez da água pura em equilíbrio com concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub> ao nível de 330 ppm v/v. A equação de equilíbrio, que é o processo natural de redução do pH da chuva pelo H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> formado, está representada nas equações (1) e (2), a seguir:



Isso mostra que a chuva pura não possui pH 7,0.

O processo de precipitação ácida se dá devido a presença de ácidos mais fortes que o H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, como é o caso dos ácidos sulfúrico e nítrico, justificando que a água não é absolutamente pura, devido ao equilíbrio dos gases na atmosfera. Como demonstram as equações (3), (4) e (5):





Estas espécies são removidas da atmosfera por dois mecanismos, a deposição seca e a úmida.

Dentre algumas fontes de poluentes atmosféricos pode-se destacar a emissão de gases industriais como dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ), material particulado, monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), hidrocarbonetos, aldeídos, óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ), ozônio ( $\text{O}_3$ ), ácidos orgânicos, traços de metais, amônia, cloretos e sulfatos. Com isso, a caracterização química da deposição úmida se faz importante para o diagnóstico do meio ambiente associada aos aspectos meteorológicos.

Para isso, é necessária a coleta da água da chuva e a análise das espécies nela dissolvidas como cátions e ânions, e outros parâmetros físico-químicos como pH, condutividade, horário e intensidade da precipitação, bem como o tempo de duração do evento.

## 2.2 ASPECTOS METEOROLÓGICOS

Em muitos casos de contaminação atmosférica, as condições meteorológicas podem ser determinantes para a poluição do ar.

Entre essas condições destacam-se:

- a presença de alta umidade relativa permite a formação de gotículas no ar, favorecendo a formação de substâncias ácidas. Por exemplo, a presença de óxidos de enxofre provoca a formação de ácido sulfúrico;
- repentinas elevações de pressão, que são causadas por súbitos aumentos de temperatura, podem provocar um desprendimento de gases dissolvidos nas águas. Isso por que a solubilidade é diretamente proporcional à pressão atmosférica e à temperatura ambiente;
- a velocidade, a direção e os períodos de calma dos ventos, contribuem na diminuição das concentrações dos gases poluentes devido a dispersão dos mesmos.

O Instituto Nacional de Meteorologia - INMET - do Estado do Paraná, em Curitiba, mantém uma estação meteorológica no Centro Politécnico da Universidade

Federal do Paraná e fornece dados às 9h, 15h e 21h, medidos em anemômetros e pluviógrafos, entre outros equipamentos.

No planejamento da ação de controle da poluição do ar e no planejamento ambiental, em geral, é importante considerar-se o escoamento atmosférico nos baixos níveis. Os poluentes oriundos da atividade industrial são transportados principalmente pelo vento próximo à superfície (10 m), podendo atingir distâncias da ordem de centenas de quilômetros chegando, especialmente na região equatorial onde as correntes ascendentes são mais intensas, e atingir a escala global. Partículas sólidas de origem no continente Africano foram detectadas na Amazônia e em vários países na Europa (NORDO J., et al., 1974).

Normalmente, o ar junto à superfície do solo está em constante movimento vertical, devido ao processo de convecção. O aquecimento do solo, causado pelas radiações solares, provoca tal movimento. A camada de ar mais próxima ao solo possui um ar mais denso. A diferença de densidade entre as camadas de ar faz com que o ar menos denso se movimente para cima, provocando correntes ascendente. Por consequência, o ar mais frio, que se situa nas camadas superiores do ar estabelece uma circulação vertical, que dispersa e dilui rapidamente as fumaças e os gases emitidos, por exemplo, por indústrias e veículos. Ao descer, a massa de ar quente evapora as gotículas de água presentes no ar, formando as nuvens, assim, a massa de ar que subiu condensa o vapor de água, formando a chuva.

Na escala local, o principal parâmetro trata, segundo Slade (1968), da condição de estabilidade local da atmosfera no interior da Camada Limite Planetária, determinada pelo perfil vertical de temperatura do ar, e que governa os processos de dispersão de poluentes.

Já na escala regional, os campos de vento na superfície e em 850 hPa são importantes, pois representam, além da influência das características da superfície, as condições meteorológicas em escala sinótica, respectivamente.

A estabilidade atmosférica é diretamente proporcional à temperatura, que é a capacidade da massa de ar se mover verticalmente. Quando a temperatura e a pressão são baixas, a densidade do ar é modificada e ocorre o movimento vertical. Isto revela uma instabilidade atmosférica e, conseqüentemente, chove.

Outro fator que contribui para a situação meteorológica é o movimento horizontal dos ventos de acordo com as marés. A brisa da noite ou marítima, leva o

poluente para o mar, retornando no próximo dia com a brisa da terra, havendo dispersão suficiente para o oceano à noite.

Já para escala regional em elevadas altitudes não se dispõe de equipamentos para a determinação do campo de ventos. Uma solução para este tipo de problema está no uso de modelos físico-matemáticos de previsão da dispersão de poluentes, em escala local, ou de transporte horizontal quando se trata de escala regional, com é o caso do modelo de alto desempenho Regional Atmospheric Modeling System (RAMS).

O modelo de mesoescala Regional Atmospheric Modeling Systems (RAMS) esteve em operação no SIMEPAR no período em estudo. Este trata do módulo para previsão numérica do tempo. Com isso, são feitos para o diagnóstico e prognóstico do transporte e concentração de poluentes em escala regional a uma altitude com 850 hPa, que permitem o uso de processamento paralelo na solução de sistemas de equações diferenciais que governam os processos atmosféricos.

O Regional Atmospheric Modeling System (RAMS), encontra-se em uma classe de modelos atmosféricos chamados de Modelos de Áreas Limitada (MAL). São desenvolvidos para fins de pesquisa de fenômenos meteorológicos de micro e mesoescala e de previsão de tempo em escala regional e local. O fato de permitir o uso de grades com alta definição faz com que o RAMS seja um modelo bastante complexo pois trata detalhadamente os processos de interação solo-atmosfera além de outros processos físicos tais como a interação solar com a atmosfera e microfísica de nuvens (formação de gelo, crescimento de gotas de água líquida, etc).

Utilizou-se neste trabalho a versão 3.b do RAMS desenvolvida na Colorado State University a partir do acoplamento de modelos utilizados para estudos que variam desde a escala de nuvens (TRIPOLI e COTTON, 1982) até meso-(escala), circulações locais (PIELKE, 1984) e dois modelos hidrostáticos (TREMBACK et al., 1987, e MAHRER e PIELKE, 1977). Uma detalhada descrição dos principais aspectos físicos e numéricos assim como as opções disponíveis no RAMS pode ser encontrada em Pielke et al. (1984) e Walko, Tremback e Hertenstein (1995).

O sistema de equações primitivas hidrostáticas e não hidrostáticas é escrito em coordenadas  $\sigma_z$  (acompanham o terreno) e inclui as três componentes da equação do movimento, da termodinâmica (conservação da energia), conservação da massa e da continuidade totalmente compressível, linearizadas em relação ao

estado básico por meio da média de Reynolds. Inclui também equações da conservação da substância água em diferentes fases. A radiação interage com nuvens, parametrização de cumulus e microfísica de nuvens são incluídas assim como várias opções de parametrização de turbulência na escala subgrade. As trocas de massa e energia entre a biosfera e atmosfera são parametrizadas no modelo de solo e vegetação. As equações são resolvidas pelo método de diferenças finitas na forma conservativa (PRATES, 1999) utilizando vários esquemas de diferenciação de forma a maximizar a eficiência numérica do código.

Devido aos movimentos vertical e horizontal dos ventos na atmosfera, pode haver diferença da intensidade dos ventos conforme a altitude, à altura de 1000 hPa e 850 hPa, pelo fato do ar ser rarefeito a grandes altitudes.

A altitudes como 1000 m (850hPa), como extraído no modelo RAMS, é um elemento a mais para indicar a origem da massa de ar da precipitação e eventualmente explica a presença de determinados constituintes químicos que não são explicados pelo vento de superfície.

## 2.3 ASPECTOS CORROSIVOS

A concentração de espécies o  $\text{SO}_2$  e de compostos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), podem exercer uma influência importante influência nas estruturas aéreas através da deposição úmida. Pode-se perceber o efeito da corrosão em um monumento na região central da cidade de Curitiba na figura do anexo 3 .

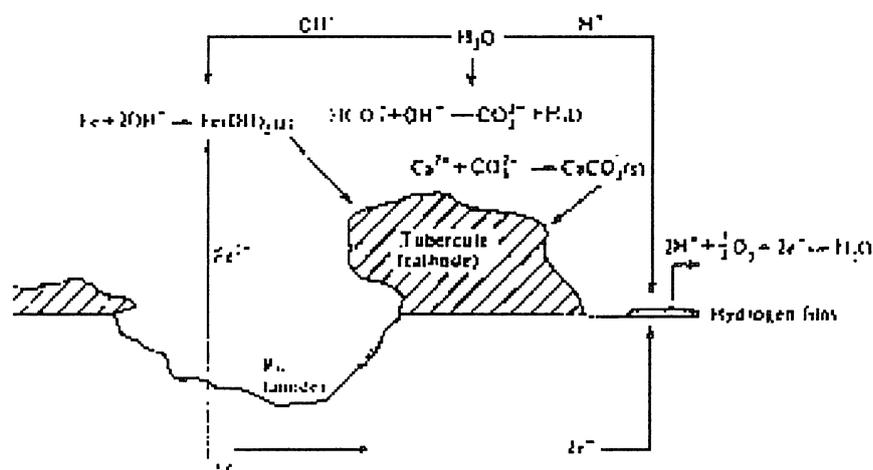
A magnitude do problema da corrosão é tal que justifica as relações empíricas e teóricas, entre velocidade de corrosão e da vida de um recobrimento protetivo com fatores atmosféricos. Estes fatores são meteorológicos e de contaminação do ar e condições de exposição, como de livre acesso do meio corrosivo à superfície exposta na atmosfera (possibilidade de tornar úmido – umidade relativa - o metal por precipitações aquosas – gotas de chuva).

### 2.3.1 Mecanismo de Corrosão Atmosférica Aquosa ou Úmida

O processo de corrosão atmosférica aquosa ou úmida é de natureza eletroquímica. Na eletroquímica da corrosão sob filmes úmidos finos, o processo catódico é quase sempre associado com a redução do oxigênio.

A corrosão, de uma maneira geral, corresponde ao processo de corrosão por alteração do potencial de oxidação e redução e por “pites”. Pites, ou Ponto, é uma corrosão localizada que continua produzindo cavidades a partir da superfície, e é um caso extremo onde áreas muito pequenas da superfície metálica são atacadas enquanto a parte principal da superfície permanece não afetada. Há uma competição entre a adsorção de íons cloreto e de oxigênio em solução, onde o metal de magnésio, alumínio, titânio e aço inoxidável são submersos. A formação de “pites” é o potencial no qual há um equilíbrio entre o  $\text{Cl}^-$  do metal e o óxido do metal (LALGUDI, 1995). Estes se desenvolvem tomando formas variadas como cônicas e hemisféricas, com uma velocidade de formação.

FIGURA 1 –ESQUEMA DA CORROSÃO POR “PITES”



FONTE: VAZ, 2000.

### 2.3.2 A Influência da Água da Chuva na Corrosão dos Metais

O dióxido de enxofre na atmosfera é adsorvido seletivamente sobre vários metais. Aços com ferrugem, por exemplo, adsorvem quantidades consideráveis deste gás, que sob condições de umidade forma o ácido sulfúrico. Metais como cobre, chumbo e níquel são atacados por  $H_2SO_4$ , formando sulfatos. Alguns dos sulfatos, como  $PbSO_4$ , sendo insolúveis em água, proporcionam proteção ao substrato, enquanto outros sulfatos, como os de níquel e cobre, são deliqüescentes (se liquefazem sob a ação da umidade do ar) e protegem os metais até certo período. Nos casos do ferro e aço, diferentemente dos metais não-ferrosos onde  $SO_2$  é consumido, o sulfato ferroso é hidrolisado para formar óxidos, e o  $H_2SO_4$  é regenerado. O  $SO_2$  é o catalisador para a corrosão de metais ferrosos. Um íon  $SO_4^{2-}$  catalisa a dissolução de mais de cem átomos de ferro, antes de ser lixiviado ou formar um sulfato básico (RAMANATHAN, 1995).

As partículas salinas são também importantes, podem ser, por exemplo, partículas de sulfato de amônio, oriundos de regiões industriais e, podem ser partículas de cloreto de sódio provenientes da água do mar.

Metais beneficiados têm a tendência a voltar para sua forma natural, termodinamicamente mais estável, resultando numa oxidação do metal no meio ambiente. Desta forma, o metal é perdido da estrutura e geralmente passa para o meio na forma solubilizada, podendo se redepositar. A remoção do metal de estruturas é denominada corrosão.

Moss (1964) listou um número de parâmetros químicos que podem ser usados para indicar o potencial de corrosão. Estes são: pH, oxigênio dissolvido,  $H_2S$ , sólidos totais dissolvidos, dióxido de carbono, cloretos e temperatura. Inúmeros outros fatores podem ser adicionados incluindo, velocidade do fluido, atividade bacteriológica e a presença de metais pesados (VAZ, 2000). Para o caso da caracterização química da deposição úmida, os fatores que devem ser levados em consideração são os seguintes:

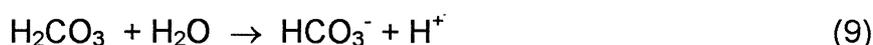
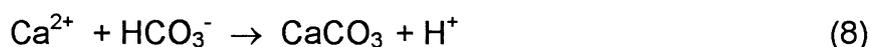
Efeito do pH: O pH observado na água da chuva, por exemplo, não indica o pH da água da chuva em contato com a superfície do metal. Os ataques alcalinos, devido à presença de uma camada saturada de hidróxidos permitem que o pH da solução fique entre 6 e 10, a intensificando a corrosão que depende do quão rápida

é a difusão do oxigênio para a superfície do metal, e isto, provavelmente é mais uma função da velocidade do fluido, saturação do oxigênio e temperatura da solução, do que do pH.

Em águas ácidas, com pH menor que 4, a corrosão é acelerada a medida que o aumento da concentração de íons hidrogênio, favorecendo a evolução do hidrogênio e a despolarização do oxigênio (VAZ, 2000).

Por exemplo, o H<sub>2</sub>S, conforme o aumento da sua concentração no ambiente, o potencial de corrosão também aumenta. O ácido sulfídrico pode produzir um filme destrutivo de sulfeto metálico de baixa resistência. Há também uma tendência do hidrogênio, resultante da corrosão, em penetrar e enfraquecer o aço de estruturas metálicas (VAZ, 2000).

Outro efeito é o do Dióxido de Carbono, este é um gás que provoca a corrosão ácida, pois sua presença acentua a acidez da água. Onde o CO<sub>2</sub> é liberado da água, com a produção de íon H<sup>+</sup>, diminuindo o pH da solução. Estas reações são identificadas pelos números (6), (7), (8) e (9):



Efeito dos Cloretos: O efeito do íon cloreto, principalmente combinado com outros ânions passivos, é mais eficaz à corrosão em concentrações maiores que 300 mg/L. Sua ação é de quebrar o filme protetor das ligas de Cu e Al (VAZ, 2000), formando complexos.

Efeito da Velocidade dos Fluidos: Pode-se relacionar com a intensidade da chuva. A corrosão aumenta com a velocidade do fluido (chuva) uma vez que os produtos da corrosão são removidos e o eletrólito é continuamente alimentado. Variações na velocidade dos fluidos podem produzir concentrações diferenciais de íons no fluido, produzindo uma diferença de potencial. Esse processo é denominado de concentração da célula.

A corrosão pode ser acentuada pela cavitação de sólidos em suspensão, que são removidos da atmosfera pela água de chuva e agem como abrasivo. Gases dissolvidos, incluindo gases inertes têm efeito similar. A passivação pode ocorrer em altas velocidades do fluido devido ao excesso de oxigênio dissolvido (VAZ, 2000).

### 2.3.3 Influência da Água da Chuva na Corrosão do Concreto

O concreto não é tão resistente nem tão tenaz quanto o aço, porém é utilizado na engenharia por possuir excelente durabilidade e resistência à água. Ao contrário da madeira e do aço comum, a capacidade do concreto de resistir à ação da água, sem grande deterioração, faz dele um material ideal para estruturas destinadas à controlar, estocar e transportar água. De fato, uma das primeiras aplicações conhecidas do concreto consistiu em arquedutos e muros de contenção de água, construídos pelos romanos. O uso de concreto em barragens, canais, canalizações para conduzir água e tanques para estocagem é, na atualidade, visto em quase todo o mundo.

O concreto é um material composto que consiste essencialmente de um meio contínuo e aglomerante, dentro do qual estão mergulhados partículas ou fragmentos de agregados. No concreto de cimento hidráulico, o meio aglomerante é formado por uma mistura de cimento hidráulico e água. O constituinte químico do cimento é o hidróxido de cálcio -  $\text{Ca(OH)}_2$ .

Sendo pequenas, as moléculas de água são capazes de penetrar em cavidades ou poros extremamente finos e a propriedade de dissolver a maioria das substâncias, responde à presença de muitos íons e gases em algumas águas, tornando-se capazes de causar decomposição de materiais sólidos (MEHTA, 1994).

A qualidade do concreto, especificamente a de baixa permeabilidade, é a melhor proteção contra o ataque por  $\text{SO}_4^{2-}$ .

De acordo com normas desenvolvidas pelo *U.S. Bureau of Reclamation*, a exposição ao  $\text{SO}_4^{2-}$ , através da chuva, é classificada como negligenciável. Quando o conteúdo de  $\text{SO}_4^{2-}$  está abaixo de 0,1% no solo, ou abaixo de 150 ppm (mg/L) na água, não deve haver restrições quanto ao tipo de cimento e relação água/cimento.

### 2.3.4 Influência da Água da Chuva na Corrosão nos Polímeros

Os polímeros ou plásticos são moléculas de hidrocarbonetos, grandes, podendo possuir 18 ou mais carbonos em sua cadeia carbônica. É formado pela junção de várias moléculas, chamadas de monômeros.

Estes possuem uma importante característica por terem baixa densidade, flexibilidade e ser em isolantes. Materiais que contém somente elementos não-metálicos compartilham elétrons e produzem moléculas extensas.

Dentre as propriedades químicas mais importantes dos materiais poliméricos, diretamente relacionadas às suas aplicações, estão a resistência à oxidação à ácidos e bases (VAN VLACK, 1984).

A resistência à oxidação é uma propriedade bastante procurada nos polímeros. Esta é mais encontrada nas macromoléculas saturadas (isto é, contendo apenas ligações simples entre átomos de carbono), como a das poliolefinas (polietileno, polipropeno, poliisobuteno). Nos polímeros insaturados (isto é, que apresentam dupla ligação entre átomos de carbono), particularmente nas borrachas, a oxidação pode ocorrer através dessas insaturações, por meio do rompimento as cadeias, diminuindo seu tamanho e, conseqüentemente, a resistência mecânica do material. A presença de átomos de carbono terciário na cadeia, saturada ou insaturada, diminui a resistência à oxidação.

O contato com ácidos em geral, em meio aquoso, pode causar a parcial destruição das moléculas poliméricas, se houver nelas grupamentos sensíveis à reação com ácidos. Por exemplo, as resinas melamínicas e os produtos celulósicos sofrem alteração em meio ácido, mesmo quando estes encontram-se diluídos. As soluções alcalinas (básicas), usualmente aquosas, em maior ou menor concentração, são bastante agressivas a polímeros cuja estrutura apresente grupamentos como carboxila, hidroxila fenólica e éster. Assim, as resinas fenólicas e epoxílicas, bem como os poliésteres insaturados, são facilmente atacados por produtos alcalinos.

Não há relatos na literatura a respeito da concentração ácida ou básica que um determinado polímero pode resistir.

### 3 CONSIDERAÇÕES SOBRE A DEPOSIÇÃO ÁCIDA

#### 3.1 HISTÓRICO DA DEPOSIÇÃO ÁCIDA

O termo “chuva ácida” foi utilizado pela primeira vez por *Robert Angus Smith* em 1872, na cidade de Manchester. O autor constatou que a química da precipitação era influenciada pela combustão do carvão, decomposição da matéria orgânica, direção dos ventos, proximidade do mar, quantidade e frequência de chuva. Observou-se ainda, que as chuvas ácidas causavam prejuízo às plantas e a materiais, sendo ele o primeiro pesquisador a associar a eventual presença de ácido sulfúrico às precipitações ácidas (COWLING, 1982). Em 1881, os primeiros traços de chuva ácida são detectados na Noruega e, em 1921, descobre-se que lagos na região Sul deste país não tem peixes. Uma pesquisa revela uma ligação direta entre a morte deles e o nível de acidez dos lagos (BAINES, 1992).

Segundo Nevers (2000), desde o século XX, mais aproximadamente em 1945, em Los Angeles, existem ações de controle de poluição do ar. São estudados, principalmente, os fatores de emissões de poluentes das chaminés e as plumas de fumaça. De 1945 a 1969, houve conflitos entre estados “vizinhos”, pois percebeu-se que a poluição não era apenas local, sendo que em 1967, o governo federal dos Estados Unidos, começa a coordenar os esforços contra a poluição atmosférica. Assim, de 1969 a 1970, os EUA divulgam a ação denominada “Política Nacional do Meio Ambiente” em relação a poluição do ar, fazendo leis como a *Clear Air Act de 1970* para serem aplicadas às indústrias americanas. Em 1980, um novo tema entra na área da poluição: a poluição global do ar. Os poluentes de interesse neste caso devem ter tempo de vida curto na atmosfera, ou emitidos em quantidades pequenas para que não causem problemas, já que à longas distâncias do lugar emitido, o poluente é transportado através dos ventos provocando a chuva ácida, destruição na camada de ozônio, etc, longe da fonte de emissão.

O Relatório de K. Patrick Conner do *San Francisco Chronicle*, 1984 diz que: “amostras coletadas pelo *Air Resources Board* mostraram que o valor médio do pH da chuva no norte da Califórnia variava de, 4,4 em San José a 5,2 em Davis. No *Sequoia National Park* e na região dos Mammoth Lakes, o valor médio de pH da chuva durante 1980 e 1981 foi de 4,9, e por uma semana teve a média de 3,5. Estas

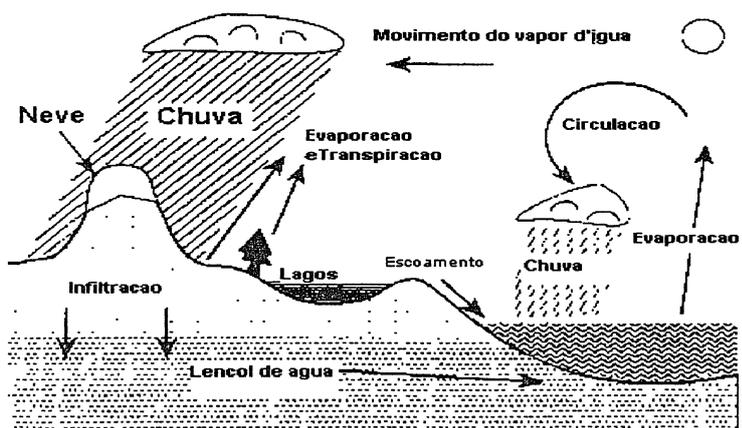
leituras tornaram-se modestas em comparação com os níveis perturbadores de acidez encontrados na neblina. Em dezembro de 1982, a neblina que cobria Orange Country atingiu a menor leitura de todos os tempos: 1,7 em Corona del Mar. De acordo com Dr. Michael Hoffman do California Institute of Technology, em Pasadena, a neblina próxima a áreas urbanas normalmente tem registros entre 2,5 e 3,5 na escala pH e está carregada com poluentes tais como sulfato, nitrato, amônio, chumbo, cobre, níquel, vanádio e aldeídos” (MEHTA, 1994).

A remoção de poluentes atmosféricos efetuada pela chuva, bem como seu impacto nos ecossistemas, (GONÇALVES, 1997), tem sido motivo de estudo por diferentes áreas científicas, tais como física, química, meteorologia.

Nas últimas décadas, tem-se observado um aumento de acidez da água da chuva em várias partes do planeta. Esta acidez está associada, predominantemente, à presença de ácidos fortes como o sulfúrico e o nítrico, ácidos orgânicos como acético e fórmico, originários da oxidação de compostos de enxofre, nitrogênio e carbono (hidrocarbonetos) provenientes da queima de combustíveis fósseis (COWLING, 1982; LIKENS, 1976; MOHNEN, 1988; SCHWARTZ, 1989; SEINFELD, 1986).

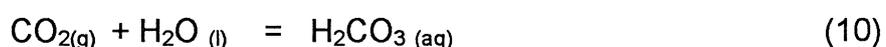
A chuva já foi considerada como sendo composta por água pura e neutra, pois pensava-se que era formada, de uma maneira bem simplificada, pelo mesmo princípio da destilação relacionando-se aos processos de mudança de estado físico como a evaporação e a condensação (PEREIRA, 1998). A destilação é uma técnica de purificação onde há separação de impurezas do líquido de interesse, através do controle dos pontos de ebulição. Na figura 2, apresenta-se o Ciclo Hidrológico:

FIGURA 2 – CICLO HIDROLÓGICO: PROCESSOS DE CONDENSAÇÃO E EVAPORAÇÃO DA ÁGUA.



Cowling, em 1982, numa revisão histórica, mostrou a evolução dos problemas causados pela chuva ácida, desde as primeiras constatações do aumento da acidez das águas de chuva, rios e lagos, até danos causados às populações aquáticas (peixes, algas, etc), solos, florestas, plantas cultivadas, materiais (mármore, metais, etc) e à saúde humana. Discutiu os vários programas de monitoramento dos processos físicos e químicos da deposição ácida e seus efeitos, os quais tinham o objetivo de desenvolver técnicas de controle (COWLING, 1982).

Normalmente, a água da chuva considerada não poluída tem pH em torno de 5,6; por consequência do equilíbrio com o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) presente no ar em concentrações a partir de 330 ppm. Este é o processo que reduz originalmente o pH da chuva, como descrevem as reações (10) e (11) abaixo (SEINFELD, 1986):



A observação de águas de chuva com valores de pH < 5,6 são explicadas devido a presença de ácidos mais fortes que o carbônico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), como o sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e o nítrico (HNO<sub>3</sub>).

A chuva limpa não possui pH 7,0, porque não é absolutamente água pura devido ao equilíbrio natural dos gases na atmosfera. A precipitação ácida ocorre geralmente em pH menor que 5,0. O pH entre 4 e 4,5 não é comum, sendo que existem exemplos isolados de pH < 2,0 (ALLOWAY, 1993).

Durante as etapas do ciclo hidrológico, na evaporação e na precipitação, ocorre a lavagem da atmosfera. Desta forma, a água incorpora a maioria das substâncias presentes na atmosfera. Assim, a composição da chuva pode variar de um lugar para outro pela ação de vários fatores, por exemplo, do tipo de ecossistema local, alguns fatores meteorológicos (como clima e regime de ventos), e tipo de indústrias presentes. Porém as espécies iônicas majoritárias para a avaliação da composição de água de chuva são amônio - NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, potássio - K<sup>+</sup>, sódio Na<sup>+</sup>, cálcio Ca<sup>2+</sup>, magnésio Mg<sup>2+</sup>, fluoreto - F<sup>-</sup>, cloreto - Cl<sup>-</sup>, sulfato - SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, nitrato - NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, formiato - HCOO<sup>-</sup>, acetato - H<sub>3</sub>C<sub>2</sub>OO<sup>-</sup> e íons hidrogênio - H<sup>+</sup>. Os íons acetato e formiato são provenientes da dissociação dos ácidos orgânicos acético e fórmico,

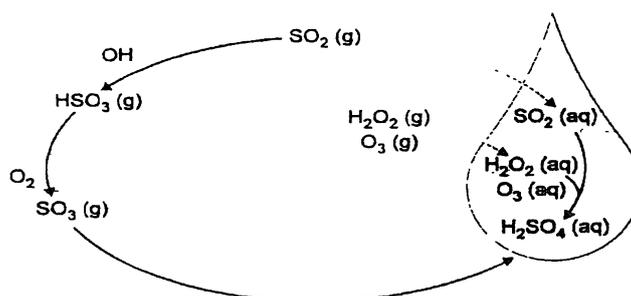
resultado da queima de combustíveis fósseis, de emissões industriais e principalmente veiculares.

O crescimento industrial tem provocado um agravamento da poluição atmosférica nas últimas décadas. A presença de elevadas quantidades de gases poluentes como óxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e óxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ) no ar podem causar o aumento da acidez da chuva ao serem oxidados por  $\text{O}_3$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$  na gota de  $\text{H}_2\text{O}$ .

Hoje, mais de um século após o início do estudo da chuva ácida, é crescente o interesse em estudar a interação dos compostos gasosos, orgânicos ou não, com soluções aquosas para formar aerossóis úmidos, neblina, nuvens e precipitações chuvosas (SEGUNDO, 1997), como mostra a figura 3.

Na formação da gota de chuva (fase aquosa) é possível constatar-se a reação de espécies gasosas como o dióxido de enxofre –  $\text{SO}_2$ , peróxido de hidrogênio –  $\text{H}_2\text{O}_2$ , ozônio –  $\text{O}_3$ , formando o ácido sulfúrico –  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , ácido nítrico –  $\text{HNO}_3$ , óxidos de nitrogênio –  $\text{NO}_x$ , entre outros.

FIGURA 3 – ESQUEMA DAS REAÇÕES DO  $\text{SO}_2$  NA GOTA DA CHUVA.

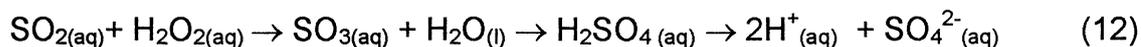


O peróxido de hidrogênio pode ser produzido em fase aquosa por geração “in-situ” ou após absorção de radicais  $\text{HO}_2^\bullet$  pelas gotas de água. A importância relativa do  $\text{H}_2\text{O}_2$  na formação da chuva ácida depende do processo de oxidação considerado, das concentrações e das condições atmosféricas. Sua importância neste processo deve-se à sua participação na oxidação do  $\text{SO}_2$  a ácido sulfúrico, que ocorre preferencialmente em fase aquosa. Apesar da variabilidade das condições ambientais, a oxidação do  $\text{SO}_2$  em nuvens tem sido responsável, em média, por cerca de 80% da produção de ácido sulfúrico na atmosfera.

O pH da fase chuva tem se mostrado um parâmetro para considerações sobre possíveis mecanismos de oxidação do SO<sub>2</sub>, sendo que em pH menor que 4,6 o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> é o principal oxidante (SEGUNDO, 1997).

Os ácidos orgânicos como acético e fórmico, originados na oxidação de compostos de enxofre, nitrogênio e carbono CO e CO<sub>2</sub> provenientes da queima de combustíveis fósseis, de emissões industriais e veiculares (PEREIRA, 1998).

A chuva ácida e suas variações como a neve ácida e o nevoeiro ácido, representam uma questão ambiental importante e motivo de preocupação, por trazer prejuízos as agriculturas, florestas, e também às estruturas de engenharia feitas de pedra (pedra calcária) e metal (ferro e aço). A emissão de gases, principalmente o dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio para a atmosfera, na gota da chuva, formam ácidos. A reação (12) abaixo indica a oxidação do dióxido de enxofre com o peróxido de hidrogênio, sendo que este último tem função de agente oxidante:



O dióxido de enxofre - SO<sub>2</sub> transformado em H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> ou H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e os compostos de nitrogênio - NO<sub>x</sub>, em HNO<sub>3</sub>, são depositados no solo. Esses ácidos formados são fortes e corrosivos têm alto grau de ionização em meio aquoso.

Além destes ácidos pode aparecer o ácido acético, que é produto final da oxidação do etanol, usado como combustível alternativo no Brasil. Soma-se ainda a esses gases o ácido fórmico. Quando as gotas de chuva absorvem amônia, também há a formação de sulfato e nitrato de amônia.

Cabe mencionar que, mesmo chuvas com pH ao redor de 5,6, podem ocorrer em atmosferas fortemente poluídas, com presença de espécies alcalinas ao lado das ácidas. Por exemplo, o NH<sub>3</sub> dissolvido na água da chuva pode neutralizar espécies ácidas elevando o pH para níveis mais altos superiores a 7,0. A rigor, neste caso o termo “chuva ácida” deve ser substituído por “chuva alcalina” (PICCOLO, 1988).

Com isso, percebe-se que a maioria dos estudos relacionados à química atmosférica enfoca principalmente o ácido sulfúrico e pH, e em menor escala o ácido nítrico, para determinar os efeitos da chuva sobre o ecossistema. Portanto, a caracterização química da deposição úmida se torna um aspecto fundamental para um melhor entendimento do transporte de poluentes e da qualidade do ar.

### 3.2 TIPOS DE REAÇÕES QUE OCORREM COM OS GASES SO<sub>2</sub> E NO<sub>x</sub>

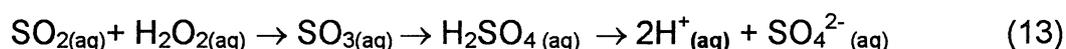
São várias as reações que o dióxido de enxofre e o dióxido de nitrogênio podem fazer com outros compostos originando o ácido sulfúrico e o ácido nítrico. Assim, reduz-se ainda mais o pH da água de chuva, contribuindo para a formação do fenômeno de chuva ácida.

Nas seções seguintes serão descritas as reações fotooxidantes destes compostos na atmosfera, bem como as reações que produzem os íons acetato e formiato.

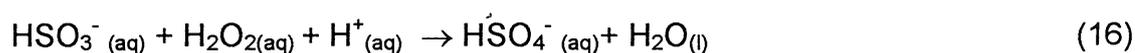
#### 3.2.1 Oxidação de SO<sub>2</sub> e de compostos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>)

A oxidação do SO<sub>2</sub> pode ocorrer sob três caminhos diferentes: homogeneamente na fase gasosa, homogeneamente na fase aquosa (nuvem, chuva, neblina, etc) dentro da gota de chuva, e heterogeneamente nas superfícies das partículas.

Outra reação de oxidação do SO<sub>2</sub> ocorre com o peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), produzindo o ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), como descreve a reação (13) abaixo:

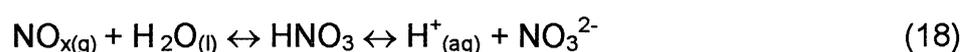
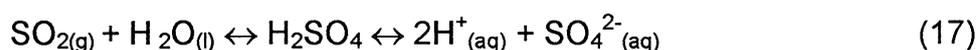


Esta oxidação descrita acima ocorre dentro das gotas de chuva, nuvens e neblina por peróxido de hidrogênio (água oxigenada), que é um constituinte atmosférico de menor quantidade na atmosfera formado pela desproporcionamento do radical •HO<sub>2</sub> ainda na fase gasosa, seguido pela dissolução do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> na gota. Como mostram as equações (14), (15) e (16):



### 3.2.2 Reação do SO<sub>2</sub> e do NO<sub>2</sub> com a Água

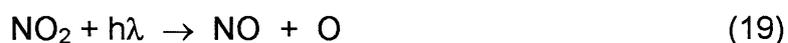
Na atmosfera, com a presença da umidade, o SO<sub>2</sub> e o NO<sub>2</sub> são levados à ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e à ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>), que na fase aquosa são encontrados sob a forma iônica, como mostram as equações (17) e (18):



Os íons H<sup>+</sup> produzidos nestas reações contribuem para a redução do pH da água.

### 3.2.3 Reação de Fotólise do NO<sub>2</sub>

A reação de fotólise do NO<sub>2</sub> produz o ozônio, como indicam as equações (19) e (20):



onde M pode ser N<sub>2</sub> ou O<sub>2</sub> ou uma outra molécula capaz de absorver o excesso de energia vibracional para estabilizar a molécula de ozônio formada. O O<sub>3</sub> formado reage com NO, regenerando NO<sub>2</sub> (SEINFELD, 1986). Ver equação 21:

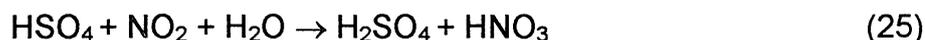
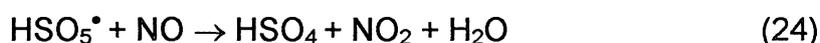


### 3.2.4 Reação do SO<sub>2</sub> com Radical Livre

Radicais livres são formados pela quebra da ligação do dióxido de enxofre por energia luminosa (hν). A reação ocorre até formar os ácidos, pois os radicais livres

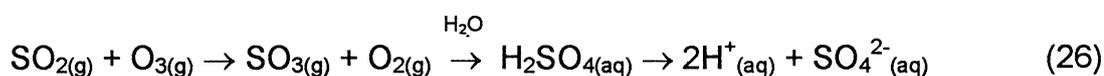
de alta reatividade são instáveis e o seu tempo de meia-vida é muito curto, fazendo com que sejam extremamente reativos (FORNARO, 1991).

Uma vez iniciada, uma reação de radicais é muito rápida devido ao estabelecimento de rápidas reações em cadeia. Estas provêm da capacidade que o radical criado em primeiro lugar apresenta de gerar outros radicais, por reação com molécula neutra, sendo este novo radical capaz de repetir o processo e assim, a reação continua, como demonstram as reações (22), (23), (24) e (25) abaixo:



### 3.2.5 Reação do SO<sub>2</sub> com Ozônio

O ozônio (O<sub>3</sub>) é um agente oxidante na fase aquosa e gasosa. Porém, na fase gasosa reage rápida e completamente, conforme a reação (26):

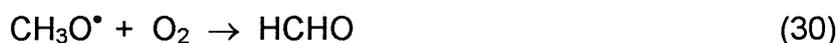
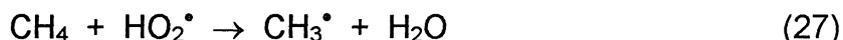


### 3.2.6 Tipos de Reações que Produzem o Acetato e o Formiato

O Acetato (CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>) e o Formiato (HCOO<sup>-</sup>) são íons originados da ionização dos ácidos acético (CH<sub>3</sub>COOH) e fórmico (HCOOH), na atmosfera, provenientes principalmente da queima de combustíveis fósseis.

Em fase gasosa também originam ácidos orgânicos por vários mecanismos. Por exemplo, vapor de H<sub>2</sub>O ou radicais HO<sub>2</sub><sup>•</sup> com aldeídos, podem gerar ácido fórmico, acético e outros ácidos com cadeias maiores (SEINFELD, 1986). O CH<sub>4</sub>, metano, presente na atmosfera, reagindo com radical HO<sub>2</sub><sup>•</sup>, produz formaldeído que

é oxidado a ácido fórmico, conforme as equações (27), (28), (29), (30), (31), (32) e (33):



### 3.3 DEPOSIÇÃO DO SO<sub>2</sub>

A meia-vida do SO<sub>2</sub> e do SO<sub>3</sub> na atmosfera é da ordem de vários dias. Com isso, a precipitação ácida pode ocorrer a uma certa distância da fonte de emissão do poluente, pois pode ser transportado pela massa de ar para longe da fonte poluidora.

Assumindo um vento de 20 km/h, cada massa de ar viaja aproximadamente 3500 km, depois de uma semana. A chuva ácida é, desta maneira, um fenômeno que pode atingir longas distâncias.

Por exemplo, como uma análise comparativa, temos o efeito da construção de uma termelétrica (emissão de SO<sub>2</sub> pela combustão) a óleo combustível contendo enxofre em Brasília e Curitiba.

- Brasília (clima seco): tem efeito dispersivo de chuvas.
- Curitiba (clima úmido): tem efeito da chuva ácida local.

O enxofre, em clima seco, mantendo-se as considerações de diluição, pode viajar até 4 mil km, até depositar em lugares úmidos. O SO<sub>2</sub> é capaz de viajar na atmosfera pois é um gás leve, facilmente é carregado pelo vento. Com isso, em climas secos concentram o SO<sub>2</sub>, pois adquire massa pela adsorção em moléculas de água e concentram-se nesta água de chuva. Logo, o efeito deste processo retarda-se de 2 a 6 dias (MELLO, 1997).

### 3.4 TIPOS DE POLUENTES

A atmosfera terrestre é considerada não poluída quando composta por 78% de gás nitrogênio ( $N_2$ ), 21% de gás oxigênio ( $O_2$ ) e 1% constituindo uma mistura de outros gases, vapor d'água e outros aerossóis. A alteração da concentração destes parâmetros a níveis que possa causar danos ao meio caracterizam uma atmosfera poluída.

Os poluentes podem ser classificados de acordo com a sua origem (PAWLOWSKY, 1996):

- a) poluentes primários - Estão presentes na atmosfera na forma em que são emitidos como resultado de algum processo. Os principais poluentes desta categoria são tanto sólidos, como líquidos e gasosos, ou mesmo radiações. Citamos como poluentes primários: partículas finas, partículas grosseiras, compostos de nitrogênio ( $NO$ ,  $NO_2$ ), óxidos de carbono ( $CO$ ,  $CO_2$ ), compostos de enxofre ( $SO_2$ ), compostos halogenados, compostos orgânicos, aldeídos, terpenos ácidos carbônicos, entre outros;
- b) poluentes secundários - São produzidos na atmosfera pela reação entre dois ou mais poluentes primários, ou pela reação com constituintes normais atmosféricos, com ou sem foto-ativação. Citamos como poluentes secundários: oxidantes como  $H_2O_2$ ,  $O_3$ ,  $H^+$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$  e o nitrato de peroxiacetila (PAN).

### 3.5 FONTES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Nas regiões industriais, a principal causa da chuva ácida é a poluição por óxido de enxofre e óxido de nitrogênio, lançados na atmosfera. Encontrar poluentes desses gases presentes no ar é natural. Eles trazem problemas somente quando em elevadas quantidades, sendo um resultado de atividades humanas e naturais.

Como discutido anteriormente, os poluentes  $SO_2$  e  $NO_x$  depositam-se sob as formas de  $H_2SO_3$ ,  $H_2SO_4$ , e  $HNO_3$ .

Portanto, a chuva ácida aparece quando esses gases são oxidados na atmosfera e retornam ao ambiente dissolvidos na gota de chuva.

Algumas das principais fontes de poluentes atmosféricos são listadas a seguir (GRAHAM E TROTMAN, 1983; KUEKEN, 1989; ROSSELAND, 1990; TAUGBOL, 1990):

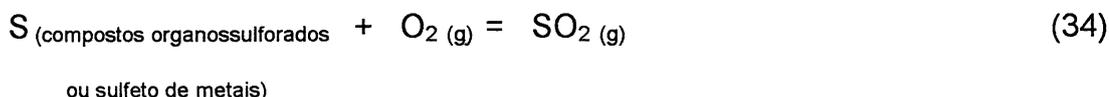
- combustão (carvão, gás natural, gasolina, álcool e outros);
- queimadas em florestas e áreas cultivadas;
- suspensão de material particulado do solo;
- as reações químicas na atmosfera (também classificadas como processo de remoção de poluentes, pois, na medida em que uma espécie é transformada em outra, tem-se um mecanismo de remoção da espécie original e criação de uma nova).

Alguns dos principais poluentes originados desses emissores são: material particulado, monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrocarbonetos, aldeídos, óxidos de nitrogênio (NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) e de enxofre (SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>), ozônio (O<sub>3</sub>), peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), ácidos orgânicos, traços de metais, etc.

### 3.5.1 Fonte de SO<sub>2</sub>

#### 3.5.1.1 Fontes naturais

- Carvão que contém 2 – 3% de enxofre na massa, quando queimado libera SO<sub>2</sub>, reação (34).



- Os sulfetos de metais são: NiS, Cu<sub>2</sub>S, ZnS, PbS, HgS, tendo como fórmula geral MS, onde M é o metal (cátions) e o S é o enxofre. Na recuperação destes metais, libera SO<sub>2</sub> e o óxido do metal, com as equações (35) e (36):



O metal é recuperado quando o óxido do metal reage com carbono no estado gasoso.

- Decaimento microbiológico da matéria orgânica, como exemplificam as reações (37), (38), (39), (40) e (41):



Nesta última reação do decaimento, há a liberação do  $\text{SO}_2$  e além dele outro poluente: o radical livre.

- $\text{H}_2\text{S}$  nos mangues, devido à água parada e degradação da matéria orgânica.
- Erupções vulcânicas, restritas a acontecimentos isolados, emitindo gases tóxicos, compostos de enxofre e partículas em suspensão (cinzas). Sob essas condições, espalham muitos gases no ar, provocando cerca de 10% da poluição atmosférica (BAINES, 1992);
- Desprendimento de  $\text{SO}_2$  pela borrifação da água do mar, sal marinho:

A presença do ânion sulfato na água do mar faz com que, quando borrifada a água, libere  $\text{SO}_{2(g)}$ , reação esta inversa da reação de formação da chuva ácida. (MELLO, 1999).

### 3.5.1.2 Fontes artificiais

A queima de combustíveis fósseis, processos industriais e veículos pesados dão origem ao  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Nos processos artificiais, parte do enxofre é retido na forma de  $\text{SO}_4^{2-}$  nas cinzas e parte é expelida sob a forma de  $\text{SO}_2$ .

### 3.5.2 Fonte de $\text{NO}_x$

- A liberação de  $\text{NO}_x$  através da combustão;
- Queima do carvão e fundição de metais também produz  $\text{NO}_x$ , em pequenas quantidades; quando o ar é aquecido.

### 3.5.3 Fontes de Poluentes na Região de Curitiba e Araucária

Se há alterações na composição do ar, tanto pela interferência do homem como da natureza, ocorrem modificações da composição da chuva.

As indústrias químicas desempenham uma função importante na economia nacional e no comércio internacional. (PAWLOWSKY, 1996).

Apesar dos benefícios que seu emprego possa significar, muitos produtos destas indústrias, assim como seus resíduos, constituem motivo de preocupação pública pelos efeitos prejudiciais que podem ter sobre a saúde e o meio ambiente, quando emitidos ao ar.

O levantamento das principais indústrias situadas na Região Metropolitana de Curitiba e no município de Araucária, mostra que estas emitem poluentes, que são encontrados dissolvidos nas amostras das águas de chuva analisadas no período de fevereiro de 2000 a janeiro de 2001. As direções dos ventos foram também relacionadas com os locais onde se encontram instalados os coletores, em Curitiba (Centro Politécnico) e em Araucária (CSU – Centro Social Urbano, no bairro Fazenda Velha).

#### 3.5.3.1 Principais poluentes em Curitiba

Os poluentes presentes na água da chuva são transportados de regiões que possuem diferentes fontes emissoras. Através do cadastro da Federação das Indústrias do Estado do Paraná (FIEP/2001), as indústrias foram distribuídas segundo suas localizações geográficas e com base em um levantamento dos produtos e processos proporcionou, embora qualitativamente, uma relação dos principais poluentes emitidos pelas indústrias.

- Ao sul: Cidade Industrial de Curitiba – CIC, reunião de indústrias de diversas especialidades, apresentam como principais poluentes emitidos: SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, fumaça e material particulado.

- Ao sudeste: Presença do aeroporto e várias indústrias.

Principais poluentes emitidos: SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, fumaça e material particulado.

- Ao sudoeste:

A influência de indústrias localizadas em Araucária, como:

Refinaria de Petróleo: emite como poluente o  $\text{SO}_2$  (dióxido de enxofre), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), e compostos orgânicos voláteis.

Usina de Xisto, em São Mateus do Sul: O principal poluente emitido é o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e enxofre ( $\text{S}^0$ ), poluente betuminoso que possui atributos de carvão e de petróleo. Refinarias de petróleo, podem emitir poluentes como compostos oxigenados, nitrogenados, sulfurados e metais pesados. Assim, surge a preocupação com a queima de combustíveis fósseis que podem ter como produtos óxidos de enxofre e nitrogênio, em contato com a água de chuva, formam ácidos.

Indústria de Fertilizantes: emite dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), ácido sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ), fosfato ( $\text{PO}_3^4$ ), carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), hidrocarbonetos.

- Ao oeste: Rodovia Federal BR-116 e indústrias cimenteira, cerâmica e siderúrgica.

Principais poluentes emitidos:

Rodovia Federal BR-116: através dos veículos automotores, emite compostos orgânicos que reagindo com a água da chuva ficam na forma iônica como acetato e formiato, originado da combustão dos combustíveis.

Cimenteiras: emitem dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) e carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ).

Cerâmicas: Carbonato da cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e carbonato de potássio ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ).

Siderúrgica: Está situada ao noroeste de Araucária, porém afeta na poluição da região sudoeste em relação ao coletor de Curitiba. Esta emite dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

- Ao leste: não há grandes indústrias que influenciem na poluição em Curitiba. Porém, os ventos transportam os sais provenientes da água do mar. Entre esses sais estão os cloretos ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ), sulfatos ( $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ) e nitratos ( $\text{NaNO}_3$ ), que quando dissociados na água da chuva pode conter íons sódio ( $\text{Na}^+$ ), cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{+2}$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) e cloreto ( $\text{Cl}^-$ ).

- Ao norte: há a presença de indústrias de cal ( $\text{CaCO}_3$ ) e cimento.

Os poluentes são emitidos pelas indústrias de papel, através de digestores, que podem ser de soda ( $\text{NaOH}$ ), de ácido sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), de sulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), de sulfito de cálcio ( $\text{CaSO}_3$ ) e de ácido sulfuroso ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ). Por estarem

muito longe, os poluentes emitidos por estas indústrias podem influenciar através dos ventos de altitude (1000 m).

- A nordeste: indústria de fertilizantes.

### 3.5.3.2 Principais poluentes em Araucária

A seguir, cada região, em relação a Araucária, será detalhada de acordo com dados fornecidos pela - Associação dos Empresários da Cidade Industrial de Araucária – AECIAR/2001.

- Ao sul: direção do vento traz poluentes emitidos pelas indústrias de fertilizantes e cimenteira.

- Ao sudeste: Nesta região encontra-se a termoeletrica à gás natural, emitindo como principal poluente monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>).

- Ao leste: direção do vento que traz poluentes de refinaria de petróleo e indústria laminadora. Esta última emite monóxido de carbono (CO) e dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>).

- A nordeste: Indústria de Papel e a influência da CIC (Cidade Industrial de Curitiba).

- A noroeste: nesta região localiza-se uma siderúrgica que, de acordo com seu processo industrial pode emitir dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) das reações no alto-forno.

### 3.5.4 Legislação Brasileira e Fixação de Padrões

Pela portaria 0231, de 27.4.76, o Ministro do Interior, acolhendo a proposta do Secretário do Meio Ambiente, esclareceu padrões de qualidade do ar e os conceituou como “as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, segurança e bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna e ao meio ambiente em geral”. Atualmente são estabelecidas normas para dióxido de enxofre, monóxido de carbono e dióxido de nitrogênio, tendo como fonte a Resolução CONAMA nº 003 de 28 de julho de 1990. Dentro dos

padrões contidos nesta legislação, foram destacados alguns permitidos a emissão de gases na atmosfera. Conforme apresenta a tabela 1.

TABELA 1 – PADRÕES NACIONAIS DE QUALIDADE DO AR, RESOLUÇÃO CONAMA 03/90

| POLUENTES                             | TEMPO DE AMOSTRAGEM       | PADRÃO PRIMÁRIO<br>mg/m <sup>3</sup> | PADRÃO SECUNDÁRIO<br>mg/m <sup>3</sup> | MÉTODOS DE MEDIÇÃO            |
|---------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|--|-------------------------------|
| partículas totais em suspensão        | 24 horas (1)<br>MGA (2)   | 240<br>80                            | 150<br>60                              | amostrador de grandes volumes |
| dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> ) | 24 horas (1)<br>MAA (3)   | 365<br>80                            | 100<br>40                              | pararosanilina                |
| monóxido de carbono (CO)              | 1 hora (1)<br>8 horas (1) | 40000 (35 ppm)<br>10000 (9 ppm)      | 40000 (35 ppm)<br>10000 (9 ppm)        | infravermelho não disperso    |
| ozônio (O <sub>3</sub> )              | 1 hora (1)                | 160                                  | 160                                    | quimioluminiscência           |
| fumaça                                | 24 horas (1)<br>MAA (3)   | 150<br>60                            | 100<br>40                              | refletância                   |
| partículas inaláveis                  | 24 horas (1)              | 150<br>50                            | 150<br>50                              | separação inercial/filtração  |
| dióxido de nitrogênio                 | 1 hora (1)<br>MAA (3)     | 320<br>100                           | 190<br>100                             | quimioluminiscência           |

FONTE: DERISIO – CETESB, 1992

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

(2) média geométrica anual

(3) média aritmética anual

### 3.6 EFEITOS DA PRECIPITAÇÃO ÁCIDA

Mehta (1994), que teve como fonte de ilustração o Relatório de Philip Shabecoff de *San Francisco Chronicle*, 1985 por *New York Times Company*, define que a chuva ácida não é um fenômeno natural e sim provocado pelo homem. Noventa por cento da poluição, na parte nordeste dos EUA, é proveniente da combustão industrial e poluição de combustíveis fósseis. Estes poluentes (o componente principal é o SO<sub>2</sub>, com NO<sub>x</sub> também com papel importante) são

transportados pela atmosfera a longas distâncias de suas fontes. Vários lagos e rios foram acidificados, com o fim ou a redução da vida nos mesmos. Entre outros fatores a chuva ácida pode contribuir para a destruição das florestas, desgastes de edifícios, monumentos e outras estruturas feitas pelo homem. Muitas estão sendo erodidas pela poluição do ar e poderiam ser as principais evidências da chuva ácida, disse o Dr. J. Christopher Bernabo, diretor executivo do programa da receita nacional dos EUA (MEHTA, 1994).

Descreve a *Environmental Protection Agency* – EPA (2001), com base nos seus programas e regulações de redução de poluentes que provocam a chuva ácida de 1995, a contribuição desta na acidificação de lagos e riachos, levando à destruição de árvores e muitos solos sensíveis de florestas. Também acelera a degradação de materiais de construção e pinturas, incluindo insubstituíveis construções e esculturas que fazem parte do patrimônio cultural de uma nação, contribuindo para a degradação visual e prejudicando a saúde pública (EPA, 2001).

### 3.6.1 Efeito à Vegetação

Os efeitos mais consideráveis da chuva ácida nas plantas são causados pelos poluentes e pelo pH baixo. Nas florestas, observa-se que as folhas e os brotos das árvores tornam-se amarelados e caem prematuramente, as copas são reduzidas ou desaparecem e, por último, morrem. Aquelas que aparentemente não sofrem danos, frequentemente diminuem seu crescimento e sua produtividade (HAAG, 1985).

O  $\text{SO}_2$  tem efeito fitotóxico, assim como o  $\text{H}_2\text{SO}_4$  possui efeito corrosivo. O crescimento das plantas é inibido pela presença de  $\text{SO}_2$  em concentrações bem abaixo de 0,1 ppm. Depois de algumas horas de exposição a concentrações entre 0,1 ppm e 1 ppm, é observável nas folhas das plantas e árvores, a manifestação de manchas branco-amareladas, denominadas clorose, bem como manchas cinza-acastanhadas, denominadas de necrose. Este nível de  $\text{SO}_2$  pode, comumente, ser observado nas áreas metropolitanas (ProAr, 2001).

O  $\text{NO}_2$  também causa fitotoxicidade. Estes efeitos não são muito nítidos como aqueles causados pelo  $\text{SO}_2$ , pois os íons  $\text{NO}_3^-$  (nitrato) podem ser depositados como nutriente.

Culturas agrícolas, além de florestas, também sofrem danos com a deposição ácida. Estes danos podem ser o aumento da lixiviação de elementos como o potássio, cálcio, sódio e magnésio das folhas, erosão da cutícula foliar, necrose das folhas, decréscimo da taxa respiratória e fotossintética e decréscimo na produção (ALVES, 1988; GRAHAM E TROTMAN, 1983).

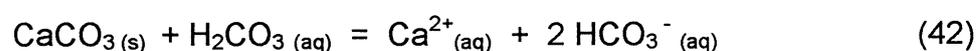
### 3.6.2 Efeito à Saúde

Os compostos dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) são irritantes para o trato respiratório. Em nível atmosférico, no intervalo de 1 a 2 ppm, de SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> são altamente absorvidos pelo sistema respiratório, e alcançam os alvéolos sensitivos. A penetração nos alvéolos ocorre quando a concentração de SO<sub>2</sub> chega a aproximadamente 25 ppm, como pode ser encontrado nas indústrias de fundição, de curtume, de confecção de papel e de manufatura de ácido sulfúrico, causando tosse, chiado na respiração (bronquite) e lacrimogênio, podendo até causar câncer respiratório.

Efeitos diretos à saúde estão relacionados ao fato de que a chuva ácida pode conter dissolvidos metais tóxicos como o alumínio, cobre, chumbo e mercúrio que, por lixiviação nos solos e rochas, poderá atingir sistemas de distribuição de água potável (HAAG, 1985 E KEUKEN, 1989).

### 3.6.3 Efeito às Estruturas

A pedra calcária (CaCO<sub>3</sub>) tem sido um material comum nas construções durante milênios. Mesmo sob condições de ar muito limpo, está sujeita a degradação por intemperismos. Conforme demonstra a equação (42) pelos mesmos processos químicos que cavam as cavernas e desfiladeiros.



O processo apresentado tem uma pequena constante de equilíbrio ( $5,3 \times 10^{-5}$  a 25° C). A precipitação desloca o equilíbrio, facilitando a dissolução.

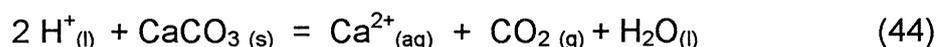
O prejuízo acarretado a monumentos históricos é visto claramente onde a perda de detalhes das estruturas, como uma estátua, é muito evidente. As esculturas em pedra fina são postas em risco quando as camadas externas de pedra se lascam. Este processo, chamado “sulfatação”, envolve a substituição do carbonato de cálcio pelo sulfato de cálcio, como explica a reação (43) (METHA, 1994).



O efeito destas equações é chamado de corrosão quando os materiais elétricos, as estruturas, os equipamentos e os materiais ornamentais ficam expostos, pelo efeito do íon  $\text{H}^+$ .

#### 3.6.4 Efeito à Água dos rios e ao Solo

A acidificação é um problema em áreas onde as rochas são de baixa capacidade tamponante. Já as rochas de granito oferecem pequena proteção tamponante. Greda e pedra calcária neutralizam o ácido, e assim os lagos e riachos destas áreas são bastante insensíveis à precipitação ácida, ajudando a aumentar o efeito tamponante das águas superficiais, liberando  $\text{CO}_2$ , como ilustra a reação (44) a seguir:



Os íons  $\text{H}^+$  reagem com  $\text{CaCO}_3$ , que é responsável pela alcalinidade da água e se dissolve para restaurar o equilíbrio. O pH na água não muda significativamente pela adição de chuva ácida. A acidificação da água resulta na dissolução de íons metálicos ( $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ) da camada rochosa, devido a reação do  $\text{H}^+$  com o ânion básico com o qual o metal estava ligado.

Dependendo do pH, há liberação de alumínio, afim de neutralizar o ácido. Há, então contaminação dos peixes, já que a solução aquosa possui na sua composição  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{AlOH}^{2+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$  e outras espécies de hidróxidos de alumínio. Alterando o pH

do sangue dos peixes, que está em torno de 7,4. Suas brânquias são muito finas, e a presença de alumínio na  $H_2O$  impede a difusão do oxigênio através das mesmas.

As águas superficiais naturais, em geral, têm um pH na faixa de 6,0 a 9,0. A chuva ácida pode causar a redução da faixa de pH de lagos para valores menores que 4,0. Estudos relativamente recentes mostram que lagos com baixo pH exercem impacto negativo sobre espécies de peixes, como o salmão e a truta (GRAHAM E TROTMAN, 1983; KEUKEN, 1989; ROSSELAND, 1990; TAUGBOL, 1990).

Esta toxicidade também atinge o solo, pois libera  $Al^{3+}$ . Este íon é capaz de formar compostos como  $Al_2O_3$ , que podem oxidar o  $SO_2$  na superfície, formando os ácidos que vão servir como nutrientes para o solo (provocando uma readaptação a este novo mecanismo. Os danos são a longo prazo, diminuindo a capacidade tamponante do solo.

As deposições ácidas podem atingir o limite do efeito tamponante da matéria, e quando o ambiente não pode mais neutralizar a chuva ácida, danos começam a ocorrer em florestas, lagos, peixes, etc.

### 3.7 REDUÇÃO DO EFEITO DA CHUVA ÁCIDA

#### 3.7.1 Redução da emissão do $SO_2$

As emissões de  $SO_2$  se originam principalmente da fundição de metais, e de combustíveis fósseis. Há várias estratégias possíveis para prevenir os danos ao meio ambiente por um poluente, e todas têm sido exploradas na redução de emissões de  $SO_2$ . Elas incluem:

- a) minimização da produção do poluente;
- b) conversão de poluente para um outro menos nocivo, ou melhor, por uma substância substituível;
- c) instalação de leito de zinco redutor em chaminés;
- d) fumaça lançada a alturas maiores. Isso, porém, causa efeitos a longa distância.

**Deposição seca:** corresponde à sedimentação gravitacional e à interceptação do material particulado ou absorção de gases por superfícies como o solo, água, vegetação e edificações.

**Deposição úmida:** corresponde à absorção de poluente gasoso (como  $\text{SO}_2$  ou  $\text{NH}_3$ ) e partículas, por gotas de água no interior das nuvens (rainout) e remoção dos poluentes por arraste durante a queda das gotas (washout) na forma de neblina, chuva ou neve. O esfriamento dinâmico ou adiabático é a principal causa da condensação e é o responsável pela maioria das precipitações. Assim sendo, o movimento vertical das massas de ar é um requisito importante para a formação das precipitações, que podem ser classificadas de acordo com as condições que produzem o movimento vertical do ar.

Nesse sentido existem três tipos de principais e precipitações pluviais: ciclônico, orográfico e convectivo.

- a) **precipitações ciclônicas:** são associadas com o movimento de massas de ar de regiões de alta para regiões de baixa pressão. Essas diferenças de pressão são causadas por aquecimento desigual da superfície terrestre.
- b) **precipitações orográficas:** resultam da ascensão mecânica de correntes de ar úmido horizontal sobre barreiras naturais, tais como montanhas.
- c) **precipitações convectivas:** típicas das regiões tropicais, são relacionadas ao aquecimento desigual da superfície provocando o aparecimento das camadas de ar com diferentes densidades. Se esse equilíbrio, por qualquer motivo (vento, superaquecimento) for quebrado, provoca uma ascensão brusca e violenta do ar menos denso, capaz de atingir grandes altitudes. Essas precipitações são de grande intensidade e curta duração, concentradas em pequenas áreas. São importantes para projetos em pequenas bacias hidrográficas, principalmente naquelas que se apresentam impermeabilizadas pela urbanização (FENDRICH, 1999).

Ao longo de quase toda a região Sul do Brasil, a média anual da precipitação varia de 1250 a 2000 mm, Somente algumas áreas encontram-se fora desse limite pluviométrico. Acima de 2000 mm está o litoral do Paraná. O Paraná apresenta menor variação do trimestre mais úmida da região Sul do Brasil (em geral dezembro/janeiro/fevereiro) exceto no litoral (janeiro/fevereiro/março) e extremo oeste (outubro/novembro/dezembro). O trimestre mais seco varia de

junho/julho/agosto a julho/agosto/setembro de sul para norte do Paraná. Entretanto, a diferença entre a precipitação no trimestre mais seco e mais chuvoso não é particularmente acentuada, sobretudo na região central e de topografia mais alta, viabilizando culturas agrícolas de inverno (REBOUÇAS, 1999).

Segundo Pasquill e Smith (1983), pode-se dizer que o movimento médio do ar indica a transferência de poluentes de uma região para outra e os processos turbulentos determinam a diluição do mesmo. Portanto, a dispersão dos poluentes depende de processos de mistura que se observam em diferentes escalas de movimento e são importantes no padrão de distribuição horizontal da concentração em escala local. Já o transporte a longas distâncias é denominado pelo vento médio, cujo padrão é obtido por sistemas de ventos locais (como brisa marítima/terrestre e de vale/encosta) e de sistemas meteorológicos (como as frentes frias/quentes).

## **4 METODOLOGIA**

A atividade dos poluentes na atmosfera é de fundamental importância no desenvolvimento de um programa de controle da poluição do ar por parte de entidades de proteção ambiental.

Tendo em vista a extensão da atmosfera, a avaliação pode ser feita, além da amostragem do ar, através da água da chuva. Para tanto, métodos e equipamentos são padronizados, para garantir características indispensáveis à reprodução dos experimentos. Essas características devem buscar a especificidade e a precisão, tornando os resultados adequados aos propósitos a que se destinam. Assim, para se atingir estas características, as metodologias tiveram como base normas e padrões, que serão descritas nas seções a seguir.

### **4.1 COLETA DE ÁGUA DE CHUVA**

A coleta e armazenamento de águas de chuva constituem uma etapa integrante e determinante no processo de obtenção de informações analíticas sobre as espécies químicas presentes na precipitação.

A caracterização dos poluentes na água de chuva foi baseada no plano de medição e amostragem. Será descrito o plano de amostragem, locais de coleta de

amostra, parâmetros, frequência, medidas de preservação das amostras, métodos de análises (campo e laboratório) e o processamento dos dados.

Um monitoramento diário e horário de amostras foi realizado para todos os eventos.

Através da amostragem seqüencial de precipitação, é possível coletar amostras de água de chuva por um período curto de tempo, suficiente para que a precipitação e as condições meteorológicas permaneçam constantes, e para correlacionar a mudança na composição química, de amostra para amostra, com a correspondente mudança de trajetória do vento, caracterizando o evento como um todo.

#### 4.1.1 Coletor de Água de Chuva

Foi utilizado, para as coletas das águas de chuva, um coletor pluviômetro automático com tampa articulada, removível por dispositivo mecânico, conforme apresenta a figura 4.

Este coletor possui um sensor mantido em temperatura acima da temperatura ambiente, em torno de 30° C. Ao ser molhado pelas primeiras gotas de chuva resfria-se, acionando o circuito que movimenta um braço mecânico, abrindo a tampa do coletor. Ao cessar a chuva, o sensor seca pelo aumento da temperatura (30°C) e evapora a água, fechando a tampa.

O funil possui um diâmetro de 30 cm e o recipiente que armazena a água de chuva tem uma capacidade de, aproximadamente, 15 litros. Tanto o funil como o recipiente armazenador são de polietileno e protegidos dentro de uma caixa metálica, com isolamento térmico e luminoso. Estes foram lavados periodicamente com água destilada, seguido de água deionizada. A figura 4 corresponde ao esquema do coletor e a figura 5 apresenta o coletor utilizado.

FIGURA 4 – ESQUEMA DO COLETOR AUTOMÁTICO

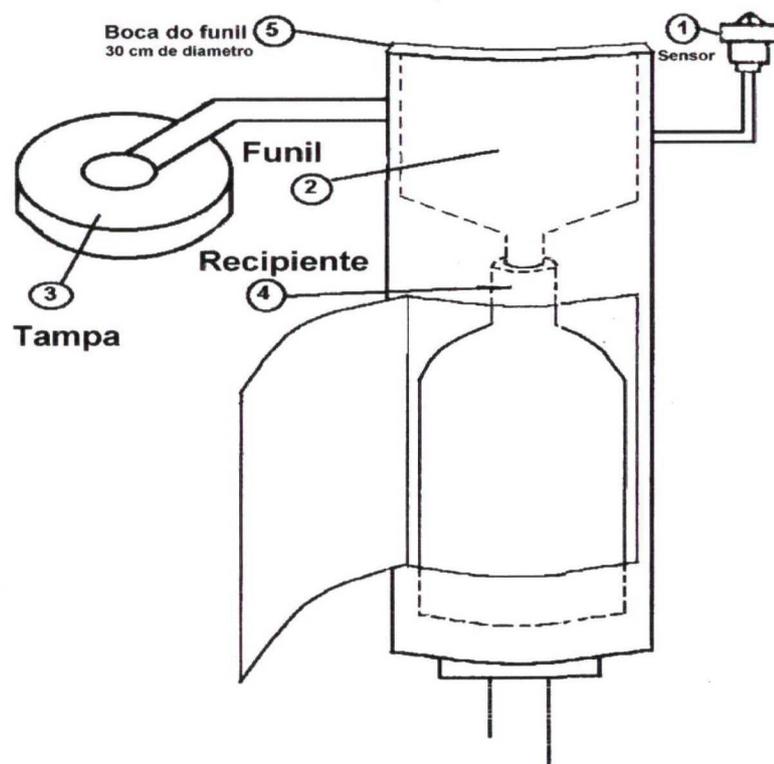


FIGURA 5 - FOTO DO COLETOR UTILIZADO

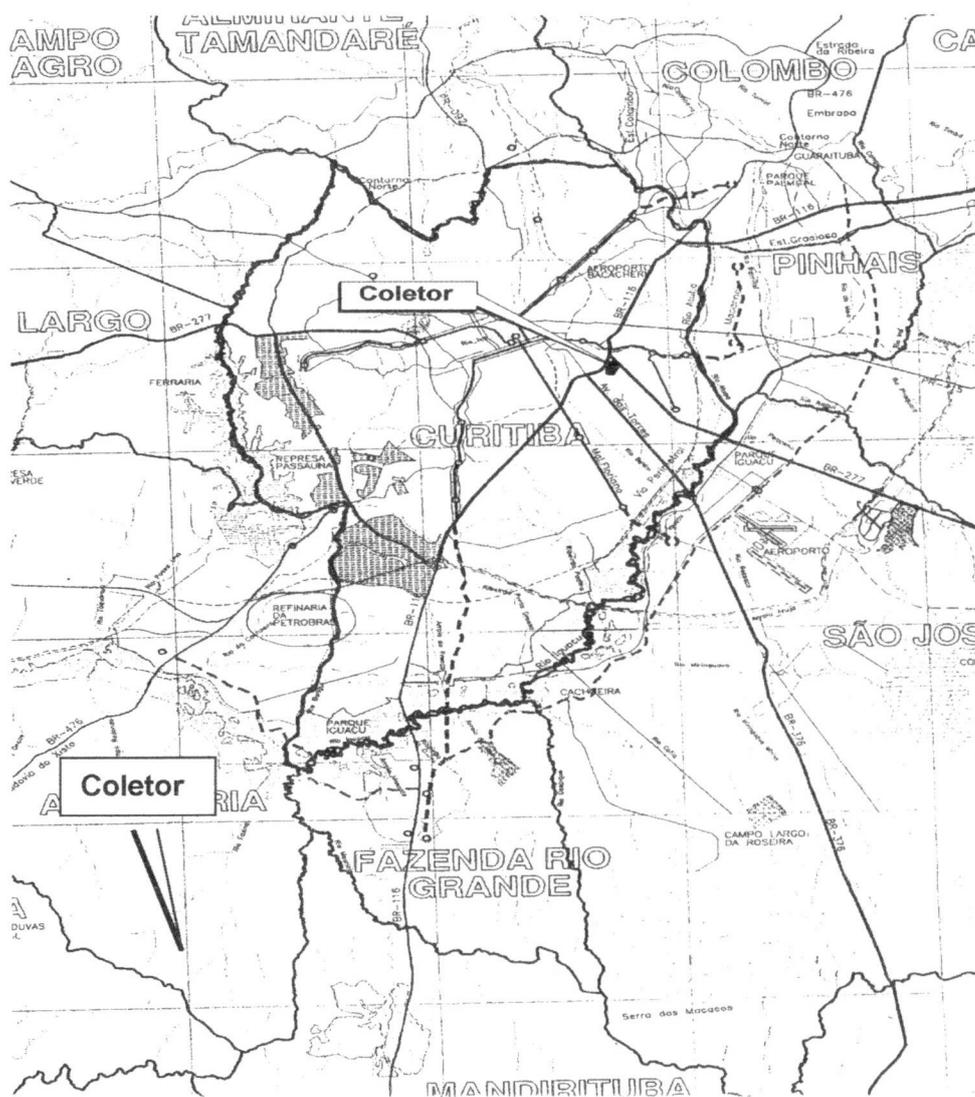


#### 4.1.2 Pontos de Coletas

Os pontos de coleta de amostras de chuva foram instalados ao lados das estações de qualidade do ar (figura 8), propriedade do LACTEC, no Centro Politécnico, ao lado da BR-116, Curitiba - PR, e outro em Araucária. Em anexo (anexo 4), vê-se a foto dos equipamentos no interior da estação.

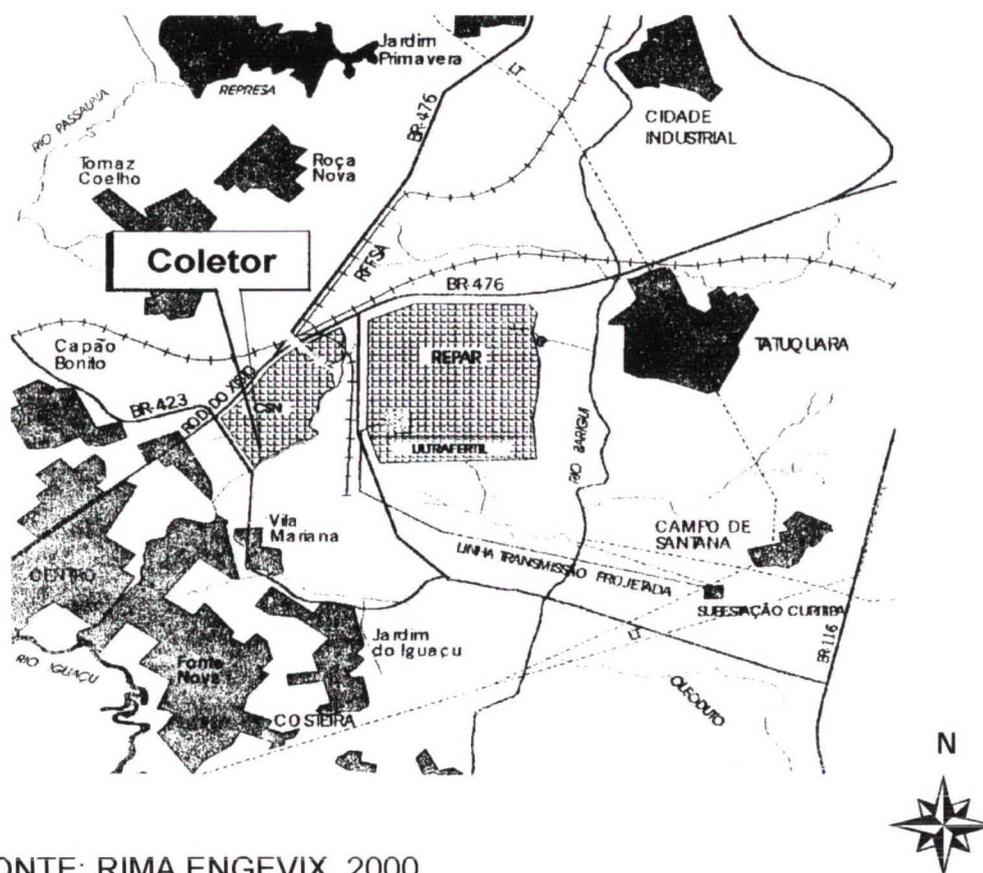
O ponto determinado em Araucária está no Centro Social Urbano – CSU, no bairro Fazenda Velha, como mostra a figura 7.

FIGURA 6– MAPA DE CURITIBA QUE INDICA O LOCAL DO COLETOR.



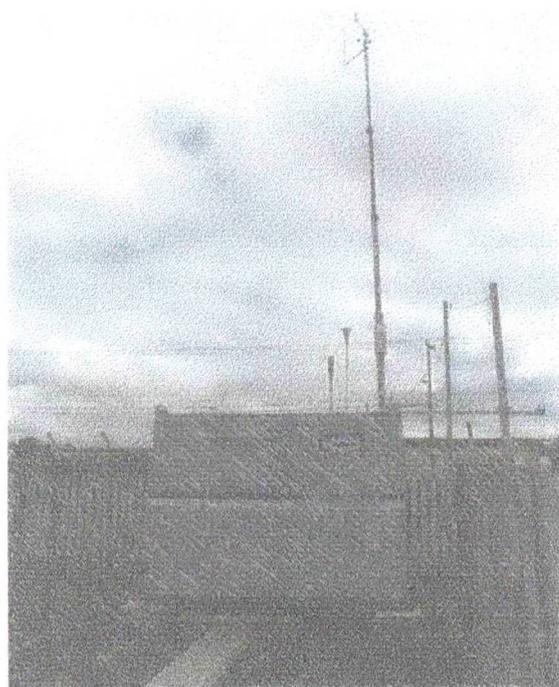
FONTE: PEREIRA, 1998

FIGURA 7 – MAPA DE ARAUCÁRIA QUE INDICA O LOCAL DO COLETOR.



FONTE: RIMA ENGEVIX, 2000.

FIGURA 8 – FOTO DE UMA ESTAÇÃO DE QUALIDADE DO AR



#### 4.1.3 Período e Intervalo das Amostragens de Chuva

A coleta das águas de chuva para análise química é, por sua própria natureza, um método integrado. Na composição química média ou medidas integradas, o período de tempo para a coleta de precipitação pode variar entre dias, para um único evento completo.

As amostras foram obtidas no período de janeiro de 2000 a fevereiro de 2001. O objetivo principal, neste caso, foi englobar todos os meses e as diferentes estações do ano durante 1 ano. Praticamente todos os eventos deste período foram amostrados. Este procedimento resultou em um conjunto de 144 amostras e 85 eventos analisados.

TABELA 2 – EVENTOS COLETADOS EM CURITIBA NO PERÍODO DE FEVEREIRO /2000 A JANEIRO/2001

| Nº DA AMOSTRA | MÊS            | Nº DE EVENTOS |
|---------------|----------------|---------------|
| 1 a 18        | fevereiro/2000 | 8             |
| 19 a 25       | março/2000     | 7             |
| 26 a 29       | abril/2000     | 4             |
| 30 a 35       | maio/2000      | 6             |
| 36 a 46       | junho/2000     | 6             |
| 47 a 53       | julho/2000     | 6             |
| 54 a 65       | agosto/2000    | 7             |
| 66 a 86       | setembro/2000  | 11            |
| 87 a 105      | outubro/2000   | 9             |
| 106 a 124     | novembro/2000  | 7             |
| 125 a 131     | dezembro/2000  | 7             |
| 132 a 144     | janeiro/2001   | 7             |

Foi estabelecido para este estudo amostragens com resolução temporal de 60 minutos. Muitos eventos, entretanto, não tiveram esta resolução, pois o período de duração do evento não atingiu os 60 minutos.

Para os eventos noturnos ou ocorridos nos finais de semana, foi considerado de forma integrada, dispondo-se de determinações analíticas correspondentes à composição média da chuva.

Em cada amostra, foi analisado o pH, a condutividade e o volume de água de chuva. Em seguida, foram medidos os cátions e os ânions selecionados.

Com isso, houve a possibilidade do estudo de variação na composição química da chuva, associados às direções predominantes dos ventos) e eficiência na remoção dos poluentes atmosféricos.

#### 4.1.4 Preservação das Amostras

Para os procedimentos de análise cromatográfica, quando não realizados imediatamente após a coleta da amostra, foi utilizado um processo de conservação das amostras a uma temperatura a  $10^{\circ}$  C, em frascos de polietileno de 100 mL, respeitando os seguintes critérios:

- se os frascos fossem de vidro, os íons seriam adsorvidos pelas paredes;
- que o estado de valência dos íons não variasse pela oxidação ou redução;
- que cátions metálicos não precipitassem como hidróxidos ou formassem complexos.

#### 4.1.5 Parâmetros Analisados

Para uma completa caracterização química da deposição úmida, foram determinados os seguintes parâmetros: pH, condutividade, volume (mm e mL), duração (h), intensidade da chuva (mm/h), temperatura ( $^{\circ}$ C) e direção dos ventos, tanto na superfície,  $\sim 1000$  hPa (10 m), como em altitude, 850 hPa (1000 m).

Os cátions e ânions dissolvidos na água da chuva, foram escolhidos de maneira que fosse possível representar os poluentes atmosféricos carregados pelo vento.

Foram determinados os cátions, cargas positivas, tais como:  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  e  $\text{H}^+$  livre, e os ânions, tais como:  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ , e  $\text{PO}_4^{-3}$ . Foram também determinados íons de origem orgânica, acetato e formiato, ambos supostamente provenientes da queima de combustíveis dos veículos automotores.

## 4.2 METODOLOGIA DE ANÁLISE QUÍMICA

As análises físico-químicas dos parâmetros de interesse da água de chuva foram realizadas no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC).

### 4.2.1 Medidas de Volume

A quantidade de chuva foi medida a cada intervalo de 1 hora, durante o evento como um todo. Foram recolhidas amostras quando acumuladas no pluviômetro, e seus volumes foram medidos com o auxílio de uma proveta, que nos informa quantos mililitros (mL) de chuva foi coletado.

Partindo-se da medida de volume obtido na proveta, o valor lido em mL é convertido em milímetros, conforme a área da boca do funil do pluviômetro multiplicado por 10 para obtenção do valor em milímetros. A relação volume/área, da-se o nome de altura da chuva ("H") conforme a equação (46):

$$H [\text{mm}] = \frac{V [\text{mL}]}{A [\text{mm}^2]} \times 10 \quad (46)$$

onde "A" representa a área da boca do funil, medida em milímetros quadrados ( $\text{mm}^2$ ) e "V" é o volume .

A boca do funil do pluviômetro utilizado neste estudo possui um raio de 0,0015 mm e a área foi calculada sob a expressão matemática da área de um círculo, conforme a equação (47):

$$A = \pi \cdot r^2 \quad (47)$$

$$A = 3,14 \cdot (0,0015 \text{ mm})^2$$

$$A = 7,07 \times 10^{-4} \text{ mm}^2$$

Conseqüentemente dividindo-se a altura "H" (mm) pelo tempo de duração "d" (h) de cada evento, obtém-se a unidade mm/h, denominada de intensidade de chuva ("I"), conforme demonstra a equação (48):

$$i = \frac{H [\text{mm}]}{d [\text{h}]} \quad (48)$$

#### 4.2.2 Medidas de pH

As determinações de pH foram realizadas com base no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. O princípio de determinação baseia-se no método potenciométrico

Em amostras de águas de chuva, o pH foi determinado por medida direta, utilizando-se um peagâmetro, com sistema de eletrodo de vidro DIGIMED combinado ou de dois eletrodos da DIGIMED, segundo as recomendações da World Meteorological Organization, 1978. O equipamento utilizado foi um medidor de pH da DIGIMED, modelo DM2. Para a calibração do peagâmetro foram utilizados soluções tampões de pH 4,0 e 6,86, os quais foram fornecidas pelo fabricante do equipamento. O volume amostral é referenciado em um mínimo, para que o eletrodo do equipamento possa ser mergulhado, ficando todo o bulbo de vidro submerso.

Este pHmetro DIGIMED possui:

- resolução de 0,1 ou 0,01 unidade de pH, numa temperatura de 20°C;
- precisão de 95% de confiança;
- reprodutibilidade de 0,1 unidades;
- repetibilidade de 0,02 unidades.

#### 4.2.3 Medidas de Condutividade

As determinações de condutividade de águas de chuva foram realizadas diretamente utilizando-se um condutímetro com célula de condutividade. Este parâmetro, embora não seletivo, registra a concentração das espécies iônicas presentes na amostra. A condutividade é função da temperatura, recomendando-se que as medidas sejam feitas a 25<sup>0</sup>C (World Meteorological Organization, 1978).

As medidas da condutividade revelam a presença de íons em solução e por eles podem ser avaliados os efeitos da concentração total de íons sobre o equilíbrio químico e sobre o potencial de corrosividade de soluções aquosas (World Meteorological Organization, 1978). A célula contém dois eletrodos de platina

paralelos, com volume entre eles de  $1\text{cm}^3$ . O aparelho utilizado foi o da marca DIGIMED, modelo DM31, utilizando-se para calibração o padrão de  $1410\ \mu\text{S}/\text{cm}$ , fornecido pelo fabricante.

O volume amostral mínimo em torno de 10 mL é suficiente para que a célula possa ser completamente submersa na solução aquosa (chuva).

Este condutivímetro DIGIMED possui:

- precisão de 0,1 a 1% ou  $1\ \mu\text{mho}/\text{cm}$ ;
- reprodutibilidade dos resultados de 1 a 2% depois do equipamento ter sido calibrado.

#### 4.2.4 Determinação de Cátions e Ânions

A cromatografia de troca iônica é uma técnica de cromatografia líquida que se baseia em mecanismos de troca e supressão de íons com detecção condutométrica para a separação e determinação de cátions e ânions (WEISS, 1985). A técnica da cromatografia iônica é versátil, seletiva e sensível, que tem sido aplicada em vários campos envolvendo análises iônicas para amostras clínicas, industriais, farmacêuticas, alimentares e de meio ambiente.

Para este trabalho, foi empregado um Cromatógrafo Iônico de Alta Performance – HPIC da DIONEX, modelo DX 500 – 1998, com os seguintes elementos de operação:

Água: Ultrapura – Milli-Q;

Resistividade da água:  $18,2\ \text{M}\Omega.\text{cm}$ ;

Supressão: Membrana Autoregenerante ASRS-II (ânions) e CSRS-II (cátions);

Autoinjeter: AS40 DIONEX;

Calibração: Curva de Padrões Externos;

Deteccção: Condutométrica para cátions e ânions;

Loop de injeção:  $50\ \mu\text{L}$  para cátions e  $25\ \mu\text{L}$  para ânions;

Limite de detecccção: 50 ppb;

Em particular, para as análises de cátions e ânions inorgânicos:

- Para a análise simultânea dos cátions (lítio, sódio, amônio, cálcio, magnésio e potássio), foram utilizadas as colunas CS12A (analítica) e CG12A (coluna guarda) de 4 mm, eluente composto de ácido sulfúrico -  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (22mN); fluxo de 1,2 mL/min; pressão: ~ 2000 psi; e, condutividade de fundo < 3  $\mu\text{S}$ ;
- Para a análise simultânea dos ânions (fluoreto, cloreto, nitrato, nitrito, brometo, fosfato e sulfato), foram utilizadas as colunas AS14 (analítica) e AG14 (coluna guarda) de 4 mm; eluente composto de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (4,8 mM)/ $\text{NaHCO}_3$  (0,6 mM); fluxo de 1,8 ml.min<sup>-1</sup>; pressão: ~ 1800 psi e condutividade de fundo < 20  $\mu\text{S}$ ;
- Para a análise simultânea dos ânions orgânicos (acetato e formiato), foram utilizadas as colunas AS14 (analítica) e AG14 (guarda) de 4 mm, eluente composto de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (4,8 mM)/ $\text{NaHCO}_3$  (0,6 mM), fluxo de 1,2 ml.min<sup>-1</sup>, pressão ~ 1600 psi e condutividade de fundo < 20  $\mu\text{S}$ ; (Laudo de Análise emitido pelo LACTEC – anexo 1).

## 4.3 METODOLOGIA DE DADOS METEOROLÓGICOS

### 4.3.1 Medidas Pluviométricas

As medidas pluviométricas exprimem a relação entre a quantidade de chuva e a altura de água acumulada sobre uma superfície plana e impermeável. São avaliadas por meio de medidas executadas em pontos previamente escolhidos, utilizando-se aparelhos denominados pluviômetros (manual) e pluviógrafos (automático), conforme sejam simples receptáculos de água precipitada ou registrem essas alturas no decorrer do tempo. As medidas realizadas nos pluviômetros são periódicas, em geral, em intervalos de 24 horas, feitas normalmente às 8 horas da manhã. Nos pluviógrafos, as medidas são feitas em pluviogramas (FENDRICH, 1999).

As grandezas características são:

- a) altura Pluviométrica: É uma medida realizada nos pluviômetros, expressa em milímetros (mm);
- b) duração: Período de tempo contado desde o início até o fim da precipitação, ou como é o caso deste estudo, o tempo amostral é expresso em horas (h);
- a) intensidade da Precipitação: É a relação entre a altura pluviométrica e a duração da precipitação, expressa em mm/h.

As medidas de direção e intensidade do vento são realizadas em equipamentos chamados de anemômetros através de anemógrafos e registrados em gráficos, os dados estes retirados da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET - do Estado do Paraná, órgão da estrutura do Ministério da Agricultura e Abastecimento, instalada no Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, em Curitiba.

#### 4.3.2 Modelo RAMS

RAMS é um modelo de área limitada para simulação de fenômenos atmosféricos. A maior parte da versão 3.b é escrita em linguagem Fortran 77, e a entrada e saída é gerenciada por subrotinas em C. Sumariamente, é constituído de vários módulos, que contêm todas as subrotinas do modelo. Esses módulos estão organizados de forma a agrupar as subrotinas que tratam dos mesmos fenômenos físicos (PRATES, 1999).

É construído com base no sistema completo de equações primitivas com variáveis na forma de velocidade e pressão, que governam a dinâmica da atmosfera, adicionadas de equações que parametrizam os processos físicos. Dentre eles, estão a difusão turbulenta, a radiação solar e a terrestre, processos úmidos, incluindo a interação de nuvens com precipitação e gelo, transformação de calor sensível e latente na atmosfera, modelo de solo com múltiplas camadas, interação com a vegetação e superfície de água, efeitos dinâmicos da topografia e convecção de cúmulos (PRATES, 1999).

#### 4.3.2.1 Configuração do RAMS

Na fase pré-operacional, adotou-se uma configuração que melhor se ajustou aos casos observados, definida com base em diversas simulações de situações reais especificadas por meio da análise objetiva do modelo CPTEC/COLA. Foi também realizado um estudo de caso de vendaval ocorrido no município de Nova Laranjeiras no mês de junho de 1997 (PRATES, 1999) e experimentos de sensibilidade (PRATES, 1999). Tal configuração, cujos resultados são avaliados neste estudo, encontra-se em fase de ajustes utilizando-se a metodologia e descritas neste. Os principais parâmetros utilizados na definição desta configuração são apresentadas na seção 4.3.4.2.

#### 4.3.2.2 Estrutura de Grade do Modelo

A área adotada para as simulações do modelo se estende de 45° W a 58° W e de 21° S a 32° S, centrada em 26°36'S e 51°30'S. A área do domínio pode ser vista na figura 9. O espaçamento entre pontos de grade na horizontal é de 20 km. A grade vertical é do tipo telescópica com o primeiro nível a 50 m de altura e o topo a 23 km.

Os parâmetros da grade do modelo resumem a característica da grade utilizada abaixo:

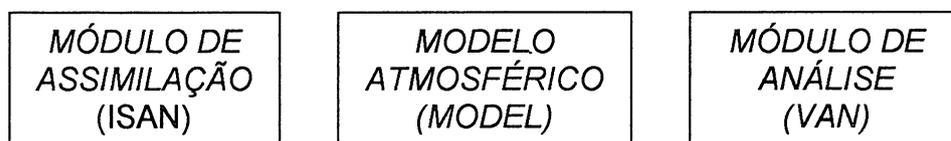
- resolução:  $\Delta x = \Delta y = 20$  km.
- número de pontos em x = 65
- número de pontos em y = 70
- número de níveis em z = 27 (h = 18 km)
- número de níveis no solo = 6 ( $z_g = 1$  km)
- vegetação mista do topo cultura/pastagem
- topografia com resolução de 10'.

As variáveis extraídas do modelo estão na tabela 3 a seguir:

TABELA 3 - VARIÁVEIS EXTRAÍDAS DO MODELO RAMS

| VARIÁVEIS                         | UNIDADE                        |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| Componente u da velocidade        | m/s                            |
| Componente v da velocidade        | m/s                            |
| Componente vertical da velocidade | cm/s                           |
| Temperatura potencial             | K                              |
| Altura geopotencial               | m                              |
| Razão de mistura de água líquida  | kg/kg                          |
| Umidade relativa                  | %                              |
| Altura do terreno                 | m                              |
| Pressão atmosférica               | mb                             |
| Umidade do solo                   | m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> |
| Temperatura da vegetação          | °C                             |
| Precipitação convectiva acumulada | mm                             |
| Precipitação total acumulada      | mm                             |
| Temperatura do ponto de orvalho   | °C                             |
| Razão de mistura de vapor         | g/kg                           |
| Temperatura da superfície do mar  | °C                             |

A arquitetura do modelo é composta por três blocos principais:



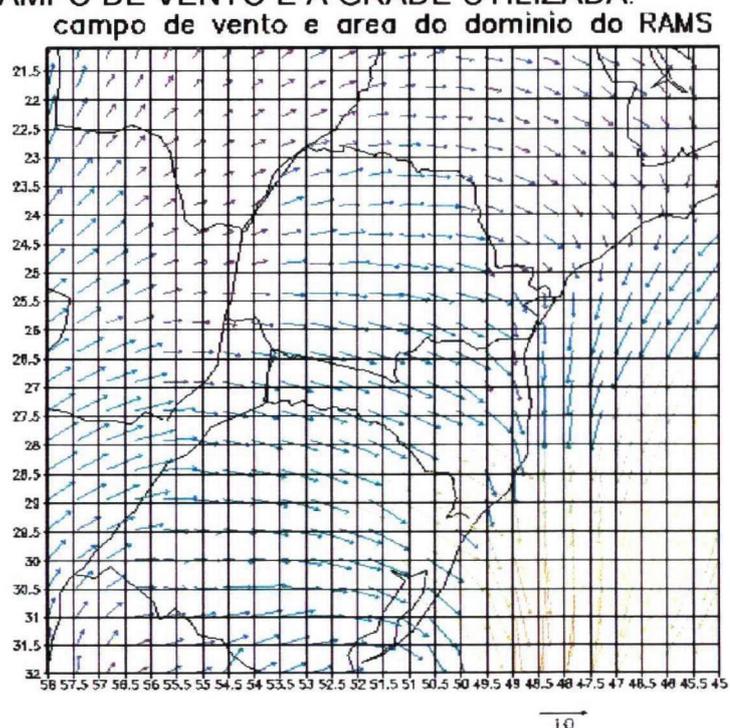
**MÓDULO DE ASSIMILAÇÃO (ISAN):** Esta primeira fase define as condições iniciais da atmosfera. É utilizado para preparar os campos de inicialização do modelo no caso não homogêneo, utilizando-se análises do GLOBAL/CPTEC/COLA como temperatura, umidade relativa e vento para cada nível de pressão (1000, 850, 700, 500, 300, 250 e 200 hPa). Dados estes observados do GTS (Global Teleconnections System) mantido pela OMM (Organização Mundial de Meteorologia) servem como dados de entrada como a componente u da velocidade e componente v da velocidade (m/s), a temperatura potencial (K), a umidade relativa (%) e a pressão

atmosférica (mb). Estes são distribuídos duas vezes ao dia de cada aresta de uma grade de 200 km<sup>2</sup>. Na falta de algum destes, o programa RAMS não roda. O Isentropic Analysis (ISAN) prepara os dados iniciais do modelo providos de observações meteorológicas, tais como radiossondagens, observações de estações especiais, etc.

**MODELO ATMOSFÉRICO (MODEL):** é o modelo propriamente dito, responsável pelas simulações. Este utiliza equações de hidrodinâmica e física (turbulência) da atmosfera.

**MÓDULO DE ANÁLISE (VAN):** é formado por um pacote gráfico, adaptado para ler as saídas do modelo e gerar gráficos (campos horizontais, verticais, variação temporal, etc). Portanto, é a visualização dos resultados numa grade de 20 km (saídas do modelo). É um conjunto de programas para pós-processamento que disponibiliza as saídas do modelo compatíveis com uma variedade de programas gráficos para visualização e análise.

**FIGURA 9 - EXEMPLO DA ÁREA DO DOMÍNIO DO MODELO COM O CAMPO DE VENTO E A GRADE UTILIZADA.**



FONTE: PEREIRA, 1998.

As informações geradas pelo modelo auxiliam na previsão dos dados observados em superfície obtidos por meio da rede telemétrica. Esta rede, da estação do INMET, fornece a direção do vento em todo o Estado do Paraná, assim como os outros registros meteorológicos.

A direção e a velocidade média dos ventos serão analisadas com 12 horas de antecedência do evento até o término deste, tanto na superfície (~1000 hPa) como em altitude (850 hPa).

A altitude à pressão 1000 hPa, equivale a uma altura de aproximadamente 10 m, e 850 hPa corresponde um intervalo entre 2000 – 2500 m, que são padronizados de acordo com as normas federais meteorológicas.

À pressão de 850 hPa, são fornecidos dados de campos de ventos. Estes são previsões, pois não há como medi-los com os aparelhos utilizados à superfície, mas apresentam uma excelente aproximação com os ventos reais.

A previsão é feita através do modelo RAMS para a hora internacional no Meridiano de Greenwich da qual, na passagem para hora local, diminui-se 3 horas devido ao fuso horário.

O modelo roda durante 4 horas, fornecendo saídas de 60 em 60 segundos, previstos para 72 horas antes do evento de interesse.

#### 4.4 Tratamento dos Dados

##### 4.4.1 Elaboração do Gráfico do Balanço Iônico

Para a montagem do gráfico do balanço iônico para íons monovalentes foi usado um procedimento simples para cada série de resultados. Este resulta num gráfico de barras do somatório das concentrações dos cátions, incluindo o íon  $H^+$  e o somatório das concentrações dos ânions. As concentrações foram trabalhadas em mol/L.

#### 4.4.2 Cálculo da Diferença entre as Concentrações de Cátions e Ânions

O cálculo da diferença entre as concentrações de cátions e ânions é dada em porcentagem (%) a partir da seguinte relação de média ponderada, equação (49):

$$\frac{\sum [\text{cátions}] - \sum [\text{ânions}]}{\sum [\text{cátions}] + \sum [\text{ânions}]} \times 100 \quad (49)$$

Onde o símbolo [] indica concentração.

O limite adotado para a diferença entre as concentrações é de entre 25% e 30% (FORNARO, 1991). Este valor é influenciado pela presença de íons monovalentes não analisados.

#### 4.4.3 Elaboração do Gráfico da Condutividade Equivalente

Na elaboração dos gráficos de condutividade equivalente também foram trabalhadas as concentrações na unidade em mol/L. A relação se dá entre a condutividade calculada (eixo das abscissas) versus a condutividade medida em campo.

A condutividade calculada foi determinada de acordo com o Standart Methods. Para os íons encontrados na água e analisados em laboratório como o  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , acetato e formiato sob suas concentrações em mg/L (ppm).

De acordo com os exemplos calculados no Standard Methods, página 2-44, obteve-se o valor das condutividades para cada um dos íon.

Primeiro calcula-se a condutividade da diluição ( $k^0$ ), sob a equação (50):

$$k^0 = \sum |z_i| (\lambda^{\circ}_{+i})(mM_i) + \sum |z_i| (\lambda^{\circ}_{-i})(mM_i) \quad (50)$$

onde:  $mM_i$  – concentração mmol/L;

$|z_i|$  - valor absoluto da carga, como são monoatômicos o valor da carga é 1;

$\lambda^{\circ}_{+i}$  (cátions),  $\lambda^{\circ}_{-i}$  (anions) – condutância equivalente, consultado na tabela 2510:III., página 2-44 Standart Methods; como pode-se verificar na tabela 4, abaixo:

TABELA 4 - CONDUTÂNCIA EQUIVALENTE

| ÍON                             | $k^0$    | $z^2 \cdot \text{mM}$ | $\lambda^{\circ}_{+i}, \lambda^{\circ}_{-i}$ tabelado |
|---------------------------------|----------|-----------------------|---|
| Na <sup>+</sup>                 | 0,8063   | 0,0161                | 50,1  |
| NH <sub>3</sub> <sup>+</sup>    | 40,745   | 0,5544                | 73,5  |
| K <sup>+</sup>                  | 1,0903   | 0,0148                | 73,5  |
| H <sup>+</sup>                  | 350,0000 | 1,0000                | 350,0   |
| ½ Mg <sup>2+</sup>              | 0,3563   | 0,0120                | 53,1  |
| ½ Ca <sup>2+</sup>              | 3,1897   | 0,1201                | 59,5  |
| F <sup>-</sup>                  | 0        | 0                     | 54,4  |
| Cl <sup>-</sup>                 | 0,4956   | 0,0065                | 76,6  |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>    | 5,6314   | 0,0789                | 71,4  |
| ½ SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 2,1653   | 0,0541                | 80,0  |
| acetato                         | 0        | 0                     | 40,9  |
| formiato                        | 0,0364   | 0,0007                | 54,6  |
| soma                            | 404,516  | 1,8576                |   |

A seguir, calcula-se o coeficiente de atividade, através da equação 51:

$$y = 10^{-0,5 [IS \exp. 1/2 / (1 + IS \exp. 1/2) - 0,3 IS]} \quad (51)$$

onde IS é a força iônica, valor tabelado pelo Standart methods para esses íons igual a 0,00767 M.

Finalmente, obtém-se o cálculo do valor da condutividade calculada,  $k_{\text{calc}}$ , com a equação 52 abaixo:

$$k_{\text{calc}} = k^0 y^2 \quad (52)$$

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES - CURITIBA

### 5.1 ESTUDOS INTRA-EVENTOS

Foram 10 os eventos longos, que apresentaram duração suficiente para se fazer mais de uma coleta dentro de um mesmo evento. Destes eventos, foi possível analisar a variação de alguns parâmetros como o pH, a concentração de cátions e ânions, a direção dos ventos, a condutividade e a intensidade da chuva no decorrer da precipitação. Os valores de Curitiba estão ordenados em tabelas que encontram-se no anexo 1.

Para caracterização da precipitação, as coletas foram realizadas com frequência horária, desde o início até o término do evento. Os 10 eventos foram separados pelos meses em que ocorreram, e os parâmetros foram analisados conforme o horário. Para os eventos noturnos ou ocorridos no final de semana, as determinações analíticas correspondem à composição média das chuvas e, as coletas foram efetuadas às 8h do dia seguinte ou do primeiro dia útil.

Cada mês do ano, de fevereiro de 2000 a janeiro de 2001, apresentou eventos longos, ou seja, com cinco ou mais amostras horárias. Nos meses de março, abril, maio, julho e dezembro de 2000, não ocorreram eventos com duração que permitisse a análise de mais de uma amostra. Ocorreram eventos curtos e em dias diferentes.

Neste item, serão descritas as características dos eventos dos meses de fevereiro, junho, agosto, setembro, outubro, novembro de 2000 e janeiro de 2001, coletados conforme descreve a seção 4.1.3.

#### 5.1.1 Intra-eventos fevereiro/2000

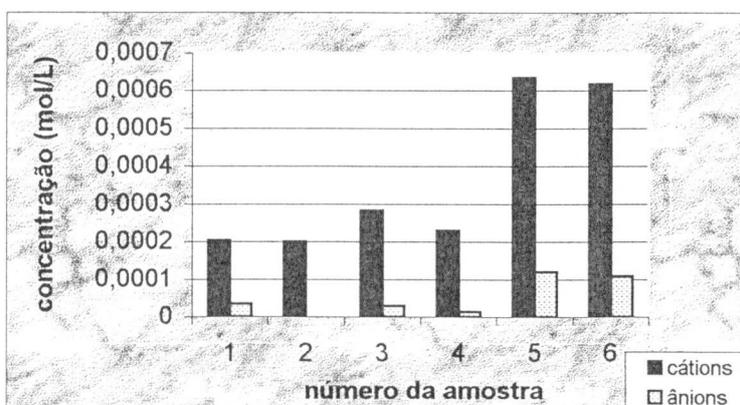
No mês de fevereiro, ocorreram 2 eventos longos. O primeiro aconteceu no dia 15, horário 3h às 17h50, e registrado sob as amostras 4, 5, 6, 7, 8 e 9 e o segundo no dia 16, 0h às 17h20, com as amostras 10, 11, 12 e 13. Estes eventos encontram-se registrados nas tabelas A1 e A2, apresentadas no anexo.

### 5.1.1.1 Evento dia 15 de fevereiro/2000

Ao longo do evento do dia 15 de fevereiro, conforme tabela A1, anexo 1, constatou-se que o pH inicial (amostra 4) é maior que no final (amostra 9) e as concentrações de nitrato e sulfato, aumentaram (tabela A2). Isso pode ser justificado pela diminuição da intensidade da chuva (fator de diluição) e pela mudança de direção dos ventos de nordeste para sudoeste, pois a sudoeste há uma alta concentração industrial. Assim, há possibilidade de ter havido transporte de poluentes industriais, como sulfato e nitrato da região de grande concentração industrial, o que pode ter contribuído para as alterações das características do evento mencionado. A intensidade da chuva também interfere na remoção de poluentes, pois pode diluir ou concentrar os mesmos, causando o aumento ou diminuição da condutividade.

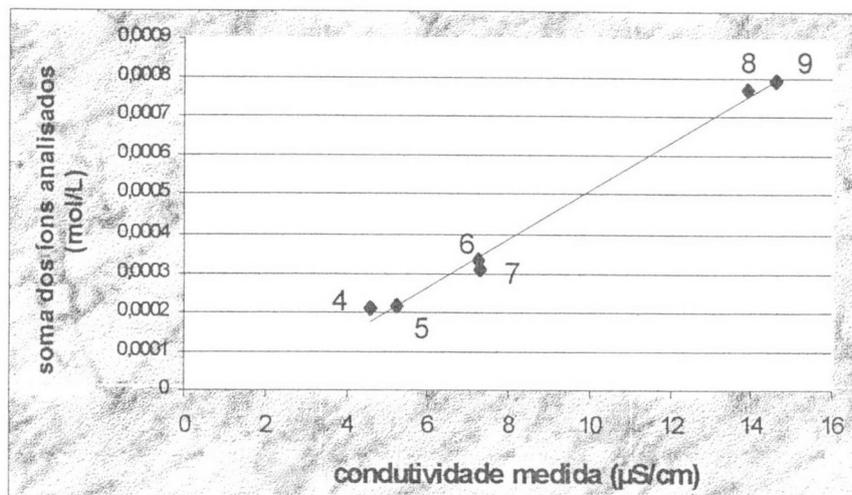
No gráfico 1, a seguir, podem ser observados as informações do balanço iônico deste evento, onde são apresentados os íons monovalentes ( $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ), representando 75% como resultado do quociente entre a subtração e a soma, do somatório das concentrações dos cátions com o somatório das concentrações dos ânions. Um valor muito alto mostrando uma grande diferença entre estas concentrações.

GRÁFICO 1 – BALANÇO IÔNICO - 15 FEVEREIRO/2000



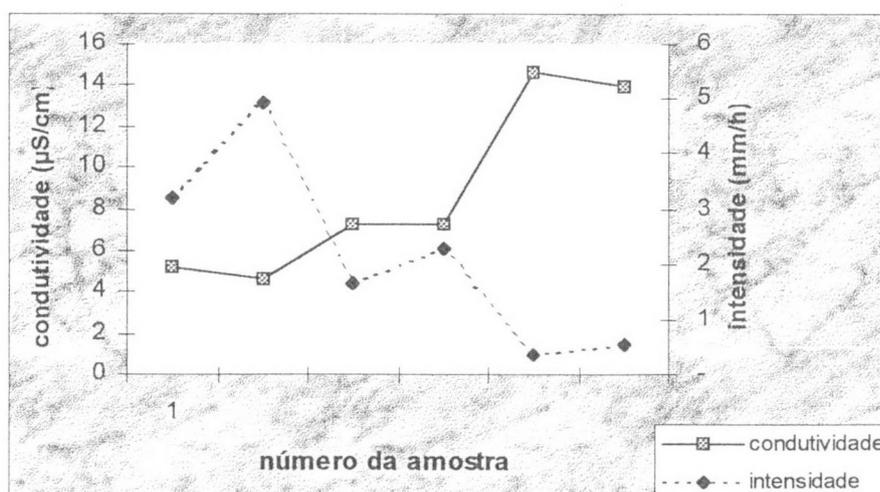
O gráfico 2, mostra a relação entre a condutividade medida ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e a soma dos íons analisados ( $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  e  $\text{PO}_4^{-3}$ ). Foi obtida uma boa relação, demonstrada por  $R^2 = 0,992$ .

GRÁFICO 2 – RELAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE MEDIDA E SOMA DOS ÍONS - 15 FEVEREIRO/2000



O gráfico 3 mostra os perfis da condutividade e da intensidade da chuva. Torna-se clara a proporção inversa entre esses dois parâmetros.

GRÁFICO 3 – RELAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE E INTENSIDADE DA CHUVA - 15 FEVEREIRO/2000



Quando houve aumento da intensidade de chuva, amostra 4 para 5, nota-se que a condutividade diminuiu, conseqüentemente, as concentrações de íons. O horário de coleta foi das 3 h até às 7h, quando o nível de poluentes no ar é baixo.

Houve um intervalo da precipitação das 7h às 9h50. Com o reinício da chuva às 9h50 e amostra coletada às 13h10, não foi observada significativa alteração de pH (tabela A1). Não houve também alteração significativa nas concentrações dos íons presentes bem como na condutividade.

O pequeno período de estiagem não permitiu, portanto, o acúmulo de poluentes em concentração suficiente para alterar os parâmetros já observados na amostra 4.

Na passagem da amostra 5 para 6, houve uma diminuição do valor de pH, devido ao aumento da concentração de íons, principalmente dos íons como o nitrato e o sulfato. A diminuição da intensidade da chuva contribuiu para o aumento da condutividade (tabela A1) comprovado pela elevação da concentração de íons.

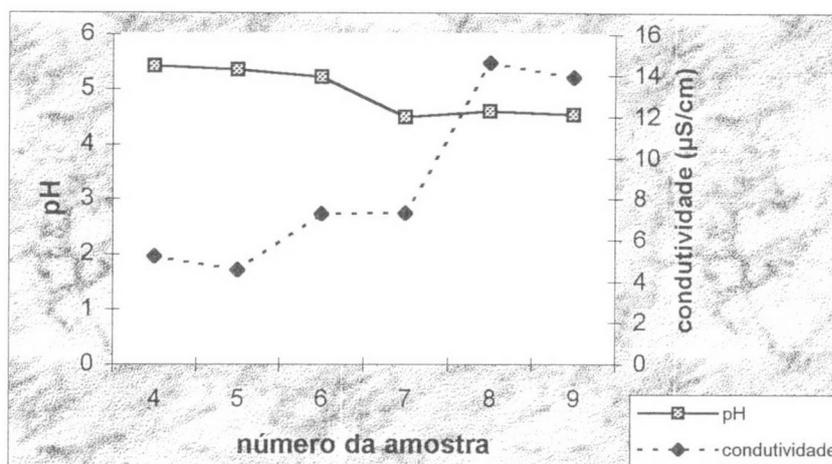
Ao passar da amostra 6 para a 7, houve uma diminuição da concentração dos íons, porém um aumento de íons  $Mg^{2+}$ , apesar das concentrações dos íons cálcio e magnésio terem diminuído. A mudança de direção dos ventos de oeste para leste (vento marítimo) pode ter contribuído para este fato. O valor da condutividade permaneceu constante e, foi observado, nesse período, um aumento da intensidade da chuva e a diminuição do valor de pH de 5,21 para 4,49.

Nas amostras do horário seguinte, amostra 7 para 8 (tabelas A1 e A2), as concentrações de  $Mg^{2+}$  e  $Ca^{2+}$  diminuíram e todas as outras aumentaram, principalmente o amônio  $NH_4^+$ . Isso fez com que o pH e a condutividade aumentassem. Estas características têm como base a redução da intensidade da precipitação. O aumento de  $NH_4^+$  se dá pelo vento oeste, que pode ter transportado poluentes das regiões industriais vizinhas à Curitiba.

No último horário do evento, indicado pelas amostras 8 e 9 (tabela A1), entre (15h10 às 17h20), as concentrações das amostras anteriores foram mantidas.

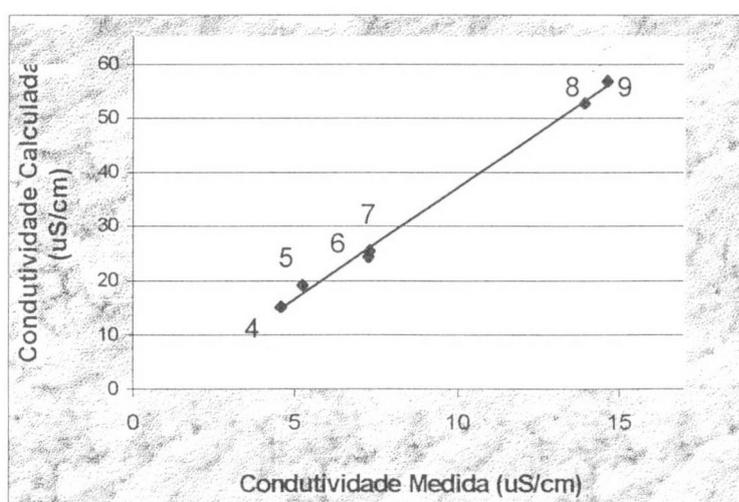
Uma análise intra-evento apresentado no gráfico 4, mostra a relação inversa entre o pH a condutividade, constatada para as amostras do dia 15 de fevereiro de 2000.

GRÁFICO 4 – RELAÇÃO pH – CONDUTIVIDADE - 15 FEVEREIRO/2000



Outra análise é da condutividade equivalente. Esta indica a relação entre a condutividade medida (leva em conta os íons monovalentes presentes na água) com uma condutividade calculada (que indica um valor de condutividade em  $\mu\text{S}/\text{cm}$  levando-se em consideração os íons analisados). O gráfico 5 mostra que houve entre estes valores uma boa relação, com um coeficiente de correlação  $R^2 = 0,996$ .

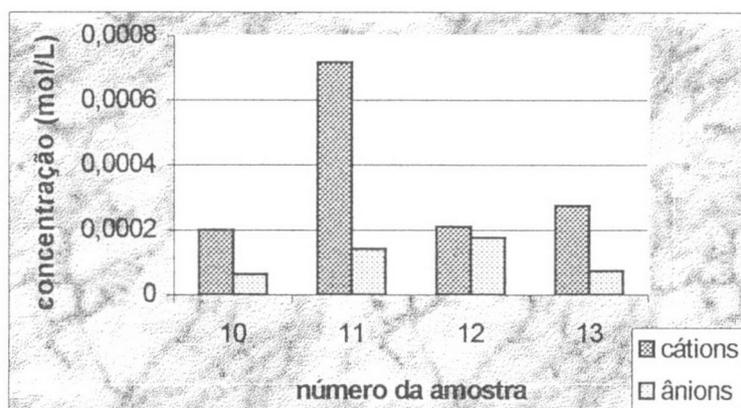
GRÁFICO 5 – CONDUTIVIDADE EQUIVALENTE - 15 FEVEREIRO/2000



### 5.1.1.2 Evento dia 16 de fevereiro/2000

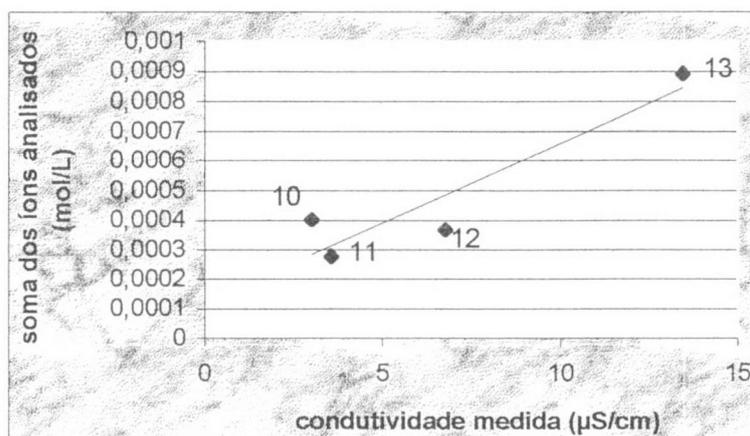
Ao longo do terceiro evento, dia 16 de fevereiro (tabelas A1 e A2), amostra 12 (13h15 às 14h40), a direção do vento registrada foi leste. Nota-se que as maiores concentrações são as de íon amônio e íons cloreto e nitrato, devido a direção dos ventos ter sido a leste (do mar). O gráfico 6 apresenta o balanço iônico deste evento, o que representa 2% da razão entre a subtração e a soma, do somatório das concentrações dos cátions com o somatório das concentrações dos ânions. Um valor baixo, mostrando uma pequena diferença entre estas concentrações.

GRÁFICO 6 – BALANÇO IÔNICO DO DIA 16 DE FEVEREIRO



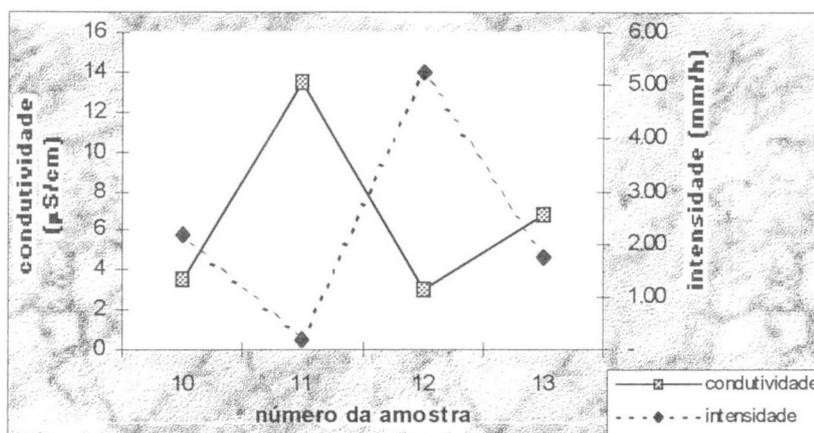
No gráfico 7 abaixo, é possível observar a relação entre a condutividade ( $\mu\text{S/cm}$ ) e a soma dos íons analisados. Foi obtida uma boa relação de  $R^2 = 0,8625$ .

GRÁFICO 7 – RELAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE E A SOMA DOS ÍONS - 16 FEVEREIRO/2000



O gráfico 8 está indicando a correlação inversa entre a condutividade medida e a intensidade da chuva ao longo deste evento.

GRÁFICO 8 - RELAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE E INTENSIDADE DA CHUVA - 16 FEVEREIRO/2000



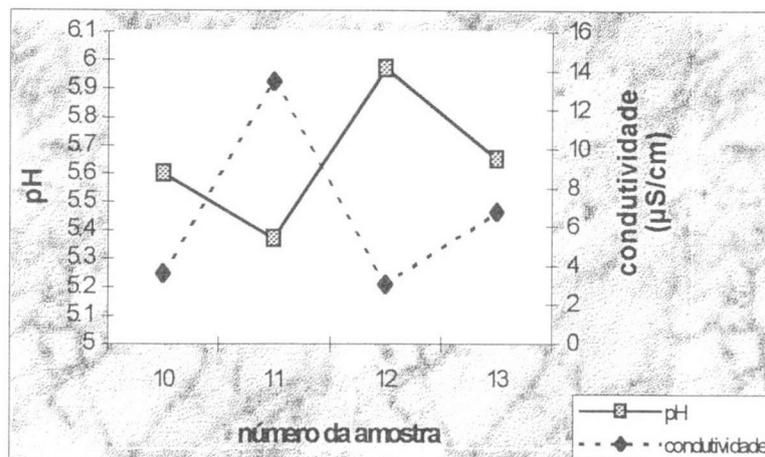
No gráfico 8, observando-se a amostra 11, no horário seguinte, verifica-se o aumento da concentração dos íons, principalmente de  $\text{NH}_4^+$ , o que corresponderia a elevação do valor do pH. Entretanto, a considerável presença dos ânions  $\text{NO}_3^-$  ( $6,68 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ ) e  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $1,35 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ ) e  $\text{Cl}^-$  ( $7,39 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ ), íons ácidos, pode estar alterando o pH de 5,60 para 5,37.

Analisando as amostras 11 e 12, nota-se que as concentrações dos íons diminuíram, aumentando somente a concentração de  $\text{NO}_3^-$ . Observa-se também que a intensidade da chuva e o pH aumentaram, e a condutividade diminuiu. Também foi possível constatar as variações nas concentrações de íons e o vento de direção a leste, do mar.

Entre as amostras 12 e 13, ocorreu um aumento de íons, com exceção dos íons nitrato e sulfato que diminuíram. A intensidade da chuva e o pH diminuíram, a condutividade aumentou, e a direção do vento continua sendo leste (tabelas A1 e A2).

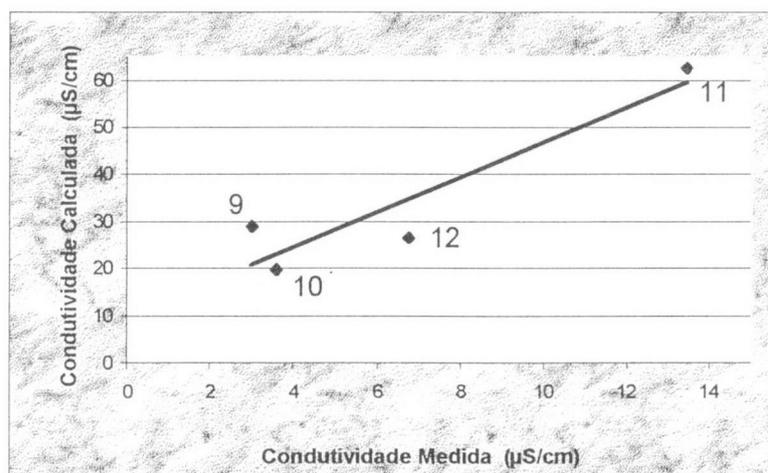
Uma relação entre o pH e a condutividade deste evento é apresentada pelo gráfico 9 a seguir.

GRÁFICO 9 – RELAÇÃO pH - CONDUTIVIDADE - 16 FEVEREIRO/2000



O gráfico 10 apresenta a condutividade equivalente, calculada para as amostras do evento ocorrido em 16 de fevereiro. A correlação entre a condutividade calculada e a condutividade medida resulta em baixo coeficiente de correlação ( $R^2 = 0,8596$ ).

GRÁFICO 10 – CONDUTIVIDADE EQUIVALENTE – 16 FEVEREIRO/2000



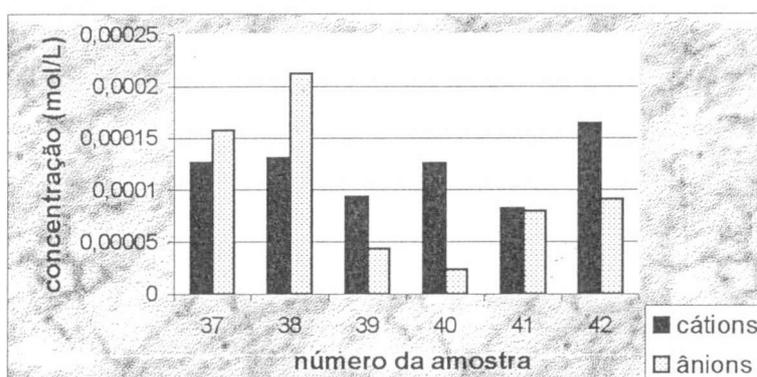
## 5.1.2 Intra-eventos junho/2000

### 5.1.2.1 Evento dia 20 de junho/2000

O único evento de longa duração no mês de junho aconteceu no dia 20, englobando seis amostras que foram registradas sob os números 37, 38, 39, 40, 41 e 42 (tabelas A9 e A10).

As concentrações de cátions mostraram oscilações desde o início da precipitação até o término. As concentrações de ânions mostraram uma tendência à diminuição, com exceção do nitrato e sulfato que aumentaram. Conforme o gráfico 11, o que representa 0,012% do quociente entre a subtração e a soma, do somatório das concentrações dos cátions com o somatório das concentrações dos ânions. Um valor muito pequeno mostrando uma desprezível diferença entre estas concentrações.

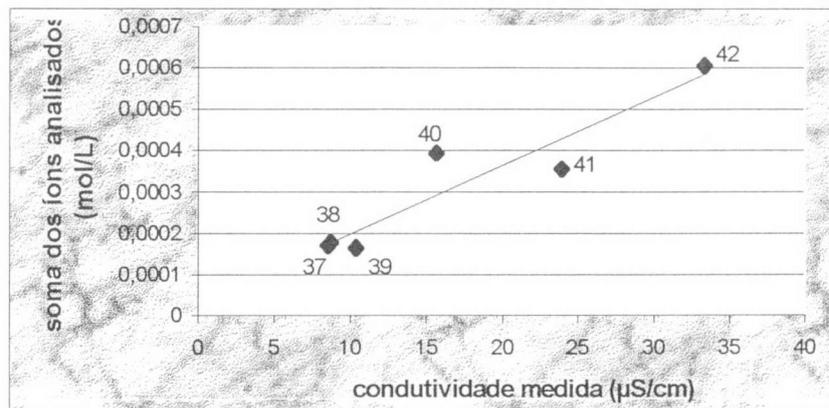
GRÁFICO 11- BALANÇO IÔNICO - 20 DE JUNHO/2000



Em toda essa seqüência de amostras, quando diminui a intensidade da chuva (mm/h), a concentração dos íons aumenta. A direção leste do vento, no início do evento, alterou para sudeste, a partir da amostra 38 e permaneceu nesta direção até a amostra 40. A diminuição de volume de água de chuva (intensidade de chuva) fez aumentar a condutividade. A concentração de íons e a condutividade foram diminuindo com a duração do evento. Na última amostra verifica-se o aumento da concentração dos íons e conseqüentemente da condutividade, função da diminuição da intensidade da chuva. Quando o vento muda de direção de sudeste para leste na amostra 42, nota-se que a concentração de sulfato diminui, porém o pH não se alterou.

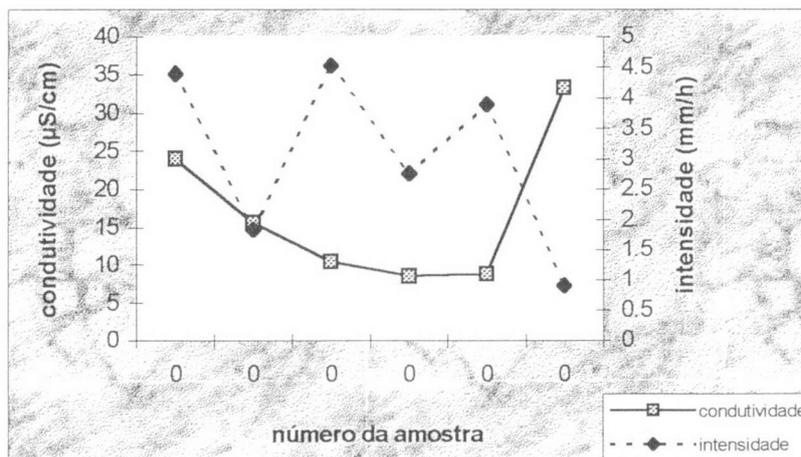
Neste evento também foi possível relacionar os parâmetros de intensidade da chuva, concentração dos íons e pH com a condutividade conforme demonstram os gráficos 12, 13 e 14. O gráfico 12 mostra um coeficiente de correlação com  $R^2 = 0,8863$  entre a condutividade medida e a soma das concentrações dos íons analisados, indicando a relação de proporcionalidade entre estes parâmetros.

GRÁFICO 12 - RELAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE E SOMA DOS IONS  
20 JUNHO/2000



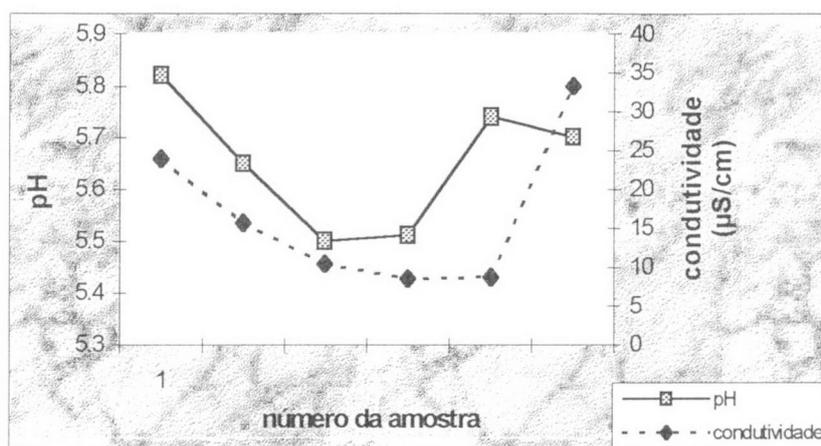
No gráfico 13 é possível verificar-se a proporção inversa da condutividade com a intensidade da chuva. Para a seqüência das seis amostras do dia 20 de junho de 2000, quando a intensidade de chuva diminui, a condutividade aumenta, devido a oscilação da quantidade de poluentes dissolvidos na água da chuva, principalmente dos monovalentes.

GRÁFICO 13 – RELAÇÃO ENTRE A CONDUTIVIDADE E INTENSIDADE DA CHUVA - 20 JUNHO/2000



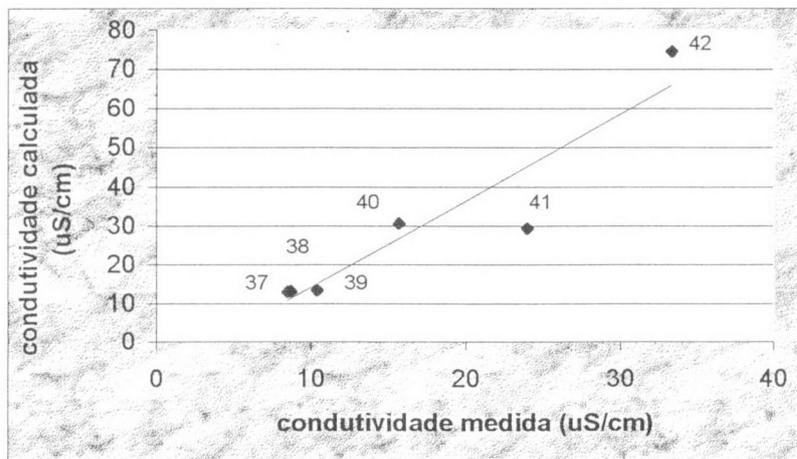
O gráfico 14 mostra a relação obtida, para este evento, entre o pH e a condutividade. Nas amostras, de um modo geral, o pH diminuiu enquanto a condutividade aumentou, pois a presença de alta concentração de íons monovalentes favorece o aumento da condutividade.

GRÁFICO 14 – RELAÇÃO ENTRE pH E CONDUTIVIDADE DO DIA 20 DE JUNHO



Quanto à condutividade equivalente, obteve-se um coeficiente de correlação de  $R^2 = 0,8773$ , como mostra o gráfico 15.

GRÁFICO 15 – CONDUTIVIDADE EQUIVALENTE - 20 JUNHO/2000



### 5.1.3 Intra-eventos agosto/2000

O mês de agosto possui um evento de longa duração no dia 03, representado pelas amostras 54, 55, 56 e 57 (tabelas A13 e A14).

#### 5.1.3.1 Evento dia 03 de agosto/2000

A precipitação do dia 03 de agosto começou na madrugada (2h) e terminou às 16h. Observou-se que a concentração de íons aumentou durante o evento, concomitantemente com os principais ânions,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ . Com isso, a condutividade aumentou, reduzindo o pH.

Na passagem do primeiro período para o segundo (amostra 54 para 55), notou-se que a concentração de íons aumentou, com exceção de  $\text{F}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$ , cujas concentrações diminuíram. Observou-se também que o valor do pH diminuiu e a condutividade aumentou. O aumento da concentração de íons, a diminuição da concentração de  $\text{NH}_4^+$  e a redução da intensidade da precipitação úmida, estão relacionados com a alteração da direção do vento de sul para oeste. Estas observações são válidas, também, quando o evento continua durante o período de 13h20 até 15h, correspondentes às amostras 55, 56 e 57.

Na passagem de 56 para 57, cabe mencionar que assim como houve redução dos íons dissolvidos, principalmente o íon  $\text{NO}_3^-$ , também ocorreu uma elevação na concentração do íon  $\text{SO}_4^{2-}$ , o que aumentou o pH da chuva ácida de 5,5 para 5,6.

#### 5.1.4 Intra-eventos setembro/2000

No mês de setembro ocorrem 2 eventos de longa duração. O primeiro, no dia 12, compreendeu cinco amostras, representadas pelos números 69, 70, 71, 72 e 73. Outro, no dia 15 de setembro, com quatro amostras, indicadas pelos números 78, 79, 80 e 81.

#### 5.1.4.1 Evento dia 12 de setembro/2000

No dia 12 de setembro (tabelas A15 e A16), de uma concentração total de  $1,95 \times 10^{-4}$  mol/L no início da precipitação, os íons variaram, no final da precipitação, para  $8,35 \times 10^{-5}$  mol/L. A condutividade variou de  $16,48 \mu\text{S/cm}$  para  $11,01 \mu\text{S/cm}$ . Observou-se, entretanto, que a concentração de amônio aumentou. Condutividade é resultado da soma de íons presentes na solução. Embora tenha havido um aumento na concentração do cátion  $\text{NH}_4^+$  (de  $4,70 \times 10^{-6}$  mol/L para  $6,46 \times 10^{-6}$  mol/L), a soma total de íons diminuiu e a condutividade também.

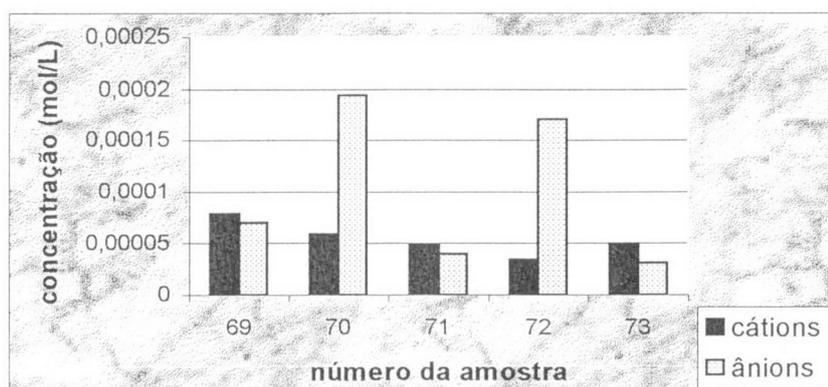
Uma das causas prováveis pode ser a mudança de direção do vento de nordeste para sudoeste, região de concentração de diversas indústrias.

No balanço iônico do gráfico 16 é possível de verificar a oscilação de concentração dos íons neste evento. Os íons  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , entretanto, diminuíram. Estes fatores podem estar relacionados com a intensidade da chuva que aumentou, de  $0,85 \text{ mm/h}$  para  $1,16 \text{ mm/h}$ .

Este gráfico indica um quociente próximo a zero entre a subtração e a soma, do somatório das concentrações dos cátions com o somatório das concentrações dos ânion, indicando diferença desprezível entre estas concentrações.

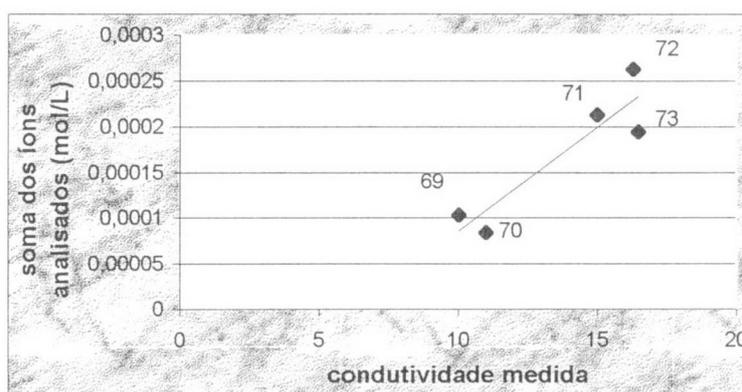
Neste evento observa-se elevada concentração de ânions quando comparadas as outras amostras 70 e 72 deste evento. O fato se deve que na amostra 70 a intensidade de chuva é baixa de  $0,72 \text{ mm/h}$  sob um vento de direção norte, e para a amostra 72, sob a intensidade de chuva igual a  $2,03 \text{ mm/h}$ , porém a direção de vento a sudoeste, que transporta poluentes industriais.

GRÁFICO 16 – BALANÇO IÔNICO - 12 SETEMBRO/2000



Como demonstra o gráfico 17, houve um coeficiente de correlação  $R^2$  igual a 0,8396, entre a condutividade e soma total das concentrações dos íons analisados. A diminuição de íons nitrato e sulfato foi compensado pelo aumento de amônio, já que a condutividade diminuiu de 16,48  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no início para 11,01  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no final do evento.

GRÁFICO 17 – CONDUTIVIDADE E SOMA DAS CONCENTRAÇÕES DOS ÍONS - 12 SETEMBRO



Apesar da intensidade da chuva ter diminuído, conforme tabela A15 e A16, a passagem do primeiro período para o segundo, ou seja, das amostras 69 para 70, observou-se uma diminuição da concentração dos íons. Entretanto, a concentração de amônio e de nitrato praticamente não aumentaram, apenas alterando um pouco o pH (de 5,9 para 6,0). A pequena redução da concentração dos poluentes é decorrente da mudança de vento, de noroeste para norte, fazendo com que a condutividade também diminua (de 16,48 para 16,29  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Na passagem da amostra 70 para 71, o pH diminuiu, apesar das concentrações dos íons ácidos, como  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ , terem diminuído. Mesmo assim continua alta em relação aos íons básicos, que também diminuíram. O aumento dos íons  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$  não contribuíram para o leve aumento da condutividade. A intensidade de chuva aumentou de 0,26 mm/h para 1,58 mm/h e a condutividade diminuiu de 16,29  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para 10,09  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , função da diluição da concentração de íons presentes na água da chuva.

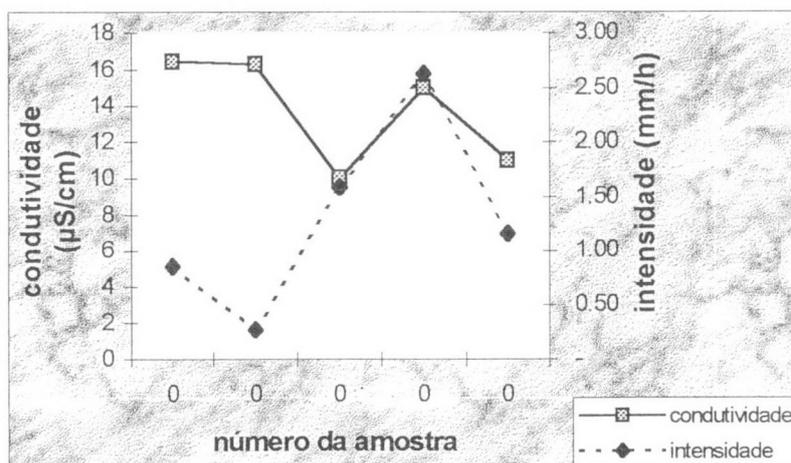
Na seqüência das coletas, observado nas amostras 71 para 72, a concentração dos cátions e dos ânions diminuiu, o que justifica a redução do pH.

Apesar da intensidade da chuva ter aumentado (de 1,58 mm/h para 2,63 mm/h) houve aumento da condutividade de 11,73  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para 15,00  $\mu\text{S}/\text{cm}$  em função da mudança de direção de direção do vento de nordeste para sudoeste, o que, em geral, diminui a concentração de íons bivalentes.

Ao final do evento (amostras 72 e 73), as concentrações de ânions baixaram e dos cátions se elevaram, pois houve mudança na direção dos ventos de sudoeste para sul. Isso provocou o aumento do pH, passando de 5,3 para 5,85. A redução dos cátions compensa a elevação dos ânions. Isso fez com que e a condutividade diminuísse de 15 para 11,01  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , apesar do decréscimo da intensidade. Isso não confirma o esperado.

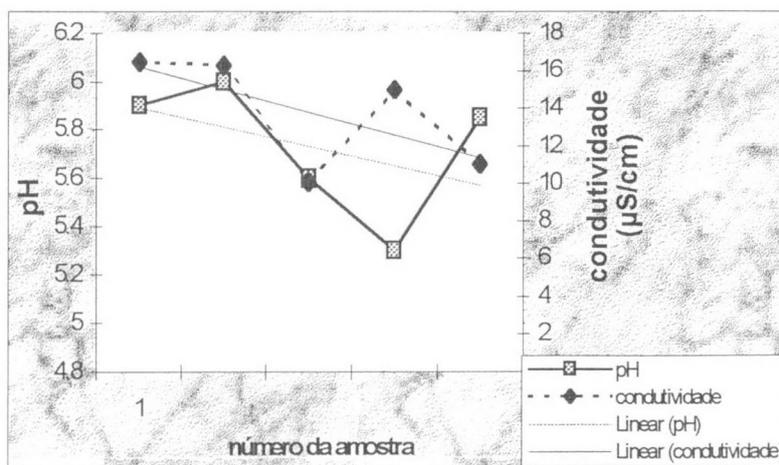
A proporção inversa entre a condutividade e intensidade da chuva é mostrada no gráfico 18.

GRÁFICO 18 – CONDUTIVIDADE E INTENSIDADE DA CHUVA –  
12 SETEMBRO/2000



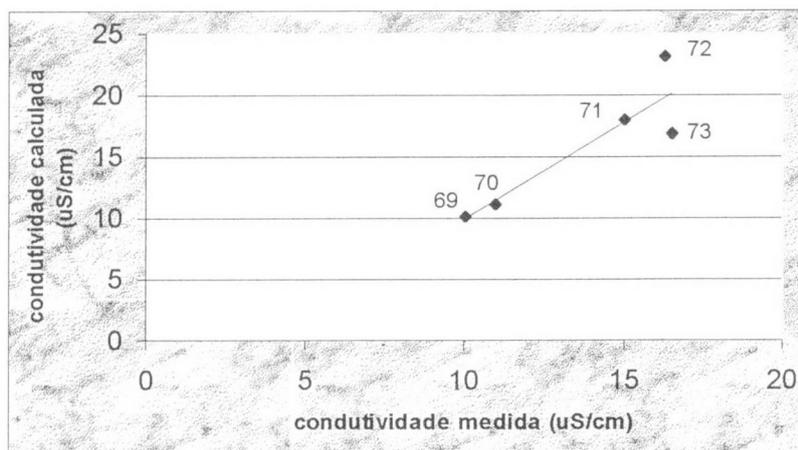
A variação do pH em relação à condutividade no intra-evento de 12 de setembro de 2000 é mostrada no gráfico 19 abaixo, onde houve uma tendência de ambos os parâmetros à diminuição. A amostra 72 mostrou um desvio em relação as demais amostras, pois neste período houve um aumento de nitrato e uma diminuição dos íons bivalentes.

GRÁFICO 19 – VARIAÇÃO pH - CONDUTIVIDADE - 12 SETEMBRO/2000



O gráfico 20 mostra um coeficiente de correlação ( $R^2$ ) igual a 0,801 para a condutividade equivalente, o que pode ser função da presença de outros íons além dos analisados.

GRÁFICO 20 – CONDUTIVIDADE EQUIVALENTE - 12 SETEMBRO/2000



#### 5.1.4.2 Evento dia 13 de setembro/2000

A precipitação do dia 13 de setembro começou às 10h e terminou às 13h20. Este se estendeu de forma que foi possível a coleta de três amostras, representadas pelos números 74, 75 e 76.

Comparando-se as amostras 74 e 75, nota-se que houve um aumento da quantidade de ânions e uma redução brusca de cátions, a ponto de não serem detectados pelo método de análise utilizado (HPIC, limite de detecção < 0,05). Com esses fatores houve a redução do pH (de 5,7 para 5,56) e da condutividade (de 11,47 para 5,69  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Tais características podem ter sido afetadas pela mudança de direção do vento de sudoeste para oeste.

Entre as amostras 75 e 76, o pH aumentou, por que as concentrações de ânions diminuíram muito provavelmente devido a mudança de direção dos ventos de oeste para noroeste. A concentração de cátions aumentou proporcionando a pouca elevação da condutividade de 6,03  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para 6,85  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . A intensidade da chuva variou de 2,09 mm/h para 4,72 mm/h.

#### 5.1.4.3 Evento dia 15 de setembro/2000

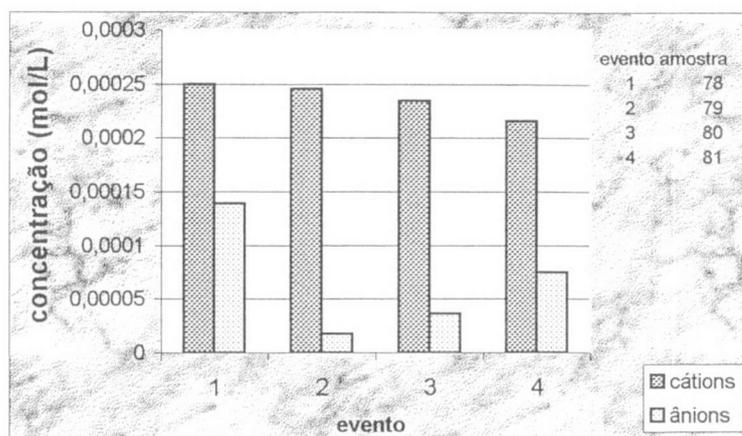
O outro evento ocorreu em 15 setembro de 2000, abrangendo 4 amostras, representadas pelos números 78, 79, 80 e 81.

Com o passar do tempo, até o final do evento, as concentrações dos íons, com exceção do sulfato, diminuíram, pois houve uma alta intensidade da chuva (de 0,659 mm/h na amostra 78 para 17,33 mm/h na amostra 79). O pH também diminuiu muito, passando de 5,7 para 4,6.

O gráfico 21 indica o balanço iônico do evento. Claramente as concentrações de cátions foram maiores que a de ânions, porém a concentração de sulfato na última amostra de número 81, de  $1,12 \times 10^{-4}$  mol/L, fez com que a tendência do valor do pH diminuísse.

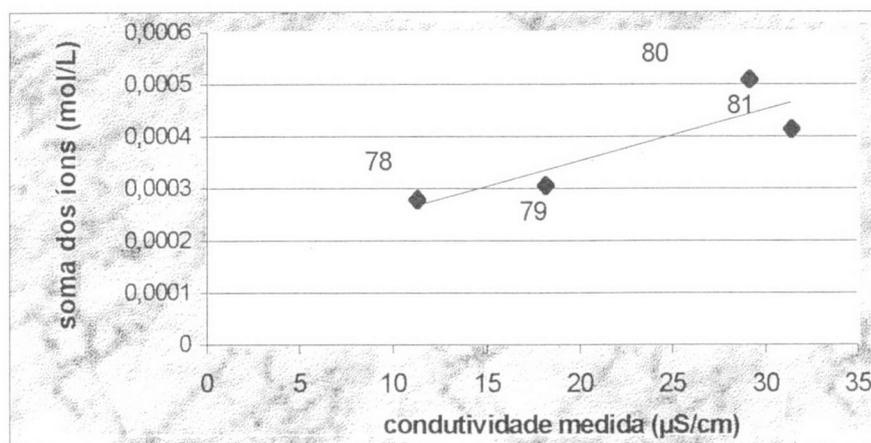
Este gráfico indica um quociente de 48% entre a subtração e a soma, do somatório das concentrações dos cátions com o somatório das concentrações dos ânions. Um alto mostrando uma grande diferença entre estas concentrações.

GRÁFICO 21 - BALANÇO IÔNICO - 15 SETEMBRO/2000



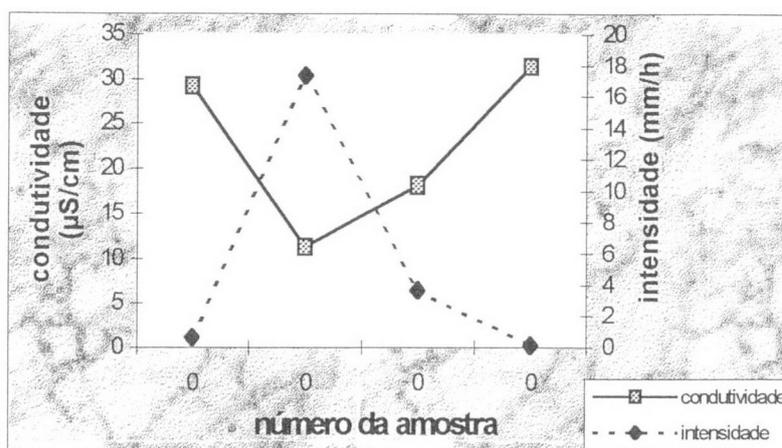
O gráfico 22 mostra a relação entre a condutividade medida e a soma das concentrações dos íons analisados. O coeficiente de correlação  $R^2 = 0,7603$ , não apresentou a proporção esperada.

GRÁFICO 22 - RELAÇÃO ENTRE A CONDUTIVIDADE MEDIDA E A SOMA DAS CONCENTRAÇÕES DOS ÍONS ANALISADOS DO DIA 15 DE SETEMBRO/2000



Já o gráfico 23 revela a proporção inversa entre a condutividade e a intensidade da chuva.

GRÁFICO 23 - CONDUTIVIDADE E A INTENSIDADE DA CHUVA



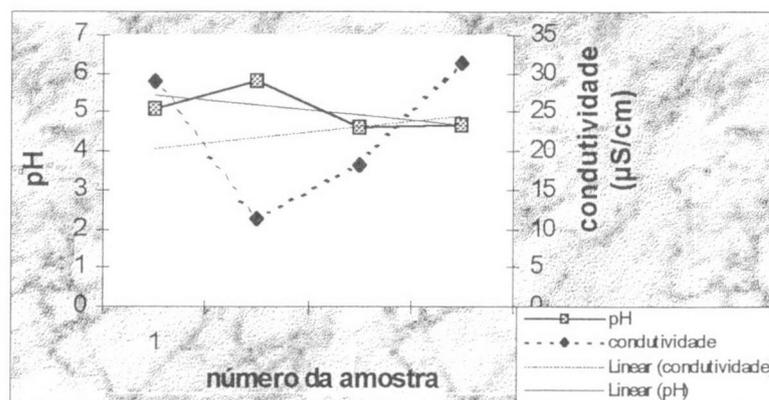
Da amostra 78 para 79, houve diminuição dos cátions e ânions, exceto de amônio, que aumentou. Este fato pode ser função da mudança dos ventos da direção norte para oeste. O pH aumentou de 5,1 para 5,8 acompanhando a presença de  $\text{NH}_4^+$ ; ao contrário da intensidade da chuva, que subiu. A condutividade da precipitação diminuiu inversamente proporcional à intensidade de chuva.

Ainda com a direção dos ventos à oeste, a concentração dos íons das amostras 79 para 80, aumentou em virtude da queda da intensidade da chuva. A condutividade também aumentou, passando de 11,28 para 18,14  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Porém, as concentrações dos ânions como o nitrato e o sulfato (provenientes dos ácidos nítrico e sulfúrico) foram suficientes para baixar o pH de 5,8 para 4,6.

A intensidade da chuva reduziu, de 3,67 a 0,12 mm/h, no final do evento, correspondendo às amostras 80 e 81. Isso provocou a elevação das concentrações dos íons, principalmente de  $\text{SO}_4^{2-}$ , ocasionando, por ser ácido, a diminuição do pH, a condutividade passou de 18,14 para 31,40  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , e a direção do vento mudou de oeste para o sul.

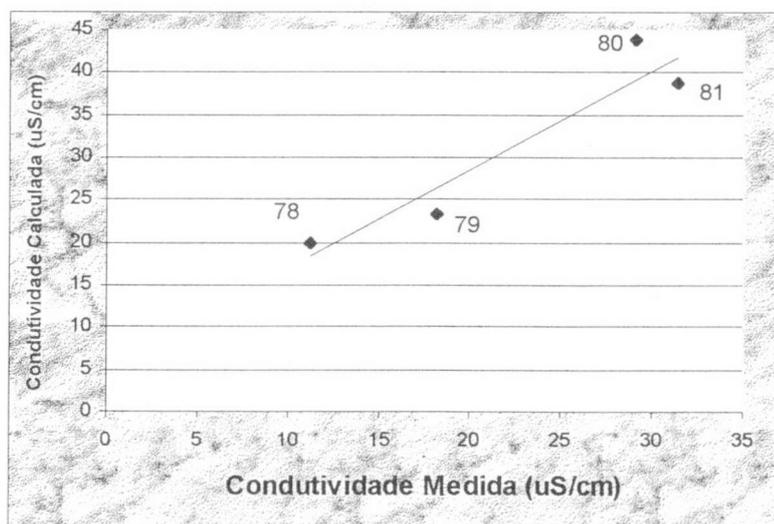
No gráfico 24, pode-se notar a relação entre o pH a e condutividade, devido a presença do íons ácidos monovalentes, com grande habilidade em conduzir de corrente elétrica.

GRÁFICO 24 – RELAÇÃO pH - CONDUTIVIDADE - 15 SETEMBRO/2000



O gráfico 25, a seguir, mostra que o evento apresenta uma condutividade equivalente, com um coeficiente de correlação de  $R^2$  igual a 0,8919.

GRÁFICO 25 – CONDUTIVIDADE EQUIVALENTE - 15 SETEMBRO/2000



### 5.1.5 Intra-eventos outubro/2000

Em outubro ocorreu apenas um evento longo, dia 10, compreendendo as amostras 92, 93, 94, 95, 96, 97 e 98, conforme tabelas A17 e A18, no anexo 1.

#### 5.1.5.1 Evento dia 10 de outubro/2000

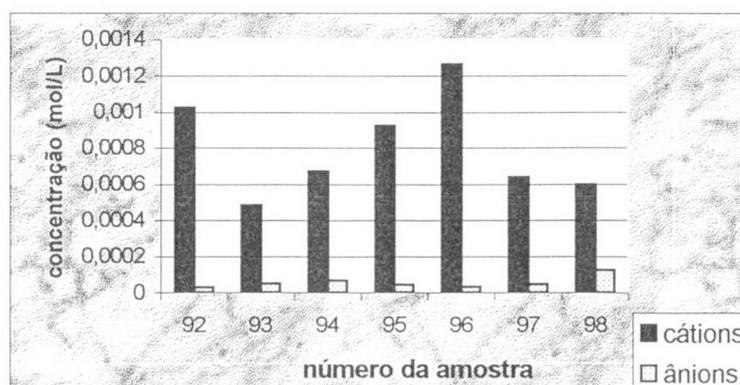
O evento que ocorreu no dia 10 de outubro foi um dos mais longos do ano, com 7 horas de duração. Este evento está representado pelas amostras 92, 93, 94, 95, 96, 97 e 98.

Na passagem da primeira para a segunda hora, da amostra 92 para 93, a concentração dos ânions aumentou e a de cátions diminuiu, notadamente ao íon amônio (de  $1,00 \times 10^{-3}$  para  $4,56 \times 10^{-4}$  mol/L). A concentração de  $\text{NH}_4^+$  permaneceu alta em relação aos outros cátions analisados (92 e 93), alterando o pH de 6,01 para 6,3. Com isso, a condutividade também aumentou, e a intensidade de chuva diminuiu de 23,34 para 1,84 mm/h, com direção de vento oeste em ambas as amostras.

O gráfico 26, abaixo, mostra a relação entre os cátions e os ânions monovalentes do evento do dia 10 de outubro/2000.

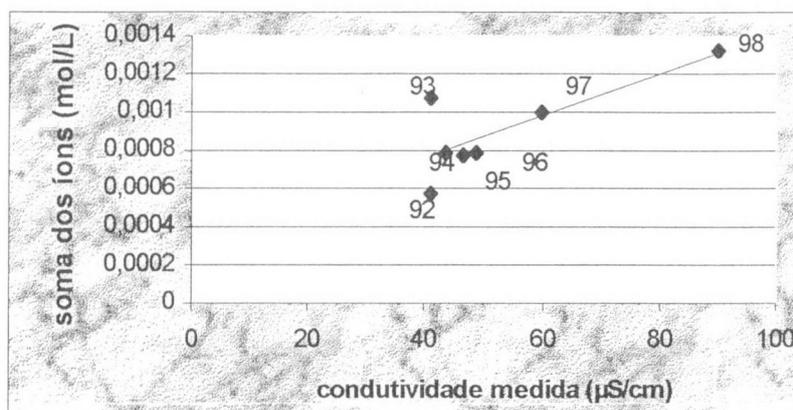
Este gráfico indica um quociente de 74% entre a subtração e a soma, do somatório das concentrações dos cátions com o somatório das concentrações dos ânions. um valor muito alto mostrando uma grande diferença entre estas concentrações.

GRÁFICO 26 – BALANÇO IÔNICO - 10 DE OUTUBRO/2000



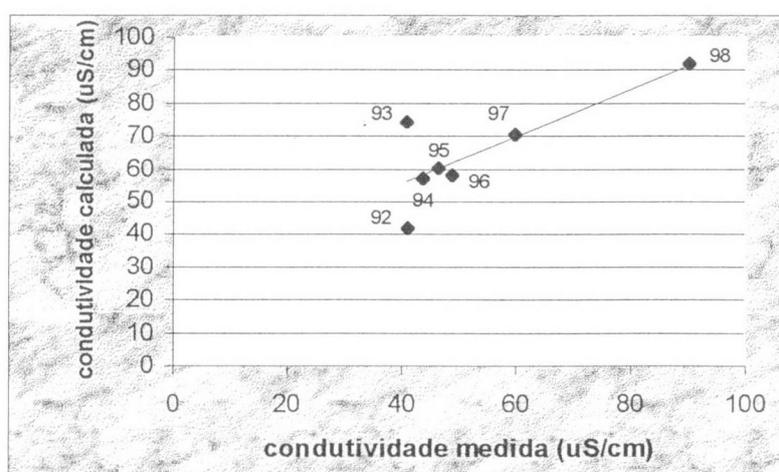
O gráfico 27 abaixo mostra a variação da condutividade com a soma dos os íons analisados. O coeficiente de correlação  $R^2$  foi baixo (0,6144), indicando que há outros íons presentes na água da chuva deste evento que não foram analisados.

GRÁFICO 27 - MOSTRA A VARIACÃO DA CONDUTIVIDADE COM A SOMA DOS ÍONS ANALISADOS - 10 DE OUTUBRO/2000



A relação condutividade medida e condutividade calculada (conforme gráfico 28, da condutividade equivalente) ficou abaixo de 0,6325.

GRÁFICO 28 - CONDUTIVIDADE EQUIVALENTE DO DIA 10 DE OUTUBRO



Nas amostras 93 para 94, tabelas 20 e 21, a intensidade da chuva diminuiu, de 1,84 para 0,35 mm/h. Porém, a condutividade também reduziu, de 23,25 para 21,95 µS/cm, podendo-se dizer que a direção do vento a noroeste tenha contribuído

para o transporte de poluentes. Houve uma medida de pH igual a 6,1, devido a elevada concentração de íon amônio de  $22 \times 10^{-4}$  mol/L.

Da amostra 94 para 95, o vento muda de noroeste para sudoeste, a concentração dos íons diminuíram exceto do íon amônio (de  $6,22 \times 10^{-4}$  para  $8,94 \times 10^{-4}$  mol/L) e sulfato (de  $1,88 \times 10^{-5}$  mol/L para  $2,12 \times 10^{-5}$  mol/L), o que praticamente não modificou o valor do pH (6,1 para 5,89), sendo suficientes para aumentar a condutividade, mesmo tendo a intensidade de chuva aumentado, ou há presença de outros íons carregados pelo vento que não foram analisados. Neste caso, a mudança de direção dos ventos capaz de transportar poluentes, fez como que a condutividade aumentasse.

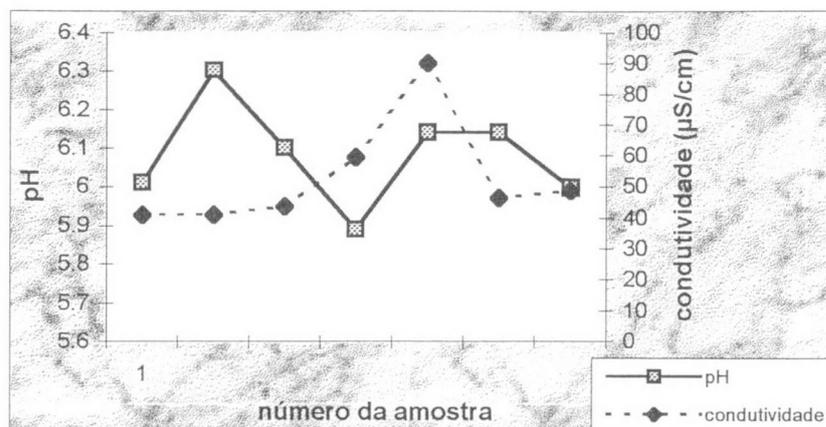
No horário das 13h15 às 15h15, da amostra 95 para 96, as concentrações de cátions se elevaram muito, ao contrário das concentrações dos ânions que diminuíram. Este fator aumentou levemente o valor do pH de 5,89 para 6,14. A intensidade de chuva baixou (de 1,415 para 0,778 mm/h) e a condutividade aumentou e o vento continuou a sudoeste.

Da amostra 96 para 97, das 14h15 às 16h15, a intensidade da chuva e a condutividade diminuíram. O pH (6,14) e o vento (sudoeste) permaneceram inalterados. Isso correspondeu a diminuição das concentrações dos íons, exceto  $K^+$  e  $Ca^{2+}$ . Neste caso, por ter se passado em torno de 10 horas chovendo, os poluentes do ar foram removidos fazendo com que a condutividade diminuísse mesmo que a superfície de contato água-poluente tenha aumentado.

No final do evento, no horário das amostras 97 para 98, a intensidade aumentou, o vento continuou à sudoeste, a concentração dos cátions diminuiu (exceto  $Mg^{2+}$ ) e a concentração de ânions aumentou. Isso fez com que aumentasse um pouco a condutividade (de  $24,22 \mu\text{S/cm}$  para  $24,75 \mu\text{S/cm}$ ) e diminuísse o pH (de 6,14 para 6,00).

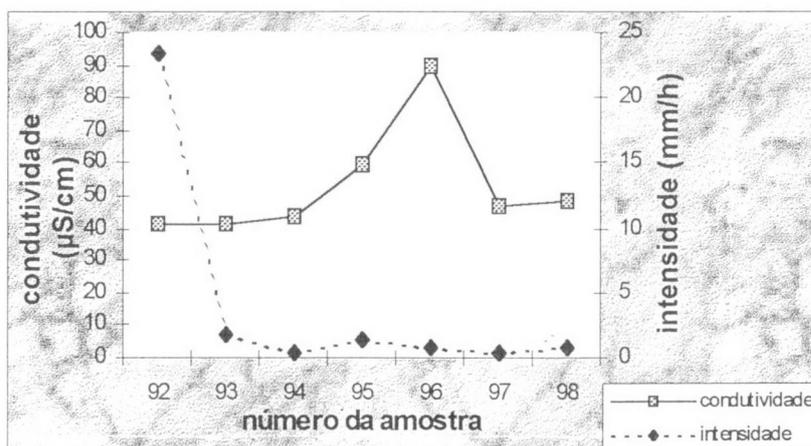
O gráfico 29, a seguir, revela a proporção inversa entre o pH com a condutividade.

GRÁFICO 29 - VARIAÇÃO DO pH COM A CONDUTIVIDADE - 10 OUTUBRO/2000



O gráfico 30, mostra a proporção inversa entre a condutividade e a intensidade da chuva.

GRÁFICO 30 - VARIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE COM A INTENSIDADE DA CHUVA - 10 DE OUTUBRO/2000



### 5.1.6 Intra-eventos novembro/2000

No mês de novembro ocorreram dois eventos de longa duração, um no dia 21 (amostras 112, 113, 114, e 115) e o outro, e mais longo, no dia 30 (amostras 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, e 124). Conforme as tabelas A19 e A20.

#### 5.1.6.1 Evento dia 21 de novembro/2000

A precipitação do dia 21 de novembro ocorreu à tarde, das 12h30 até 16h30, com os ventos sempre à leste, mantendo valores de pH maiores que 5,5.

No início da precipitação, da amostra 112 para 113, houve uma diminuição da concentração dos íons, devido ao aumento da intensidade da chuva. Logo, a condutividade diminuiu. Mesmo a concentração ter passado de  $4,15 \times 10^{-4}$  mol/L para  $3,8 \times 10^{-4}$  mol/L do íon amônio, esta continua considerada alta, o que proporcionou um valor de pH de 5,86 para 6,07.

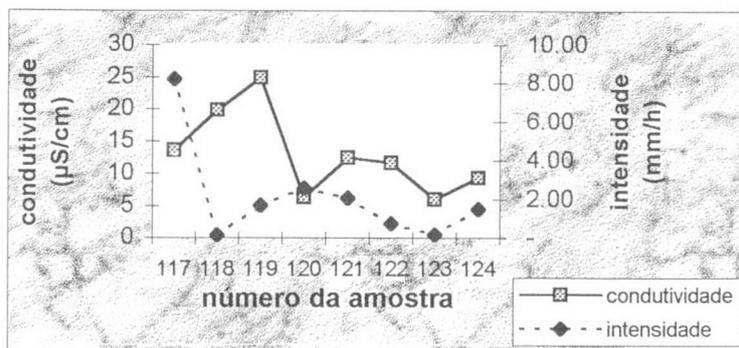
No horário seguinte (amostras 113 para 114) os íons  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{F}^-$  e  $\text{Cl}^-$  tiveram suas concentrações elevadas. O pH teve uma pequena variação de 0,2 (6,07 para 6,09). Portanto, a condutividade aumentou em consequência da diminuição brusca e significativa da intensidade da chuva (de 6,59 para 0,990 mm/h).

Na seqüência da precipitação, com as amostras 114 e 115, a intensidade diminuiu e a condutividade aumentou. O pH diminuiu, pois os íons  $\text{NO}_3^-$  ( $4,19 \times 10^{-6}$  para  $8,39 \times 10^{-6}$ ),  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $<5,20 \times 10^{-8}$  mol/L, para  $7,29 \times 10^{-6}$  mol/L),  $\text{Cl}^-$  (de  $1,49 \times 10^{-5}$  mol/L para  $2,09 \times 10^{-5}$  mol/L), diferentemente dos demais, aumentaram suas concentrações.

#### 5.1.6.2 Evento dia 30 de novembro/2000

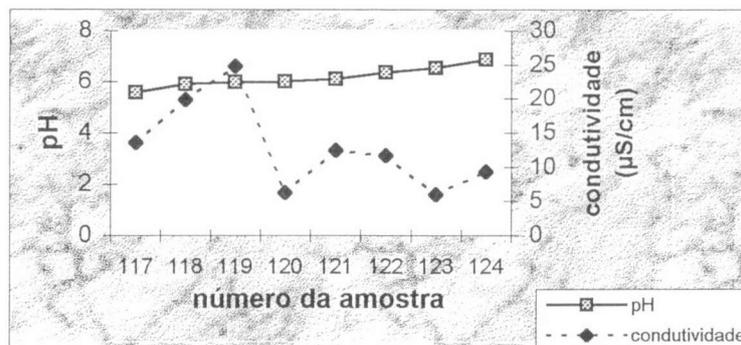
A precipitação abrangeu 8 amostras no dia 30 de novembro, com início às 6h30 e final às 21h, mantendo-se o vento na direção leste. Este evento mostrou uma proporção inversa entre a intensidade da chuva e a condutividade, conforme mostra o gráfico 31.

GRÁFICO 31 – VARIAÇÃO ENTRE A CONDUTIVIDADE E A INTENSIDADE DE CHUVA - 30 DE NOVEMBRO/2000



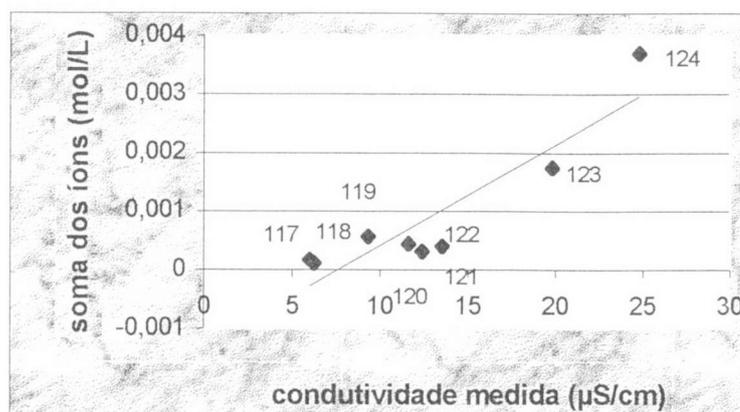
O gráfico 32 mostra a variação entre o pH com a condutividade da água da chuva, mostrando uma tendência constante nos valores de pH.

GRÁFICO 32 - MOSTRA A VARIAÇÃO ENTRE O pH E A CONDUTIVIDADE - 30 DE NOVEMBRO/2000



O gráfico 33 mostra a variação entre a condutividade da água da chuva e a soma da concentração dos íons analisados. Foi obtido um coeficiente de correlação de  $R^2 = 0,8339$ . Confirmando a relação entre as concentrações dos íons e a condutividade.

GRÁFICO 33 - MOSTRA A VARIACÃO ENTRE A CONDUTIVIDADE E SOMA DA CONCENTRAÇÃO DOS ÍONS - 30 DE NOVEMBRO/2000



Na passagem da amostra 117 para 118, a intensidade da chuva diminuiu de 8,205 para 0,12 mm/h e a condutividade aumentou de 13,55 para 19,82  $\mu\text{S/cm}$ . As concentrações dos íons aumentaram, sendo que a concentração do íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) foi responsável pela elevação do pH de 5,56 para 6,29 (tabela A19).

Na seqüência, ao longo do tempo, na passagem da amostra 118 para 119, a condutividade elevou-se inversamente proporcional a intensidade da chuva. A concentração de  $\text{NH}_4^+$  foi alterada de  $1,47 \times 10^{-3}$  para  $3,60 \times 10^{-3}$  mol/L, elevando o pH de 5,89 para 5,98, conforme tabela A20.

Na passagem da amostra 119 para 120, a concentração dos íons amônio, nitrato e sulfato diminuíram. As concentrações de sulfato ( $<5,20 \times 10^{-8}$  mol/L) e nitrato ( $<8,06 \times 10^{-8}$  mol/L) foram tão pequenas, ou seja, abaixo do limite de detecção do método de análise. Com isso, foi registrado valores e pH de 5,98 para 6,01. Assim, contribuindo para a diminuição da condutividade de 24,8 para 6,26  $\mu\text{S/cm}$ .

Nas amostras seguintes, 120 para 121, a intensidade da chuva diminuiu e a condutividade aumentou devido a concentração dos íons terem aumentado.

Quando o evento passa para o horário das amostras 121 para 122, a condutividade aumenta bruscamente (de 6,26 para 12,39  $\mu\text{S/cm}$ ), em função da diminuição da intensidade da precipitação, e aumento das concentrações dos íons.

Fato contrário ocorreu para a amostra 123, onde a condutividade diminuiu devido ao aumento da intensidade da chuva, e diluição concentração dos íons. O pH aumentou de 6,54 para 6,87, devido as concentrações de sulfato ( $<5,20 \times 10^{-8}$  mol/L)

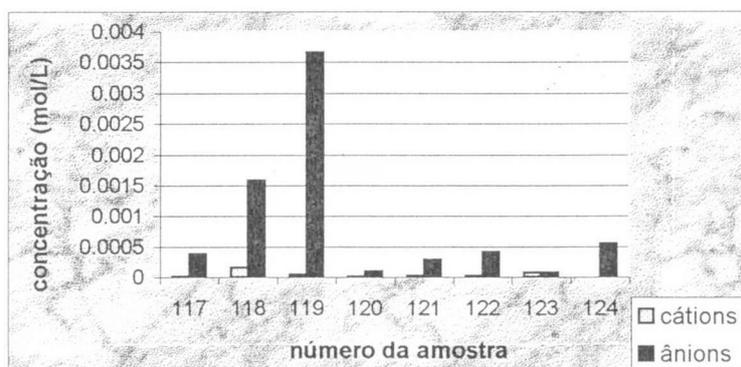
e nitrato ( $<8,06 \times 10^{-8}$  mol/L) serem abaixo do limite de detecção do método de análise.

Na passagem da amostra 123 para 124, a intensidade da chuva e a condutividade aumentaram. O aumento da condutividade pode ser decorrente ao acúmulo de espécies na atmosfera devido ao intervalo de 2 horas entre essas amostras e este fato ter ocorrido em horário de alto fluxo de automóveis (16h às 19h), conforme mostra a tabela A19 e A20.

O gráfico 34 mostra o balanço iônico entre os íons monovalentes analisados deste evento. As concentrações de íons foram menores a partir das 12h (amostra 120), mostrando que o ar estava mais “limpo” que no início do evento. Isso torna-se verdade quando um intervalo de 2h na precipitação, entre as amostras 123 e 124, pois, aumenta a concentração dos íons.

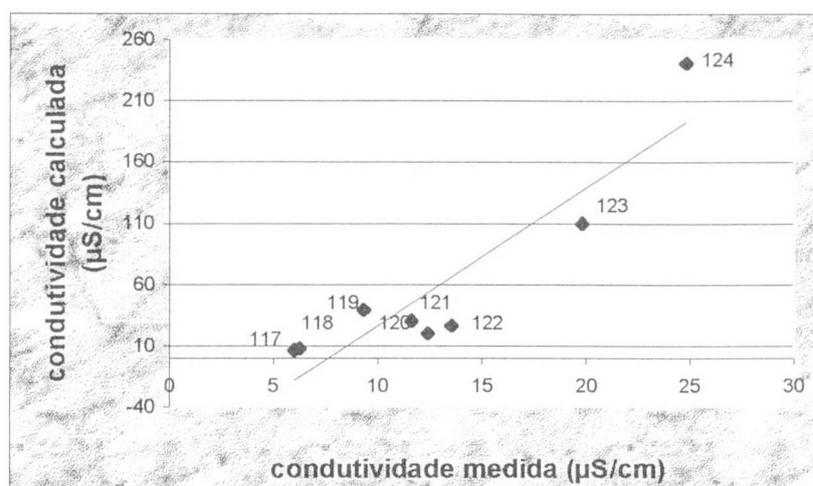
Este gráfico indica um quociente de 82% entre a subtração e a soma, do somatório das concentrações dos cátions com o somatório das concentrações dos ânions, um valor muito alto. Este valor indica que há uma grande diferença entre estas concentrações.

GRÁFICO 34 - BALANÇO IÔNICO - 30 DE NOVEMBRO/2000



O gráfico 35 revela que a relação entre a condutividade calculada e a condutividade medida, tem um coeficiente de correlação  $R^2 = 0,8327$ . O baixo coeficiente de correlação pode ser devido a presença de outros íons que não foram contemplados nesta análise.

GRÁFICO 35 - CONDUTIVIDADE EQUIVALENTE – 30 NOVEMBRO/2000



### 5.1.7 Intra-eventos janeiro/2001

Neste mês houve somente uma precipitação longa, envolvendo seis amostras. No dia 12, a precipitação teve início às 9h30 e terminou às 16h50. As amostras de números 135, 136, 137, 138, 139 e 140, representam a precipitação deste dia. Conforme tabelas A23 e A24, anexo 1.

#### 5.1.7.2 Evento dia 12 de janeiro/2001

No primeiro horário das 9h30 às 11h30 e das 10h às 11h30, das amostras 135 para 136, e ventos de direção norte, ocorreu uma redução da condutividade, função da intensidade de chuva que aumentou, passando de 0,48 para 0,82 mm/h.

Nota-se que a concentração total dos íons diminuiu. O pH praticamente não se alterou muito (de 6,41 para 6,33).

Nas amostras 136 para 137, o vento continuou à norte; porém a concentração dos íons aumentou, devido à redução da intensidade da chuva. A condutividade aumentou, função da pouca diluição dos poluentes ou espécies presentes. O pH aumentou para 6,56, já que a concentração do íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) que se elevou de  $6,58 \times 10^{-5}$  para  $1,58 \times 10^{-4}$  mol/L.

Ainda com o vento à direção norte, horário de 10h30 às 12h30 e 12h30 às 13h30, amostras 137 para 138, o pH e a condutividade diminuíram, função da intensidade da chuva se elevou de 0,59 mm/h para 2,01 mm/h. Com isso, as

concentrações dos cátions e ânions foram menores, devido ao fator de diluição com o aumento do volume de chuva.

Na mudança de horário, das 12h30 às 14h30 para 14h30 às 15h30, respectivamente as amostras 138 para 139, o vento mudou para nordeste, transportando  $\text{NH}_4^+$  de indústria de fertilizante em Paranaguá. Essa mudança elevou as quantidades dos cátions (provenientes dos sais marinhos), principalmente de amônio (de  $2,41 \times 10^{-5}$  para  $1,40 \times 10^{-4}$  mol/L) e reduziu a de ânions, especialmente o nitrato ( $<8,06 \times 10^{-8}$  mol/L) menor que o limite de detecção do método de análise. O pH manteve-se na faixa de 6,37 a 6,36. O aumento da intensidade da chuva de 1,40 mm/h para 3,43 mm/h, função de diluição da concentração total de íons, reduziu a condutividade de 8,11  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para 7,90  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

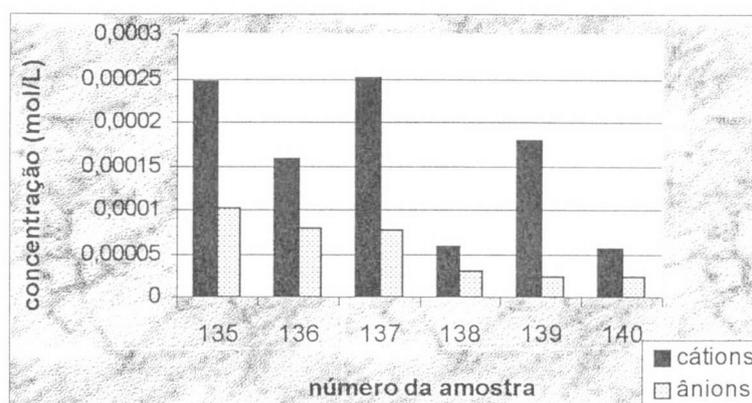
A direção de vento de superfície durante o estudo destas amostras (139 e 140), permaneceu à nordeste. Apesar da intensidade ter diminuído, ou seja, houve aumento da superfície de contato água-polvente, esse vento não trouxe muitos poluentes consigo. O que comprova é que as quantidades dos ânions sulfato ( $<5,20 \times 10^{-8}$  mol/L) e nitrato ( $<8,06 \times 10^{-8}$  mol/L), abaixo do limite de detecção do método de análise, e a dos demais íons diminuíram. Conseqüentemente diminuiu a condutividade, de 7,90 para 6,01  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Houve neste evento um leve aumento um no valor de pH, de 6,36 para 6,46.

Os ventos de direção norte e nordeste mantêm o pH maior que 5,6, acima do valor considerado da fronteira de chuva ácida.

O gráfico 36 mostra o balanço iônico feito entre íons monovalentes para este evento, nota-se que a concentração de cátions em todas as amostras foi maior que a concentração de ânions. Isso foi o que manteve o pH do evento do dia 12 de janeiro de 2001 na faixa de 6,27 a 6,56. A última amostra do evento (número 140) indica o processo de remoção gradual de poluentes na atmosfera.

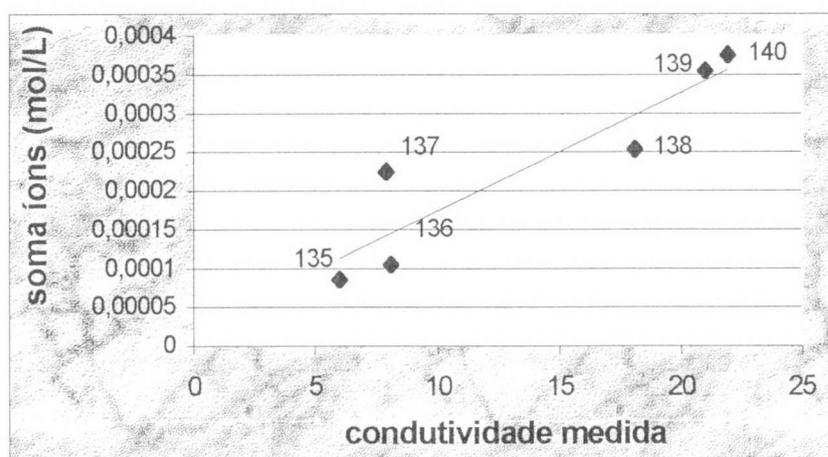
Este gráfico indica um quociente de 14% entre a subtração e a soma, do somatório das concentrações dos cátions com o somatório das concentrações dos ânions. Este valor ainda na faixa aceitável (até 25%), indicando a diferença entre estas concentrações.

GRÁFICO 36 – BALANÇO IÔNICO - 12 DE JANEIRO/2000



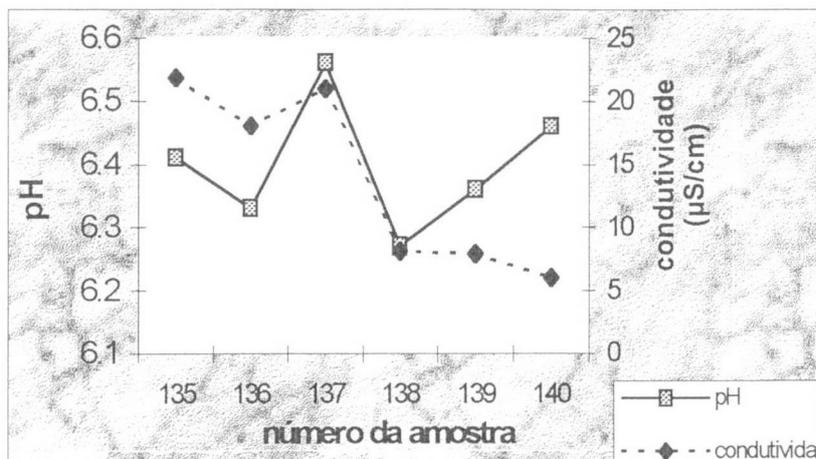
O gráfico 37 abaixo informa a respeito da variação da condutividade com a soma total dos íons analisados. Este possui um coeficiente relação igual a  $R^2$  igual a 0,8414.

GRÁFICO 37 – VARIAÇÃO ENTRE A CONDUTIVIDADE E A SOMA DOS ÍONS ANALISADOS - 12 DE JANEIRO



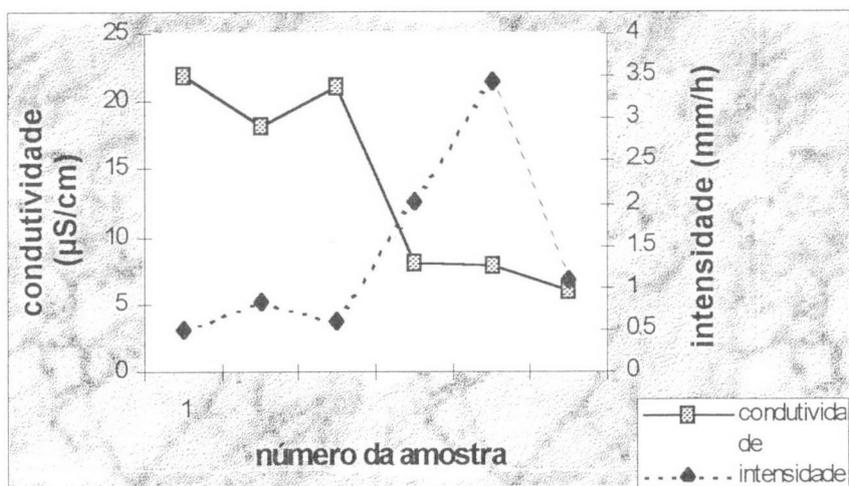
Esta variação revela a proporção inversa entre o pH e a condutividade da água da chuva, representada no gráfico 38.

GRÁFICO 38 – VARIAÇÃO DO pH COM A CONDUTIVIDADE - 12 DE JANEIRO/2000



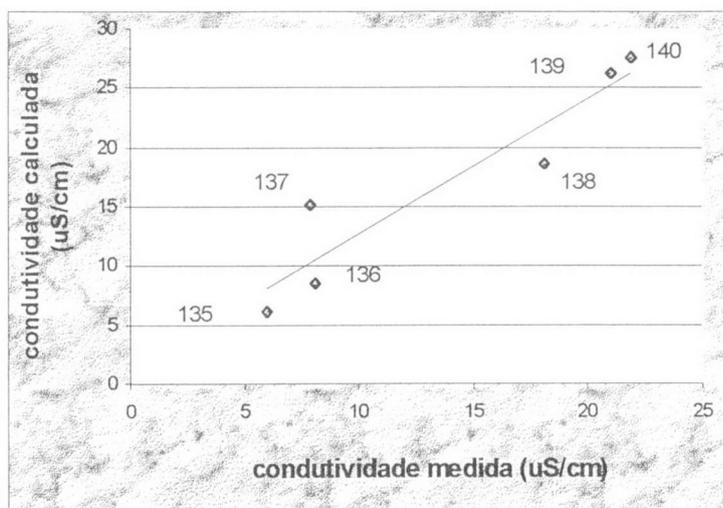
O gráfico 39 mostra a proporção inversa entre condutividade e a intensidade da chuva.

GRÁFICO 39 – VARIAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE E A INTENSIDADE DA CHUVA - 12 DE JANEIRO/2000



O gráfico 40 informa que a condutividade equivalente foi de 0,8839.

GRÁFICO 40 - CONDUTIVIDADE EQUIVALENTE - 12 DE JANEIRO/2000



Sendo, assim a confirmação da existência de outros íons dissociados na água da chuva, além dos analisados.

## 5.2 ESTUDOS INTER-EVENTOS

Nos estudos inter-eventos, pode-se avaliar as características das chuvas em relação ao tempo de estiagem entre um evento e outro. Tempo de estiagem é o período sem chover entre o término de um evento e começo de um outro. Pode ser dias, horas, etc. Assim, observou-se as características das precipitações depois deste período de remoção de poluentes da atmosfera.

Analisou-se a variação dos parâmetros como o tempo de estiagem, concentração dos poluentes dissolvidos (cátions e ânions), pH, condutividade e direção dos ventos de superfície entre os eventos. À seguir, cada caso isolado é discutido de uma maneira geral.

### 5.2.1 Estudo Inter-eventos do dia 4 para 14 de fevereiro/2000

O primeiro caso analisado ocorreu entre os dias 4 (amostra 1) e 14 (amostra 2) de fevereiro de 2000. Entre esses dois eventos houve uma estiagem de 10 dias.

Levando-se em consideração somente os parâmetros citados anteriormente, pode se verificar que:

- o pH aumentou (de 5,42 para 5,90);
- a concentração dos íons diminuiu;
- a condutividade diminuiu (de 68,70  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para 5,30  $\mu\text{S}/\text{cm}$ );
- a intensidade da chuva aumentou (de 0,52 mm/h para 4,03 mm/h);
- a direção de vento muda de sul para nordeste no dia 14 de fevereiro.

Considerando-se os processos de deposição úmida, mesmo assim os dez dias de estiagem deveriam ter sido suficientes para permitir o acúmulo de poluentes no ar. Observa-se, entretanto, que a concentração total dos íons foi maior na amostra 1. Este fato pode ser explicado pela intensidade da chuva do dia 14 de fevereiro, aproximadamente 8 vezes a intensidade de chuva do dia 4 (tabela A1)

### 5.2.2 Estudo Inter-eventos do dia 16 para 22 de fevereiro

Entre as amostras 13 e 14 passaram-se 6 dias de entre uma precipitação (dias 16 e 22 de fevereiro) e outra, e a variação ocorreu nos itens abaixo:

- diminuiu a concentração de cloreto ( $\text{Cl}^-$ ),
- as concentrações dos demais ânions e dos cátions aumentaram;
- o pH aumentou;
- a condutividade aumentou.

O aumento do valor de pH não pode ser explicado com o aumento da concentração (consultar tabela A2), comprovando que estes íons não provêm de dissociação de ácidos e sim de sais, já que a direção do vento foi a leste para ambos os eventos. Com isso o aumento das concentrações podem ser justificado pela intensidade da chuva ter sido elevada de, aproximadamente, 1,5 vezes que o evento do dia 16 de fevereiro/2000 (tabela A2).

### 5.2.3 Estudo Inter-eventos do dia 1º para 15 de março

Entre a precipitação do dia 1º de março e a do dia 15 de março, foram 14 dias de estiagem, correspondendo às amostras 19 e 20. Com isso houve:

- um aumento na concentração dos íons;
- aumento na condutividade;
- aumento de pH;
- significativo aumento do íon amônio.

Embora a intensidade da chuva tenha sido praticamente a mesma, a precipitação do dia 15 de março alcançou uma maior concentração de total de íons, o que aumentou a condutividade, apesar de ambos os eventos ocorrerem sob a mesma direção de vento (a nordeste). Tal resultado comprova o efeito cumulativo de poluentes atmosféricos na composição iônica da chuva. Outro fato relevante para este evento é a concentração de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) que foi aumentado, aproximadamente 400 vezes, em relação à precipitação do dia 1º de maio/2000. Este resultado merece atenção e leva a concluir pela existência de uma fonte fixa de emissão de amônia, situada à região nordeste de Curitiba.

### 5.2.4 Estudo Inter-eventos do dia 28 de março para 3 de abril

Do dia 28 de março para 3 de abril, passaram-se 6 dias de estiagem, indicados pelas amostras 25 e 26. Pode-se observar que:

- o pH aumentou;
- a concentração de cátions e de ânions aumentou;
- aumento da concentração de  $\text{NH}_4^+$  (ânion básico) para uma concentração muito elevada de  $9,39 \times 10^{-6}$  para  $2,00 \times 10^{-3}$  mol/L, (isso deve ter elevado o pH de 6,10 para 6,37).

Possuindo direções de vento a sudoeste no evento do dia 28 de março e a nordeste no dia 3 de abril, houve elevadas concentrações de íons nos dois eventos. Apesar da intensidade da chuva (0,69 mm/h para 1,80 mm/h) contribuiu para aumentar o valor da condutividade no evento do dia 3 de abril.

#### 5.2.5 Estudo Inter-eventos do dia 3 para 17 de abril

Através das amostras 26 e 27, dos dias 3 e 17 de abril, passaram-se 14 dias sem chover. Tem-se que:

- houve aumento da concentração dos ânions, exceto fluoreto e cloreto;
- o pH foi menor no evento do dia 17 de abril;
- a concentração dos cátions diminuiu;
- a condutividade diminuiu.

A direção dos ventos nos dois eventos foi a nordeste. Por isso o fator que justifica a queda da condutividade é que a intensidade da chuva no dia 17 de abril foi maior (de 1,08 a 2,07 mm/h), que "lavou" o ar pois houve menor contato da chuva com os poluentes do ar acumulados nestes 14 dias.

#### 5.2.6 Estudo Inter-eventos do dia 18 de abril para 1º de maio

Entre o dia 18 de abril e 1º de maio, passaram-se 12 dias sem precipitação úmida, o que caracterizou uma relação (amostras 29 e 30 respectivamente):

- no dia 1º de maio houve uma maior concentração de ânions, porém a concentração de fluoreto diminuiu;
- no dia 1º de maio possuiu maior concentração de cátions, principalmente  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ;
- o pH praticamente não se alterou. Este, no dia 18 de abril estava 6,1 passando a 6,2 no dia 1º de maio;

A intensidade da chuva do dia 18 de abril foi maior que no dia 1º de maio (0,32 mm/h contra 0,28 mm/h, respectivamente). Consequentemente a condutividade também aumentou, passando de 15,95 a 26,90  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , apesar deste dia ter sido um feriado.

A direção dos ventos no dia 18 de abril foi a oeste, e no dia 1º de maio foi a noroeste. Ambas não devem ter influenciado na alteração das características do evento após a estiagem.

### 5.2.7 Estudo Inter-eventos do dia 3 e 12 de maio

Indicados pelas amostras 32 e 33 estão os dias 3 e 12 de maio. Houve um intervalo de estiagem de 9 dias, caracterizando-se da seguinte forma:

- houve uma redução das concentrações dos ânions;
- o pH sofreu elevação;
- a concentração dos cátions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  aumentou;
- a condutividade diminuiu de 55,00 no dia 3 para 25,00  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no dia 12 deste mês.

Pode-se explicar estes fatores através da mudança de direção dos ventos, que no dia 3 de maio foi sudeste e no dia 12 de maio foi nordeste, pela presença de cátions provenientes dos sais marítimos.

A intensidade da chuva aumentou em relação ao dia 3 de maio (0,63 mm/h para 0,849 mm/h no dia 12 de maio, devido a facilidade de contato água-polvente, elevando a condutividade.

### 5.2.8 Estudo Inter-eventos do dia 16 e 26 de maio

Ocorreu uma estiagem de 10 dias entre os dias 16 e 26 de maio, correspondentes às amostras 34 e 35 das tabelas A7 e A8. Verificou-se os seguintes aspectos:

- a concentração dos ânions aumentou, principalmente nitrato e sulfato; diminuindo o pH;
- houve um aumento na quantidade de cátions;

- a condutividade diminuiu, devido a intensidade da chuva do dia 26 de maio ter aumentado (3,034 mm/h) e não ter conseguido “lavar” o ar.

Houve uma mudança de direção dos ventos de sudoeste para oeste. Estes ventos transportam grandes concentrações de poluentes no ar, porém o que define a presença de poluentes dissolvidos na água da chuva é a intensidade das precipitações, indicando a capacidade de dissociar e diluir os poluentes.

#### 5.2.9 Estudo Inter-eventos do dia de 26 de maio e 18 de junho

A estiagem entre os dias 26 de maio e 18 de junho (amostras 35 e 36) foi uma das mais longas, abrangeu um período de 23 dias. Têm-se as seguintes características:

- diminuiu a concentração de íons;
- apesar da concentração dos ânions ter diminuído a concentração de  $\text{NO}_3^-$  pode ser considerada alta ( $1,70 \times 10^{-4}$  para  $1,23 \times 10^{-4}$ );
- a intensidade no dia 18 de junho (3,03 mm/h) foi menor que no dia 26 de maio (30,90 mm/h);
- o pH (6,90 para 6,10) diminuiu;

A direção dos ventos foi oeste (carrega mais poluentes consigo) para a amostra 35 e noroeste para a amostra 36. A intensidade da chuva no dia 18 de junho foi muito maior que do dia 26 de maio, tendo-se 3,03 e 30,89 mm/h, respectivamente. Isso explica que as concentrações no dia 26 de maio foram maiores que no evento do dia 18 de junho.

Devido a intensidade da chuva ser maior no dia 18 de junho, justifica o fato da concentração dos íons neste dia ser maior, mesmo com 23 dias de estiagem. Este fenômeno retratou que a condutividade diminuiu, sendo de 19,02  $\mu\text{S}/\text{cm}$  em 26 de maio e 11,70  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no dia 18 de junho, devido a influência da intensidade da chuva.

#### 5.2.10 Estudo Inter-eventos do dia 21 e 26 de junho

Passaram-se 5 dias entre os eventos das amostras 43 e 44, correspondendo o período de 21 a 26 de junho. Assim, houve:

- aumento na concentração de ânions e de cátions;
- aumento da condutividade;
- diminuição no valor de pH, pois a concentração de  $\text{NO}_3^-$  aumentou muito, passando de  $1,19 \times 10^{-5}$  para  $1,98 \times 10^{-4}$  mol/L;
- aumento da condutividade (de 6,31 para 49,30  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Os itens descritos acima foram provocados pela diminuição da intensidade da chuva, de 1,44 para 0,97 mm/h, mesmo tendo mudança na direção do vento para leste.

A diminuição da intensidade da chuva provoca maior superfície de contato entre a água da chuva e o poluente do ar. Assim, a água captura os poluentes do ar, dissociando-os.

#### 5.2.11 Estudo Inter-eventos do dia 30 de junho e 2 de julho

Num período de estiagem de 8 dias entre os dias 30 de junho e 2 de julho. Ocorreram as seguintes características, sendo indicadas pelas amostras 46 e 47:

- as concentrações de cátions diminuíram muito pouco, com exceção dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{NH}_4^+$ ;
- o pH diminuiu (6,5 para 6,0);
- as concentrações de ânions aumentaram, porém a do nitrato diminuiu.

A intensidade da chuva passou de 0,30 para 1,84 mm/h e a direção dos ventos de oeste, no dia 30 de junho, para sul, no dia 2 de julho. Portanto, contribuíram para a diminuição das concentrações dos íons de um modo geral.

#### 5.2.12 Estudo Inter-eventos do dia 15 e 22 de julho

Dentro do mês de julho houve uma estiagem de 7 dias entre os dias 15 e 22 deste mês, sob as amostras 51 e 52. Ocorreu:

- diminuição das concentrações de ânions e de cátions (exceto de cálcio);
- redução de pH e da condutividade.

A intensidade da chuva do evento do dia 15 é menor do que no dia 22 de julho. Isso explica a diminuição destas concentrações, devido a redução da superfície de contato água-poluente. Outra questão a ser apontada, é que a direção

dos ventos mudou de nordeste para oeste, este último não transporta muitos poluentes consigo.

#### 5.2.13 Estudo Inter-eventos do dia 10 e 15 de agosto

Houve uma estiagem entre os dias 10 e 15 de agosto, indicadas pelas amostras 59 e 60, caracterizando a chuva da seguinte forma:

- houve um aumento nas concentrações de íons, principalmente nitrato;
- o pH aumentou.

A concentração de nitrato foi elevada, porém o pH aumentou devido as concentrações de cátions serem elevadas, não possibilitando a formação de ácidos como nítrico e sulfúrico.

Apesar da intensidade da chuva ter aumentado de 0,452 para 2,348 mm/h, a condutividade foi elevada de 15,00 para 31,00  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , pois a direção dos ventos mudou de norte para sudoeste.

#### 5.2.14 Estudo Inter-eventos do dia 17 e 26 de agosto

Dentre estes dias, 17 e 26 de agosto, representado pelas amostras 61 e 62, houveram 9 dias, provocando a redução do pH, devido:

- ao aumento da concentração de  $\text{NO}_3^-$  e da diminuição dos demais ânions;
- à redução dos íons magnésio e cálcio.

A mudança da direção dos ventos, de nordeste para sul não contribuiu na variação das características da chuva. O que realmente influenciou foi a intensidade da chuva, que aumentou de 1,40 para 1,88 mm/h; logo a condutividade diminuiu, passando de 15,36 para 9,11  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

#### 5.2.15 Estudo Inter-eventos do dia 2 e 10 de setembro

Para um estudo Inter-eventos entre os dias 2 e 10 de setembro, ocorreram 8 dias de estiagem, marcados pelas amostras 66 e 67. Com isso, houve:

- diminuição do valor de pH (6,2 para 5,3);
- diminuição da concentração, exceto de sulfato que aumentou de

$1,50 \times 10^{-5}$  mol/L para  $2,87 \times 10^{-5}$  mol/L;

- aumento dos cátions, exceto  $Mg^{2+}$  e de  $Ca^{2+}$ .

Apesar da intensidade ter aumentado (de 0,707 para 14,62 mm/h), a condutividade também aumentou (de 7,08 para 9,39  $\mu$ S/cm), devido à mudança de direção dos ventos de nordeste para sudoeste. Provavelmente, o  $SO_2$  veio transportado pelos ventos a sudoeste, acumulando-se e dissociando-se na água da chuva, mesmo havendo menor superfície de contato entre água-polvente. Assim, proporcionou a diminuição do valor de pH.

#### 5.2.16 Estudo Inter-eventos do dia 19 e 22 de setembro

Num período curto de tempo entre as amostras 84 e 85, dos dias 19 e 22 de setembro, ocorreu a seguinte situação:

- o valor de pH aumentou de 5,0 para 7,45;
- as concentrações de ânions analisados diminuíram, exceto de sulfato ( $1,69 \times 10^{-4}$  mol/L para  $1,01 \times 10^{-4}$  mol/L);
- aumento das concentrações de cátions, principalmente de  $NH_4^+$  (de  $8,1 \times 10^{-5}$  para  $3,57 \times 10^{-4}$  mol/L).

Apesar da intensidade da chuva do dia 19 (0,101 mm/h) ser menor que do dia 22 de setembro (0,043mm/h), a condutividade também teve seu valor diminuído (de 11,08 para 5,69  $\mu$ S/cm). Isso ocorreu devido a mudança na direção do vento de noroeste para leste, trazendo menos poluentes. A direção à leste é retratada pelo aumento da concentração dos íons potássio, sulfato e amônio.

#### 5.2.17 Estudo Inter-eventos do dia 22 e 24 de setembro

Ocorreu um período de 3 dias sem chover entre as precipitações dos dias 22 e 24 de setembro, registradas pelas amostras 85 e 86, caracterizando:

- um valor de pH baixo;
- diminuição da concentração de todos os ânions analisados, assim com a dos cátions, exceto de cálcio.

Apesar das concentrações terem diminuído, foram suficientes para diminuir o valor de pH e aumentar a condutividade, concomitantemente com o aumento da

intensidade da chuva (de 0,0438 para 5 mm/h). Isso pode estar relacionado com a mudança de direção do vento de leste para sudoeste.

#### 5.2.18 Estudo Inter-eventos do dia 24 de setembro e 1º de outubro

No período do dia 24 de setembro e 1º de outubro, ocorreu 7 dias sem precipitação úmida, indicadas pelas amostras 86 e 87. Foi observado o seguinte:

- o valor de pH aumentou pouco, passando de 6,50 para 6,7;
- as concentrações dos ânions e dos cátions analisados aumentaram.

O aumento da concentração de sulfato não influenciou no valor de pH devido aos demais íons também terem elevado suas concentrações.

Mesmo que a direção dos ventos tenha mudado de sudoeste para sudeste (o que traria menos poluentes), a condutividade aumentou, devido a intensidade da chuva ter diminuído de 5 no dia 24 para 0,16 mm/h no dia 1º de outubro.

#### 5.2.19 Estudo Inter-eventos do dia 1º de outubro e 4 de outubro

Neste estudo inter-eventos do período do dia 1º e 4 de outubro houveram 3 dias de estiagem. Estes eventos são representados pelas amostras 87 e 88. Esta estiagem resultou em:

- aumento no valor de pH;
- diminuição das concentrações dos ânions, principalmente de sulfato (de  $2,45 \times 10^{-4}$  para  $4,76 \times 10^{-5}$  mol/L, porém reduziu pouco o valor de pH de 6,7 para 6,6;
- diminuição da concentração de cátions, com exceção dos íons magnésio e amônio, o que manteve os valores de pH dos eventos elevados;

A condutividade teve seu valor reduzido pelo aumento da intensidade da chuva e pela mudança da direção dos ventos, de sudeste para oeste, sendo que estes não carregam muitos poluentes consigo.

### 5.2.20 Estudo Inter-eventos do dia 4 e 10 de outubro

Dentre as precipitações do dia 4 de outubro para a do dia 10, ocorreram 9 dias de estiagem. São as amostras 91 e 92. Com isso houve aumento de pH, devido:

- a diminuição dos cátions no dia 10 de outubro; porém um aumento de amônio (de  $6,59 \times 10^{-4}$  para  $1,00 \times 10^{-3}$  mol/L);
- a diminuição dos ânions no dia 10 de outubro, principalmente de sulfato, de  $6,95 \times 10^{-5}$  para  $1,44 \times 10^{-5}$  mol/L, porém o aumento de nitrato de  $6,94 \times 10^{-6}$  para  $1,10 \times 10^{-5}$  mol/L não compensou na redução da valor de pH.

Sabendo-se que a direção dos ventos manteve-se a oeste, o fato da intensidade da chuva ter aumentado, de 0,65 para 23,34 mm/h, não explica a redução da condutividade de 10,07 para 38,65  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , e sim justificada pela acúmulo de poluentes em 9 dias devido a mudança de direção dos ventos.

### 5.2.21 Estudo Inter-eventos do dia 13 e 18 de outubro

Nas características inter-eventos entre os dias 13 e 18 de outubro, das amostras 99 e 100, tem-se a avaliação abaixo:

- o pH reduziu no dia 18 de outubro de 5,78 para 5,54;
- a concentração dos cátions diminuiu, exceto dos íons potássio ( $2,99 \times 10^{-5}$  mol/L para  $3,43 \times 10^{-5}$  mol/L) e magnésio ( $4,11 \times 10^{-7}$  para  $3,29 \times 10^{-6}$  mol/L);
- a concentração dos ânions diminuiu, exceto a de  $\text{NO}_3^-$  e a de  $\text{SO}_4^{2-}$ .

A condutividade diminuiu de 40,60 para 26,50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , porém a intensidade da chuva diminuiu de 9,068 para 2,496 mm/h, devido a direção dos ventos ter mudado de norte para leste.

O vento leste transporta sais marítimos de íons nitrato, sulfato, potássio e magnésio, entre outros, justificando o aumento destas concentrações na água da chuva e a redução do pH.

### 5.2.22 Estudo Inter-eventos do dia 27 de outubro e 10 de novembro

Entre as amostras 105 e 106, dos dias 27 de outubro e 10 de novembro, obteve-se um tempo grande de estiagem (13 dias). As características deste evento foram:

- diminuição do pH no dia 10 de novembro (de 6,65 para 6,4);
- aumento das concentrações de cátions, principalmente do íon amônio (de  $9,19 \times 10^{-4}$  para  $3,78 \times 10^{-4}$  mol/L) e sódio de ( $1,27 \times 10^{-5}$  para  $1,60 \times 10^{-5}$  mol/L), o que manteve os valores de pH destes eventos elevados;
- aumento das concentrações de ânions, principalmente o  $\text{NO}_3^-$  (de  $9,03 \times 10^{-6}$  para  $2,34 \times 10^{-4}$  mol/L).

A condutividade aumentou, de 13,86  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para 28,50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , assim como a intensidade da precipitação, de 0,06 para 1,58 mm/h. Porém, não podemos explicar o aumento da condutividade através da mudança de direção dos ventos, de sudeste em 27 de outubro, para norte, em 10 de novembro, pois estes ventos nestas direções não transportam muitos poluentes.

As altas concentrações de íons nitrato e hidrogênio provocaram o aumento da condutividade após a estiagem, devido a possibilidade que os íons monovalentes proporcionam à condução elétrica.

### 5.2.23 Estudo Inter-eventos do dia 17 e 20 de novembro

As amostras 109 e 110 indicam os eventos dos dias 17 e 20 de novembro. O estudo inter-eventos entre estas precipitações, num intervalo de 3 dias, obteve como características:

- o pH no dia 20 de novembro foi maior (de 6,56 para 6,61);
- de um modo geral, a concentração de cátions diminuiu, exceto o íon  $\text{Ca}^{2+}$  que aumentou de ( $9,98 \times 10^{-6}$  para  $1,32 \times 10^{-5}$  mol/L) e o íon  $\text{NH}_4^+$ , manteve alta a sua concentração foi de  $5,42 \times 10^{-4}$  mol/L, apesar de ter diminuído;
- a concentração de ânions foi menor para o dia 20 de novembro, exceto a concentração de nitrito (de concentração não detectada para  $2,83 \times 10^{-6}$  mol/L) e de nitrato ( $9,03 \times 10^{-6}$  para  $1,45 \times 10^{-5}$  mol/L) que aumentaram.

As concentrações de ânions foi maior, explicando porque o pH foi maior no dia 20 de novembro. A intensidade da chuva no dia 17 de novembro foi menor que no dia 20 de novembro, com 6,556 mm/h, por isso a sua condutividade foi maior, registrando 12,74  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , pois houve maior superfície de contato entre poluente-água da chuva. Portanto, a condutividade do dia 20 de novembro foi menor, registrada em 7,97  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e a intensidade da chuva em 27,449 mm/h.

A direção dos ventos superficiais influenciou no transporte de poluentes marítimos pois, no dia 17 de novembro estava à leste e no dia 20 de novembro estava à nordeste, havendo alteração nas concentrações de cálcio e nitrato.

#### 5.2.24 Estudo Inter-eventos do dia 30 de novembro e 4 de dezembro

Para o estudo entre as amostras 124 e 125, nos dias 30 de novembro e 4 de dezembro, verificou-se a seguinte situação, num período de estiagem de 4 dias:

- as concentrações de ânions no dia 4 de dezembro foram menores que no dia 30 de novembro, com exceção do nitrato e do sulfato que não foram detectados pelo método de análise utilizado;
- o pH diminuiu de 6,87 no dia 30 de novembro para 6,08 para dia 4 de dezembro;
- as concentrações dos cátions diminuiram no dia 4 de dezembro em relação ao dia 30 de novembro, com exceção do íon cálcio. Porém a concentração de amônio é alta:  $5,20 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$  no dia 30 de novembro. Neste evento o pH revelou-se alto, ficando em 6,87.

A intensidade da chuva aumentou de 1,485 mm/h no dia 30 de novembro, para 14,43 mm/h no dia 4 de dezembro. Assim, a condutividade diminuiu de 9,32  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no dia 30 de novembro para 8,01  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no dia 4 de dezembro, pois houve um menor contato água-poluente após a estiagem.

#### 5.2.25 Estudo Inter-eventos do dia 4 e 13 de dezembro

Num período de tempo de 9 dias entre as amostras 125 e 126, correspondendo aos dias 4 e 13 de dezembro, observou-se as seguintes características:

- a condutividade no dia 13 de dezembro foi maior, com valor de 16,42  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , do que no dia 4 de dezembro, que foi de 8,01  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Isso se deve ao fato de que a intensidade da chuva na amostra 125 foi de 14,430 mm/h e na amostra 126 foi menor, de 0,53 mm/h;
- as concentrações dos ânions analisados aumentaram no dia 13 de dezembro, exceto de cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), que passou de  $2,20 \times 10^{-5}$  para  $1,78 \times 10^{-5}$  mol/L;
- as concentrações de cátions diminuíram, com exceção do magnésio e do cálcio, que aumentaram;
- o pH aumentou de 6,08 no dia 4 para 6,64 no dia 13 de dezembro, apesar do íon amônio ter diminuído, manteve-se alta em relação aos ânions ácidos (nitrato e sulfato), podendo elevar o valor de pH.

A direção do vento para o dia 4 de dezembro foi a sudoeste, o que proporcionou um pH de 6,08, considerado alto. A mudança de direção no dia 13 de dezembro de sudoeste para norte, trouxe menor quantidade de poluentes. Assim, o amônio que foi trazido numa concentração de  $2,42 \times 10^{-4}$  mol/L, passou a ser menor, de  $1,67 \times 10^{-4}$  mol/L.

#### 5.2.26 Estudo Inter-eventos do dia 15 e 21 de dezembro

Nos dias 15 e 21 de dezembro, com as amostras 128 e 129, respectivamente, houve um intervalo de tempo de 6 dias, o que caracterizou a chuva da seguinte forma:

- o pH do dia 15 foi de 6,42 enquanto no dia 21 de dezembro foi muito maior, com o valor 7,32;
- as concentrações de ânions foram menores no dia 15 de dezembro;
- as concentrações de cátions no dia 21 de dezembro foram maiores, principalmente de amônio. Por ser um íon básico, elevou o valor do pH de  $3,86 \times 10^{-4}$  para  $1,64 \times 10^{-4}$  mol/L.

A condutividade aumentou inversamente proporcional à intensidade da chuva. Enquanto a condutividade no dia 15 foi de 10,12  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e a intensidade de 4,697 mm/h, no dia 21 de dezembro a condutividade foi de 39,30  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e a intensidade de 0,283 mm/h. A direção dos ventos foi a oeste para ambos eventos.

### 5.2.27 Estudo Inter-eventos dos dias 23 e 28 de dezembro

As amostras 130 e 131 representam os eventos dos dias 23 e 28 de dezembro e fornecem as seguintes características, após um intervalo de tempo de 5 dias:

- o valor de pH foi maior no dia 23 de dezembro, registrando 7,21;
- a concentração de ânions nos dias 23 e 28 de dezembro, enquanto as demais não foram detectadas, com exceção do cloreto, que diminuiu no dia 28;
- as concentrações de cátions diminuíram, exceto o potássio, que aumentou de  $3,58 \times 10^{-6}$  para  $3,84 \times 10^{-6}$  mol/L.

A intensidade da chuva diminuiu no dia 23 em relação ao dia 28 de dezembro, (de 50,22 para 19,83 mm/h). Em contrapartida, a condutividade também diminuiu, contrariando as expectativas. Então, a justificativa pode ser a mudança na direção dos ventos de sudoeste para nordeste, o que implica numa menor concentração de poluentes, para entrar em contato com a gota de chuva.

### 5.2.28 Estudo Inter-eventos dos dias 16 e 22 de janeiro

No estudo inter-eventos situado entre os dias 16 e 22 de janeiro, as amostras 142 e 143 foram coletadas num período de 5 dias de estiagem, fornecendo os seguintes resultados:

- o valor de pH nestes dias manteve-se na faixa de 6,58 para 6,42;
- as concentrações de ânions aumentaram, principalmente os íons nitrato (de  $3,37 \times 10^{-5}$  para  $7,60 \times 10^{-5}$  mol/L) e sulfato (de  $9,79 \times 10^{-6}$  para  $1,24 \times 10^{-5}$  mol/L);
- as concentrações de cátions diminuíram no dia 22 de janeiro.

A condutividade da chuva foi maior no dia 16 de janeiro (23,20  $\mu$ S/cm) do que no dia 22 (18,07  $\mu$ S/cm). A intensidade da chuva diminuiu, diferentemente do esperado. A direção dos ventos foi nordeste para ambos os eventos.

### 5.2.29 Estudo Inter-eventos dos dias 22 e 30 de janeiro

Através das amostras 143 e 144, pode-se analisar as características entre os eventos dos dias 22 e 30 de janeiro, num período de estiagem de 8 dias. Com isso:

- o pH praticamente não se alterou (de 6,42 para 6,48);
- as concentrações dos ânions diminuíram no dia 30 de janeiro;
- as concentrações de cátions diminuíram, exceto do amônio e do cálcio, o que manteve o pH nesta faixa.

Frente ao exposto, a condutividade do dia 22 de janeiro ( $18,07 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) foi maior que no dia 30 ( $9,56 \mu\text{S}/\text{cm}$ ), compatível com aumento da intensidade da chuva (de 1,81 para 72,5 mm/h), possibilitando maior superfície de contato água-polvente. A direção dos ventos foi igual para os dois eventos (nordeste).

## 5.3 ESTUDOS MENSAIS

### 5.3.1 Fevereiro/2000

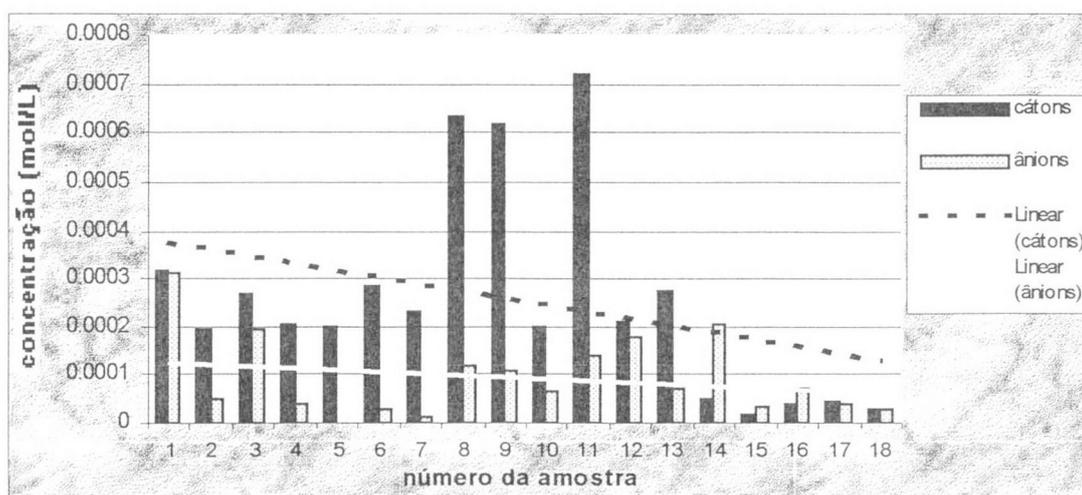
De um modo geral, para o mês de fevereiro de 2000 (tabela A2 e A3), observa-se que o pH está baixo, valor médio de 5,45, ou seja, abaixo da fronteira de chuva ácida (pH 5,6), retratando uma situação de chuva ácida.

A intensidade das chuvas em fevereiro foi alta, numa média de 2,26 mm/h, enquanto a condutividade média foi de 19,14  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . O vento predominante foi à direção leste.

O gráfico 41 mostra o balanço iônico dos íons monovalentes analisados no conjunto de 18 eventos/amostras no mês de fevereiro. Assim, percebe-se que a concentração de cátions foi superior que a dos ânions na maior parte destes evento, havendo uma tendência constante entre os ânions e uma nítida tendência à diminuição para a concentração dos cátions.

As amostras 1, 3, 11 e 14 (conforme tabela A2) possuem elevadas concentrações de ânions na água de chuva que proporcionaram a queda do valor médio de pH deste mês, consequentemente havendo alta concentração de ácido nítrico.

GRÁFICO 41 – BALANÇO IÔNICO FEVEREIRO/2000



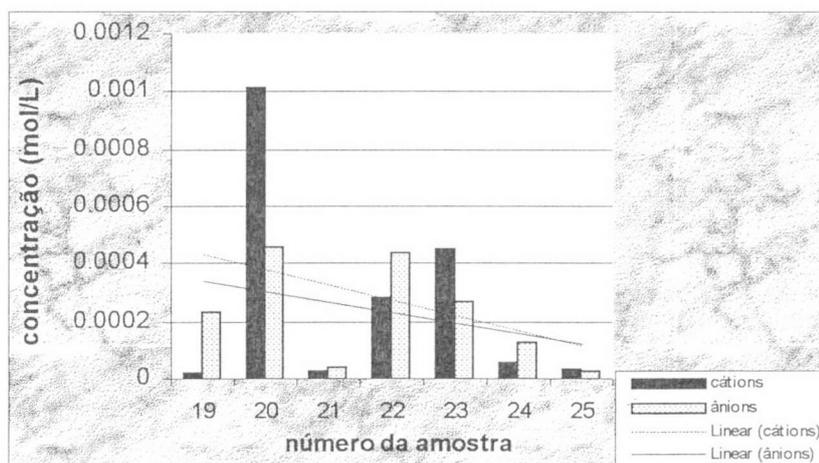
### 5.3.2 Março/2000

Para o mês de março (tabela A3 e A4) obteve-se 7 eventos. Estes possuem pH médio de 5,83.

A intensidade média das chuvas foi alta (de 3,52 mm/h). Porém a condutividade média também foi elevada, de 31,69  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , supostamente pela direção do vento predominante a nordeste trazendo poluentes atmosféricos industriais, como o íon monovalente  $\text{NH}_4^+$ , proveniente desta região, aumentando a mobilidade na condução eletrônica.

No balanço iônico, pode-se observar a tendência a diminuição das concentrações dos íons monovalentes. Conforme gráfico 42.

GRÁFICO 42 – BALANÇO IÔNICO MARÇO/2000

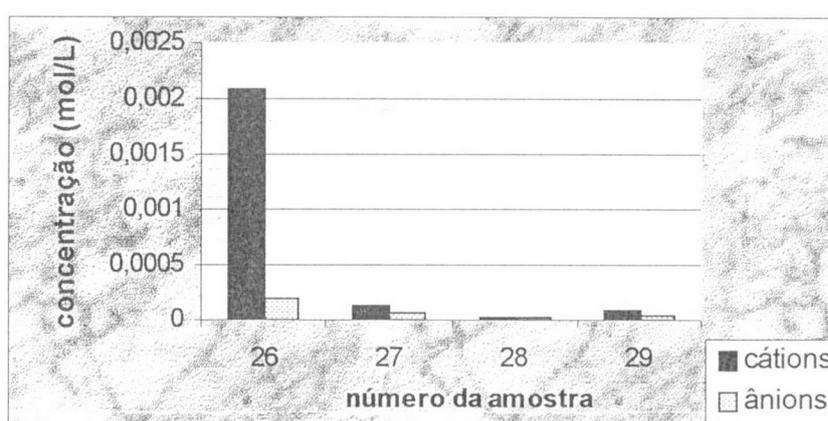


### 5.3.3 Abril/2000

O mês de abril de 2000 (tabelas A5 e A6) teve os valores de pH mais altos, provavelmente decorrentes dos ventos de direção nordeste, transportados da região de Paranaguá, com alta concentração de íon amônio, com  $2,00 \times 10^{-3}$  mol/L (amostra 26, tabela 9). Portanto, o pH médio mensal foi de 5,86, este está acima da fronteira de “chuva ácida”. Foi um mês com baixas intensidades das precipitações, em torno de 1,03 mm/h, sendo refletida pela alta concentração de íons dissolvidos na água da chuva, numa condutividade média mensal igual a 20,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , principalmente no início do mês.

No gráfico do balanço iônico de íons monovalentes (gráfico 43), percebe-se que apesar das intensidades da chuva deste mês terem sido baixas, as concentrações dos íons teve um mesmo comportamento, mesmo tendo como vento predominante a nordeste, que traz poluentes consigo. Este fato também comprova, como nos estudos intra-eventos, a presença de uma fonte fixa de emissão à nordeste de Curitiba.

GRÁFICO 43 – BALANÇO IÔNICO ABRIL/2000

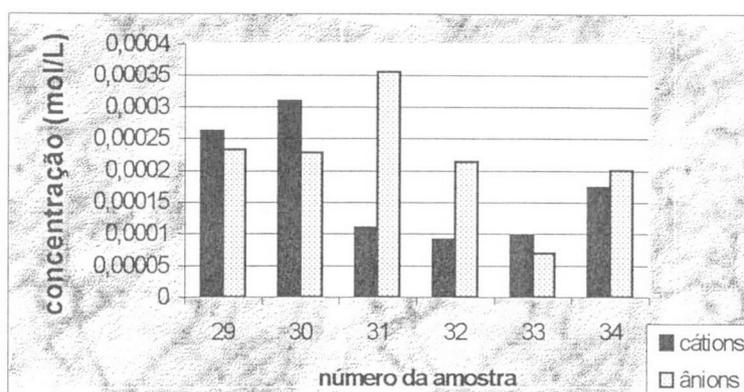


#### 5.3.4 Maio/2000

No mês de maio (tabelas A7 e A8) os valores de pH foram elevados, com média de 6,18. As intensidades de chuvas foram baixas, de 1,02 mm/h e a concentração de poluentes neste mês pode ter sido a maior que no restante dos meses analisados. A condutividade média mensal alta (32,32  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

O gráfico 44 aponta o balanço iônico do mês de maio. O pH médio da chuva foi elevado e as maiores concentrações foram de ânions em grande parte do mês. Revelando a tendência à diminuição das concentrações dos íons. A direção dos ventos variou muito nos eventos de maio, o que retratou uma oscilação de concentração de poluentes dissolvidos nas águas das chuvas.

GRÁFICO 44 – BALANÇO IÔNICO MAIO/2000

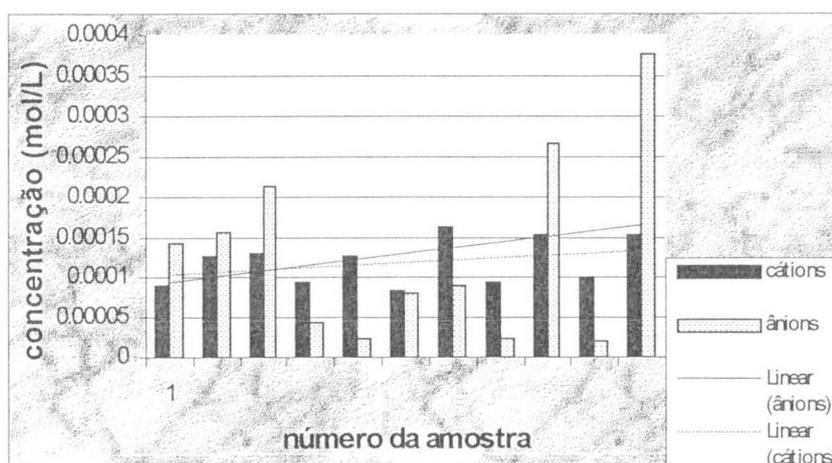


## 5.3.5 Junho/2000

No mês de junho de 2000, o pH médio foi de 5,91 e a intensidade das precipitações em torno de 4,77 mm/h. Com isso, a condutividade média das águas de chuva foi baixa, de 18,49  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

O gráfico 45 mostra o balanço iônico dos íons monovalentes do mês de junho/2000. Nota-se que houve oscilações entre as concentrações dos cátions e dos ânions nos eventos ocorridos neste mês. Isso corresponde que a concentração dos íons presentes na água vai depender da direção dos ventos e da intensidade da chuva, já que para cada evento houve mudança na direção dos ventos e na intensidade da chuva.

GRÁFICO 45 – BALANÇO IÔNICO JUNHO/2000

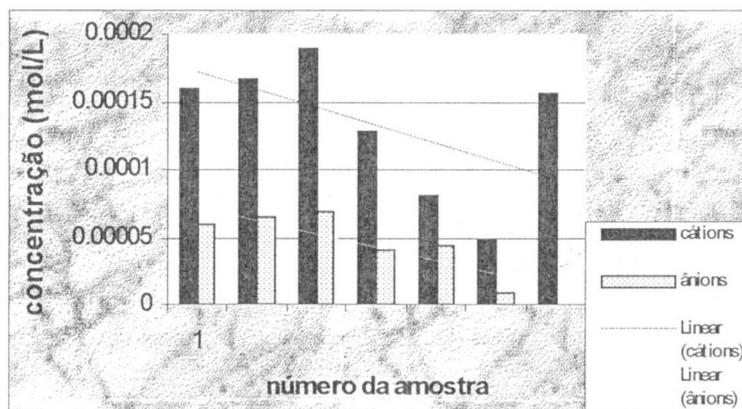


### 5.3.6 Julho/2000

No mês de julho (tabelas A11 e A12) também houveram altos valores médios de pH, sendo que o valor médio dos eventos foi 6,11. A intensidade das chuvas foi baixa, numa média de 1,84 mm/h. Com esse grande volume de água da chuva, a condutividade média mensal foi baixa, de 18,73  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Pode-se observar que as maiores concentrações de íons dissolvidos foram de cátions, o que facilitou a elevação do valor de pH.

O gráfico 46 mostra o balanço iônico dos íons monovalentes do mês de julho, evidenciando que as concentrações dos cátions foram maiores que dos ânions. Isso também justifica o pH médio das chuvas deste mês não ser baixo. Isso é decorrente das concentrações do íon amônio serem mais elevadas que as demais, devido a direção dos ventos predominante neste mês ser a sudoeste.

GRÁFICO 46 – BALANÇO IÔNICO JULHO/2000



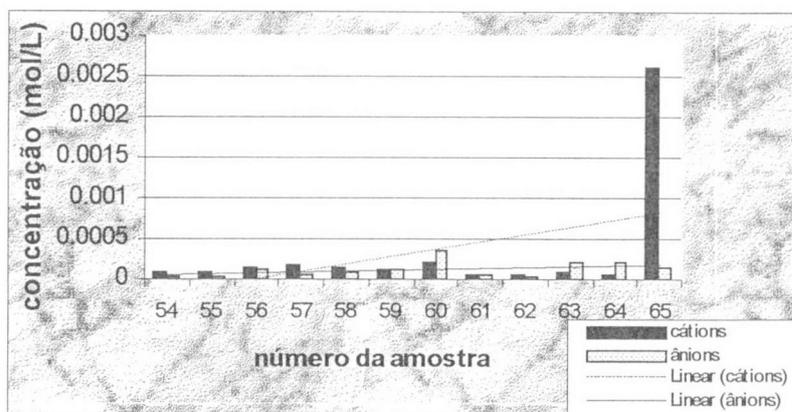
### 5.3.7 Agosto/2000

Em agosto (tabela A13 e A14) o pH oscilou, sendo que os valores mais altos estão na direção sudeste, com um pH médio de 6,08. A intensidade média das chuvas foi baixa, de 2,77 mm/h. Assim, a condutividade média do mês de agosto foi baixa, de 19,77  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

As situações relatadas no gráfico 47 são os 12 eventos ocorridos no mês de agosto de 2000. Nele, há o balanço iônico mensal. Percebe-se que houve desencontro entre os ânions e os cátions em todas as situações, principalmente na

décima segunda amostra que aconteceu em 31 de agosto. Isso indica a presença de outros íons dissolvidos na água da chuva que não foram analisados.

GRÁFICO 47 – BALANÇO IÔNICO AGOSTO/2000



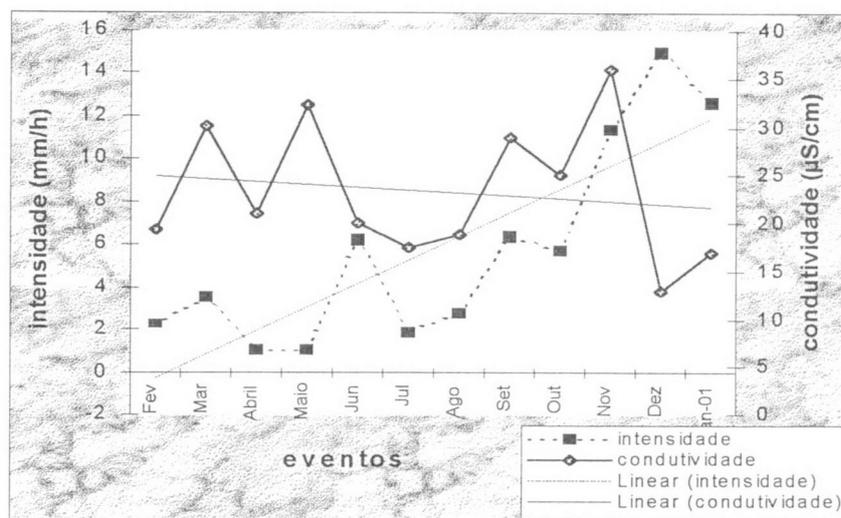
### 5.3.8 Setembro/2000

No mês de setembro de 2000, os valores de pH oscilaram muito, tendo um valor médio de 5,69, estando no limite da chuva para ser considerada ácida. Pode-se notar que o pH mais baixo (4,5), foi à direção de vento direção a sudoeste; e o pH foi alto (6,2), quando o vento foi a noroeste.

A intensidade média das chuvas apresentou-se acima do normal, com 6,39 mm/h. Isso comprovou o valor baixo da condutividade média, que foi em 12,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

No balanço iônico dos íons monovalentes do mês de setembro/2000, mostrado no gráfico 48, nota-se as oscilações entre as concentrações dos íons nos eventos ocorridos neste mês. Isso evidencia a dependência que a concentração dos íons presentes na água da chuva tem com a direção dos ventos e da intensidade da chuva. Para cada evento, houve mudança na direção dos ventos e na intensidade da chuva.

GRÁFICO 48 – BALANÇO IÔNICO SETEMBRO/2000

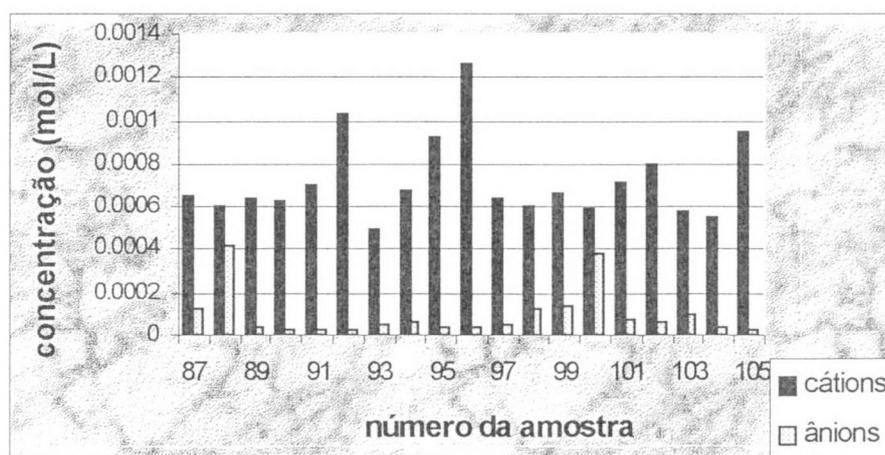


## 5.3.9 Outubro/2000

Outubro de 2000 (tabelas A17 e A18) possuiu altos os valores de pH, com média de 6,35, com um vento predominante à leste. O pH reduziu-se quando o vento foi à oeste. Houve alta condutividade à sudeste.

A intensidade elevada, de 5,68 mm/h. Porém, a condutividade média também foi alta, de 26,03 µS/cm, devido a grande presença de cátions, conforme indica o gráfico 49, o que também fez aumentar o valor do pH médio mensal.

GRÁFICO 49 – BALANÇO IÔNICO OUTUBRO/2000



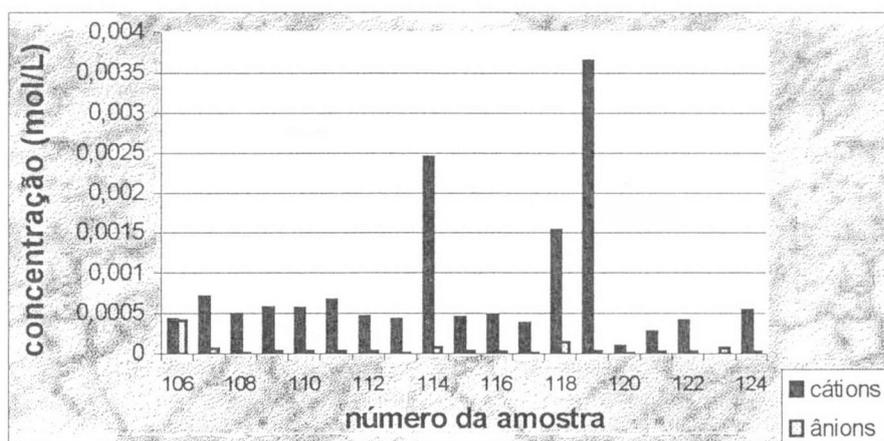
### 5.3.10 Novembro/2000

Em novembro de 2000 (tabelas A19 e A20), os valores de pH variaram conforme a direção dos ventos e de intensidade da chuva. Porém o pH médio é alto, de 6,34.

A intensidade média das precipitações teve como valor 11,42 mm/h, o que não proporcionou uma boa superfície de contato água-poluinte, retratando numa condutividade média baixa, de 12,73  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Neste mês de novembro/2000 também pode-se notar as oscilações entre as concentrações dos íons nos eventos ocorridos. Isso evidencia a dependência que a concentração dos íons presentes na água tem com a direção dos ventos e da intensidade da chuva, já que para cada evento houve mudança na direção dos ventos e na intensidade da chuva. Isso é mostrado no balanço iônico deste mês no gráfico 50, abaixo:

GRÁFICO 50 – BALANÇO IÔNICO NOVEMBRO/2000



### 5.3.11 Dezembro/2000

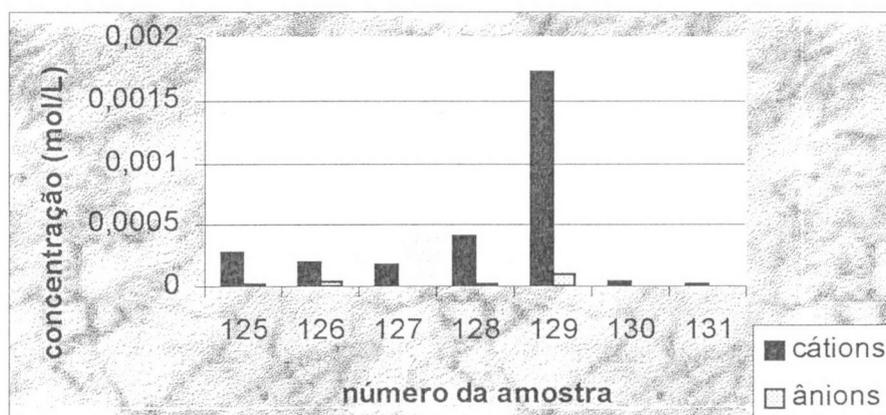
O mês de dezembro de 2000 (tabelas A21 e A22), teve os valores de pH maiores que 5,6, estando acima da fronteira de “chuva ácida”. As concentrações dos cátions foram altas. Conforme gráfico 51. Quando o pH foi mais baixo, os ventos

foram à sudoeste. O pH médio mensal foi de 6,61, a condutividade média foi de 12,88  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , enquanto a intensidade foi de 15,05 mm/h.

O mês de dezembro é caracterizado por precipitações históricas em torno de 160 mm/mês na Capital, sendo que o volume de chuva em dezembro/2000 foi abaixo-do-normal, tendo uma altura histórica de 105,37mm.

O gráfico 51 mostra o balanço iônico do mês de dezembro de 2000. Nota-se que a concentração de cátions nos eventos ocorridos é maior que a dos ânions, indicando o valor de pH mensal como um dos mais altos do período em estudo.

GRÁFICO 51 – BALANÇO IÔNICO DEZEMBRO/2000



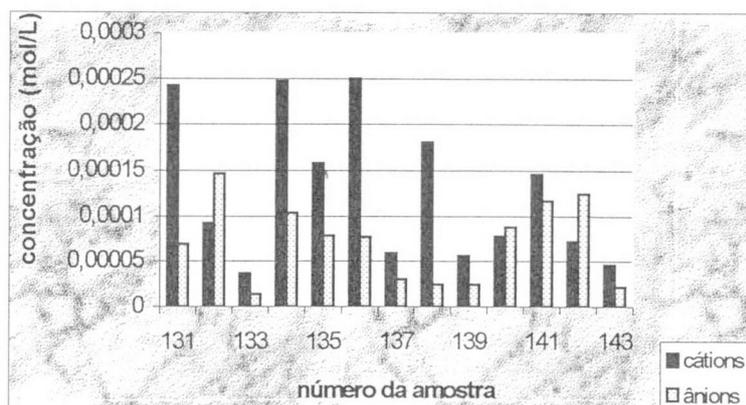
### 5.3.12 Janeiro/2001

No mês de janeiro, as direções dos ventos que predominaram foram à nordeste e à norte. A condutividade das chuvas foi alta e a intensidade foi baixa, (12,65 mm/h). O valor do pH médio foi de 6,35. Apesar da direção dos ventos ser nordeste e norte, a pequena intensidade da chuva é que provocou um aumento do valor da condutividade (15,14  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Durante o mês de janeiro/2001, o volume de chuvas esteve com predomínio da categoria abaixo-do-normal, com 38,48 mm e valor histórico de 180 mm/mês.

No gráfico 52, percebe-se que as concentrações de cátions foram maiores que dos ânions na maior parte do mês de janeiro, o que fez o pH ser alto.

GRÁFICO 52 – BALANÇO IÔNICO JANEIRO/2000

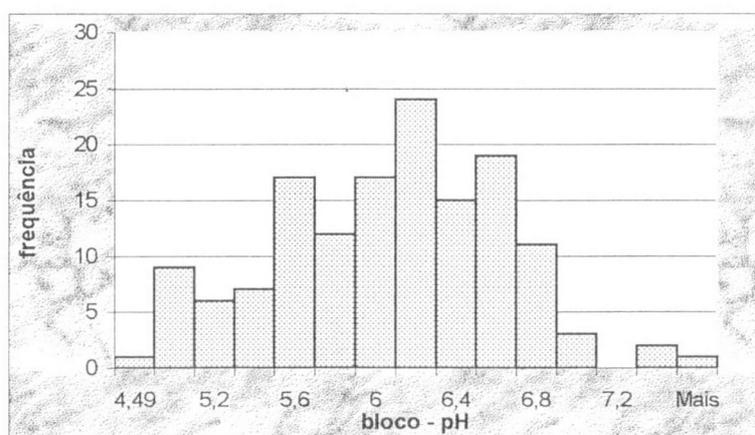


### 5.3.13 Discussão Geral entre os Meses do Período de Estudo

Para esta discussão, foram calculadas as médias dos valores mensais médios de pH, intensidade de chuva, condutividade da água, altura da chuva e temperatura, para os 12 meses do período em estudo (fevereiro/2000 a janeiro/2001).

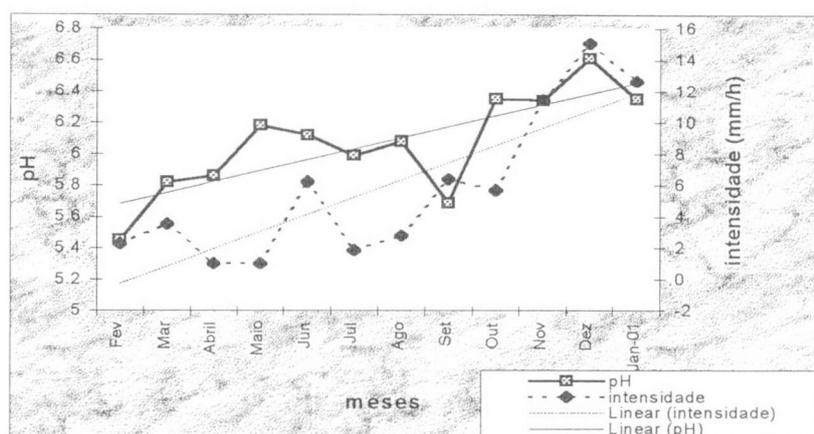
No histograma do gráfico 53 é apresentada a distribuição de freqüência dos valores de pH para todas as 144 amostras coletadas, indicando o valor 6,2. O máximo do histograma não coincide como o pH médio, qual seja, 5,7.

GRÁFICO 53 – HISTOGRAMA ANUAL DO pH DA ÁGUA DA CHUVA DAS AMOSTRAS COLETADAS



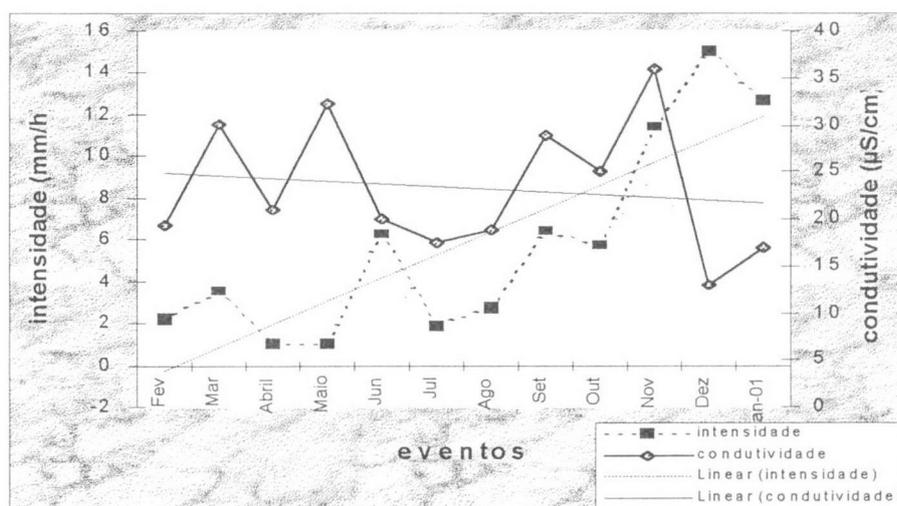
Através do gráfico 54, podemos perceber que entre o pH e a intensidade da chuva não há proporção nesta análise mensal, pois o aumento da intensidade não altera diretamente o valor do pH, já que ambos os valores tendem a aumentar.

GRÁFICO 54 – VARIAÇÃO ANUAL DO pH COM A INTENSIDADE DA CHUVA



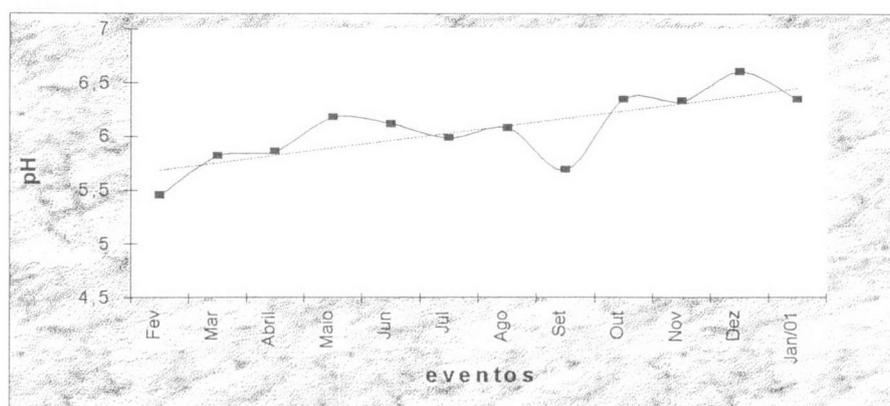
Já no gráfico 55, enquanto a intensidade da chuva diminui, aumentou a condutividade, conforme revela as linhas de tendência. Logo, nos meses de menor intensidade, houve maior presença de íons dissolvidos na água da chuva. A presença destes íons vai depender da direção dos ventos que os transportam.

GRÁFICO 55 – VARIAÇÃO ANUAL DA INTENSIDADE COM A CONDUTIVIDADE



O gráfico 56 mostra que, os valores médios dos meses no período de 12 meses de estudo, oscilaram aleatoriamente, dependendo da intensidade da chuva e principalmente da direção dos ventos, que determina a presença de íons na água da chuva. Os valores de pH mais baixos foram em fevereiro e setembro de 2000, e os mais altos encontram-se em novembro e dezembro de 2000 e janeiro de 2001, conforme mostra a linha de tendência.

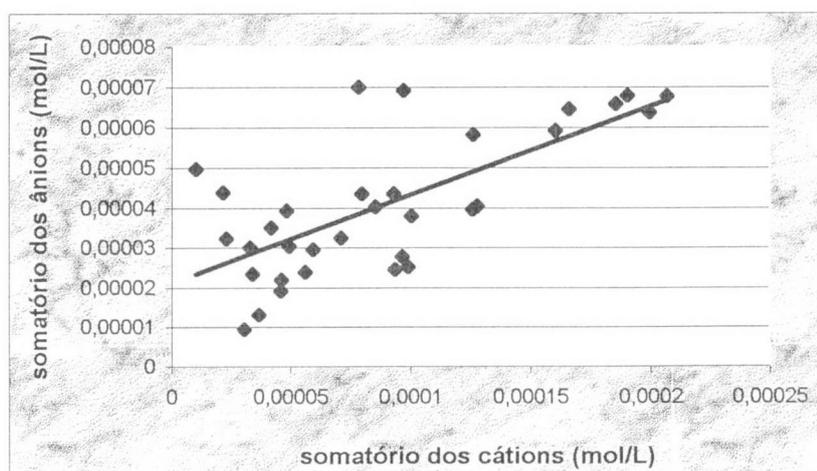
GRÁFICO 56 – VARIAÇÃO ANUAL DO pH DA CHUVA



O gráfico 57 mostra o balanço iônico anual. Para a elaboração deste, foi escolhido um gráfico que indicasse nos eixos o somatório das concentrações dos íons monovalentes, sendo que no eixo das abscissas encontram-se os cátions e no eixo das ordenadas os ânions. Para isso, foram retiradas algumas amostras para se obter uma diferença, dentro do limite tolerável, entre as concentrações dos íons de 30,5%.

Das 144 amostras, as que fazem parte deste gráfico são 33 amostras registradas sob os números: 10, 17, 25, 27, 28, 29, 34, 39, 43, 47, 48, 49, 50, 51, 54, 55, 57, 62, 66, 67, 68, 69, 71, 73, 74, 76, 82, 83, 130, 124, 138, 140 e 144, representando 23% das amostras coletadas.

GRÁFICO 57 – BALANÇO IÔNICO ANUAL



## 5.4 ESTUDOS SAZONAIS

Os estudos sazonais compreendem uma caracterização das precipitações, que permite uma relação entre as estações do ano dentro do período estudado.

Desconsiderando-se os dados do mês de fevereiro de 2000, pois foi um mês de verão muito longe dos demais em dezembro/2000 e janeiro/2001, pode-se fazer algumas observações intra-sazonais num conjunto trimestral do período de estudo. Na seqüência, os meses como março, abril e maio correspondem a estação outono; de inverno, junho, julho e agosto, e o trimestre de primavera como setembro, outubro e novembro.

Para se resgatar informações da caracterização das deposições úmidas ocorridas em cada estação do ano do período de estudo, calculou-se as médias trimestrais de pH, condutividade, intensidade da chuva e da concentração dos íons, como mostra a tabela 4a, a seguir.

TABELA 4a - RESULTADOS DAS CARACTERÍSTICAS DAS PRECIPITAÇÕES NUM ESTUDO INTRA-SAZONAL

| ESTAÇÃO DO ANO           | pH   | COND.<br>( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | INTENSIDADE<br>(mm/h) | ALTURA<br>(mm) | T<br>( $^{\circ}\text{C}$ ) | SOMA<br>ÍONS<br>(mol/L) |
|--------------------------|------|--------------------------------------|-----------------------|----------------|-----------------------------|-------------------------|
| outono: Março/2000       | 5,95 | 27,78                                | 1,86                  | 14,76          | 19,37                       | 0,0085                  |
| Abril/2000               |      |                                      |                       |                |                             |                         |
| Maio/2000                |      |                                      |                       |                |                             |                         |
| inverno: Junho/2000      | 6,06 | 18,78                                | 3,61                  | 79,60          | 14,11                       | 0,0094                  |
| Julho/2000               |      |                                      |                       |                |                             |                         |
| Agosto/2000              |      |                                      |                       |                |                             |                         |
| primavera: Setembro/2000 | 6,13 | 29,99                                | 7,83                  | 94,46          | 17,22                       | 0,0399                  |
| Outubro/2000             |      |                                      |                       |                |                             |                         |
| Novembro/2000            |      |                                      |                       |                |                             |                         |
| verão: Dezembro/2000     | 6,48 | 11,27                                | 13,49                 | 71,92          | 18,95                       | 0,0056                  |
| Janeiro/2001             |      |                                      |                       |                |                             |                         |

Com base nas médias mensais de intensidade de chuva mostrada na tabela 26, os dados observados em Curitiba, no período em estudo, confirmam as

conclusões obtidas por Kousky (1988) (REBOUÇAS, 1999). Estas indicam o início e fim da estação chuvosa ao sul do Brasil, de julho à novembro, que foram os meses que ocorreram maiores alturas de chuva, em milímetros (mm).

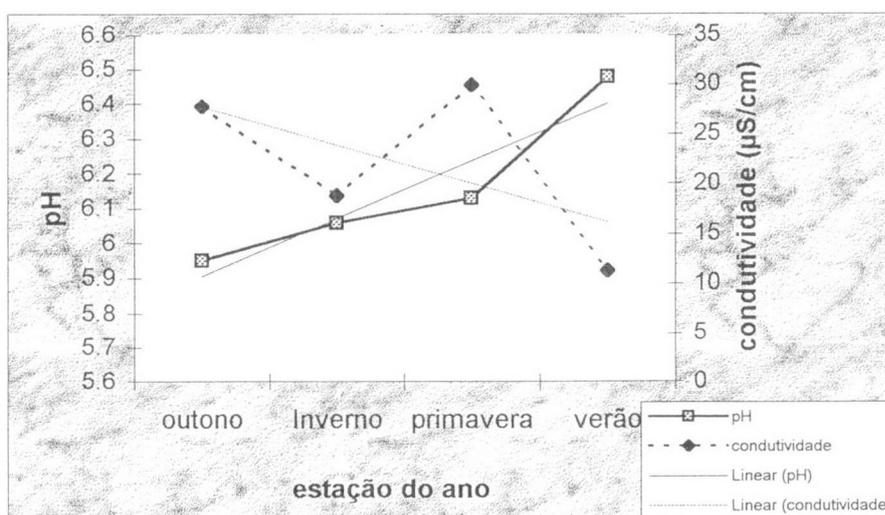
Também podemos perceber que a altura da chuva na primavera/2000. Este resultado enquadra-se no período úmido, particularmente para o estado do Paraná, conforme afirma Dias e Morengo, em Águas Atmosféricas (REBOUÇAS, 1999).

Portanto, o trimestre mais seco foi dos meses de março/abril/maio de 2000, com alturas de 1,86 mm, respectivamente, correspondendo à estação do ano outono. Neste trimestre do ano ocorreu as maiores temperaturas de 19,37°C. As maiores intensidades de chuva foram observadas também foram encontradas nesta estação.

Portanto, no outono houve, por conseqüência, uma média elevada de condutividade, pois deve possuir diferentes e maiores concentrações de poluentes dissolvidos na água das chuvas de 0,0085mol/L. O mesmo fato ocorreu com a primavera, com uma condutividade de 29,99  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e uma soma de íons de 0,0399 mol/L.

O gráfico 57 mostra que a estação do ano em que se obteve o maior pH foi o verão, com um valor de 6,48. Já o menor pH foi obtido no outono, com um valor médio mensal de 5,95.

GRÁFICO 58 – VARIAÇÃO SAZONAL DO pH E DA CONDUTIVIDADE



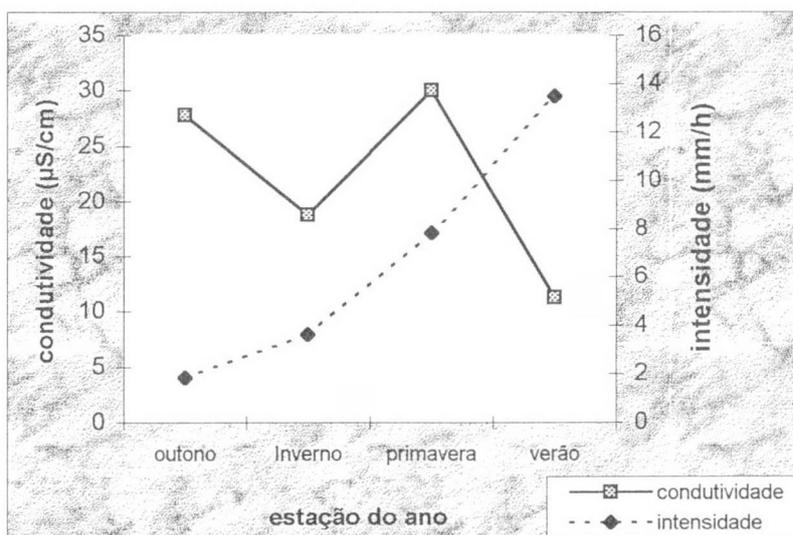
A estação em que a intensidade das chuvas foi menor coincidiu com a estação outono, onde a condutividade da água foi elevada, de 27,78  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Nota-se que quando a condutividade da água é elevada, a intensidade é baixa.

Logo, ao analisar os dados de inverno, nota-se um caso inverso: a condutividade é mais baixa e a intensidade média da chuva deste trimestre aumentou.

O mesmo ocorreu na estação em que a intensidade das chuvas geralmente é mais elevada, como o verão. Com uma intensidade muito alta (13,49 mm/h), a condutividade foi baixa (11,27  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Porém, essas relações não aconteceram na primavera, onde a condutividade não foi muito baixa (29,99  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) em relação às outras estações do ano, com a intensidade das chuvas um pouco mais elevada (7,83 mm/h). Conforme gráfico 58.

GRÁFICO 59 – VARIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE COM A INTENSIDADE



## 5.5 ESTUDOS DOS ÍONS ACETATO E FORMIATO

O estudo dos íons acetato e formiato presentes na água da chuva, pode proporcionar a influência dos ventos provenientes da BR-116 no transporte destes poluentes, na caracterização da precipitação, principalmente nos horários de maior fluxo de veículos.

Como pode-se perceber através da tabela (4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24 e 26), as amostras 3, 6, 9, 11, 17, 24, 30, 35, 37, 42, 43, 53, 55, 59, 60, 70, 76, 77, 78, 79, 80, 83, 88, 90, 92, 95, 98, 104, 110, 112, 115, 117, 120, 123, 129, 138 e 140, encontram-se próximas ou no horário de "rush", um momento em que aumenta o fluxo de veículos em circulação na BR-116. Estes horários foram demarcados da seguinte maneira: pela manhã, das 7h às 8h e das 11h30 às 13h30 e à tarde, das 17h às 19h, com a direção do vento variada. Estas concentrações são mais evidentes quando o vento, em relação ao coletor, é a oeste.

Então, pode-se verificar se há, nestes horários, uma considerável concentração de acetato e/ou formiato na água destas chuvas. Estes íons são originados de compostos emitidos por carros movidos a álcool ou gasolina. Já quando há altas concentrações de nitrato e sulfato, procedentes de  $\text{NO}_x$  e  $\text{SO}_2$ , a fonte são, principalmente, dos veículos à gasolina ou diesel. Calculando-se o pH médio dos eventos indicados anteriormente, tem o valor de 5,92. Existem as exceções, como a amostra 129, com pH igual a 7,32; porém possui alta concentração do íon amônio com  $1,64 \times 10^{-3}$  mol/L, isso provocou o aumento no valor do pH.

Estas amostras de números 11, 24, 42, 55, 76, 79, 90, 92 e 95, apresentam boa concentração de íons acetato e formiato.

Outras amostras, como as de números 46, 52, 54, 56, 86, 93 e 94, que estão fora do horário de "rush", possuem alta concentração dos dois íons, pois os ventos que estão agindo sobre estas têm direção oeste, sudoeste ou noroeste. Isso indica que os ventos que provém direto da BR-116 trazem os poluentes acetato e formiato.

A amostra de número 30, relativa ao dia 01 de maio, mesmo sendo coletada no horário de "rush", não apresentou concentrações de acetato e formiato. Como este dia foi feriado, o fluxo de veículos deve ter sido muito abaixo do normal.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES - ARAUCÁRIA

A coleta das amostras de Araucária foi realizada de forma integrada da mesma maneira que os eventos noturnos e ocorridos durante o final de semana foram coletados na cidade de Curitiba, sendo cada uma descrita a seguir. Houveram amostras mensais, semanais e diárias. Com isso, houve a do acúmulo de volume da precipitações, cada uma alimentada por massa de ar de diferente origem e qualidade, onde a direção da trajetória dos ventos pode mudar durante o evento. Este foi um dos inconvenientes das amostras de Araucária, por não poder permitir uma análise mais precisa, devido à mistura e diluição de poluentes na água da chuva. Porém, dentro dos dados e resultados obtidos, pode-se fazer alguns estudos, como os inter-eventos. Outro fato é que esses dados dos eventos não puderam ser avaliados graficamente pela falta de amostras horárias.

A tabela 5 indica os dias de precipitações coletados em Araucária.

TABELA 5 – EVENTOS COLETADOS EM ARAUCÁRIA NO ANO DE 2000 E 2001.

| Nº AMOSTRA | DIA /MÊS /ANO          |
|------------|------------------------|
| 1          | 02 de maio de 2000     |
| 2          | 02 de maio de 2000     |
| 3          | 02 de maio de 2000     |
| 4          | 03 de maio de 2000     |
| 5          | 03 de maio de 2000     |
| 6          | 03 de maio de 2000     |
| 7          | 03 de maio de 2000     |
| 8          | 04 de maio de 2000     |
| 9          | 04 de maio de 2000     |
| 10         | 04 de maio de 2000     |
| 11         | 04 de maio de 2000     |
| 12         | 04 de maio de 2000     |
| 13         | 17 de maio de 2000     |
| 14         | 26 de junho de 2000    |
| 15         | 28 de junho de 2000    |
| 16         | 05 de setembro de 2000 |
| 17         | 20 de setembro de 2000 |
| 18         | 19 de outubro de 2000  |
| 19         | 04 de dezembro de 2000 |
| 20         | 10 de janeiro de 2001  |
| 21         | 30 de janeiro de 2001  |

As tabelas 5 e 6, referentes à caracterização das águas de chuva de Araucária, encontram-se no final deste capítulo.

## 6.1 ESTUDOS INTER-EVENTOS DE ARAUCÁRIA

Segundo os responsáveis pelas coletas de chuva do LACTEC, a amostragem realizada em Araucária, pela manhã, às 10h, ou a tarde, às 16h. Assim, não possibilitou um controle de coleta horária, do período de duração destas precipitações e do horário de início e término da precipitação.

Mediante este fato, foi adotado um período de 24 horas de duração para cada evento descrito abaixo. Este foi o tempo em que o coletor ficou exposto à espera de chuva, entre a colocação e a retirada do recipiente de armazenamento da água no coletor. Com isso, foi possível estipular uma intensidade da chuva para ser relacionada com a captação de poluentes (superfície de contato entre água-poluente) e com a condutividade.

Pensou-se em estabelecer um tempo de duração da chuva em Araucária igual ao dos eventos que ocorreram no mesmo dia na cidade de Curitiba, porém as chuvas podem não ser iguais e não ocorrer no mesmo horário.

Tem-se, portanto, as seguintes amostras de 1 a 21, ordenadas nas tabelas B1 e B2, no anexo 1.

Outro fator a ser mencionado para as amostras de Araucária, quanto ao tipo de coleta realizada pelo LACTEC até o mês de maio, quando o coletor ainda não estava instalado no local da estação de monitoramento de ar, é que estas amostras de chuva foram coletadas em baldes plásticos. Foi feito uma média aritmética dos parâmetros analisados. Este fato pode acarretar alterações nas características das águas de chuva. A partir do mês de junho, o coletor estava devidamente instalado junto a estação de monitoramento de ar na cidade de Araucária.

### 6.1.1 Evento dia 2 de maio/2000

O evento do dia 2 de maio de 2000 possuiu três amostras coletadas, registradas sob os números 1, 2 e 3, a direção dos ventos foi a sudeste, provavelmente trazendo os poluentes de indústrias de fertilizantes e de refinaria de

petróleo, como amônia, dióxido de enxofre e óxido de nitrogênio. Estes estão presentes em alta concentração na água da chuva.

O pH teve um valor de 5,72, associado à presença dos cátions como amônio, sódio e com concentrações médias de  $1,35 \times 10^{-3}$  mol/L,  $2,2 \times 10^{-3}$  mol/L, respectivamente. Porém, a concentração média do ânion sulfato foi elevada, de  $2,83 \times 10^{-3}$  mol/L, o que não foi suficiente para reduzir o valor do pH.

A condutividade foi elevadíssima, de 568  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , indicando altas concentrações numa chuva que registrou um volume médio acumulado muito pequeno, de 56,6 mL, devido a intensidade da chuva média estipulada de 0,033 mm/h ser baixa. Isso provoca maior superfície de contato entre água-polvente; consequentemente pode registrar uma condutividade alta.

#### 6.1.2 Evento dia 3 de maio/2000

O pH médio foi menor neste evento do dia 3 de maio/200, com valor de 5,02, exatamente na fronteira de chuva ácida, devido a alta concentração média do íon  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $2,38 \times 10^{-4}$  mol/L), na água da chuva das amostras 4 a 7.

As concentrações dos íons dissolvidos foram mais baixas que no dia anterior (2 de maio). A intensidade média estipulada da chuva aumentou para 0,1127 mm/h, com uma condutividade reduzida em relação ao dia anterior, para um valor de 78,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Pode ser um indício de que o ar foi "lavado" pela água da chuva. A direção do vento foi a oeste.

#### 6.1.3 Evento dia 4 de maio/2000

Este evento é o terceiro dia de chuva desde o dia 3 de maio, sob as amostras 8 a 12. Foi obtido como condutividade média da chuva um valor baixo (35,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) em relação aos dois dias anteriores, devido ao ar estar "lavado". Com isso, o pH médio foi de 6,60, com um vento à direção sudeste. As concentrações dos íons foram mais baixas; porém a de amônio foi elevada, de  $3,90 \times 10^{-4}$  mol/L, o que comprovou o aumento do pH.

Com as concentrações baixas, o evento retratou uma condutividade baixa devido também à intensidade da chuva média estipulada ter aumentado em relação ao dia 3 de maio, passando para 0,24 mm/h.

#### 6.1.4 Evento dia 17 de maio/2000

O evento do dia 17 de maio (amostra 13) registrou um pH alto, de 6,0. Comparando-se as concentrações dos íons, as de cátions foram mais altas que a dos ânions. Mesmo sendo registrada a concentração sulfato em  $5,16 \times 10^{-4}$  mol/L. Como a direção dos ventos nesse horário foi a sudeste, este pode ter trazido poluentes do ar, que dissociados na chuva como  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ , que foram as quantidades mais elevadas dos íons.

A condutividade foi baixa (31  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), e a intensidade da chuva estipulada foi de 8,49 mm/h, considerada bem alta.

#### 6.1.5 Evento dia 26 de maio/2000

O evento do dia 26 de maio de 2000 (amostra 14) caracterizou-se por possuir a direção dos ventos sudeste; esta provavelmente traz os gases emitidos da indústria de fertilizantes, como amônia e dióxido de enxofre, que está localizada à sudeste do coletor de Araucária. Como nos eventos anteriores, as concentrações de sulfato e de amônio foram altas em relação aos demais íons presentes na água da chuva.

Como a concentração de  $\text{NH}_4^+$  foi de  $1,21 \times 10^{-3}$  mol/L, maior que do  $\text{SO}_4^{2-}$ , a chuva apresentou um pH maior que o normal, ficando em 6,2.

A condutividade foi relativamente alta (53,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Levando-se em consideração os outros eventos ocorridos em Araucária, a intensidade da chuva estipulada foi de 9,1956 mm/h.

#### 6.1.6 Evento dia 28 de junho/2000

No evento do dia 28 de junho de 2000 (amostra 15), o vento predominante teve a direção sul, transportando poluentes atmosféricos de indústrias cimenteira

(dióxido de carbono) e de fertilizantes (dióxido de enxofre e amônia). Neste caso, as concentrações dos ânions foram maiores que a dos cátions, como o pH ficando em 5,9. A concentração de sulfato foi relativamente alta em relação aos outros íons, com  $1,84 \times 10^{-5}$  mol/L. Isso foi provocado pela intensidade da chuva registrada em 91,107 mm/h, ter sido grande, acumulando-se num volume de 6440 mL medidos. Logo a condutividade foi baixa, de 11,33  $\mu$ S/cm.

#### 6.1.7 Evento dia 5 de setembro/2000

Sob a direção leste, o vento deste dia (amostra 16), pode ter trazido poluentes da refinaria de petróleo ( $\text{SO}_2$  e  $\text{NO}_x$ ) e de uma laminadora, sendo que esta última emite monóxido de carbono (CO) e dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ). O pH da chuva foi baixo (5,3), abaixo da fronteira de "chuva ácida", o que pode-se constatar pelas concentrações de nitrato e de sulfato serem altas. Porém, como a quantidade dos demais íons foi baixa, a condutividade da água correspondeu a 12,9  $\mu$ S/cm, acumulando-se num volume medido de 7880 mL, indicando uma elevadíssima intensidade de chuva estipulada de 111,48 mm/h.

#### 6.1.8 Evento dia 20 de setembro/2000

Com um vento à leste, as características deste evento do dia 20 de setembro, (amostra 17) indicaram um pH baixo (5,75). Para tanto, a concentração de amônio foi alta, de  $1,65 \times 10^{-4}$  mol/L. A condutividade foi baixa, de 30,00  $\mu$ S/cm, acumulou-se num volume de 9950 mL, registrando uma alta intensidade de chuva, de 140,76 mm/h.

#### 6.1.9 Evento dia 19 de outubro/2000

Neste evento, representado pela amostra 18, o vento predominante foi à direção sudeste, transportando gases das indústrias de fertilizantes, por isso houve a elevada presença do íon amônio na água da chuva com  $4,97 \times 10^{-4}$  mol/L. Somente o valor de pH foi elevado, de 5,89. O que se pode supor é que, ao longo do tempo em que ocorreu a precipitação, o vento tenha mudado de direção. A condutividade

foi baixa, 14,47  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , num volume acumulado de 8625 mL, identificando uma alta intensidade da chuva marcada em 122,02 mm/h

#### 6.1.10 Evento dia 4 de dezembro/2000

Com uma direção do vento a sudeste, este evento (amostra 19) teve um pH de 6,5, retratando uma grande concentração de amônio ( $7,35 \times 10^{-4}$  mol/L), o que não compensou a quantidade, também elevada, de sulfato, com  $3,20 \times 10^{-5}$  mol/L. A condutividade foi baixa (11,00  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), pois os demais íons apresentaram baixas concentrações, num acúmulo de volume alto de 7185 mL, ou seja, uma intensidade da chuva alta, de 101,65 mm/h.

#### 6.1.11 Evento dia 10 de janeiro/2000

O pH deste evento (amostra 20) foi de 5,7, com uma condutividade de 9,84  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , devido a concentração dos íons ser baixa. A concentração mais elevada foi a de sulfato, com  $1,85 \times 10^{-5}$  mol/L, fazendo reduzir o valor de pH.

A intensidade da chuva foi registrada em 67,62 mm/h e o vento predominante foi de direção norte, contribuíram para baixar a condutividade, pois este não transporta muitos poluentes.

#### 6.1.12 Evento dia 30 de janeiro/2000

Este do dia 30 de janeiro de 2000 está registrado sob a amostra amostra 21 de Araucária, página 144 e 145. Com as maiores concentrações dos íons sendo de sulfato com  $4,91 \times 10^{-5}$  mol/L e de amônio com  $1,48 \times 10^{-4}$  mol/L, retrata um vento na direção sudeste. Com isso, o pH ficou em torno de 6,0.

As quantidades dos outros íons analisados na água desta chuva foram baixas, tornando a condutividade baixa (19,72  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). O volume acumulado de chuva foi de 8265 mL, enfim, uma intensidade da chuva estipulada de 116,9258 mm/h, também contribuiu para diminuir o valor da condutividade.

## 7 FATORES METEOROLÓGICOS

A seção 1.4.3 relata as fontes de poluentes atmosféricos na região de Curitiba e Araucária. Com isso, foi feito um tratamento estatístico dos dados somente para o caso de Curitiba. Este tratamento consiste numa média aritmética e na elaboração de histogramas dos valores de pH e de condutividade das 144 amostras, agrupadas de acordo com a direção dos ventos de superfície, mostradas na tabela 6.

**TABELA 6 - RESULTADOS DAS MÉDIAS E DAS FREQUÊNCIAS DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DAS CHUVAS EM RELAÇÃO À DIREÇÃO DO VENTO EM CURITIBA**

| DIREÇÃO DO VENTO | Nº DE AMOSTRA | pH FREQ | pH MÉDIO | CONDUTIVIDADE FREQ. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | CONDUTIVIDADE MÉDIA ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | INTENSIDADE DA CHUVA (mm/h) |
|------------------|---------------|---------|----------|---|---|-----------------------------|
| sudoeste         | 23            | 6,3     | 5,96     | 20,0  | 20,73   | 1,5                         |
| norte            | 16            | 6,1     | 5,92     | 22,0  | 21,62   | 0,5                         |
| sul              | 6             | 6,1     | 5,47     | 15,0  | 20,26   | 0,5                         |
| leste            | 28            | 6,6     | 6,16     | 14,0  | 15,54   | 1,0                         |
| oeste            | 23            | 6,4     | 5,81     | 20,0  | 15,96   | 0,4                         |
| sudeste          | 11            | 6,0     | 5,84     | 20,0  | 20,72   | 0,5                         |
| nordeste         | 25            | 6,5     | 6,00     | 8,0   | 14,85   | 1,0                         |
| noroeste         | 12            | 6,4     | 5,86     | 40,0  | 21,46   | 0,5                         |

Os histogramas foram elaborados com blocos de intervalos arbitrários para cada direção de vento de superfície conforme a frequência de pH, condutividade e intensidade da chuva. Com esses resultados, observou-se que o vento a sudeste foi o que possuiu um valor de pH em relação aos demais sendo mais freqüente de 6,0. Este valor coincidiu com a média aritmética de 5,84. Os demais valores encontram-se na tabela 6. Conforme mostram os gráficos 60, 61 e 62:

GRÁFICO 60 – HISTOGRAMA DE pH COM O VENTO A SUDESTE

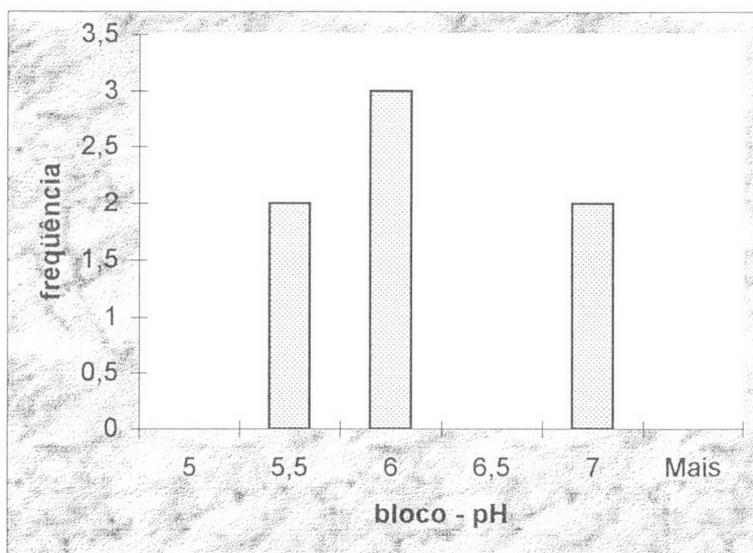


GRÁFICO 61 – HISTOGRAMA DE CONDUTIVIDADE DA CHUVA COM O VENTO A SUDESTE

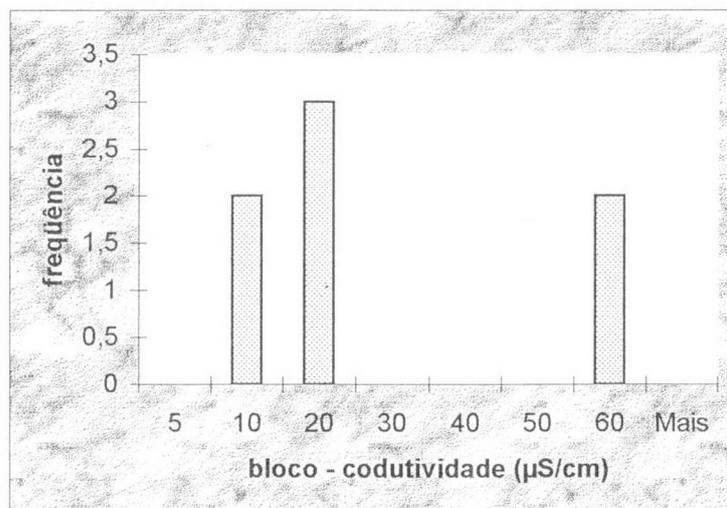
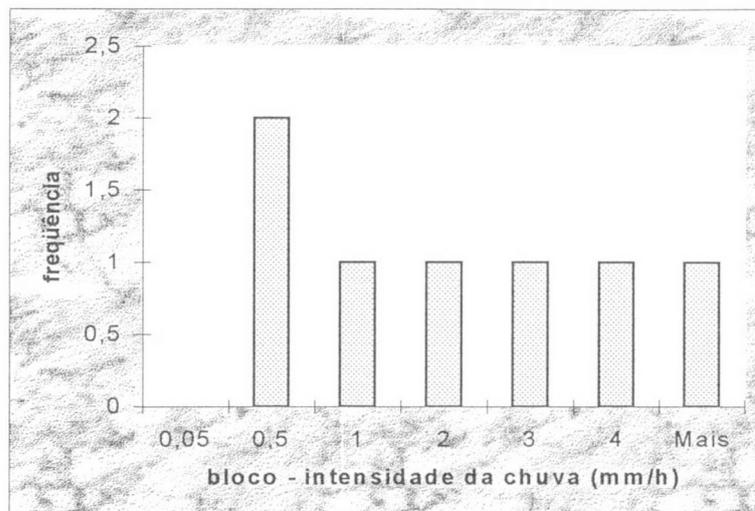


GRÁFICO 62 – HISTOGRAMA DA INTENSIDADE DA CHUVA COM O VENTO A SUDESTE



Para os ventos na direção noroeste (gráfico 63), o valor de pH, assim como a leste (gráfico 64), foram tiveram, como valor mais freqüente, 6,4.

GRÁFICO 63 – HISTOGRAMA DE pH COM O VENTO A NOROESTE

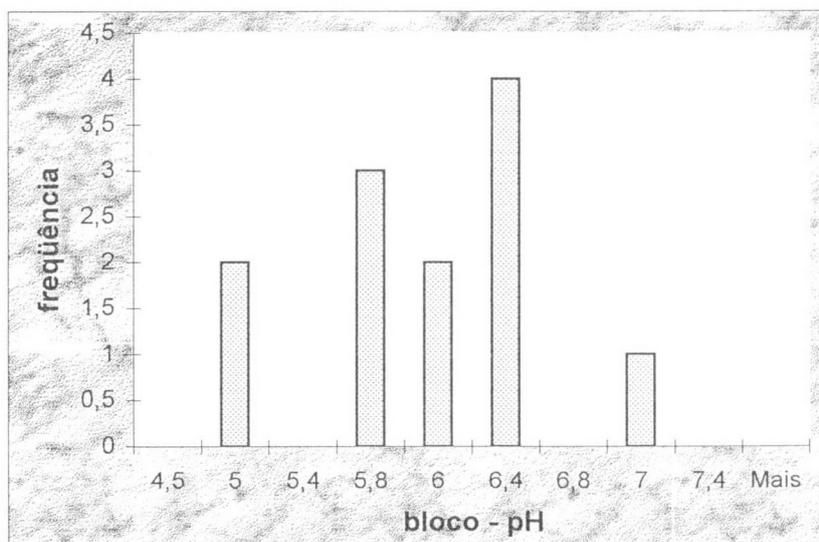
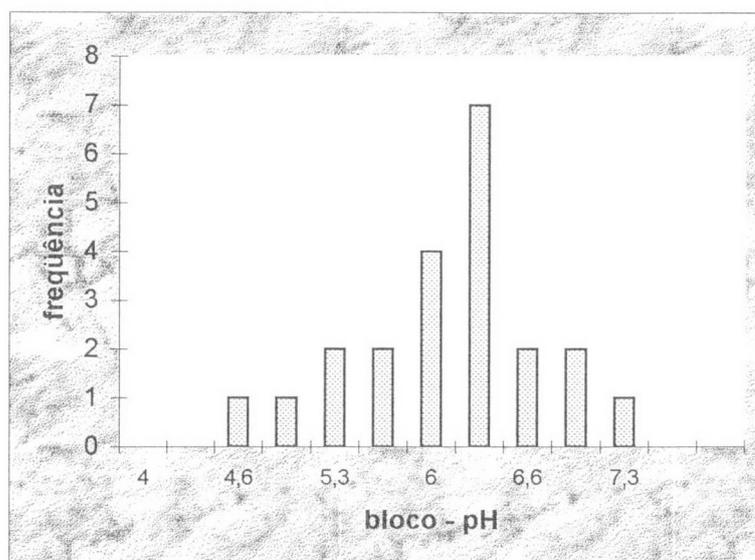


GRÁFICO 64 – HISTOGRAMA DE pH COM O VENTO A LESTE



Neste vento, a condutividade da água mais freqüente foi de 40  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e com uma das menores intensidades de precipitação úmida (0,5 mm/h). Conforme apresentam os gráficos 65 e 66.

GRÁFICO 65 - HISTOGRAMA DE CONDUTIVIDADE COM O VENTO A NOROESTE

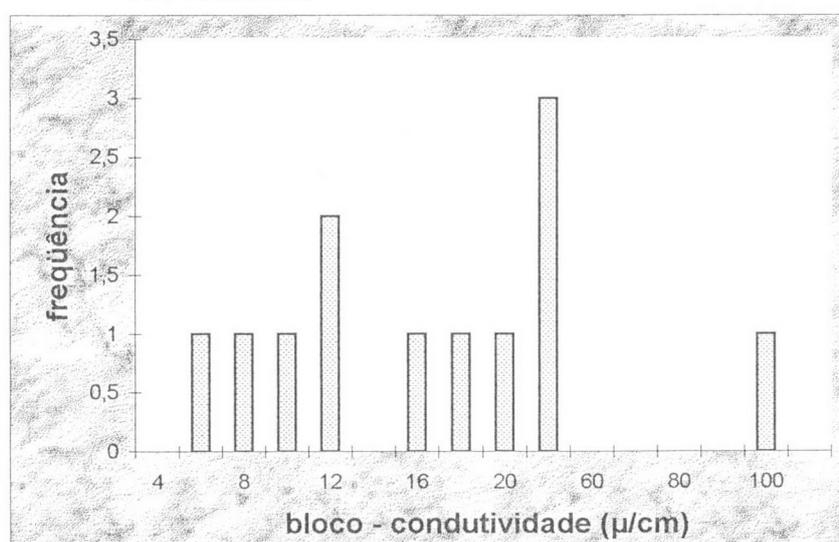
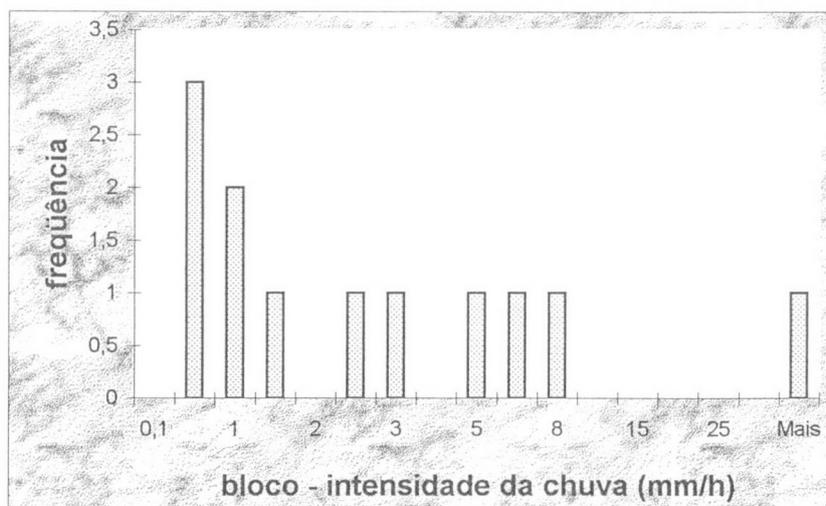
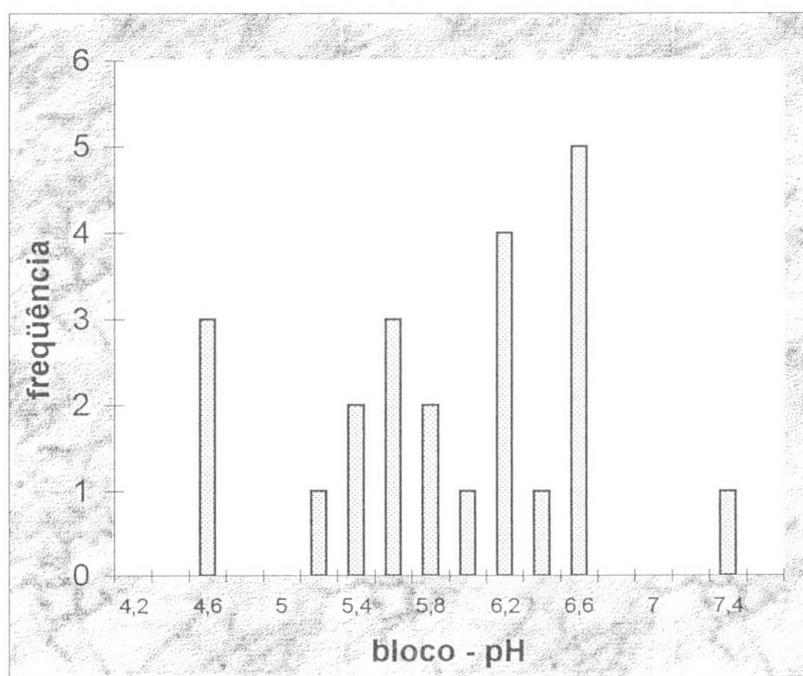


GRÁFICO 66 – HISTOGRAMA DE INTENSIDADE DA CHUVA COM O VENTO A NOROESTE



A direção do vento superficial que mais contribuiu para a elevação do pH da chuva no período em estudo (fevereiro/2000 a janeiro/2001) foi a oeste, com uma frequência mais alta dos ventos igual a 6,6. Conforme o gráfico 67.

GRÁFICO 67 – HISTOGRAMA DE pH COM O VENTO A OESTE



A frequência da intensidade da chuva foi a mais baixa, de 0,4 mm/h, correspondendo a uma condutividade mais freqüente relativamente alta, de 20  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Ver os gráficos 68 e 69.

GRÁFICO 68 – HISTOGRAMA DA INTENSIDADE DA CHUVA COM O VENTO A OESTE

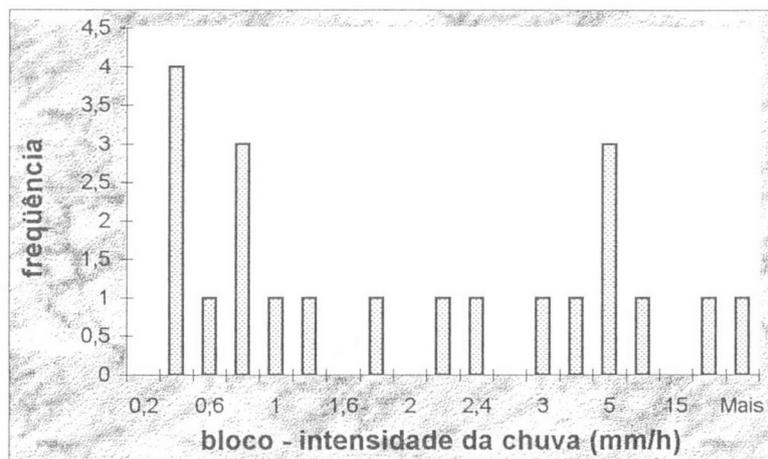
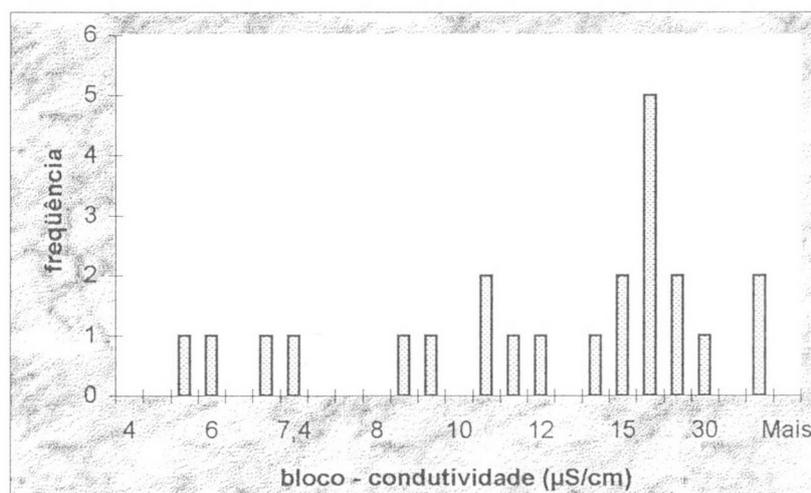
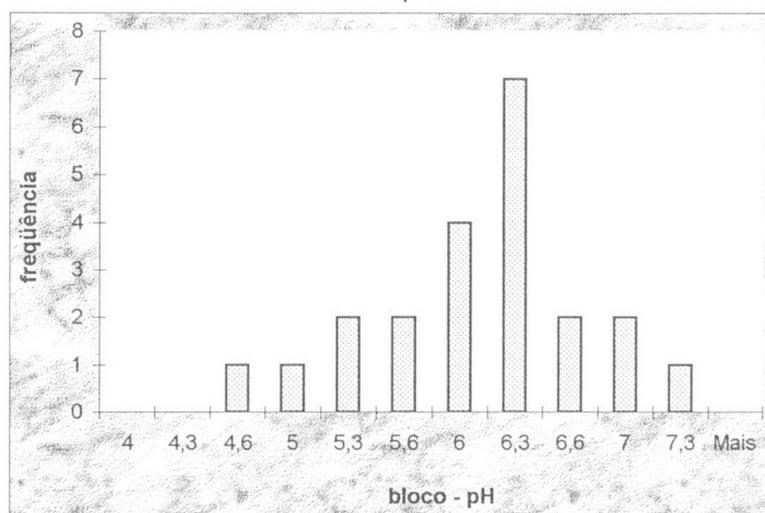


GRÁFICO 69 – HISTOGRAMA DA CONDUTIVIDADE COM O VENTO A OESTE



A sudoeste, o pH retirado do histograma mais freqüente foi de 6,3; e uma média de 5,96. Isso se deve à emissão de poluentes ora ácidos e ora básicos originados da região de grande concentração industrial de Curitiba e Araucária, conforme foi descrito no estudo intra-evento da seção 6.1. Conforme o gráfico 70.

GRÁFICO 70 – HISTOGRAMA DO pH COM O VENTO A SUDOESTE



A condutividade mais freqüente foi alta, de 20  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , mesmo tendo a maioria dos valores de intensidade da chuva em torno de 1,5 mm/h. Conforme os gráficos 71 e 72.

GRÁFICO 71 – HISTOGRAMA DA CONDUTIVIDADE COM O VENTO A SUDOESTE

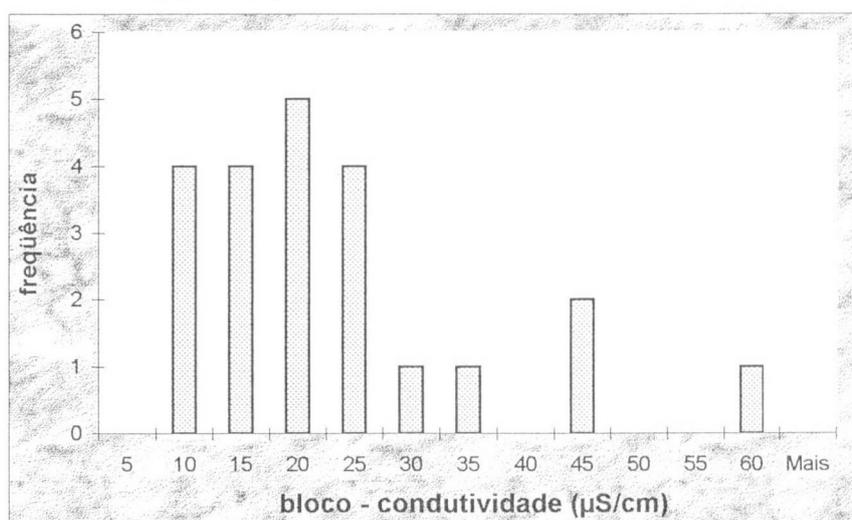
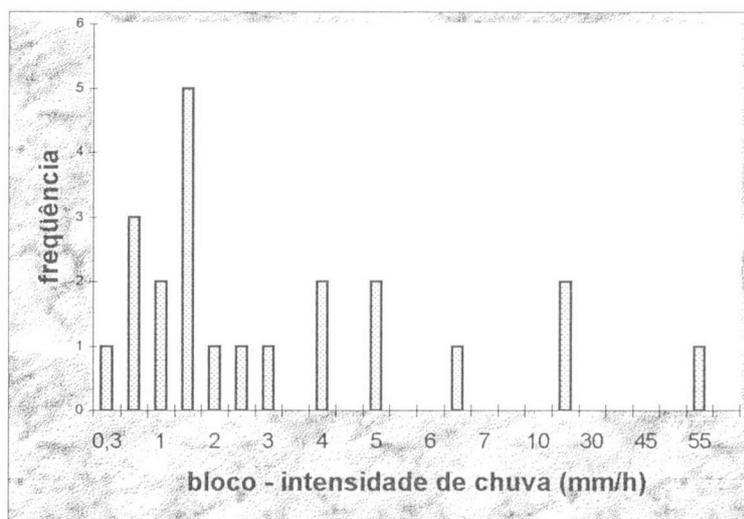
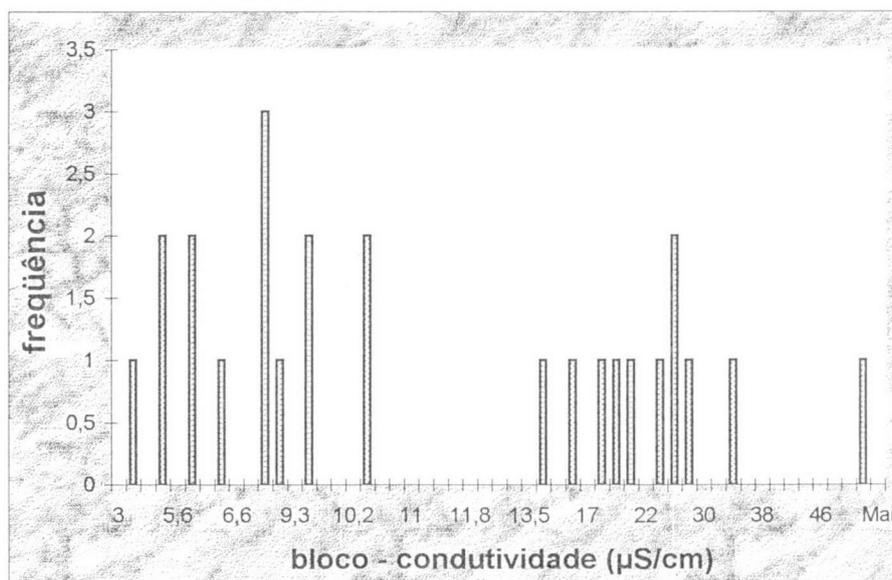


GRÁFICO 72 – HISTOGRAMA DA INTENSIDADE DA CHUVA COM O VENTO A SUDOESTE



O vento vindo do nordeste apresentou condutividades baixas, de 8,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , porém as precipitações mais freqüentes foram de 1,0 mm/h (valor baixo). Conforme os gráficos 73 e 74.

GRÁFICO 73 – HISTOGRAMA DA CONDUTIVIDADE COM O VENTO A NORDESTE



Este fato pode justificar que este vento não trouxe consigo muitos poluentes. Seu pH mais freqüente foi alto, de 6,5. Conforme o gráfico 75.

GRÁFICO 74 – HISTOGRAMA DA INTENSIDADE COM O VENTO A NORDESTE

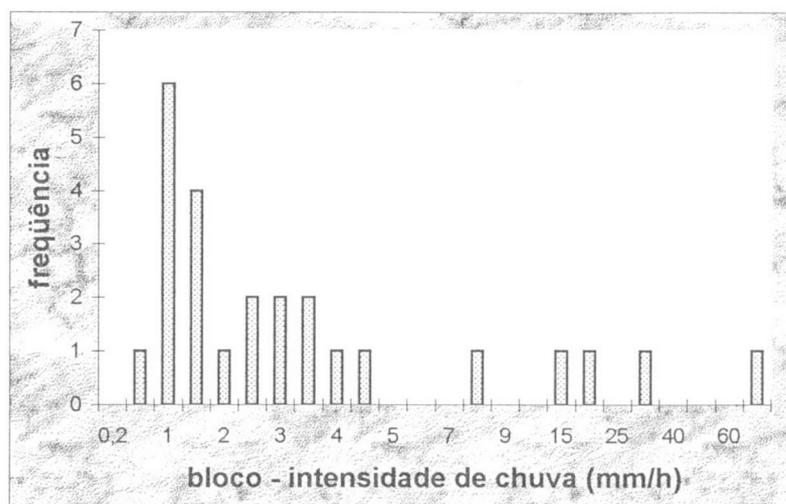
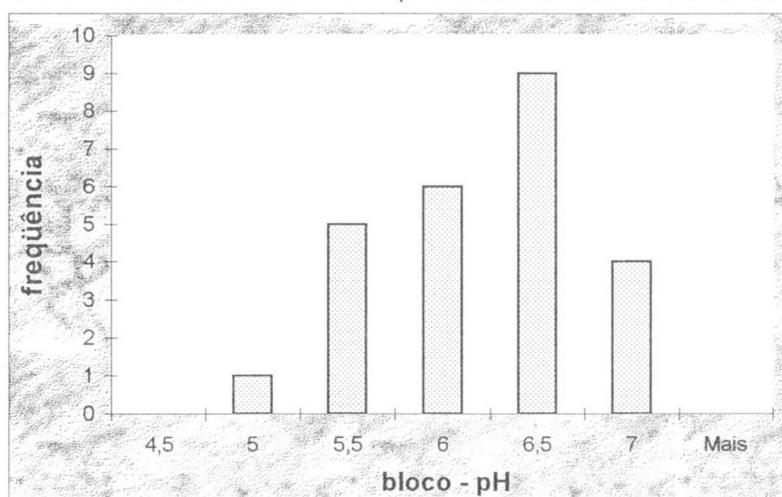


GRÁFICO 75 – HISTOGRAMA DO pH COM O VENTO A NORDESTE



A norte e a sul, tem-se as direções dos ventos que possuíram os mais baixos valores de pH depois do vento a sudeste, e as médias foram aproximadas ao valor frequente. Conforme gráficos 76 e 77, à seguir:

GRÁFICO 76 – HISTOGRAMA DE pH COM O VENTO A SUL

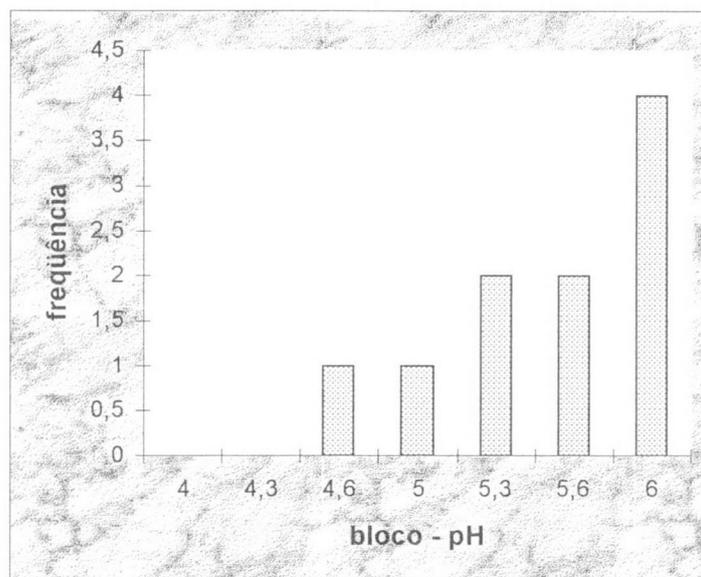
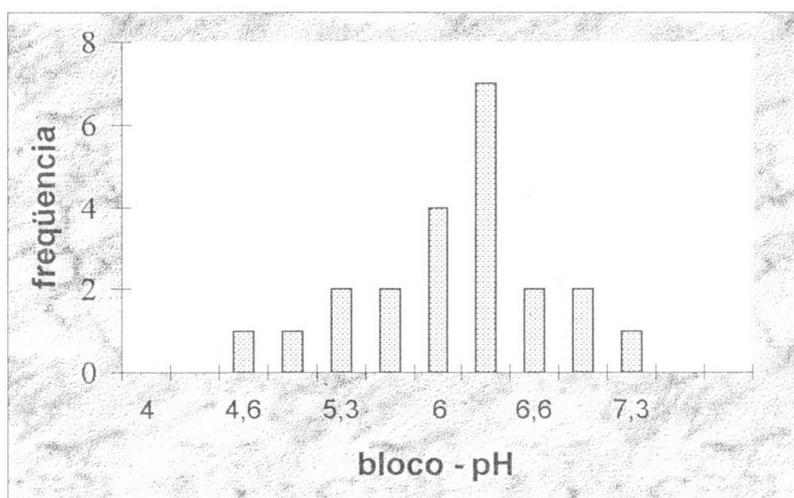


GRÁFICO 77 – HISTOGRAMA DE pH COM O VENTO A NORTE



## **8 ASSOCIAÇÃO ENTRE O CAMPO DE VENTO DE SUPERFÍCIE E DE ALTITUDE E A CONCENTRAÇÃO DE ELEMENTOS QUÍMICOS EM CURITIBA**

### **8.1 DADOS**

Os dados de ventos de superfície foram obtidos de medições realizadas na estação meteorológica INMET e na estação automática pertencente à rede telémtrica do Instituto Tecnológico SIMEPAR. Ambas as estações estão instaladas no Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, em Curitiba (latitude:  $-25^{\circ} 25'40''$  /longitude:  $-49^{\circ}16'23''$ ). Os campos de vento em 850 hPa foram extraídos de simulações realizadas com o modelo de previsão numérica de tempo Regional Atmospheric Modelling System (RAMS) executado no SIMEPAR. Os dados foram coletados durante os eventos de precipitação, ocorridos entre 2000 e 2001, e foram utilizados aqueles correspondentes aos eventos analisados.

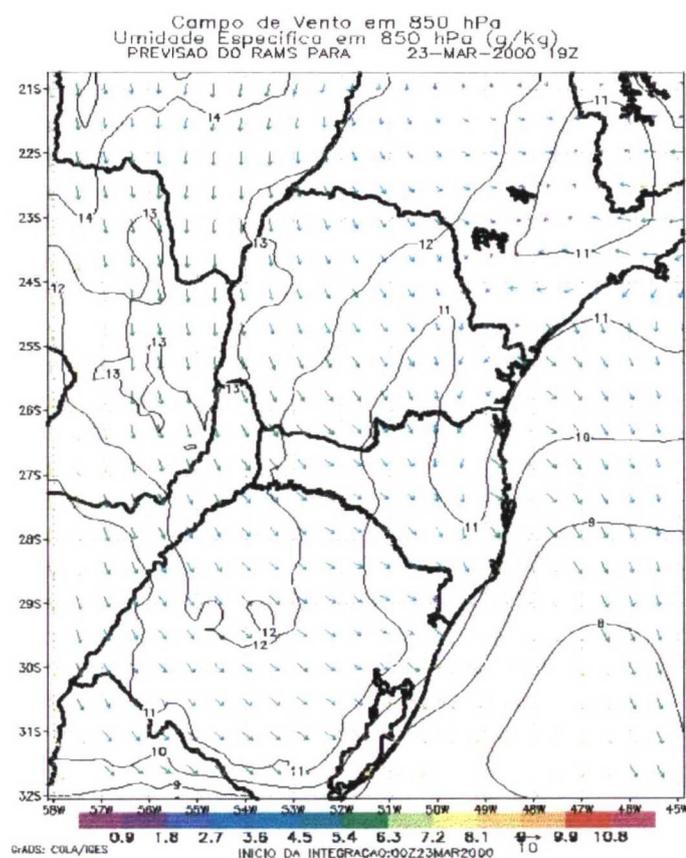
Os ventos de superfície são medidos a 10 m de altura, e os ventos de altitude são extraídos do nível de 850hPa do modelo que corresponde aproximadamente a altitude 1000 m ou 850 hPa.

### **8.2 EVENTOS ANALISADOS EM CURITIBA**

Durante o período de desenvolvimento deste trabalho, foram coletadas 144 amostras de água da chuva para análise da composição química. Dentre aquelas que apresentaram características anômalas em valores de pH, concentração de poluentes, tempo de longa ou de curta duração do evento, foram escolhidos seis dias: 23 e 28 de março, 03 de abril, 26 de maio, 20 de junho e 10 de julho/2000. A seguir será descrito cada um destes dias. Mesmo parecendo poucos, estes dados já apresentam uma boa noção da representação gráfica do campo dos ventos.



FIGURA 11 - VENTO DE ALTITUDE A 850 hPa EXTRAÍDO DO RAMS DO DIA 23 DE MARÇO/2000 ÀS 16h - HORÁRIO LOCAL

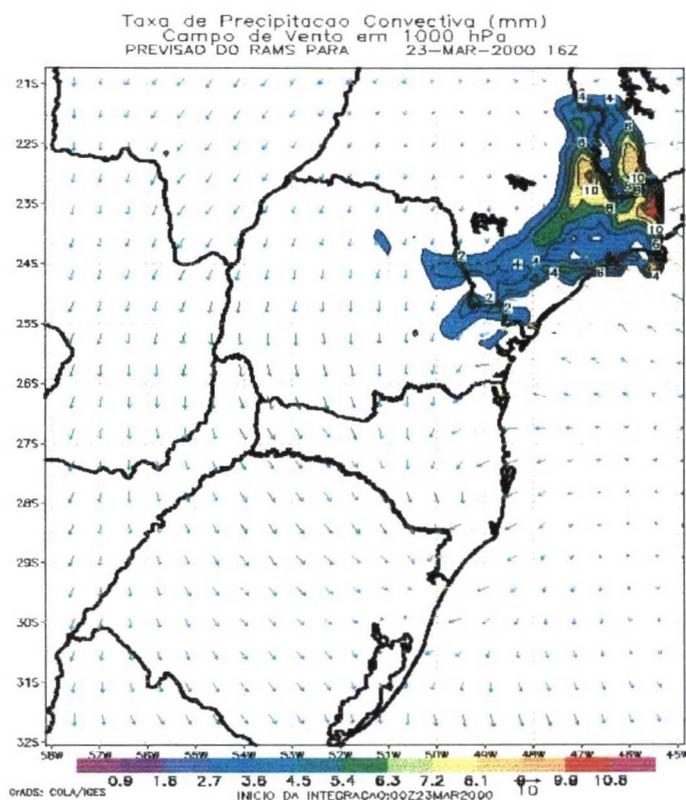


FONTE: SIMEPAR

Às 16h, o parâmetro mais evidente foi o pH de 5,98, sendo que mais tarde (às 22h) este valor diminuiu para 5,18, mantendo-se a direção dos ventos em ambos os horários, e as concentrações altas de nitrato, com  $3,71 \times 10^{-4}$  mol/L e de amônio, com  $2,41 \times 10^{-4}$  mol/L. Estes associam-se ao vento de altitude à direção nordeste, pois provavelmente tenha transportado estes poluentes das indústrias de fertilizantes da cidade de Paranaguá, situada a nordeste de Curitiba.

Pode-se notar na figura 12, às 13h, (horário local), que a previsão de chuva às 13h feita pelo modelo RAMS apresentou ventos a nordeste. Estes estariam trazendo a chuva 3 horas antes da precipitação ocorrer em Curitiba.

FIGURA 12 - PREVISÃO DA CHUVA E DO VENTO DE SUPERFÍCIE FORNECIDO PELO MODELO RAMS DO DIA 23 DE MARÇO/2000 ÀS 13h



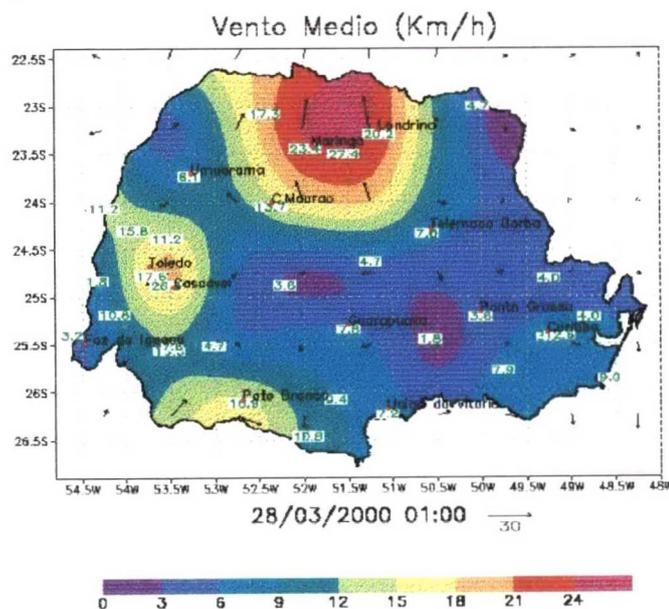
FONTE: SIMEPAR

### 8.2.2 Análise Comparativa dos Ventos de Superfície e de Altitude do dia 28 de Março/2000 à 01h

As direções dos ventos de superfície, tanto registradas no INMET, quanto no SIMEPAR (figura 13), foram a sudoeste. Esta figura mostra os vetores da direção do vento no horário local, à 1h do dia 28 de março/2000, registrado pela amostra de número 25, tabelaS 5 e 6.

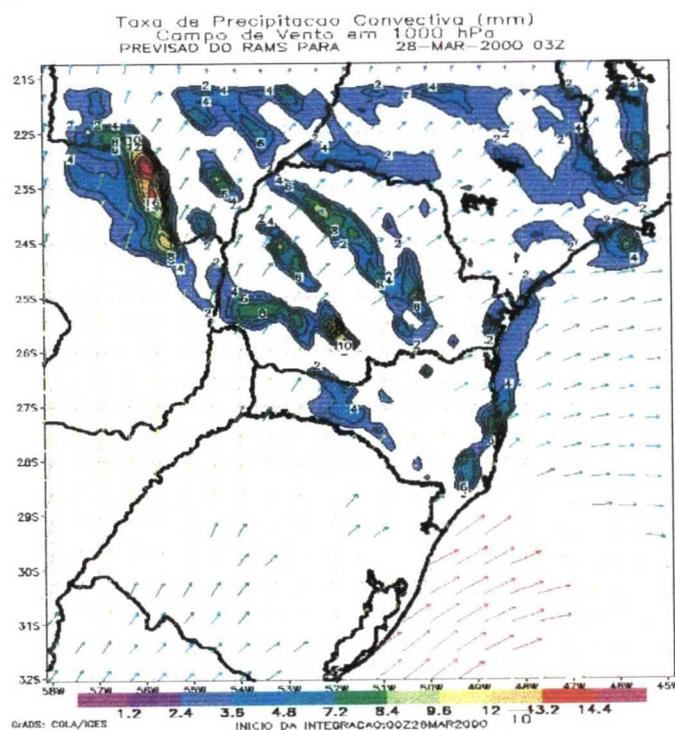
A figura 14 mostra a direção do campo de ventos previsto pelo modelo RAMS, com vetores que indicam a direção sudoeste. A umidade específica também pode ser resgatada através do RAMS, foi de 12 g/kg, conseqüente previsão de precipitação úmida.

FIGURA 13 - VENTO DE SUPERFÍCIE FORNECIDO PELO SIMEPAR DO DIA 28 DE MARÇO/2000 À 01h



FONTE: SIMEPAR

FIGURA 14 - VENTO DE ALTITUDE A 850 hPa EXTRAÍDO DO RAMS DO DIA 28 DE MARÇO/2000 À 01h



FONTE: SIMEPAR

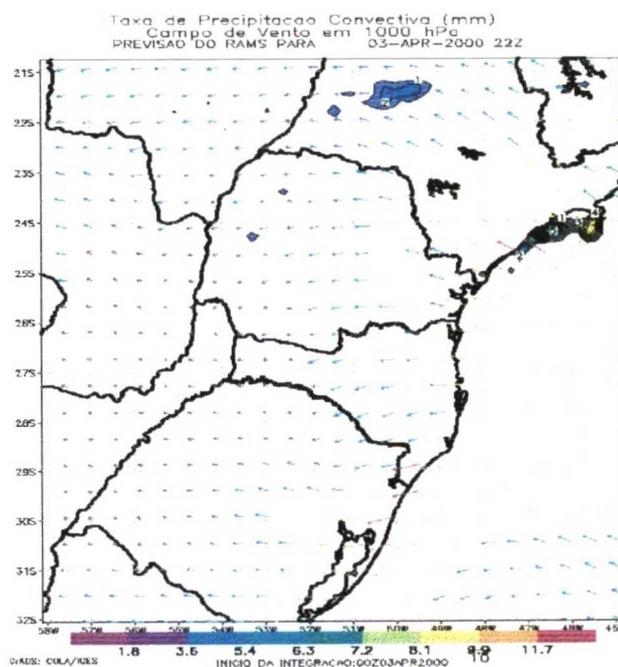
As direções dos ventos de superfície e de altitude no horário desta precipitação foram à mesma direção (sudoeste). Ventos nesta direção transportam poluentes da região de alta concentração industrial próximas à Curitiba.

Este evento do dia 3 de abril/2000 foi caracterizado por baixas concentrações de íons, concomitante intensidade de chuva alta, de 3,54 mm/h, e conseqüente valor baixo de condutividade, 9,58  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . O valor de pH foi de 6,10, mantendo-se acima da “fronteira” (pH 5,6) correspondente ao fenômeno de “Chuva Ácida”. Portanto, o comportamento desta precipitação foi associado à alteração da intensidade da chuva e não pelos campos de vento de superfície e de altitude.

### 8.2.3 Análise Comparativa dos Ventos de Superfície e de Altitude do dia 03 de Abril/2000 às 21h

A previsão de chuva fornecida pelo modelo RAMS, para o evento do dia 3 de abril, não foi confirmada, pois o vento simulado foi de direção sudeste, conforme demonstra a figura 15 abaixo, às 19h. Assim, os vetores a sudeste provocaram um suposto deslocamento das nuvens para outra direção.

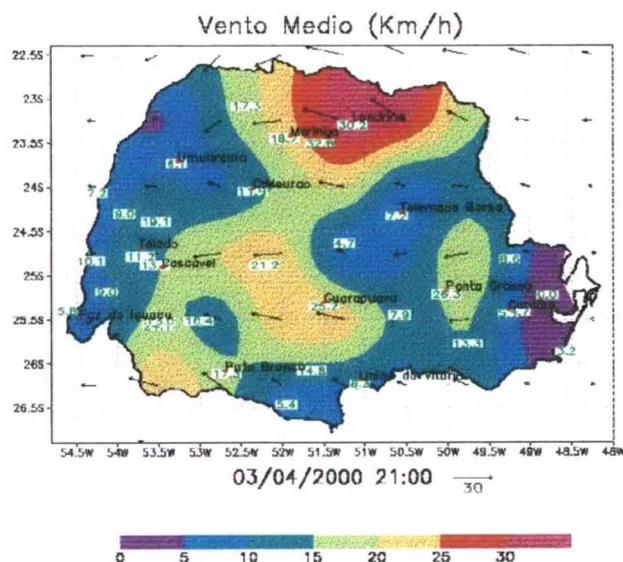
FIGURA 15 - PREVISÃO DA CHUVA E DO VENTO DE SUPERFÍCIE FORNECIDO PELO MODELO RAMS DO DIA 03 DE ABRIL/2000 ÀS 19h



FONTE: SIMPAR

Para este dia, a direção dos ventos de superfície fornecidos pelo INMET e pelo SIMEPAR (figura 16), foram a nordeste.

FIGURA 16 - VENTO DE SUPERFÍCIE FORNECIDO PELO SIMEPAR DO DIA 03 DE ABRIL/2000 ÀS 21h



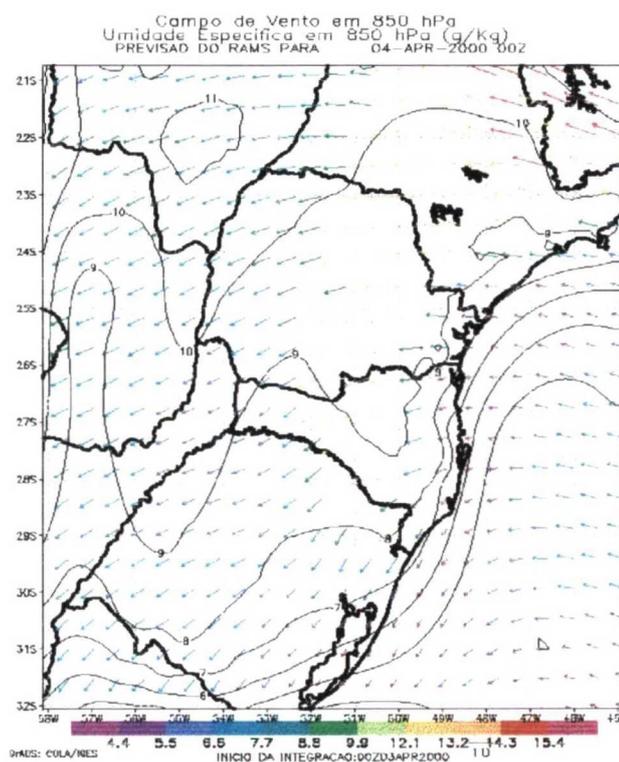
FONTE: SIMEPAR

Porém, os ventos de altitude, na previsão do modelo RAMS (figura 17), resultou a leste às 21h.

A umidade específica foi prevista para 9 g/kg, o que indica a ausência de precipitação.

Neste evento os parâmetros como o pH de 6,37, as concentrações de amônio de  $2,0 \times 10^{-3}$  mol/L, de cloreto de  $1,63 \times 10^{-4}$  mol/L e a de sulfato de  $3,28 \times 10^{-5}$  mol/L, estão associados ao vento a altitude, de 1000 m, transportando os íons de procedência marítima.

FIGURA 17 - VENTO DE ALTITUDE A 850 hPa EXTRAÍDO DO RAMS DO DIA 03 ABRIL/2000 ÀS 21h



FONTE: SIMEPAR

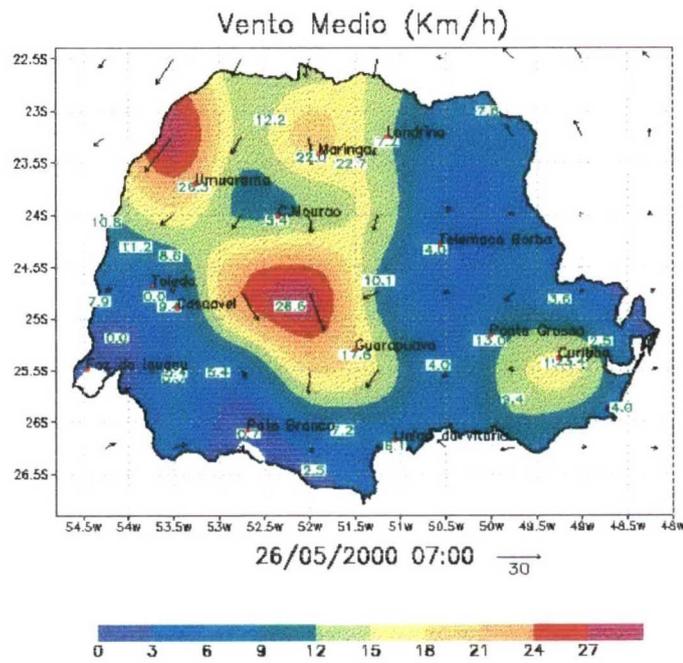
#### 8.2.4 Análise Comparativa dos Ventos de Superfície e de Altitude do dia 26 de Maio/2000 às 7h

No evento do dia 26 de maio de 2000 (amostra 35, tabelas 10 e 11), às 7h, a direção de vento de superfície, segundo as informações do INMET, foi a oeste. Já o SIMEPAR registrou uma direção a sudoeste.

A previsão do campo de ventos de altitude realizada pelo modelo RAMS indicou a direção desta trajetória a noroeste, com uma umidade específica de 6,5 g/kg, prevendo a não ocorrência de precipitação úmida.

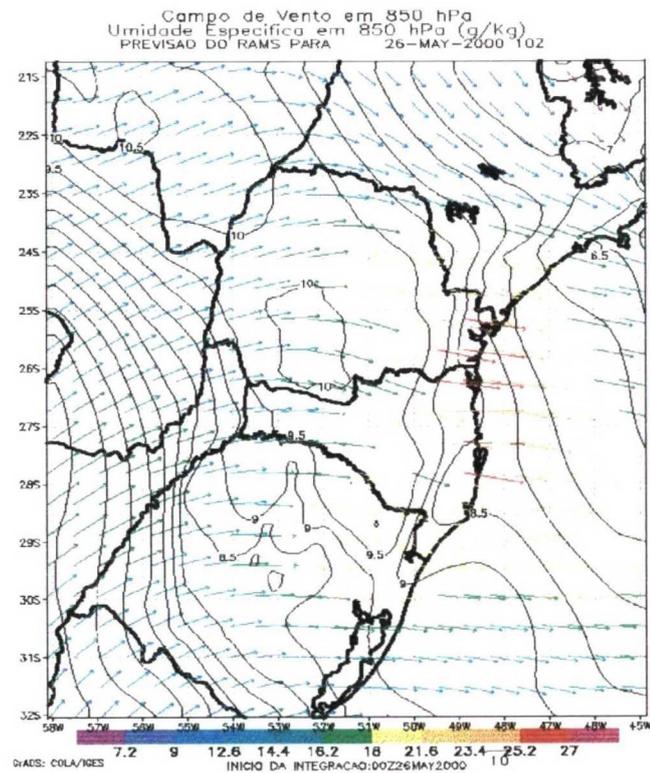
Os vetores de vento dessas situações comentadas podem ser visualizados nas figuras 18 e 19.

FIGURA 18 - VENTO DE SUPERFÍCIE FORNECIDO PELO SIMEPAR DO DIA 26 DE MAIO/2000 ÀS 7h



FONTE: SIMEPAR

FIGURA 19 - VENTO DE ALTITUDE A 850 hPa EXTRAÍDO DO RAMS - 26 DE MAIO/2000 ÀS 7h



FONTE: SIMEPAR

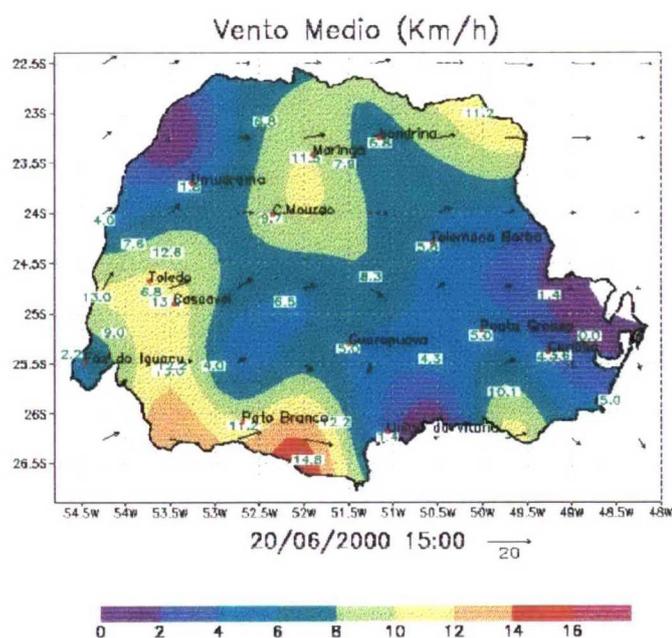
A característica mais importante deste evento foi o pH, com valor 6,9 e concentração de  $1,70 \times 10^{-4}$  mol/L para nitrato e  $1,47 \times 10^{-4}$  mol/L para amônio. Pode-se dizer que neste evento, o vento de superfície com uma direção a sudoeste/oeste está associado à concentração destes poluentes e ao valor do pH, pois nesta direção o vento transporta tais poluentes da região industrial de Curitiba e da BR-277.

#### 8.2.5 Análise Comparativa dos Ventos de Superfície e de Altitude do evento do dia 20 de Junho/2000 das 12h05 às 18h

Este evento teve início às 12h05 e terminou às 18h. Foram coletadas 6 amostras durante a precipitação num intervalo de 1h, correspondentes às amostras de números de 37 a 42 (tabelas 12 e 13). Para melhor comparação entre os ventos, foi escolhido o horário das 15h, na metade do período de duração da precipitação.

Os dados do SIMEPAR (figura 20) e do INMET demonstraram que a direção dos ventos foram a sudeste.

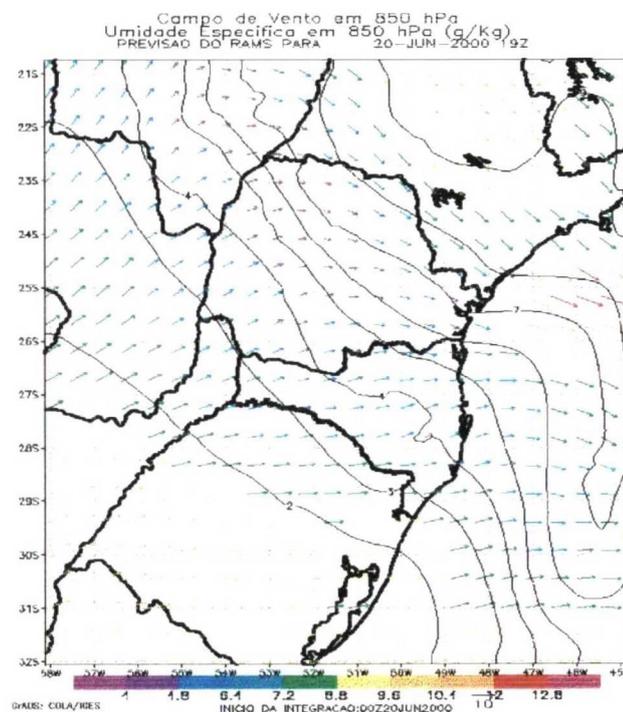
FIGURA 20 - VENTO DE SUPERFÍCIE FORNECIDO PELO SIMEPAR DO DIA 20 DE JUNHO/2000 ÀS 15h



FONTE: SIMEPAR

A direção do campo de ventos de altitude previsto através do modelo RAMS, foi a noroeste, conforme mostra a figura 21, abaixo:

FIGURA 21 - VENTO DE ALTITUDE A 850 hPa EXTRAÍDO DO RAMS DO DIA 20 DE JUNHO/2000 ÀS 16h



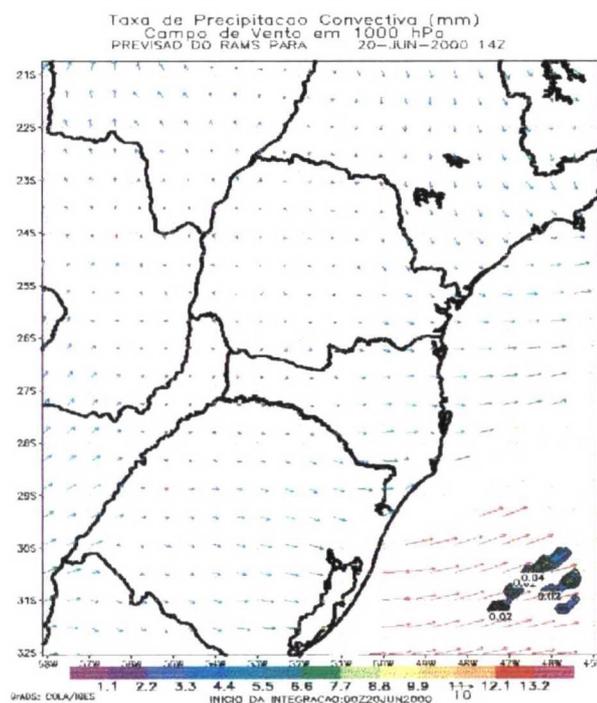
FONTE: SIMEPAR

A umidade prevista para este evento, à 1000 m, foi de 6,0 g/kg, prevendo a não ocorrência de chuva neste horário, já que as nuvens à 1000 hPa estão mais concentradas a oeste de São Paulo.

No evento do dia 20 de junho/2000 houve uma concentração elevada de cálcio ( $3,50 \times 10^{-4}$  mol/L). Outro destaque é a concentração de nitrato, com  $6,48 \times 10^{-5}$  mol/L. Logo, os ventos de superfície a sudeste estão associados ao transporte destes poluentes. Porém, o vento de altitude, a noroeste, não está associado à estas características, sendo que esta direção não carrega consigo muitos poluentes.

Outra informação a se observada é que, segundo a previsão modelo RAMS, não houve previsão de chuva para este horário, pois as nuvens às 11h ainda estavam no oceano, no sul do Rio Grande do Sul, conforme mostra as manchas azuis na figura 22.

FIGURA 22 - PREVISÃO DA CHUVA E DO VENTO DE SUPERFÍCIE FORNECIDO PELO MODELO RAMS DO DIA 20 DE JUNHO/2000 ÀS 11h

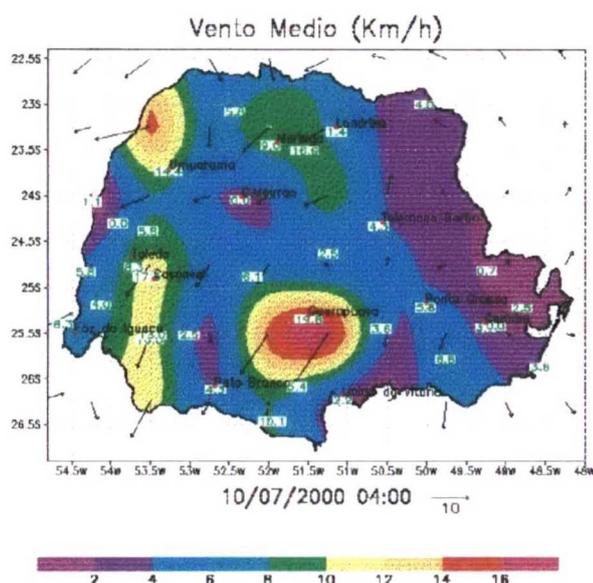


FONTE: SIMEPAR

### 8.2.6 Análise Comparativa dos Ventos de Superfície e de Altitude do dia 10 de Julho/2000 às 4h e às 9h

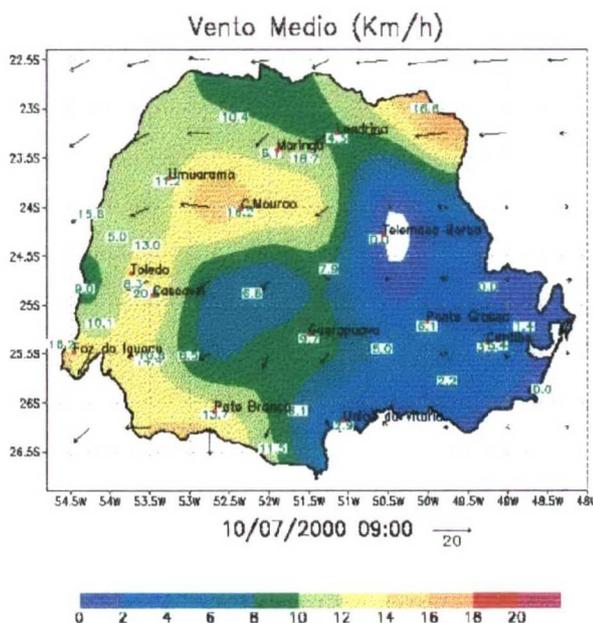
A precipitação do dia 10 de julho/2000 ocorreu das 4h até 5h15, e retornou das 9h30 até 9h50 (amostra 48 e 49, nas tabelas 14 e 15). Os arquivos de dados no SIMEPAR, registraram a direção sudoeste em ambos os horários (conforme as figuras 23 e 24). Já a direção do vento de superfície registrado pelo INMET foi a noroeste às 4h, e a sudoeste às 9h. Estes horários correspondem às amostras 48 e 49.

FIGURA 23 - VENTO DE SUPERFÍCIE FORNECIDO PELO SIMEPAR DO DIA 10 DE JULHO/2000 ÀS 04h



FONTE: SIMEPAR

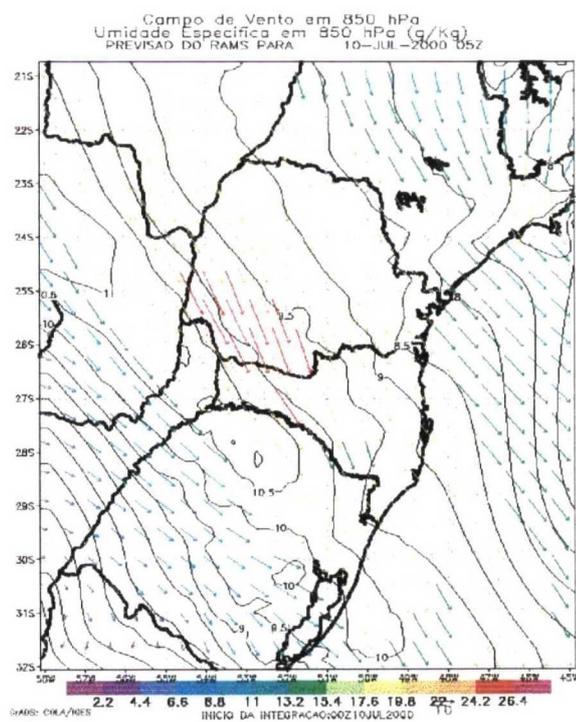
FIGURA 24 - VENTO DE SUPERFÍCIE FORNECIDO PELO SIMEPAR DO DIA 10 DE JULHO/2000 ÀS 09h



FONTE: SIMEPAR

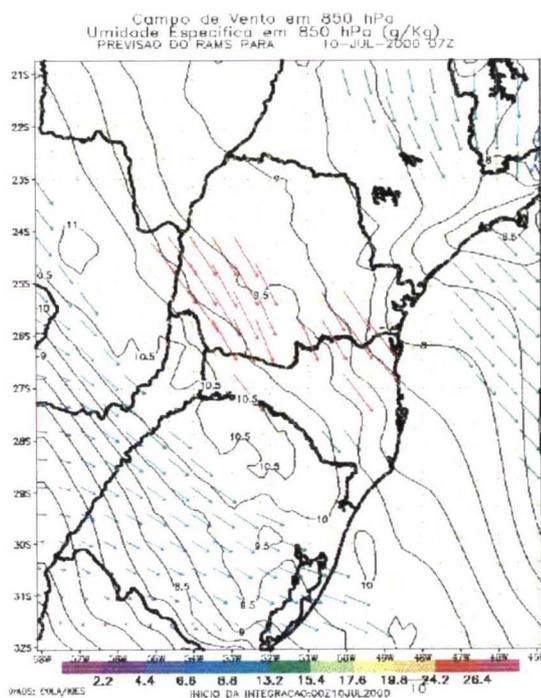
A previsão do modelo RAMS, para o campo de vento de altitude, foi a noroeste para ambos os eventos deste dia e uma umidade específica prevista de 8,5 g/kg. Conforme as figuras 25 e 26.

FIGURA 25 - VENTO DE ALTITUDE A 850 hPa EXTRAÍDO DO RAMS DO DIA 10 DE JULHO/2000 ÀS 04h



FONTE: SIMEPAR

FIGURA 26 - VENTO DE ALTITUDE A 850 hPa EXTRAÍDO DO RAMS DO DIA 10 JULHO/2000 ÀS 09h



FONTE: SIMEPAR

Os parâmetros que se destacaram foram as concentrações de cálcio, com  $2,75 \times 10^{-4}$  mol/L e de amônio de  $1,47 \times 10^{-4}$  mol/L na precipitação que ocorreu às 4h, provocando um pH muito elevado (7,0). Já às 9h, a precipitação forneceu um pH de 6,7 e uma concentração de sulfato de  $4,40 \times 10^{-5}$  mol/L.

Assim, nota-se que o campo de superfície (noroeste/sudoeste) e de ventos de altitude (nordeste), no primeiro horário do evento (às 4h), estão associados ao transporte dos poluentes presentes na água da chuva com maior concentração, em relação aos demais íons.

Da mesma forma, no segundo horário, de recomeço da chuva, tanto o vento de superfície a sudoeste, como o vento de altitude a nordeste, influenciaram no transporte de poluentes, proporcionando alta concentração de sulfato, podendo trazer do mar (nordeste) ou da região de alta concentração industrial de Curitiba (sudoeste).

## 9 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

As informações a respeito da característica química da deposição úmida associada a direção dos ventos se fazem necessárias para a avaliação e monitoramento do aspecto da qualidade da água da chuva. Este trabalho, realizado em Curitiba e Araucária, buscou explorar e preencher uma lacuna sobre a análise das precipitações atmosféricas nestas regiões.

Dentre os vários processos de remoção de poluentes atmosféricos, a deposição úmida pode remover poluentes presentes no ar. A remoção destes poluentes da atmosfera por meio de deposição úmida é significativa somente para espécies solúveis em água. Não se pode esquecer da remoção de partículas da atmosfera através da deposição seca.

Para os estudos realizados em Curitiba, percebe-se que cada direção de vento de superfície possui um comportamento próprio. Com isso, a frequência de valores de pH das precipitações foi elevada, ou seja, maiores que 5,6, acima da “fronteira natural” (COWLING, 1982; LIKENS, 1976; SEINFELD, 1986). Isso indica que a maioria das chuvas em Curitiba, sob qualquer direção dos ventos de superfície, fica dentro da faixa considerada normal, pois o intervalo de pH das maiores frequências esteve entre 6,0 e 6,6. Além disso, a condutividade da água de chuva ficou entre 8,0 e 40  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , revelando a influência de cada direção dos ventos de superfície no transporte de poluentes, e estes serem dissociados do ar para a água da chuva.

Em alguns casos estudados, os valores da condutividade apresentaram uma proporção inversa ao pH, ou seja, as chuvas mais ácidas apresentaram maiores condutividades (como seria de esperar), indicando a importância dos ácidos fortes presentes na condução iônica (íons monovalentes).

De um modo geral, foi constatado que os ventos transportam grandes concentrações de poluentes no ar, de acordo com suas direções e alturas.

O parâmetro mais importante para a remoção dos poluentes do ar e para a presença destes dissociados na água da chuva é a intensidade das precipitações. Esta proporciona um contato entre a superfície da água e o poluente no ar, aumentando a concentração de íons na água da chuva.

Um fato a ser constatado é que, na maioria dos estudos, quando houve aumento na concentração do íon sulfato e/ou nitrato, o valor de pH diminuiu, principalmente quando as direções dos ventos (de superfície ou de altitude) foram à sudoeste. Outro fato relevante ocorreu no dia 1º de maio/2000, na qual a concentração de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), quando aumentada em relação à precipitação, aumentava o valor do pH. Este resultado merece atenção e leva a concluir a existência de uma fonte fixa de emissão de amônia, situada a nordeste de Curitiba, principalmente pelo forte odor de amônia presente nesta região, além do forte odor de amônia no ar. Estes fatos foram constatados também nos estudos intra-eventos, mensais e nos estudos associados aos ventos de altitude.

Nos estudos realizados, a presença de íons acetato e formiato dependeu da direção oeste dos ventos e dos horários de coleta, que coincidiram com o maior fluxo de veículos na BR-116. Nestes, as concentrações de acetato e formiato foram elevadas, atingindo máxima de 0,07 ppm. Caso contrário, ficaram abaixo do nível de detecção do método de análise.

Com o balanço iônico entre os íons monovalentes, de uma maneira geral, tanto nos estudos intra-eventos como no mensal, foi possível obter informações da proporção entre ânions e cátions. Isso possibilitou uma relação destes íons com a variação no valor de pH. Quando o valor de pH foi baixo, houve uma maior concentração de cátions, e quando houve uma maior concentração de ânions, o valor do pH foi elevado.

De um modo geral, todos os eventos apresentaram coeficiente de correlação ( $R^2$ ) não satisfatório para condutividade equivalente, com valores entre 0,6 e 0,8, longe do valor ideal unitário. Porém, este coeficiente foi coerente com a quantidade de íons analisados. Isso mostra a necessidade da análise de outros íons, como por exemplo, o fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), o carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), o bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), o manganês ( $\text{Mn}^{2+}$ ), o ferro ( $\text{Fe}^{3+}$ ) e de íons orgânicos, entre outros. A contribuição destes íons provocaria o aumento do coeficiente de correlação. De um modo geral, houve uma relação inversa entre a soma dos íons monovalentes e a condutividade, nos estudos intra-eventos, observou-se um coeficiente de correlação em torno do valor 0,8, o que nos leva a obter a mesma conclusão.

As características mais marcantes dos eventos, como valor de pH e concentração dos íons na água da chuva podem ser associadas aos ventos de

altitude (1000m ou 850hPa) e foram influenciadas pelos ventos no transporte de poluentes (da distância do coletor à fonte). Estes parâmetros foram explicados através das relações com os ventos de altitude, quando o vento de superfície a 10m ou qualquer outra característica não fornecia subsídios.

Em particular, para os estudos inter-eventos ou horários, houve um perfil de variação dos diversos parâmetros medidos em função da quantidade de chuva muito variável, com predominância de concentrações mais elevadas nas primeiras frações e o decréscimo na concentração das espécies investigadas com o aumento da intensidade da chuva.

Foi possível obter-se conclusões quanto ao estudo sazonal, confirmando o trimestre mais úmido e mais seco do ano. Estas características estão relacionadas diretamente com intensidade da chuva e com a soma das concentrações de íons em cada estação do ano. Como conseqüência, tem-se a variabilidade das concentrações das espécies dissolvidos na água da chuva,

Para os estudos realizados em Araucária, pode-se tirar conclusões sobre a maneira de coleta das análises. Uma coleta diária ou semanal pode conter mais de um evento. Esta amostra inclui mais de uma precipitação úmida sistemática. No caso de Curitiba, a coleta foi realizada de forma horária, onde cada amostra foi alimentada por ventos de diferentes origens e composições. Neste sistema horário de coletas, a direção dos ventos muda com o tempo, conforme observado nos estudos de Curitiba. A forma de coleta de amostras para Araucária deveria ser a horária, para que as condições de precipitações e meteorológicas permaneçam constantes, evitando a mistura das águas. Assim, a correlação química de amostra para amostra corresponderia à mudança na trajetória do ventos. Isso acarretaria em valores ainda mais precisos das concentrações dos íons.

Um outro motivo possível da não caracterização exata da amostragem de chuva na cidade de Araucária, foi o não imediatismo na coleta, alterando as características da amostra de chuva. Podendo alterar a concentração dos íons na água, diluindo-os ou concentrando-os conforme o volume d'água ou ocorrer reações.

Para uma melhor avaliações estatísticas, foram usados valores médios dos parâmetros e a escolha da direção predominante do vento. Assim, não foi possível uma análise gráfica.

Porém, pode-se avaliar com boa precisão a qualidade do ar e principalmente da água da chuva em Araucária. A informação da qualidade do ar através da deposição úmida, mostra que esta cidade está em condições mais críticas em relação à cidade de Curitiba.

## 11 PERSPECTIVAS DE TRABALHOS FUTUROS

- Determinação do coeficiente de limpeza da atmosfera, relacionando-o com o tempo de estiagem, a intensidade da precipitação, a duração, o tamanho das gotas (espectro de gotas – número de gotas de cada tamanho por unidade de tempo e de área), e a continuidade da precipitação. E para alguns eventos, de acordo com dados fornecidos pela estação instalada ao lado do pluviômetro, fornecer informações qualitativas do coeficiente de limpeza, levando-se em consideração as concentrações de alguns poluentes atmosféricos que possam ser removidos pela chuva.
- Elaboração de um banco de dados com parâmetros desenvolvidos neste trabalho, permitindo uma análise destes para contribuição no planejamento da construção urbano-industrial de cidades, identificando o local adequado para instalação. Local este que seja favorecido por uma maior dispersão dos poluentes ou menor saturação do ar.
- Análises e monitoramento do aspecto corrosivo em estruturas aéreas em diferentes materiais, como concreto, polímero, metais, etc.
- Determinar a concentração ácida ou básica que um determinado polímero resiste, e correlacionar com a concentração de poluentes ácidos ou alcalinos presentes na água da chuva.

## REFERÊNCIAS

AECIAR - Associação dos Empresários da Cidade Industrial de Araucária. **Relação de Indústrias Cadastradas**. Disponível em: <[aeciar.parana@bbs2.sul.com.br](mailto:aeciar.parana@bbs2.sul.com.br)> Acesso em: maio 2001.

ALLOWAY, B. J.; AYRES, D. C. **Chemical Principles of Environmental Pollution**. London: Blackie Academic & Professional, 1993.

ALVES, P. **Efeitos Nutricionais, Fisiológicos e Bioquímicos da Chuva Ácida Simulada e do Latossolo Vermelho-amarelo de Cubatão – SP, em Soja**. Tese de Título de “Magister Scientiae”, Universidade Federal de Viçosa, 1988.

BAINES, J. **Chuva Ácida**. São Paulo: Scipione, 1992.

CHARLSON, R. J. RHODE, H. **Factors Controlling the Acidity of Natural Rainwater**. Nature, v. 295, p.683–685, 1982.

COWLING, E. **Acid Precipitation in Historical Perspective**. Env. Sci. Techn., v. 2, p. 110A–123A, 1982.

DETRAN/PR, Departamento de Trânsito do Paraná. Coordenadoria de Veículos. **Número de Veículos Cadastrados**. Disponível em: <<http://www.pr.gov.br/detran>> Acesso em: 20 de ago. 2001.

EPA, United States Environmental protection Agency. **Acid Rain Program: Overviw**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/airmarkets/>> Acesso em: 11 de dez. 2000.

FENDRICH, R., SAKAMORI, M.M. **Chuvas Convectivas e Aéreas Inundáveis na Bacia Hdrográfica Urbana do Rio Belém**. Revista Acadêmica, PUCPR, 1999. 3-26p.

FIEP - Federação das Indústrias do Estado do Paraná. **Catálogo de Indústrias do Estado do Paraná**, Disponível em: <<http://www.fiep.gov.br>> Acesso em: maio 2000.

FORNARO, A. **Chuva Ácida em São Paulo: Caracterização Química de Amostras Integradas e Seqüenciais de Deposição Úmida**. São Paulo, 1991. Dissertação de Mestrado, Instituto de Química, Universidade de São Paulo.

GAFFMEY J. S., STREIT, G.E., SPALL, W.D., HALL, J.H. **Beyond Acid Rain**. *Env. Sci. Techn.*, v. 21, n. 6, p. 519–524, 1987.

GONÇALVES, F L. T. São Paulo, abril, 1997. **Uma Análise dos Processos de Remoção de Poluentes Atmosféricos por Gotas de Chuva**. Tese de Título de Doutorado em Meteorologia, Departamento de Ciências Atmosféricas, Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo.

GRAHAM, TROTMAN. **Acid Rain: a review of the phenomenon in the EEC and Europe**. Environmental Resources Limited. Inglaterra, 1983. 159 p.

HAAG, H. P. **Chuvas Ácidas**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 77 p.

HENDRY, C.D.; REDDY, M.M. **Chemistry of Precipitation at Gainesville**. Florida: *Env. Sci. Techn.*, v. 14, (7), p. 843-849, 1980.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 20 de ago. 2001.

JOHNSON, R W.; GORDON, Glen E. **The Chemistry of Acid Rain, Sources and Atmospheric Process**. New York: ACS Symposium, Series 349, 1987.

KAWANO, M. **Qualidade do Ar**. Apostila de Pós-Graduação do curso de Especialização em Gestão Ambiental na Empresa e Qualidade de Vida. Curitiba: CETSAM e UEPG, agosto 1998.

KEUKEN, M. P. **The Determination of Acid Deposition Related Compounds in the Lower Atmosphere.** Vrije Universiteit te Amsterdam, 1989.

LIKENS, G. E. **Acid Precipitation.** Chemical Engineer News, 29–44 p., novembro 1976.

MAHRER, Y.; PIELKE. **Numerical Study of the Airflow Over Irregular Terrain.** Beiträge zur Phys. Der Atm., v. 50., 98-113, 1977.

MANAHAN, S.E. **Environmental Chemistry.** 6. ed. Lewis Publishers, 1994.

MANUAL DE USO, equipamento pHmetro da DIGIMED, MODELO DM2.

MANUAL DE USO, equipamento Condutivímetro da DIGIMED, MODELO DM31.

MARIN, L. K. S. **Fatores que Interferem na Qualidade da Água.** Trabalho apresentado à disciplina de Geoquímica de Águas, Prof. Dr. André Virmond Lima Bittencourt, Pós-Graduação em Geologia Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

MELLO, Daniel. Notas de Aula referente à Disciplina de Química Ambiental do Departamento de Química da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

MEHTA, K P. MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais.** São Paulo: Pini, 1994.

MOHNEN, V. A. The Challenge of Acid Rain. Sci. Am., August, 1988, 14–22 p.

NEVERS, N. **Air Pollution Control Engineering.** 2 ed. Boston: Mc Graw Hill, 2000.

NORDO, et al. **Large-Scale Transport of Air Pollutants.** Nova York: Advanced in Geophysics, v. 18B, p. 137–150, 1974.

PASQUILL, F.; SMITH, F. B. **Atmospheric Diffusion**. Nova York: Ellis Horwood Ltda, 1983. 237 p.

PAWLOWSKY, U. **O Desafio Ambiental**. Apostila da Pós-Graduação Curso de Mestrado de Hidráulica da disciplina de Reaproveitamento de Resíduos Industriais. Universidade Federal do Paraná, 1996.

PELLETT, G. L.; BUSTIN, R.; HARRISS, R.C. **Sequential sampling and Variability of Acid Precipitation in Hampton**. Virginia: *Water, Air and Soil Pollution*, v. 21, p. 33-49. 1983.

PENA, R. G. de; CARLSON, T. N. TAKACS, J. F., HOLIAN, J. O. **Analysis of Precipitation Collected on a Sequential Basis**. *Atmospheric Environment*, v. 18, n. 12, p. 2665-2670, 1984.

PEREIRA, M. T. **Caracterização Química da Deposição Úmida Associada a Processos de Transporte Atmosférico no Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná**. Monografia apresentada à disciplina de Química da Água, Prof<sup>a</sup>. Dra. Sandra Mara Alberti, Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, abril 1998.

PICCOLO, M. C. et al, **Alkaline Precipitation in Bahia Blanca**. *Env. Sci. Techn*, Argentina, v. 22, n. 2, p. 216-219, 1988.

PIELKE, R. **Mesoscale Meteorological Modeling Academic Press**. p. 612, 1984.

PRATES, J.; LEITE, E. **Relatório Técnico: Avaliação de Desempenho do Modelo RAMS no SIMEPAR**. Curitiba, 1999.

ProAr - 2001. **A Qualidade do Ar: Saúde ou Poluição**. Apostila do Curso de Extensão em Educação Ambiental e a Qualidade do Ar Prof<sup>a</sup>. Dra. Zióle Zanotto Malhadas. Núcleo Interdisciplinar de Meio Ambiente e Desenvolvimento (NIMAD), Curitiba, 2001.

RAMANATHAN, L. V. **Corrosão e seu Controle**. São Paulo: Hemus, 1995.

REBOUÇAS, A., BRAGA, B. **Águas Doces no Brasil. Capital Ecológica, Uso e Conservação**. São Paulo: Escrituras, 1999, 39–113 p.

RESOLUÇÃO CONAMA - Conselho Nacional de meio Ambiente - Nº 003 – de 28 de junho de 1990. **Tabela dos Padrões Nacionais de Qualidade do Ar**.

RIBEIRO, R. M. **Caracterização Química da Deposição Úmida Associada a Processos de Transporte Atmosférico no Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná**. Monografia apresentada à disciplina de Processos Físicos na Atmosfera, Prof. Dr. José Prates, Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, novembro 1999.

ROSSELAND, B. O., HENRIKSEN. **Acidification in Norwayloss of Fish Populations and the 1000-lake Survey**. Sci. Total Env.; v. 93, p. 45–56, 1990.

SANHUEZA, E.; FERRER, Z.; ROMERO, J.; SANTANA, M. **HACHO and HCOOH in Tropical Rains**. Ambio, v. 20 (3-4), p. 115-118, 1991.

SCHWARTZ, S. E. **Acid Deposition: Unraveling a Regional Phenomenon**. Science, 243, 753–763 p, 1989.

SEGUNDO, S. M. A. São Paulo, 1997. **Desenvolvimento e Aplicação de Métodos para Coleta e Quantificação de Traços de Peróxido de Hidrogênio Espécies de Enxofre (IV) de Relevância Ambiental Tecnológica**. Tese de Título de Doutorado em Química, Orientador: Prof. Dr. Ivano Gebhardt Rolf Gutz, Instituto de Química, Universidade de São Paulo.

SEINFELD, J. **Air Pollution: Physical and Chemical Fundamentals**. California, New York: Mc Graw Hill, 1975.

SEINFELD, J. H. **Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution**. Nova York: John Willey Publication, 1986.

SIMEPAR, Sistema Meteorológico do Paraná. **Gráficos de Vento de Superfície**. Intranet. Disponível em: <<http://simepar.br>> Acesso em: nov. 2000.

SLADE, D. H. **Meteorology and Atomic Energy**. U. S. Atomic Energy Commission, Oak Ridge, Tenn, 1968.

SMITH, R. A. **Air and Rain: The Beginnings of a Chemical Climatology**. London, 1987.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. **Physical & Aggregate Properties: Conductivity (2510)**. p.2-43–2-46, 1985.

TOUGBOL, G. S. **Acid Precipitation Monitoring and Research: Review of Current Norwegian Activities**. Sci. Total Env., v. 96, p. 23–43, 1990.

TREMBACK, C. J, POWELL, W. R., COTTON, R. A., PIELKE. **The Forward in Time Upstream Advection Scheme: Extension to Higher Orders**. Mon. Weat. Rev, v. 115, 540-555 p., 1987.

TREMBACK, C. J.; LYONS, W. A .; THORSON, W.P.; WALCO, R.L. **An Emergency response and Local Weather Forecasting Software System: Preprints Second RAMS User's Workshop**. Colorado, p. 15–17, february 1994.

TRIPOLI, G., COTTON, W. R. **The Colorado State University tree-dimensional Cloud/Mesoscale Model – 1982. Part I: General Theoretical Framework and Sensitivity Experiments**. Jour. of Rech Atmos, 16, 185-220 p., 1982.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, EPA. **Clean Air Market Programs**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/airmarkets/acidrain>> Acesso em: abr. 2001.

USGS, Science for a Changing World. **Trends in Precipitation Chemistry in the United States, 1993-94: Na Analysis of Effects in 1995 of Phase I of the Clean Air Act Amendments of 1990, Title IV**. Disponível em: <<http://www.water.usgs.gov/pubs/acidrain>> Acesso em: abr. 2001

VAZ, S. **Corrosão**. Trabalho apresentado à disciplina de Geoquímica de Águas, Prof. Dr. André Virmond Lima Bittencourt, Pós-Graduação em Geologia Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

VAN VLACK, LAWRENCE, H. **Princípios de Ciência e Tecnologia dos Materiais**. 4 ed. Rio de Janeiro: Campus, 1984.

WEISS, J. **Handbuch der Ionenchromatographie**, VCH, Weinheim, 1985, 288 p.

WALKO, R. L., TREMBACK, C. J., HERTENSTEIN, R. F. A. **RAMS – The Regional Atmospheric Modeling System. Version 3b. User's Guide**. ASTER Division, Mission Research Corporation, 1995.

**ANEXO 1**

**TABELAS DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E METEOROLÓGICAS  
DOS EVENTOS OCORRIDOS EM CURITIBA**

TABELAS COM AS CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE CHUVA DA CIDADE DE CURITIBA

TABELA A1 – CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE CHUVA DO MÊS DE FEVEREIRO/2000

| DIA | AMOSTRA N° | HORÁRIO      | VOLUME (mL) | INTENSIDADE (mm/h) | T (°C) | pH   | H <sup>+</sup> (mol/L) | COND. (μS/cm) | DIREÇÃO DOS VENTOS | AC <sup>-</sup> (mol/L) | FOR <sup>-</sup> (mol/L) |
|-----|------------|--------------|-------------|--------------------|--------|------|------------------------|---------------|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| 04  | 1          | 2h - 4h      | 74          | 0,52               | 21,3   | 5,42 | $3,80 \times 10^{-6}$  | 68,7          | sul                | $3,51 \times 10^{-7}$   | $6,89 \times 10^{-7}$    |
| 14  | 2          | 16h50-17h15  | 188         | 4,03               | 20,1   | 5,90 | $1,26 \times 10^{-6}$  | 5,30          | nordeste           | < l.d.                  | < l.d.                   |
| 14  | 3          | 17h15 -17h50 | 120         | 0,51               | 19,0   | 5,78 | $1,66 \times 10^{-6}$  | 8,72          | nordeste           | < l.d.                  | $6,89 \times 10^{-7}$    |
| 15  | 4          | 3h – 7h      | 906         | 3,20               | 19,5   | 5,42 | $3,80 \times 10^{-6}$  | 5,23          | nordeste           | < l.d.                  | $6,89 \times 10^{-7}$    |
| 15  | 5          | 9h50-13h10   | 348         | 4,92               | 19,5   | 5,34 | $4,58 \times 10^{-6}$  | 4,57          | oeste              | < l.d.                  | $3,45 \times 10^{-7}$    |
| 15  | 6          | 13h10-14h10  | 116         | 1,64               | 19,2   | 5,21 | $6,17 \times 10^{-6}$  | 7,27          | oeste              | < l.d.                  | $6,89 \times 10^{-7}$    |
| 15  | 7          | 14h10-15h10  | 162         | 2,29               | 19,2   | 4,49 | $3,24 \times 10^{-5}$  | 7,30          | leste              | < l.d.                  | $6,89 \times 10^{-7}$    |
| 15  | 8          | 15h10-16h10  | 26          | 0,37               | 19,2   | 4,60 | $2,51 \times 10^{-5}$  | 14,6          | oeste              | < l.d.                  | $1,03 \times 10^{-6}$    |
| 15  | 9          | 16h10-17h20  | 38          | 0,54               | 19,2   | 4,53 | $2,95 \times 10^{-5}$  | 13,90         | sudoeste           | < l.d.                  | $1,03 \times 10^{-6}$    |
| 16  | 10         | 0h – 8h      | 1230        | 2,18               | 19,4   | 5,60 | $2,51 \times 10^{-6}$  | 3,58          | nordeste           | < l.d.                  | $2,07 \times 10^{-6}$    |
| 16  | 11         | 9h-11h45     | 33          | 0,17               | 19,4   | 5,37 | $4,27 \times 10^{-6}$  | 13,44         | leste              | $1,75 \times 10^{-7}$   | $2,41 \times 10^{-6}$    |
| 16  | 12         | 13h15-14h40  | 525         | 5,23               | 19,4   | 5,97 | $1,07 \times 10^{-6}$  | 3,01          | leste              | < l.d.                  | $6,89 \times 10^{-7}$    |
| 16  | 13         | 14h45-16h20  | 195         | 1,75               | 19,4   | 5,65 | $2,24 \times 10^{-6}$  | 6,76          | leste              | < l.d.                  | $6,89 \times 10^{-7}$    |
| 22  | 14         | 10h – 13h    | 500         | 2,36               | 18,0   | 6,30 | $5,01 \times 10^{-7}$  | 31,10         | leste              | < l.d.                  | < l.d.                   |
| 24  | 15         | 5h – 6h      | 440         | 6,22               | 19,9   | 4,60 | $2,51 \times 10^{-5}$  | 97,60         | noroeste           | < l.d.                  | $2,07 \times 10^{-6}$    |
| 28  | 16         | 15h20-16h25  | 216         | 2,83               | 24,0   | 4,90 | $1,26 \times 10^{-5}$  | 24,30         | nordeste           | < l.d.                  | $1,38 \times 10^{-6}$    |
| 28  | 17         | 17h20-18h10  | 210         | 3,58               | 21,4   | 5,00 | $1,00 \times 10^{-5}$  | 22,40         | sudoeste           | < l.d.                  | $2,86 \times 10^{-5}$    |
| 29  | 18         | 19h – 22h    | 92          | 0,65               | 21,5   | 5,10 | $7,94 \times 10^{-6}$  | 15,51         | nordeste           | < l.d.                  | < l.d.                   |

TABELA A2 – CONCENTRAÇÃO DOS CÁTIONS E ÂNIONS PRESENTES NA ÁGUA DA CHUVA EM FEVEREIRO/2000

| AMOSTRA<br>N <sup>o</sup> | Na <sup>+</sup><br>(mol/L) | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup><br>(mol/L) | K <sup>+</sup><br>(mol/L) | Mg <sup>+2</sup><br>(mol/L) | Ca <sup>+2</sup><br>(mol/L) | F <sup>-</sup><br>(mol/L) | Cl <sup>-</sup><br>(mol/L) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>(mol/L) | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup><br>(mol/L) |
|---------------------------|----------------------------|---|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|---|--|
| 1                         | 6,09 x 10 <sup>-6</sup>    | 2,64 x 10 <sup>-4</sup>                 | 4,60 x 10 <sup>-5</sup>   | 7,82 x 10 <sup>-6</sup>     | 1,50 x 10 <sup>-5</sup>     | 3,68 x 10 <sup>-6</sup>   | 9,03 x 10 <sup>-5</sup>    | 2,18 x 10 <sup>-4</sup>                 | 1,15 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 2                         | 4,35 x 10 <sup>-6</sup>    | 1,88 x 10 <sup>-4</sup>                 | 3,58 x 10 <sup>-6</sup>   | 5,76 x 10 <sup>-6</sup>     | 1,20 x 10 <sup>-5</sup>     | < l.d.                    | 1,04 x 10 <sup>-5</sup>    | 3,69 x 10 <sup>-5</sup>                 | 8,64 x 10 <sup>-6</sup>                  |
| 3                         | 1,87 x 10 <sup>-5</sup>    | 2,35 x 10 <sup>-4</sup>                 | 1,64 x 10 <sup>-5</sup>   | 3,70 x 10 <sup>-6</sup>     | 1,17 x 10 <sup>-5</sup>     | < l.d.                    | 3,16 x 10 <sup>-5</sup>    | 1,63 x 10 <sup>-4</sup>                 | 2,91 x 10 <sup>-6</sup>                  |
| 4                         | 4,35 x 10 <sup>-6</sup>    | 1,94 x 10 <sup>-4</sup>                 | 5,63 x 10 <sup>-6</sup>   | 4,53 x 10 <sup>-6</sup>     | 9,73 x 10 <sup>-6</sup>     | 3,68 x 10 <sup>-6</sup>   | 7,90 x 10 <sup>-6</sup>    | 2,34 x 10 <sup>-5</sup>                 | 6,35 x 10 <sup>-6</sup>                  |
| 5                         | 6,52 x 10 <sup>-6</sup>    | 1,88 x 10 <sup>-4</sup>                 | 6,14 x 10 <sup>-6</sup>   | 2,88 x 10 <sup>-6</sup>     | 7,98 x 10 <sup>-6</sup>     | < l.d.                    | 8,46 x 10 <sup>-7</sup>    | < l.d.                                  | < l.d.                                   |
| 6                         | 1,44 x 10 <sup>-5</sup>    | 2,52 x 10 <sup>-4</sup>                 | 1,51 x 10 <sup>-5</sup>   | 2,88 x 10 <sup>-6</sup>     | 1,17 x 10 <sup>-5</sup>     | < l.d.                    | 1,89 x 10 <sup>-5</sup>    | 9,68 x 10 <sup>-6</sup>                 | 7,70 x 10 <sup>-6</sup>                  |
| 7                         | 1,00 x 10 <sup>-5</sup>    | 2,11 x 10 <sup>-4</sup>                 | 8,70 x 10 <sup>-6</sup>   | 4,20 x 10 <sup>-5</sup>     | 1,85 x 10 <sup>-5</sup>     | < l.d.                    | 1,33 x 10 <sup>-5</sup>    | < l.d.                                  | 6,35 x 10 <sup>-6</sup>                  |
| 8                         | 2,52 x 10 <sup>-5</sup>    | 5,87 x 10 <sup>-4</sup>                 | 2,23 x 10 <sup>-5</sup>   | 3,70 x 10 <sup>-6</sup>     | 1,30 x 10 <sup>-5</sup>     | 5,26 x 10 <sup>-7</sup>   | 4,77 x 10 <sup>-5</sup>    | 7,18 x 10 <sup>-5</sup>                 | 2,42 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 9                         | 1,61 x 10 <sup>-5</sup>    | 5,87 x 10 <sup>-4</sup>                 | 1,48 x 10 <sup>-5</sup>   | 4,94 x 10 <sup>-6</sup>     | 1,82 x 10 <sup>-5</sup>     | < l.d.                    | 2,96 x 10 <sup>-5</sup>    | 7,89 x 10 <sup>-5</sup>                 | 2,06 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 10                        | 5,65x 10 <sup>-6</sup>     | 1,88 x 10 <sup>-4</sup>                 | 6,14 x 10 <sup>-6</sup>   | 3,29 x 10 <sup>-6</sup>     | 4,74 x 10 <sup>-6</sup>     | < l.d.                    | 6,49 x 10 <sup>-6</sup>    | 5,73 x 10 <sup>-5</sup>                 | 5,20 x 10 <sup>-6</sup>                  |
| 11                        | 3,57x 10 <sup>-5</sup>     | 6,46 x 10 <sup>-4</sup>                 | 3,58 x 10 <sup>-5</sup>   | 4,94 x 10 <sup>-6</sup>     | 1,45 x 10 <sup>-5</sup>     | < l.d.                    | 7,39 x 10 <sup>-5</sup>    | 6,68 x 10 <sup>-5</sup>                 | 1,35 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 12                        | 4,78 x 10 <sup>-6</sup>    | 2,00 x 10 <sup>-4</sup>                 | 4,09 x 10 <sup>-6</sup>   | 3,70 x 10 <sup>-6</sup>     | 7,98 x 10 <sup>-6</sup>     | < l.d.                    | 1,41 x 10 <sup>-5</sup>    | 1,61 x 10 <sup>-4</sup>                 | 7,08 x 10 <sup>-6</sup>                  |
| 13                        | 2,18 x 10 <sup>-5</sup>    | 2,47 x 10 <sup>-4</sup>                 | 5,88 x 10 <sup>-6</sup>   | 5,76 x 10 <sup>-6</sup>     | 1,12 x 10 <sup>-5</sup>     | < l.d.                    | 5,02 x 10 <sup>-5</sup>    | 2,10 x 10 <sup>-5</sup>                 | 4,89 x 10 <sup>-6</sup>                  |
| 14                        | 2,91 x 10 <sup>-5</sup>    | 1,76 x 10 <sup>-6</sup>                 | 1,64 x 10 <sup>-5</sup>   | 6,58 x 10 <sup>-6</sup>     | 8,48 x 10 <sup>-6</sup>     | < l.d.                    | 4,85 x 10 <sup>-5</sup>    | 1,57 x 10 <sup>-4</sup>                 | 9,58 x 10 <sup>-6</sup>                  |
| 15                        | 1,22 x 10 <sup>-5</sup>    | 2,94 x 10 <sup>-6</sup>                 | 3,07 x 10 <sup>-6</sup>   | 3,70 x 10 <sup>-6</sup>     | 1,62 x 10 <sup>-5</sup>     | < l.d.                    | 2,06 x 10 <sup>-5</sup>    | 9,03 x 10 <sup>-6</sup>                 | 1,01 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 16                        | 2,04 x 10 <sup>-5</sup>    | 4,70 x 10 <sup>-6</sup>                 | 1,02 x 10 <sup>-5</sup>   | 9,05 x 10 <sup>-6</sup>     | 1,62 x 10 <sup>-5</sup>     | 2,11 x 10 <sup>-6</sup>   | 2,54 x 10 <sup>-5</sup>    | 4,21 x 10 <sup>-5</sup>                 | 1,19 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 17                        | 1,35 x 10 <sup>-5</sup>    | 2,11 x 10 <sup>-5</sup>                 | 7,16 x 10 <sup>-6</sup>   | 9,87 x 10 <sup>-6</sup>     | 1,37 x 10 <sup>-5</sup>     | 5,26 x 10 <sup>-6</sup>   | 1,83 x 10 <sup>-5</sup>    | 1,15 x 10 <sup>-5</sup>                 | 1,31 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 18                        | 1,65 x 10 <sup>-5</sup>    | 1,76x 10 <sup>-6</sup>                  | 9,72 x 10 <sup>-6</sup>   | 1,28 x 10 <sup>-5</sup>     | 1,40 x 10 <sup>-5</sup>     | 1,05 x 10 <sup>-6</sup>   | 1,97 x 10 <sup>-5</sup>    | 6,45 x 10 <sup>-6</sup>                 | 1,06 x 10 <sup>-5</sup>                  |

TABELA A3 – CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE CHUVA DO MÊS DE MARÇO/2000

| DIA     | AMOSTRA N <sup>o</sup> | HORÁRIO       | VOLUME (mL) | INTENSIDADE (mm/h) | T (°C) | pH   | H <sup>+</sup> (mol/L)  | COND. (μS/cm) | DIREÇÃO DOS VENTOS | AC <sup>-</sup> (mol/L) | FOR <sup>-</sup> (mol/L) |
|---------|------------------------|---------------|-------------|--------------------|--------|------|-------------------------|---------------|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| 01      | 19                     | 24h – 4h      | 195         | 0,69               | 20,5   | 5,30 | 5,01 x 10 <sup>-6</sup> | 10,40         | nordeste           | < l.d.                  | 2,41 x 10 <sup>-6</sup>  |
| 15      | 20                     | 21h15 – 22h45 | 66          | 0,62               | 18,5   | 5,90 | 1,26 x 10 <sup>-6</sup> | 51,30         | nordeste           | < l.d.                  | < l.d.                   |
| 16 e 17 | 21                     | 22h – 1h      | 1270        | 5,99               | 19,7   | 5,80 | 1,58 x 10 <sup>-6</sup> | 20,10         | noroeste           | < l.d.                  | 1,38 x 10 <sup>-6</sup>  |
| 23      | 22                     | 16h45-16h55   | 76          | 6,32               | 22,5   | 5,98 | 1,05 x 10 <sup>-6</sup> | 20,40         | norte              | < l.d.                  | < l.d.                   |
| 23 e 24 | 23                     | 22h-23h30     | 53          | 0,50               | 19,6   | 5,18 | 6,61 x 10 <sup>-6</sup> | 60,30         | norte              | < l.d.                  | 1,03 x 10 <sup>-6</sup>  |
| 24      | 24                     | 15h55-16h20   | 128         | 4,31               | 25,3   | 6,02 | 9,55 x 10 <sup>-7</sup> | 18,90         | oeste              | 1,75 x 10 <sup>-7</sup> | 2,41 x 10 <sup>-6</sup>  |
| 28      | 25                     | 24h – 1h      | 250         | 3,54               | 16,4   | 6,10 | 7,94 x 10 <sup>-7</sup> | 9,58          | sudoeste           | < l.d.                  | < l.d.                   |

TABELA A4 – CONCENTRAÇÃO DOS CÁTIONS E ÂNIONS PRESENTES NA ÁGUA DA CHUVA EM MARÇO/2000

| AMOSTRA N <sup>o</sup> | Na <sup>+</sup> (mol/L) | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mol/L) | K <sup>+</sup> (mol/L)  | Mg <sup>+2</sup> (mol/L) | Ca <sup>+2</sup> (mol/L) | F <sup>-</sup> (mol/L)  | Cl <sup>-</sup> (mol/L) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mol/L) | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mol/L) |
|------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 19                     | 1,35 x 10 <sup>-5</sup> | 2,35x 10 <sup>-6</sup>               | 6,14 x 10 <sup>-6</sup> | 5,35 x 10 <sup>-6</sup>  | 6,74 x 10 <sup>-6</sup>  | 7,90 x 10 <sup>-6</sup> | 2,09 x 10 <sup>-5</sup> | 2,03 x 10 <sup>-4</sup>              | 8,22 x 10 <sup>-6</sup>               |
| 20                     | 2,83 x 10 <sup>-5</sup> | 9,39 x 10 <sup>-4</sup>              | 5,12 x 10 <sup>-5</sup> | 1,11 x 10 <sup>-5</sup>  | 1,37 x 10 <sup>-5</sup>  | 1,58 x 10 <sup>-6</sup> | 6,32 x 10 <sup>-5</sup> | 3,94 x 10 <sup>-4</sup>              | 1,39 x 10 <sup>-5</sup>               |
| 21                     | 5,22 x 10 <sup>-6</sup> | 2,23 x 10 <sup>-5</sup>              | 4,09 x 10 <sup>-6</sup> | 3,29 x 10 <sup>-6</sup>  | 5,74 x 10 <sup>-6</sup>  | < l.d.                  | 9,03 x 10 <sup>-6</sup> | 3,24 x 10 <sup>-5</sup>              | 5,10 x 10 <sup>-6</sup>               |
| 22                     | 3,09 x 10 <sup>-5</sup> | 2,41 x 10 <sup>-4</sup>              | 9,97 x 10 <sup>-6</sup> | 1,44 x 10 <sup>-5</sup>  | 1,62 x 10 <sup>-5</sup>  | 1,05 x 10 <sup>-6</sup> | 6,04 x 10 <sup>-5</sup> | 3,73 x 10 <sup>-4</sup>              | 1,91 x 10 <sup>-5</sup>               |
| 23                     | 2,52 x 10 <sup>-5</sup> | 3,88 x 10 <sup>-4</sup>              | 3,84 x 10 <sup>-5</sup> | 8,23 x 10 <sup>-6</sup>  | 1,15 x 10 <sup>-5</sup>  | < l.d.                  | 6,12 x 10 <sup>-5</sup> | 2,10 x 10 <sup>-4</sup>              | 1,13 x 10 <sup>-5</sup>               |
| 24                     | 1,96 x 10 <sup>-5</sup> | 1,88 x 10 <sup>-5</sup>              | 1,79 x 10 <sup>-5</sup> | 7,41 x 10 <sup>-6</sup>  | 1,35 x 10 <sup>-5</sup>  | < l.d.                  | 3,61 x 10 <sup>-5</sup> | 9,06 x 10 <sup>-5</sup>              | 1,51 x 10 <sup>-5</sup>               |
| 25                     | 1,39 x 10 <sup>-5</sup> | 9,39 x 10 <sup>-6</sup>              | 9,46 x 10 <sup>-6</sup> | 5,35 x 10 <sup>-6</sup>  | 9,98 x 10 <sup>-6</sup>  | < l.d.                  | 2,34 x 10 <sup>-5</sup> | 6,61 x 10 <sup>-6</sup>              | 1,42 x 10 <sup>-5</sup>               |

TABELA A5 – CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE CHUVA DO MÊS DE ABRIL/2000

| DIA     | AMOSTRA N <sup>o</sup> | HORÁRIO    | VOLUME (mL) | INTENSIDADE (mm/h) | T (°C) | pH   | H <sup>+</sup> (mol/L) | COND. (μS/cm) | DIREÇÃO DOS VENTOS | AC <sup>-</sup> (mol/L) | FOR <sup>-</sup> (mol/L) |
|---------|------------------------|------------|-------------|--------------------|--------|------|------------------------|---------------|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| 3 e 4   | 26                     | 21h30 -22h | 38          | 1,08               | 14,6   | 6,37 | $4,27 \times 10^{-7}$  | 32,30         | nordeste           | < l.d.                  | < l.d.                   |
| 17      | 27                     | 24h – 4h   | 146         | 2,07               | 16,1   | 6,10 | $7,94 \times 10^{-7}$  | 25,20         | nordeste           | < l.d.                  | $1,38 \times 10^{-6}$    |
| 17 e 18 | 28                     | 22h – 4h   | 288         | 0,68               | 16,1   | 5,86 | $1,38 \times 10^{-6}$  | 10,31         | nordeste           | < l.d.                  | < l.d.                   |
| 18 e 19 | 29                     | 14h – 22h  | 34          | 0,32               | 22,4   | 6,10 | $7,94 \times 10^{-7}$  | 15,95         | oeste              | < l.d.                  | < l.d.                   |

TABELA A6 – CONCENTRAÇÃO DOS CÁTIONS E ÂNIOS PRESENTES NA ÁGUA DA CHUVA EM ABRIL/2000

| AMOSTRA N <sup>o</sup> | Na <sup>+</sup> (mol/L) | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mol/L) | K <sup>+</sup> (mol/L) | Mg <sup>+2</sup> (mol/L) | Ca <sup>+2</sup> (mol/L) | F <sup>-</sup> (mol/L) | Cl <sup>-</sup> (mol/L) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mol/L) | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mol/L) |
|------------------------|-------------------------|--------------------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 26                     | $7,83 \times 10^{-5}$   | $2,00 \times 10^{-3}$                | $1,30 \times 10^{-5}$  | $1,73 \times 10^{-5}$    | $1,77 \times 10^{-5}$    | $2,32 \times 10^{-5}$  | $1,64 \times 10^{-4}$   | $4,52 \times 10^{-6}$                | $3,28 \times 10^{-5}$                 |
| 27                     | $1,74 \times 10^{-5}$   | $9,98 \times 10^{-5}$                | $8,95 \times 10^{-6}$  | $9,46 \times 10^{-6}$    | $1,05 \times 10^{-5}$    | $1,05 \times 10^{-6}$  | $3,61 \times 10^{-5}$   | $1,71 \times 10^{-5}$                | $2,35 \times 10^{-5}$                 |
| 28                     | $8,70 \times 10^{-6}$   | $5,28 \times 10^{-6}$                | $8,70 \times 10^{-6}$  | $6,99 \times 10^{-6}$    | $8,23 \times 10^{-6}$    | < l.d.                 | $1,86 \times 10^{-5}$   | $1,37 \times 10^{-5}$                | $8,02 \times 10^{-6}$                 |
| 29                     | $1,61 \times 10^{-5}$   | $5,28 \times 10^{-5}$                | $1,64 \times 10^{-5}$  | $1,28 \times 10^{-5}$    | $1,52 \times 10^{-5}$    | $1,05 \times 10^{-6}$  | $3,02 \times 10^{-5}$   | $9,03 \times 10^{-6}$                | $1,79 \times 10^{-5}$                 |

TABELA A7 – CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE CHUVA DO MÊS DE MAIO/2000

| DIA | AMOSTRA N <sup>o</sup> | HORÁRIO     | VOLUME (mL) | INTENSIDADE (mm/h) | T (°C) | pH   | H <sup>+</sup> (mol/L) | COND. (μS/cm) | DIREÇÃO DOS VENTOS | AC <sup>-</sup> (mol/L) | FOR <sup>-</sup> (mol/L) |
|-----|------------------------|-------------|-------------|--------------------|--------|------|------------------------|---------------|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| 01  | 30                     | 19h30-19h45 | 5           | 0,28               | 23,5   | 6,20 | $6,31 \times 10^{-7}$  | 26,90         | noroeste           | < l.d.                  | < l.d.                   |
| 02  | 31                     | 20h-21h     | 7           | 0,10               | 22,8   | 6,30 | $5,01 \times 10^{-7}$  | 45,40         | sul                | < l.d.                  | < l.d.                   |
| 03  | 32                     | 18h-18h50   | 37          | 0,63               | 18,3   | 5,10 | $7,94 \times 10^{-6}$  | 55,00         | sudeste            | < l.d.                  | $1,38 \times 10^{-6}$    |
| 12  | 33                     | 24h – 2h    | 120         | 0,85               | 12,4   | 6,30 | $5,01 \times 10^{-7}$  | 25,10         | nordeste           | < l.d.                  | $1,72 \times 10^{-6}$    |
| 16  | 34                     | 17h –22h    | 430         | 1,22               | 17,6   | 6,25 | $5,62 \times 10^{-7}$  | 22,40         | sudoeste           | < l.d.                  | $1,38 \times 10^{-6}$    |
| 26  | 35                     | 7h - 7h50   | 178         | 3,03               | 17,1   | 6,90 | $1,26 \times 10^{-7}$  | 19,02         | oeste              | < l.d.                  | $1,38 \times 10^{-6}$    |

TABELA A8 – CONCENTRAÇÃO DOS CÁTIONS E ÂNIONS PRESENTES NA ÁGUA DA CHUVA EM MAIO/2000

| AMOSTRA N <sup>o</sup> | Na <sup>+</sup> (mol/L) | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mol/L) | K <sup>+</sup> (mol/L) | Mg <sup>+2</sup> (mol/L) | Ca <sup>+2</sup> (mol/L) | F <sup>-</sup> (mol/L) | Cl <sup>-</sup> (mol/L) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mol/L) | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mol/L) |
|------------------------|-------------------------|--------------------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 30                     | $9,57 \times 10^{-5}$   | $7,63 \times 10^{-5}$                | $8,95 \times 10^{-5}$  | $6,99 \times 10^{-6}$    | $1,10 \times 10^{-5}$    | < l.d.                 | $1,31 \times 10^{-4}$   | $1,02 \times 10^{-4}$                | $1,99 \times 10^{-5}$                 |
| 31                     | $6,52 \times 10^{-5}$   | $1,82 \times 10^{-4}$                | $6,14 \times 10^{-5}$  | $2,76 \times 10^{-5}$    | $3,49 \times 10^{-5}$    | < l.d.                 | $1,63 \times 10^{-4}$   | $6,49 \times 10^{-5}$                | $5,65 \times 10^{-5}$                 |
| 32                     | $3,48 \times 10^{-5}$   | $1,29 \times 10^{-5}$                | $6,14 \times 10^{-5}$  | $1,81 \times 10^{-5}$    | $2,40 \times 10^{-5}$    | $2,47 \times 10^{-5}$  | $9,22 \times 10^{-5}$   | $2,39 \times 10^{-4}$                | $3,61 \times 10^{-5}$                 |
| 33                     | $3,91 \times 10^{-5}$   | $2,35 \times 10^{-5}$                | $2,81 \times 10^{-5}$  | $1,40 \times 10^{-5}$    | $1,70 \times 10^{-5}$    | $1,05 \times 10^{-6}$  | $6,91 \times 10^{-5}$   | $1,44 \times 10^{-4}$                | $1,36 \times 10^{-5}$                 |
| 34                     | $7,83 \times 10^{-6}$   | $8,22 \times 10^{-5}$                | $6,91 \times 10^{-6}$  | $9,05 \times 10^{-6}$    | $1,37 \times 10^{-5}$    | $5,26 \times 10^{-7}$  | $3,61 \times 10^{-5}$   | $3,26 \times 10^{-5}$                | $1,08 \times 10^{-5}$                 |
| 35                     | $1,30 \times 10^{-5}$   | $1,47 \times 10^{-4}$                | $1,28 \times 10^{-5}$  | $1,23 \times 10^{-5}$    | $2,05 \times 10^{-5}$    | $1,05 \times 10^{-6}$  | $2,91 \times 10^{-5}$   | $1,70 \times 10^{-4}$                | $3,09 \times 10^{-5}$                 |

TABELA A9 – CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE CHUVA DO MÊS DE JUNHO/2000

| DIA | AMOSTRA N <sup>o</sup> | HORÁRIO     | VOLUME (mL) | INTENSIDADE (mm/h) | T (°C) | pH   | H <sup>+</sup> (mol/L) | COND. (μS/cm) | DIREÇÃO DOS VENTOS | AC <sup>-</sup> (mol/L) | FOR <sup>-</sup> (mol/L) |
|-----|------------------------|-------------|-------------|--------------------|--------|------|------------------------|---------------|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| 18  | 36                     | 24h – 9h    | 2730        | 30,90              | 12,9   | 6,10 | $7,94 \times 10^{-7}$  | 11,70         | noroeste           | < l.d.                  | $6,89 \times 10^{-7}$    |
| 20  | 37                     | 12h05-13h20 | 310         | 4,39               | 11,3   | 5,82 | $1,51 \times 10^{-6}$  | 23,94         | leste              | < l.d.                  | $1,03 \times 10^{-6}$    |
| 20  | 38                     | 13h20-14h20 | 130         | 1,84               | 11,3   | 5,65 | $2,24 \times 10^{-6}$  | 15,68         | sudeste            | < l.d.                  | $1,72 \times 10^{-6}$    |
| 20  | 39                     | 14h20-15h20 | 320         | 4,53               | 11,3   | 5,50 | $3,16 \times 10^{-6}$  | 10,40         | sudeste            | < l.d.                  | $1,38 \times 10^{-6}$    |
| 20  | 40                     | 15h20-16h20 | 195         | 2,76               | 11,3   | 5,51 | $3,09 \times 10^{-6}$  | 8,52          | sudeste            | < l.d.                  | $2,41 \times 10^{-6}$    |
| 20  | 41                     | 16h20-17h20 | 275         | 3,89               | 11,3   | 5,74 | $1,82 \times 10^{-6}$  | 8,74          | sudeste            | < l.d.                  | < l.d.                   |
| 20  | 42                     | 17h20-18h   | 64          | 0,91               | 11,3   | 5,70 | $2,00 \times 10^{-6}$  | 33,34         | leste              | $3,51 \times 10^{-7}$   | $1,72 \times 10^{-6}$    |
| 21  | 43                     | 18h – 19h   | 220         | 1,44               | 12,1   | 5,77 | $1,70 \times 10^{-6}$  | 10,31         | sudoeste           | < l.d.                  | $3,10 \times 10^{-6}$    |
| 26  | 44                     | 1h-8h       | 480         | 0,97               | 14,3   | 6,70 | $2,00 \times 10^{-7}$  | 49,30         | leste              | $3,51 \times 10^{-7}$   | < l.d.                   |
| 27  | 45                     | 19h – 24h   | 730         | 0,63               | 13,6   | 6,05 | $8,91 \times 10^{-7}$  | 10,81         | oeste              | < l.d.                  | < l.d.                   |
| 30  | 46                     | 4h- 7h      | 328         | 0,30               | 8,4    | 6,50 | $3,16 \times 10^{-7}$  | 20,70         | oeste              | $3,51 \times 10^{-7}$   | $1,38 \times 10^{-6}$    |

TABELA A10 – CONCENTRAÇÃO DOS CÁTIONS E ÂNIONS PRESENTES NA ÁGUA DA CHUVA EM JUNHO/2000

| AMOSTRA N <sup>o</sup> | Na <sup>+</sup> (mol/L) | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mol/L) | K <sup>+</sup> (mol/L) | Mg <sup>+2</sup> (mol/L) | Ca <sup>+2</sup> (mol/L) | F <sup>-</sup> (mol/L) | Cl <sup>-</sup> (mol/L) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mol/L) | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mol/L) |
|------------------------|-------------------------|--------------------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 36                     | $6,09 \times 10^{-6}$   | $7,63 \times 10^{-5}$                | $6,65 \times 10^{-6}$  | $7,41 \times 10^{-6}$    | $1,10 \times 10^{-5}$    | < l.d.                 | $1,89 \times 10^{-5}$   | $1,23 \times 10^{-4}$                | $1,36 \times 10^{-5}$                 |
| 37                     | $1,52 \times 10^{-5}$   | $9,98 \times 10^{-5}$                | $1,15 \times 10^{-5}$  | $1,73 \times 10^{-5}$    | $2,50 \times 10^{-5}$    | $5,26 \times 10^{-7}$  | $3,19 \times 10^{-5}$   | $1,25 \times 10^{-4}$                | $2,90 \times 10^{-5}$                 |
| 38                     | $1,83 \times 10^{-5}$   | $9,98 \times 10^{-5}$                | $1,25 \times 10^{-5}$  | $1,11 \times 10^{-5}$    | $2,02 \times 10^{-5}$    | $1,58 \times 10^{-6}$  | $3,72 \times 10^{-5}$   | $1,73 \times 10^{-4}$                | $1,93 \times 10^{-5}$                 |
| 39                     | $1,39 \times 10^{-5}$   | $7,05 \times 10^{-5}$                | $8,70 \times 10^{-6}$  | $4,53 \times 10^{-6}$    | $9,73 \times 10^{-6}$    | < l.d.                 | $2,20 \times 10^{-5}$   | $2,15 \times 10^{-5}$                | $1,44 \times 10^{-5}$                 |
| 40                     | $1,09 \times 10^{-5}$   | $1,06 \times 10^{-4}$                | $9,21 \times 10^{-6}$  | $4,94 \times 10^{-6}$    | $9,98 \times 10^{-6}$    | < l.d.                 | $1,89 \times 10^{-5}$   | $5,00 \times 10^{-6}$                | $4,68 \times 10^{-6}$                 |
| 41                     | $1,00 \times 10^{-5}$   | $6,46 \times 10^{-5}$                | $7,67 \times 10^{-6}$  | $3,29 \times 10^{-6}$    | $7,24 \times 10^{-6}$    | < l.d.                 | $1,55 \times 10^{-5}$   | $6,42 \times 10^{-5}$                | $4,27 \times 10^{-6}$                 |
| 42                     | $1,61 \times 10^{-5}$   | $1,35 \times 10^{-4}$                | $1,28 \times 10^{-5}$  | $1,65 \times 10^{-6}$    | $3,49 \times 10^{-4}$    | < l.d.                 | $2,14 \times 10^{-5}$   | $6,48 \times 10^{-5}$                | < l.d.                                |
| 43                     | $9,13 \times 10^{-6}$   | $7,63 \times 10^{-5}$                | $8,18 \times 10^{-6}$  | $6,17 \times 10^{-6}$    | $1,12 \times 10^{-5}$    | < l.d.                 | $1,27 \times 10^{-5}$   | $1,19 \times 10^{-5}$                | $4,14 \times 10^{-5}$                 |
| 44                     | $1,70 \times 10^{-5}$   | $1,06 \times 10^{-4}$                | $3,07 \times 10^{-5}$  | $2,10 \times 10^{-5}$    | $1,32 \times 10^{-4}$    | $3,16 \times 10^{-6}$  | $6,54 \times 10^{-5}$   | $1,98 \times 10^{-4}$                | $5,79 \times 10^{-5}$                 |
| 45                     | $9,13 \times 10^{-6}$   | $8,22 \times 10^{-5}$                | $9,46 \times 10^{-6}$  | $7,41 \times 10^{-6}$    | $3,49 \times 10^{-5}$    | $1,05 \times 10^{-6}$  | $5,64 \times 10^{-6}$   | $1,08 \times 10^{-5}$                | $1,19 \times 10^{-5}$                 |
| 46                     | $9,57 \times 10^{-6}$   | $1,29 \times 10^{-4}$                | $1,43 \times 10^{-5}$  | $2,59 \times 10^{-5}$    | $5,99 \times 10^{-5}$    | $2,11 \times 10^{-6}$  | $1,41 \times 10^{-5}$   | $1,01 \times 10^{-4}$                | $2,47 \times 10^{-5}$                 |

TABELA A11 – CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE CHUVA DO MÊS DE JULHO/2000

| DIA | AMOSTRA N <sup>o</sup> | HORÁRIO     | VOLUME (mL) | INTENSIDADE (mm/h) | T (°C) | pH   | H <sup>+</sup> (mol/L) | COND. (µS/cm) | DIREÇÃO DOS VENTOS | AC <sup>-</sup> (mol/L) | FOR <sup>-</sup> (mol/L) |
|-----|------------------------|-------------|-------------|--------------------|--------|------|------------------------|---------------|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| 02  | 47                     | 21h - 23h   | 260         | 1,84               | 21,5   | 6,05 | $8,91 \times 10^{-7}$  | 21,50         | sul                | < l.d.                  | < l.d.                   |
| 10  | 48                     | 4h - 5h15   | 110         | 1,24               | 16,5   | 7,00 | $1,00 \times 10^{-7}$  | 21,60         | noroeste           | < l.d.                  | $1,03 \times 10^{-6}$    |
| 10  | 49                     | 9h30 - 9h50 | 70          | 3,00               | 16,9   | 6,70 | $2,00 \times 10^{-7}$  | 30,50         | sudoeste           | < l.d.                  | $2,76 \times 10^{-6}$    |
| 11  | 50                     | 20h - 20h30 | 84          | 2,38               | 16,0   | 6,15 | $7,08 \times 10^{-7}$  | 17,74         | sudoeste           | $1,75 \times 10^{-7}$   | $1,03 \times 10^{-6}$    |
| 15  | 51                     | 5h - 9h     | 790         | 0,29               | 5,3    | 6,00 | $1,00 \times 10^{-6}$  | 13,82         | nordeste           | < l.d.                  | $3,10 \times 10^{-5}$    |
| 22  | 52                     | 14h - 22 h  | 4000        | 2,83               | 14,8   | 5,50 | $3,16 \times 10^{-6}$  | 8,01          | oeste              | $3,51 \times 10^{-7}$   | $1,38 \times 10^{-6}$    |
| 31  | 53                     | 13h20 - 17h | 426         | 1,73               | 14,3   | 5,40 | $3,98 \times 10^{-6}$  | 17,97         | sudoeste           | < l.d.                  | < l.d.                   |

TABELA A12 – CONCENTRAÇÃO DOS CÁTIONS E ÂNIONS PRESENTES NA ÁGUA DA CHUVA EM JULHO/2000

| AMOSTRA N <sup>o</sup> | Na <sup>+</sup> (mol/L) | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mol/L) | K <sup>+</sup> (mol/L) | Mg <sup>+2</sup> (mol/L) | Ca <sup>+2</sup> (mol/L) | F <sup>-</sup> (mol/L) | Cl <sup>-</sup> (mol/L) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mol/L) | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mol/L) |
|------------------------|-------------------------|--------------------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 47                     | $1,17 \times 10^{-5}$   | $1,35 \times 10^{-4}$                | $1,36 \times 10^{-5}$  | $1,19 \times 10^{-5}$    | $3,24 \times 10^{-5}$    | $1,11 \times 10^{-5}$  | $2,62 \times 10^{-5}$   | $1,92 \times 10^{-5}$                | $2,40 \times 10^{-5}$                 |
| 48                     | $8,70 \times 10^{-6}$   | $1,47 \times 10^{-4}$                | $1,05 \times 10^{-5}$  | $6,99 \times 10^{-6}$    | $2,74 \times 10^{-4}$    | $1,05 \times 10^{-6}$  | $2,06 \times 10^{-5}$   | $4,29 \times 10^{-5}$                | $1,96 \times 10^{-5}$                 |
| 49                     | $2,17 \times 10^{-5}$   | $1,47 \times 10^{-4}$                | $2,17 \times 10^{-5}$  | $1,40 \times 10^{-5}$    | $3,24 \times 10^{-5}$    | $1,05 \times 10^{-6}$  | $3,41 \times 10^{-5}$   | $3,27 \times 10^{-5}$                | $4,39 \times 10^{-5}$                 |
| 50                     | $2,70 \times 10^{-5}$   | $8,81 \times 10^{-5}$                | $1,28 \times 10^{-5}$  | $1,32 \times 10^{-5}$    | $3,49 \times 10^{-5}$    | $1,05 \times 10^{-6}$  | $3,10 \times 10^{-5}$   | $8,39 \times 10^{-6}$                | $2,36 \times 10^{-5}$                 |
| 51                     | $7,83 \times 10^{-6}$   | $6,46 \times 10^{-5}$                | $7,42 \times 10^{-6}$  | $9,05 \times 10^{-6}$    | $1,97 \times 10^{-5}$    | $1,05 \times 10^{-6}$  | $1,49 \times 10^{-5}$   | $2,74 \times 10^{-5}$                | $2,39 \times 10^{-5}$                 |
| 52                     | $5,65 \times 10^{-6}$   | $3,58 \times 10^{-5}$                | $5,12 \times 10^{-6}$  | $2,47 \times 10^{-6}$    | $3,99 \times 10^{-5}$    | < l.d.                 | $5,36 \times 10^{-6}$   | $3,87 \times 10^{-6}$                | $1,91 \times 10^{-5}$                 |
| 53                     | $9,13 \times 10^{-6}$   | $1,29 \times 10^{-4}$                | $1,76 \times 10^{-5}$  | $1,32 \times 10^{-5}$    | $2,22 \times 10^{-5}$    | $1,05 \times 10^{-6}$  | $1,35 \times 10^{-5}$   | $1,73 \times 10^{-5}$                | $3,81 \times 10^{-5}$                 |

TABELA A13 – CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE CHUVA DO MÊS DE AGOSTO/2000

| DIA     | AMOSTRA N <sup>o</sup> | HORÁRIO       | VOLUME (mL) | INTENSIDADE (mm/h) | T (°C) | pH   | H <sup>+</sup> (mol/L) | COND. (µS/cm) | DIREÇÃO DOS VENTOS | AC <sup>-</sup> (mol/L) | FOR <sup>-</sup> (mol/L) |
|---------|------------------------|---------------|-------------|--------------------|--------|------|------------------------|---------------|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| 03      | 54                     | 2h – 6h       | 466         | 0,19               | 13,0   | 6,01 | $9,77 \times 10^{-7}$  | 13,13         | sul                | $1,05 \times 10^{-4}$   | < l.d.                   |
| 03      | 55                     | 10h40 -13h20  | 92          | 0,83               | 14,0   | 5,68 | $2,09 \times 10^{-6}$  | 14,98         | oeste              | $1,75 \times 10^{-7}$   | $1,72 \times 10^{-6}$    |
| 03      | 56                     | 14h-15h       | 54          | 0,76               | 14,0   | 5,50 | $3,16 \times 10^{-6}$  | 19,29         | oeste              | < l.d.                  | $7,93 \times 10^{-6}$    |
| 03      | 57                     | 15h-16h       | 32          | 0,45               | 14,1   | 5,60 | $2,51 \times 10^{-6}$  | 45,00         | sudoeste           | $3,51 \times 10^{-7}$   | < l.d.                   |
| 09      | 58                     | 16h – 16h20   | 282         | 12,09              | 25,9   | 5,13 | $7,41 \times 10^{-6}$  | 20,90         | sudoeste           | $7,01 \times 10^{-7}$   | < l.d.                   |
| 10      | 59                     | 17h – 18h     | 350         | 0,45               | 17,0   | 6,25 | $5,62 \times 10^{-7}$  | 15,00         | norte              | $3,51 \times 10^{-7}$   | < l.d.                   |
| 15      | 60                     | 12h30 – 13h30 | 166         | 2,35               | 15,2   | 6,51 | $3,09 \times 10^{-7}$  | 31,00         | sudoeste           | $3,51 \times 10^{-6}$   | < l.d.                   |
| 17      | 61                     | 8h – 16h      | 140         | 1,40               | 10,1   | 6,68 | $2,09 \times 10^{-7}$  | 15,36         | nordeste           | < l.d.                  | < l.d.                   |
| 26 e 27 | 62                     | 13h – 7h      | 4424        | 1,88               | 15,3   | 5,60 | $2,51 \times 10^{-6}$  | 9,11          | sul                | $4,38 \times 10^{-6}$   | $2,07 \times 10^{-6}$    |
| 31      | 63                     | 3h – 4h       | 28          | 1,40               | 19,8   | 5,90 | $1,26 \times 10^{-6}$  | 15,05         | sudoeste           | $1,93 \times 10^{-6}$   | < l.d.                   |
| 31      | 64                     | 9h30 – 10h30  | 50          | 0,71               | 13,3   | 6,15 | $7,08 \times 10^{-7}$  | 9,92          | leste              | $1,23 \times 10^{-6}$   | $3,10 \times 10^{-6}$    |
| 31      | 65                     | 10h30 – 11h30 | 6           | 0,08               | 14,9   | 6,50 | $3,16 \times 10^{-7}$  | 28,50         | sudoeste           | < l.d.                  | < l.d.                   |

TABELA A14 – CONCENTRAÇÃO DOS CÁTIOS E ÂNIOS PRESENTES NA ÁGUA DA CHUVA EM AGOSTO/2000

| AMOSTRA N <sup>o</sup> | Na <sup>+</sup> (mol/L) | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mol/L) | K <sup>+</sup> (mol/L) | Mg <sup>+2</sup> (mol/L) | Ca <sup>+2</sup> (mol/L) | F <sup>-</sup> (mol/L) | Cl <sup>-</sup> (mol/L) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mol/L) | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mol/L) |
|------------------------|-------------------------|--------------------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 54                     | $6,09 \times 10^{-6}$   | $8,81 \times 10^{-5}$                | $6,14 \times 10^{-6}$  | $2,47 \times 10^{-6}$    | $1,27 \times 10^{-4}$    | $1,63 \times 10^{-5}$  | $1,02 \times 10^{-5}$   | $1,15 \times 10^{-5}$                | $3,23 \times 10^{-5}$                 |
| 55                     | $7,83 \times 10^{-6}$   | $8,22 \times 10^{-5}$                | $6,39 \times 10^{-6}$  | $9,46 \times 10^{-6}$    | $2,17 \times 10^{-5}$    | $2,63 \times 10^{-6}$  | $1,04 \times 10^{-5}$   | $1,47 \times 10^{-5}$                | $3,77 \times 10^{-5}$                 |
| 56                     | $3,13 \times 10^{-5}$   | $7,05 \times 10^{-5}$                | $3,07 \times 10^{-5}$  | $3,29 \times 10^{-6}$    | $1,30 \times 10^{-5}$    | < l.d.                 | $3,36 \times 10^{-5}$   | $9,39 \times 10^{-5}$                | $3,60 \times 10^{-5}$                 |
| 57                     | $4,22 \times 10^{-5}$   | $9,98 \times 10^{-5}$                | $4,35 \times 10^{-5}$  | $5,76 \times 10^{-6}$    | $1,22 \times 10^{-5}$    | $1,05 \times 10^{-6}$  | $5,73 \times 10^{-5}$   | $7,42 \times 10^{-6}$                | $6,76 \times 10^{-5}$                 |
| 58                     | $1,87 \times 10^{-5}$   | $1,17 \times 10^{-4}$                | $2,56 \times 10^{-5}$  | $1,19 \times 10^{-5}$    | $1,97 \times 10^{-5}$    | $1,05 \times 10^{-6}$  | $2,74 \times 10^{-5}$   | $5,42 \times 10^{-5}$                | $3,35 \times 10^{-5}$                 |
| 59                     | $8,26 \times 10^{-6}$   | $9,39 \times 10^{-5}$                | $8,70 \times 10^{-6}$  | $7,41 \times 10^{-6}$    | $1,62 \times 10^{-5}$    | $1,05 \times 10^{-6}$  | $2,17 \times 10^{-5}$   | $9,45 \times 10^{-5}$                | $3,03 \times 10^{-5}$                 |
| 60                     | $3,26 \times 10^{-5}$   | $1,59 \times 10^{-4}$                | $2,02 \times 10^{-5}$  | $1,19 \times 10^{-5}$    | $1,92 \times 10^{-5}$    | $1,58 \times 10^{-6}$  | $3,58 \times 10^{-5}$   | $3,17 \times 10^{-4}$                | $7,41 \times 10^{-5}$                 |
| 61                     | $1,87 \times 10^{-5}$   | $3,88 \times 10^{-5}$                | $1,36 \times 10^{-5}$  | $1,32 \times 10^{-5}$    | $2,32 \times 10^{-5}$    | $1,58 \times 10^{-6}$  | $6,49 \times 10^{-5}$   | $3,23 \times 10^{-6}$                | $4,24 \times 10^{-5}$                 |
| 62                     | $3,91 \times 10^{-6}$   | $3,76 \times 10^{-5}$                | $4,35 \times 10^{-6}$  | $4,94 \times 10^{-6}$    | $1,15 \times 10^{-5}$    | < l.d.                 | $6,21 \times 10^{-6}$   | $1,31 \times 10^{-5}$                | $1,31 \times 10^{-5}$                 |
| 63                     | $1,13 \times 10^{-5}$   | $5,52 \times 10^{-5}$                | $1,30 \times 10^{-5}$  | $1,11 \times 10^{-5}$    | $1,55 \times 10^{-5}$    | $1,05 \times 10^{-6}$  | $2,26 \times 10^{-5}$   | $1,95 \times 10^{-4}$                | $3,91 \times 10^{-5}$                 |
| 64                     | $1,00 \times 10^{-5}$   | $2,70 \times 10^{-5}$                | $1,28 \times 10^{-5}$  | $7,41 \times 10^{-6}$    | $1,22 \times 10^{-5}$    | $1,05 \times 10^{-6}$  | $2,57 \times 10^{-5}$   | $1,89 \times 10^{-4}$                | $3,46 \times 10^{-5}$                 |
| 65                     | $8,35 \times 10^{-5}$   | $2,47 \times 10^{-3}$                | $5,58 \times 10^{-5}$  | $1,07 \times 10^{-5}$    | $2,40 \times 10^{-5}$    | < l.d.                 | $1,36 \times 10^{-4}$   | $5,23 \times 10^{-6}$                | $3,72 \times 10^{-5}$                 |

TABELA A15 – CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE CHUVA DO MÊS DE SETEMBRO/2000

| DIA     | AMOSTRA<br>N <sup>o</sup> | HORÁRIO       | VOLUME<br>(mL) | INTENSIDADE<br>(mm/h) | T<br>(°C) | pH   | H <sup>+</sup><br>(mol/L) | COND.<br>(μS/cm) | DIREÇÃO<br>DOS<br>VENTOS | AC <sup>-</sup><br>(mol/L) | FOR <sup>-</sup><br>(mol/L) |
|---------|---------------------------|---------------|----------------|-----------------------|-----------|------|---------------------------|------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 02      | 66                        | 2h – 3h       | 1260           | 0,71                  | 8,4       | 6,20 | $6,31 \times 10^{-7}$     | 7,08             | nordeste                 | $2,10 \times 10^{-6}$      | $2,07 \times 10^{-6}$       |
| 10      | 67                        | 21h – 22h50   | 858            | 14,62                 | 20,7      | 5,30 | $5,01 \times 10^{-6}$     | 9,39             | sudoeste                 | $1,40 \times 10^{-6}$      | < l.d.                      |
| 11      | 68                        | 20h – 21h     | 2500           | 1,75                  | 27,1      | 4,50 | $3,16 \times 10^{-5}$     | 6,93             | norte                    | $1,93 \times 10^{-6}$      | < l.d.                      |
| 12      | 69                        | 10h40 – 11h40 | 60             | 0,85                  | 17,2      | 5,90 | $1,26 \times 10^{-6}$     | 16,48            | noroeste                 | $8,77 \times 10^{-7}$      | < l.d.                      |
| 12      | 70                        | 11h40 – 14h   | 44             | 0,27                  | 17,2      | 6,00 | $1,00 \times 10^{-6}$     | 16,29            | norte                    | $5,26 \times 10^{-7}$      | < l.d.                      |
| 12      | 71                        | 14h10 – 15h10 | 112            | 1,58                  | 17,2      | 5,60 | $2,51 \times 10^{-6}$     | 10,03            | nordeste                 | $8,77 \times 10^{-7}$      | < l.d.                      |
| 12      | 72                        | 15h10 – 16h10 | 186            | 2,63                  | 17,2      | 5,30 | $5,01 \times 10^{-6}$     | 15,00            | sudoeste                 | $7,01 \times 10^{-7}$      | $2,41 \times 10^{-6}$       |
| 12      | 73                        | 16h10 – 17h10 | 82             | 1,16                  | 17,2      | 5,85 | $1,41 \times 10^{-6}$     | 11,01            | sul                      | $8,77 \times 10^{-7}$      | < l.d.                      |
| 13      | 74                        | 10h – 11h     | 442            | 6,25                  | 17,2      | 5,70 | $2,00 \times 10^{-6}$     | 5,69             | sudoeste                 | $1,75 \times 10^{-6}$      | < l.d.                      |
| 13      | 75                        | 11h – 12h     | 148            | 2,09                  | 16,5      | 5,56 | $2,75 \times 10^{-6}$     | 6,03             | oeste                    | < l.d.                     | < l.d.                      |
| 13      | 76                        | 12h – 13h20   | 110            | 4,72                  | 16,5      | 6,03 | $9,33 \times 10^{-7}$     | 6,85             | noroeste                 | $7,01 \times 10^{-7}$      | $1,38 \times 10^{-6}$       |
| 14      | 77                        | 16h30 – 17h30 | 56             | 0,79                  | 19,5      | 6,10 | $7,94 \times 10^{-7}$     | 13,26            | oeste                    | < l.d.                     | < l.d.                      |
| 15      | 78                        | 7h30 – 8h50   | 62             | 0,66                  | 16,5      | 5,10 | $7,94 \times 10^{-6}$     | 29,12            | norte                    | $3,51 \times 10^{-7}$      | < l.d.                      |
| 15      | 79                        | 11h30 – 12h50 | 1630           | 17,34                 | 17,0      | 5,80 | $1,58 \times 10^{-6}$     | 11,28            | oeste                    | $2,63 \times 10^{-6}$      | $1,38 \times 10^{-6}$       |
| 15      | 80                        | 13h30 – 14h30 | 260            | 3,68                  | 17,7      | 4,60 | $2,51 \times 10^{-5}$     | 18,14            | oeste                    | < l.d.                     | < l.d.                      |
| 15      | 81                        | 14h30 – 15h30 | 9              | 0,13                  | 17,3      | 4,50 | $2,19 \times 10^{-5}$     | 31,40            | sul                      | < l.d.                     | < l.d.                      |
| 16 e 17 | 82                        | 5h – 10h      | 3500           | 3,72                  | 11,4      | 5,20 | $6,31 \times 10^{-6}$     | 5,68             | nordeste                 | $3,51 \times 10^{-7}$      | < l.d.                      |
| 19      | 83                        | 11h – 13h40   | 470            | 2,49                  | 16,2      | 5,50 | $3,16 \times 10^{-6}$     | 11,08            | noroeste                 | < l.d.                     | $6,89 \times 10^{-7}$       |
| 19      | 84                        | 13h40 – 14h40 | 7,20           | 0,10                  | 16,0      | 5,00 | $1,00 \times 10^{-5}$     | 15,57            | nordeste                 | < l.d.                     | $2,07 \times 10^{-6}$       |
| 22      | 85                        | 8h – 10h      | 6,20           | 0,04                  | 13,6      | 7,45 | $3,54 \times 10^{-8}$     | 5,69             | leste                    | < l.d.                     | < l.d.                      |
| 24      | 86                        | 10h30 - 15h30 | 676            | 5,00                  | 15,3      | 6,50 | $3,16 \times 10^{-7}$     | 16,87            | sudoeste                 | $3,51 \times 10^{-7}$      | $3,45 \times 10^{-7}$       |

TABELA A16 – CONCENTRAÇÃO DOS CÁTIONS E ÂNIONS PRESENTES NA ÁGUA DA CHUVA EM SETEMBRO/2000

| AMOSTRA<br>N <sup>o</sup> | Na <sup>+</sup><br>(mol/L) | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup><br>(mol/L) | K <sup>+</sup><br>(mol/L) | Mg <sup>+2</sup><br>(mol/L) | Ca <sup>+2</sup><br>(mol/L) | F <sup>-</sup><br>(mol/L) | Cl <sup>-</sup><br>(mol/L) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>(mol/L) | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup><br>(mol/L) |
|---------------------------|----------------------------|---|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|---|--|
| 66                        | 5,65 x 10 <sup>-6</sup>    | 5,87 x 10 <sup>-7</sup>                 | 3,84 x 10 <sup>-6</sup>   | 4,94 x 10 <sup>-6</sup>     | 8,98 x 10 <sup>-6</sup>     | 5,26 x 10 <sup>-7</sup>   | 1,04 x 10 <sup>-5</sup>    | 3,87 x 10 <sup>-5</sup>                 | 1,50 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 67                        | 6,09 x 10 <sup>-6</sup>    | 2,35 x 10 <sup>-5</sup>                 | 4,35 x 10 <sup>-6</sup>   | 4,53 x 10 <sup>-6</sup>     | 8,48 x 10 <sup>-6</sup>     | < l.d.                    | 8,46 x 10 <sup>-6</sup>    | 1,5 x 10 <sup>-5</sup>                  | 2,87 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 68                        | 3,04 x 10 <sup>-6</sup>    | 1,41 x 10 <sup>-5</sup>                 | 4,35 x 10 <sup>-6</sup>   | 3,29 x 10 <sup>-6</sup>     | 5,74 x 10 <sup>-6</sup>     | < l.d.                    | 5,08 x 10 <sup>-6</sup>    | 3,87 x 10 <sup>-5</sup>                 | 2,21 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 69                        | 3,78 x 10 <sup>-5</sup>    | 4,70 x 10 <sup>-6</sup>                 | 3,58 x 10 <sup>-5</sup>   | 6,58 x 10 <sup>-6</sup>     | 1,02 x 10 <sup>-5</sup>     | 1,05 x 10 <sup>-6</sup>   | 6,32 x 10 <sup>-5</sup>    | 5,81 x 10 <sup>-6</sup>                 | 2,94 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 70                        | 2,91 x 10 <sup>-5</sup>    | 6,46 x 10 <sup>-6</sup>                 | 2,30 x 10 <sup>-5</sup>   | 2,88 x 10 <sup>-6</sup>     | 7,49 x 10 <sup>-6</sup>     | 1,05 x 10 <sup>-6</sup>   | 5,30 x 10 <sup>-5</sup>    | 1,41 x 10 <sup>-4</sup>                 | 2,75 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 71                        | 2,65 x 10 <sup>-5</sup>    | 1,76 x 10 <sup>-5</sup>                 | 1,99 x 10 <sup>-5</sup>   | 1,36 x 10 <sup>-5</sup>     | 8,48 x 10 <sup>-6</sup>     | < l.d.                    | 3,92 x 10 <sup>-5</sup>    | < l.d.                                  | 1,98 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 72                        | 1,74 x 10 <sup>-5</sup>    | 4,11 x 10 <sup>-6</sup>                 | 1,23 x 10 <sup>-5</sup>   | 2,47 x 10 <sup>-6</sup>     | 5,74 x 10 <sup>-6</sup>     | 3,16 x 10 <sup>-6</sup>   | 4,85 x 10 <sup>-5</sup>    | 1,20 x 10 <sup>-4</sup>                 | 1,67 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 73                        | 2,44 x 10 <sup>-5</sup>    | 6,46 x 10 <sup>-6</sup>                 | 1,84 x 10 <sup>-5</sup>   | 2,06 x 10 <sup>-6</sup>     | 6,49 x 10 <sup>-6</sup>     | < l.d.                    | 3,05 x 10 <sup>-5</sup>    | < l.d.                                  | 1,96 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 74                        | 3,44 x 10 <sup>-5</sup>    | 1,53 x 10 <sup>-5</sup>                 | 2,15 x 10 <sup>-5</sup>   | 2,06 x 10 <sup>-6</sup>     | 8,98 x 10 <sup>-6</sup>     | < l.d.                    | 2,71 x 10 <sup>-5</sup>    | < l.d.                                  | 2,50 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 75                        | < l.d.                     | < l.d.                                  | < l.d.                    | < l.d.                      | < l.d.                      | 1,58 x 10 <sup>-6</sup>   | 4,77 x 10 <sup>-5</sup>    | 1,76 x 10 <sup>-5</sup>                 | 1,08 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 76                        | 4,44 x 10 <sup>-5</sup>    | 1,47 x 10 <sup>-4</sup>                 | 1,59 x 10 <sup>-5</sup>   | 7,82 x 10 <sup>-6</sup>     | 1,60 x 10 <sup>-5</sup>     | < l.d.                    | 2,93 x 10 <sup>-5</sup>    | 3,84 x 10 <sup>-5</sup>                 | 7,08 x 10 <sup>-6</sup>                  |
| 77                        | 6,31 x 10 <sup>-5</sup>    | 2,12 x 10 <sup>-4</sup>                 | 2,10 x 10 <sup>-5</sup>   | 7,41 x 10 <sup>-6</sup>     | 1,77 x 10 <sup>-5</sup>     | < l.d.                    | 5,42 x 10 <sup>-5</sup>    | 1,52 x 10 <sup>-5</sup>                 | 2,69 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 78                        | 7,96 x 10 <sup>-5</sup>    | 1,40 x 10 <sup>-4</sup>                 | 3,07 x 10 <sup>-5</sup>   | 1,19 x 10 <sup>-5</sup>     | 5,54 x 10 <sup>-5</sup>     | 1,05 x 10 <sup>-6</sup>   | 9,39 x 10 <sup>-5</sup>    | 4,42 x 10 <sup>-5</sup>                 | 5,37 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 79                        | 3,04 x 10 <sup>-5</sup>    | 2,11 x 10 <sup>-4</sup>                 | 3,58 x 10 <sup>-6</sup>   | 2,47 x 10 <sup>-6</sup>     | 8,73 x 10 <sup>-6</sup>     | < l.d.                    | 8,74 x 10 <sup>-6</sup>    | 9,03 x 10 <sup>-6</sup>                 | 4,89 x 10 <sup>-6</sup>                  |
| 80                        | 3,74 x 10 <sup>-5</sup>    | 1,89 x 10 <sup>-4</sup>                 | 7,93 x 10 <sup>-6</sup>   | 8,23 x 10 <sup>-7</sup>     | 8,23 x 10 <sup>-6</sup>     | < l.d.                    | 2,17 x 10 <sup>-5</sup>    | 1,48 x 10 <sup>-5</sup>                 | 2,61 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 81                        | 2,04 x 10 <sup>-5</sup>    | 1,77 x 10 <sup>-4</sup>                 | 1,84 x 10 <sup>-5</sup>   | 2,47 x 10 <sup>-6</sup>     | 9,23 x 10 <sup>-6</sup>     | < l.d.                    | 4,88 x 10 <sup>-5</sup>    | 2,61 x 10 <sup>-5</sup>                 | 1,12 x 10 <sup>-4</sup>                  |
| 82                        | 5,22 x 10 <sup>-6</sup>    | 8,98 x 10 <sup>-5</sup>                 | 3,84 x 10 <sup>-6</sup>   | < l.d.                      | 3,99 x 10 <sup>-6</sup>     | < l.d.                    | 8,46 x 10 <sup>-6</sup>    | 1,68 x 10 <sup>-5</sup>                 | 5,73 x 10 <sup>-6</sup>                  |
| 83                        | 6,96 x 10 <sup>-6</sup>    | 1,15 x 10 <sup>-4</sup>                 | 3,84 x 10 <sup>-6</sup>   | < l.d.                      | 1,15 x 10 <sup>-5</sup>     | < l.d.                    | 1,44 x 10 <sup>-5</sup>    | 2,52 x 10 <sup>-5</sup>                 | 1,28 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 84                        | 4,09 x 10 <sup>-5</sup>    | 8,10 x 10 <sup>-5</sup>                 | 1,20 x 10 <sup>-5</sup>   | 3,70 x 10 <sup>-6</sup>     | 9,48 x 10 <sup>-6</sup>     | 1,05 x 10 <sup>-7</sup>   | 2,45 x 10 <sup>-4</sup>    | 3,76 x 10 <sup>-5</sup>                 | 1,69 x 10 <sup>-4</sup>                  |
| 85                        | 7,09 x 10 <sup>-5</sup>    | 3,57 x 10 <sup>-4</sup>                 | 2,17 x 10 <sup>-4</sup>   | 1,23 x 10 <sup>-5</sup>     | 2,22 x 10 <sup>-5</sup>     | < l.d.                    | 2,41 x 10 <sup>-4</sup>    | 4,27 x 10 <sup>-5</sup>                 | 1,01 x 10 <sup>-4</sup>                  |
| 86                        | 2,65 x 10 <sup>-5</sup>    | 1,84 x 10 <sup>-4</sup>                 | 1,48 x 10 <sup>-5</sup>   | 1,23 x 10 <sup>-6</sup>     | 2,32 x 10 <sup>-5</sup>     | < l.d.                    | 2,40 x 10 <sup>-5</sup>    | 2,06 x 10 <sup>-5</sup>                 | 4,35 x 10 <sup>-5</sup>                  |

TABELA A17 – CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE CHUVA DO MÊS DE OUTUBRO/2000

| DIA     | AMOSTRA<br>Nº | HORÁRIO       | VOLUME<br>(mL) | INTENSIDADE<br>(mm/h) | T<br>(°C) | pH   | H <sup>+</sup><br>(mol/L) | COND.<br>(µS/cm) | DIREÇÃO<br>DOS<br>VENTOS | AC <sup>-</sup><br>(mol/L) | FOR <sup>-</sup><br>(mol/L) |
|---------|---------------|---------------|----------------|-----------------------|-----------|------|---------------------------|------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 01      | 87            | 10h – 12h30   | 30             | 0,17                  | 19,9      | 6,7  | 2,00 x 10 <sup>-7</sup>   | 52,00            | sudeste                  | < l.d.                     | < l.d.                      |
| 04      | 88            | 14h30 – 15h30 | 92             | 1,30                  | 23,7      | 6,6  | 2,51 x 10 <sup>-7</sup>   | 26,30            | oeste                    | 5,26 x 10 <sup>-7</sup>    | < l.d.                      |
| 04      | 89            | 15h30 – 16h30 | 102            | 1,44                  | 19,4      | 6,33 | 4,68 x 10 <sup>-7</sup>   | 10,07            | sudoeste                 | 8,77 x 10 <sup>-7</sup>    | < l.d.                      |
| 04      | 90            | 16h30 – 17h30 | 270            | 3,82                  | 17,9      | 5,80 | 1,58 x 10 <sup>-6</sup>   | 7,26             | sul                      | 1,05 x 10 <sup>-6</sup>    | 3,45 x 10 <sup>-7</sup>     |
| 04 e 05 | 91            | 17h30 – 8h    | 670            | 0,65                  | 17,1      | 5,6  | 2,51 x 10 <sup>-6</sup>   | 10,07            | oeste                    | 1,75 x 10 <sup>-7</sup>    | 3,45 x 10 <sup>-7</sup>     |
| 10      | 92            | 6h – 9h       | 1650           | 23,34                 | 16,3      | 6,01 | 9,77 x 10 <sup>-7</sup>   | 38,65            | sudoeste                 | 5,26 x 10 <sup>-7</sup>    | 3,45 x 10 <sup>-7</sup>     |
| 10      | 93            | 9h20 – 10h20  | 130            | 1,84                  | 17,0      | 6,30 | 5,01 x 10 <sup>-7</sup>   | 23,25            | oeste                    | 7,01 x 10 <sup>-7</sup>    | 4,14 x 10 <sup>-6</sup>     |
| 10      | 94            | 10h20 – 11h20 | 25             | 0,35                  | 17,5      | 6,1  | 7,94 x 10 <sup>-7</sup>   | 21,95            | noroeste                 | 1,28 x 10 <sup>-5</sup>    | 3,45 x 10 <sup>-7</sup>     |
| 10      | 95            | 13h15 – 14h15 | 100            | 1,41                  | 17,5      | 5,89 | 1,29 x 10 <sup>-6</sup>   | 40,14            | sudoeste                 | 3,50 x 10 <sup>-7</sup>    | 3,45 x 10 <sup>-7</sup>     |
| 10      | 96            | 14h15 - 15h15 | 55             | 0,78                  | 17,4      | 6,14 | 7,24 x 10 <sup>-7</sup>   | 56,43            | sudoeste                 | 3,16 x 10 <sup>-5</sup>    | < l.d.                      |
| 10      | 97            | 15h15 – 16h15 | 25             | 0,35                  | 18,2      | 6,14 | 7,24 x 10 <sup>-7</sup>   | 24,22            | sudoeste                 | 5,26 x 10 <sup>-7</sup>    | < l.d.                      |
| 10      | 98            | 16h15 – 17h15 | 60             | 0,85                  | 18,4      | 6,00 | 1 x 10 <sup>-6</sup>      | 24,75            | sudoeste                 | 7,01 x 10 <sup>-7</sup>    | < l.d.                      |
| 13      | 99            | 9h – 14h      | 3205           | 9,07                  | 16,9      | 5,78 | 1,66 x 10 <sup>-6</sup>   | 40,60            | norte                    | 7,01 x 10 <sup>-7</sup>    | < l.d.                      |
| 18      | 100           | 11h – 11h10   | 30             | 2,50                  | 19,5      | 5,54 | 2,88 x 10 <sup>-6</sup>   | 26,5             | leste                    | 5,26 x 10 <sup>-7</sup>    | < l.d.                      |
| 20      | 101           | 2h – 4h       | 88             | 0,62                  | 18,9      | 6,42 | 3,80 x 10 <sup>-7</sup>   | 20,01            | norte                    | 1,75 x 10 <sup>-7</sup>    | < l.d.                      |
| 23      | 102           | 21h30 – 22h   | 210            | 5,94                  | 20,3      | 6,79 | 1,62 x 10 <sup>-7</sup>   | 23,7             | leste                    | 1,23 x 10 <sup>-6</sup>    | < l.d.                      |
| 24      | 103           | 14h10 – 15h   | 50             | 0,85                  | 24,7      | 6,61 | 2,45 x 10 <sup>-7</sup>   | 17,84            | leste                    | 3,51 x 10 <sup>-7</sup>    | < l.d.                      |
| 24      | 104           | 17h – 18h     | 112            | 1,58                  | 19,4      | 6,67 | 2,14 x 10 <sup>-7</sup>   | 17,00            | leste                    | 5,26 x 10 <sup>-7</sup>    | < l.d.                      |
| 27 e 28 | 105           | 20h30 – 9h    | 1500           | 0,06                  | 18,8      | 6,65 | 2,24 x 10 <sup>-7</sup>   | 13,86            | sudeste                  | 1,75 x 10 <sup>-7</sup>    | < l.d.                      |

TABELA A18 – CONCENTRAÇÃO DOS CÁTIONS E ÂNIONS PRESENTES NA ÁGUA DA CHUVA EM OUTUBRO/2000

| AMOSTRA<br>N <sup>o</sup> | Na <sup>+</sup><br>(mol/L) | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup><br>(mol/L) | K <sup>+</sup><br>(mol/L) | Mg <sup>+2</sup><br>(mol/L) | Ca <sup>+2</sup><br>(mol/L) | F <sup>-</sup><br>(mol/L) | Cl <sup>-</sup><br>(mol/L) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>(mol/L) | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup><br>(mol/L) |
|---------------------------|----------------------------|---|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|---|--|
| 87                        | 8,09 x 10 <sup>-5</sup>    | 4,07 x 10 <sup>-4</sup>                 | 1,66 x 10 <sup>-4</sup>   | 3,70 x 10 <sup>-6</sup>     | 1,11 x 10 <sup>-4</sup>     | 1,05 x 10 <sup>-6</sup>   | 9,34 x 10 <sup>-5</sup>    | 3,34 x 10 <sup>-5</sup>                 | 2,45 x 10 <sup>-4</sup>                  |
| 88                        | 2,17 x 10 <sup>-5</sup>    | 5,66 x 10 <sup>-4</sup>                 | 1,84 x 10 <sup>-5</sup>   | 1,97 x 10 <sup>-5</sup>     | 3,02 x 10 <sup>-5</sup>     | 5,26 x 10 <sup>-7</sup>   | 4,12 x 10 <sup>-5</sup>    | 3,72 x 10 <sup>-4</sup>                 | 4,76 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 89                        | 1,30 x 10 <sup>-5</sup>    | 6,17 x 10 <sup>-4</sup>                 | 8,70 x 10 <sup>-6</sup>   | 9,05 x 10 <sup>-6</sup>     | 2,02 x 10 <sup>-5</sup>     | < l.d.                    | 2,20 x 10 <sup>-5</sup>    | 1,23 x 10 <sup>-5</sup>                 | 2,57 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 90                        | 1,26 x 10 <sup>-5</sup>    | 6,04 x 10 <sup>-4</sup>                 | 7,93 x 10 <sup>-6</sup>   | 1,23 x 10 <sup>-6</sup>     | 9,23 x 10 <sup>-6</sup>     | < l.d.                    | 1,78 x 10 <sup>-5</sup>    | 5,48 x 10 <sup>-6</sup>                 | 8,33 x 10 <sup>-6</sup>                  |
| 91                        | 3,00 x 10 <sup>-5</sup>    | 6,59 x 10 <sup>-4</sup>                 | 1,38 x 10 <sup>-5</sup>   | 1,65 x 10 <sup>-6</sup>     | 3,19 x 10 <sup>-5</sup>     | < l.d.                    | 2,12 x 10 <sup>-5</sup>    | 6,94 x 10 <sup>-6</sup>                 | 6,95 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 92                        | 1,61 x 10 <sup>-5</sup>    | 1,00 x 10 <sup>-3</sup>                 | 7,42 x 10 <sup>-6</sup>   | 8,23 x 10 <sup>-7</sup>     | 1,05 x 10 <sup>-5</sup>     | 1,05 x 10 <sup>-6</sup>   | 1,64 x 10 <sup>-5</sup>    | 1,1 x 10 <sup>-5</sup>                  | 1,44 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 93                        | 1,87 x 10 <sup>-5</sup>    | 4,56 x 10 <sup>-4</sup>                 | 1,20 x 10 <sup>-5</sup>   | 5,76 x 10 <sup>-6</sup>     | 1,80 x 10 <sup>-5</sup>     | 1,05 x 10 <sup>-6</sup>   | 2,91 x 10 <sup>-5</sup>    | 1,98 x 10 <sup>-5</sup>                 | 1,39 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 94                        | 3,13 x 10 <sup>-5</sup>    | 6,22 x 10 <sup>-4</sup>                 | 1,64 x 10 <sup>-5</sup>   | 8,64 x 10 <sup>-6</sup>     | 2,30 x 10 <sup>-5</sup>     | < l.d.                    | 4,96 x 10 <sup>-5</sup>    | 1,71 x 10 <sup>-5</sup>                 | 1,88 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 95                        | 2,00 x 10 <sup>-5</sup>    | 8,94 x 10 <sup>-4</sup>                 | 1,25 x 10 <sup>-5</sup>   | 3,70 x 10 <sup>-6</sup>     | 1,25 x 10 <sup>-5</sup>     | < l.d.                    | 3,41 x 10 <sup>-5</sup>    | 7,26 x 10 <sup>-6</sup>                 | 2,12 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 96                        | 1,78 x 10 <sup>-5</sup>    | 1,23 x 10 <sup>-3</sup>                 | 1,61 x 10 <sup>-5</sup>   | 3,29 x 10 <sup>-6</sup>     | 1,25 x 10 <sup>-5</sup>     | < l.d.                    | 2,99 x 10 <sup>-5</sup>    | 3,39 x 10 <sup>-6</sup>                 | 1,32 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 97                        | 3,09 x 10 <sup>-5</sup>    | 5,85 x 10 <sup>-4</sup>                 | 2,56 x 10 <sup>-5</sup>   | 2,88 x 10 <sup>-6</sup>     | 5,44 x 10 <sup>-5</sup>     | 1,58 x 10 <sup>-6</sup>   | 4,40 x 10 <sup>-5</sup>    | < l.d.                                  | 3,34 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 98                        | 2,22 x 10 <sup>-5</sup>    | 5,58 x 10 <sup>-4</sup>                 | 1,74 x 10 <sup>-5</sup>   | 8,64 x 10 <sup>-6</sup>     | 1,92 x 10 <sup>-5</sup>     | < l.d.                    | 3,53 x 10 <sup>-5</sup>    | 9,05 x 10 <sup>-5</sup>                 | 3,55 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 99                        | 3,35 x 10 <sup>-5</sup>    | 5,97 x 10 <sup>-4</sup>                 | 2,99 x 10 <sup>-5</sup>   | 4,11 x 10 <sup>-7</sup>     | 2,40 x 10 <sup>-5</sup>     | < l.d.                    | 8,35 x 10 <sup>-5</sup>    | 2,13 x 10 <sup>-5</sup>                 | 1,24 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 100                       | 2,35 x 10 <sup>-5</sup>    | 5,27 x 10 <sup>-4</sup>                 | 3,43 x 10 <sup>-5</sup>   | 3,29 x 10 <sup>-6</sup>     | 1,07 x 10 <sup>-5</sup>     | < l.d.                    | 5,33 x 10 <sup>-5</sup>    | 3,29 x 10 <sup>-4</sup>                 | 6,23 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 101                       | 2,91 x 10 <sup>-5</sup>    | 6,34 x 10 <sup>-4</sup>                 | 4,35 x 10 <sup>-5</sup>   | 1,65 x 10 <sup>-6</sup>     | 3,33 x 10 <sup>-4</sup>     | < l.d.                    | 4,37 x 10 <sup>-5</sup>    | 3,23 x 10 <sup>-5</sup>                 | 7,39 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 102                       | 1,83 x 10 <sup>-5</sup>    | 7,39 x 10 <sup>-4</sup>                 | 4,58 x 10 <sup>-5</sup>   | 6,17 x 10 <sup>-6</sup>     | 1,76 x 10 <sup>-4</sup>     | < l.d.                    | 2,03 x 10 <sup>-5</sup>    | 3,6 x 10 <sup>-5</sup>                  | 5,92 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 103                       | 2,26 x 10 <sup>-5</sup>    | 5,39 x 10 <sup>-4</sup>                 | 1,87 x 10 <sup>-5</sup>   | 1,89 x 10 <sup>-5</sup>     | 2,62 x 10 <sup>-5</sup>     | 1,05 x 10 <sup>-6</sup>   | 3,55 x 10 <sup>-5</sup>    | 5,87 x 10 <sup>-5</sup>                 | 2,07 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 104                       | 2,17 x 10 <sup>-5</sup>    | 5,14 x 10 <sup>-4</sup>                 | 1,48 x 10 <sup>-5</sup>   | 1,73 x 10 <sup>-5</sup>     | 4,22 x 10 <sup>-5</sup>     | 1,05 x 10 <sup>-6</sup>   | 2,74 x 10 <sup>-5</sup>    | 1,11 x 10 <sup>-5</sup>                 | 1,98 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 105                       | 1,00 x 10 <sup>-5</sup>    | 9,19 x 10 <sup>-4</sup>                 | 1,10 x 10 <sup>-5</sup>   | 6,58 x 10 <sup>-6</sup>     | 1,27 x 10 <sup>-5</sup>     | < l.d.                    | 1,58 x 10 <sup>-5</sup>    | 9,03 x 10 <sup>-6</sup>                 | 4,37 x 10 <sup>-6</sup>                  |

TABELA A19 – CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE CHUVA DO MÊS DE NOVEMBRO/2000

| DIA     | AMOSTRA N <sup>o</sup> | HORÁRIO       | VOLUME (mL) | INTENSIDADE (mm/h) | T (°C) | pH   | H <sup>+</sup> (mol/L) | COND. (μS/cm) | DIREÇÃO DOS VENTOS | AC <sup>-</sup> (mol/L) | FOR <sup>-</sup> (mol/L) |
|---------|------------------------|---------------|-------------|--------------------|--------|------|------------------------|---------------|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| 10      | 106                    | 3h - 4h       | 166         | 1,58               | 15,3   | 6,40 | $3,98 \times 10^{-7}$  | 28,5          | norte              | $1,05 \times 10^{-6}$   | < l.d.                   |
| 10      | 107                    | 16h – 17h     | 496         | 7,02               | 21,7   | 6,80 | $1,58 \times 10^{-7}$  | 27,6          | nordeste           | $9,99 \times 10^{-6}$   | < l.d.                   |
| 13 e 14 | 108                    | 20h – 2h      | 1032        | 2,43               | 14,4   | 5,60 | $2,51 \times 10^{-6}$  | 5,29          | leste              | $5,26 \times 10^{-7}$   | < l.d.                   |
| 17      | 109                    | 18h20 – 20h   | 774         | 6,56               | 15,2   | 6,56 | $2,75 \times 10^{-7}$  | 12,74         | leste              | $7,01 \times 10^{-7}$   | < l.d.                   |
| 20      | 110                    | 12h20 – 13h   | 1300        | 27,45              | 20,9   | 6,61 | $2,45 \times 10^{-7}$  | 7,97          | leste              | $8,77 \times 10^{-7}$   | < l.d.                   |
| 20      | 111                    | 4h – 6h       | 510         | 7,22               | 15,7   | 6,59 | $2,57 \times 10^{-7}$  | 11,89         | leste              | $8,77 \times 10^{-7}$   | < l.d.                   |
| 21      | 112                    | 12h30 – 13h30 | 370         | 5,23               | 17,2   | 5,86 | $1,38 \times 10^{-6}$  | 10,86         | leste              | $7,01 \times 10^{-7}$   | < l.d.                   |
| 21      | 113                    | 13h30- 14h30  | 466         | 6,59               | 16,6   | 6,07 | $8,51 \times 10^{-7}$  | 6,90          | leste              | $1,40 \times 10^{-6}$   | < l.d.                   |
| 21      | 114                    | 14h30 – 15h30 | 70          | 0,99               | 16,6   | 6,09 | $8,13 \times 10^{-7}$  | 13,06         | leste              | < l.d.                  | < l.d.                   |
| 21      | 115                    | 15h30 – 16h30 | 62          | 0,88               | 16,9   | 5,53 | $2,95 \times 10^{-6}$  | 9,13          | leste              | $8,77 \times 10^{-7}$   | < l.d.                   |
| 24      | 116                    | 18h00 – 19h30 | 900         | 8,49               | 19,5   | 6,45 | $3,55 \times 10^{-7}$  | 9,40          | oeste              | $5,26 \times 10^{-7}$   | < l.d.                   |
| 30      | 117                    | 6h30 – 9h     | 1450        | 8,20               | 16,5   | 5,56 | $2,75 \times 10^{-6}$  | 13,55         | leste              | < l.d.                  | < l.d.                   |
| 30      | 118                    | 9h – 10h      | 9           | 8,21               | 16,5   | 5,89 | $1,29 \times 10^{-6}$  | 19,82         | leste              | < l.d.                  | < l.d.                   |
| 30      | 119                    | 10h – 11h30   | 60          | 1,70               | 16,7   | 5,98 | $1,05 \times 10^{-6}$  | 24,80         | leste              | < l.d.                  | < l.d.                   |
| 30      | 120                    | 12h - 14h     | 360         | 2,55               | 16,7   | 6,01 | $9,77 \times 10^{-7}$  | 6,26          | leste              | < l.d.                  | < l.d.                   |
| 30      | 121                    | 14h – 15h     | 145         | 2,05               | 16,9   | 6,09 | $8,13 \times 10^{-7}$  | 12,39         | leste              | < l.d.                  | < l.d.                   |
| 30      | 122                    | 15h – 16h     | 52          | 0,74               | 17,0   | 6,35 | $4,47 \times 10^{-7}$  | 11,63         | leste              | < l.d.                  | < l.d.                   |
| 30      | 123                    | 16h - 16h50   | 10,04       | 0,17               | 17,1   | 6,54 | $2,88 \times 10^{-7}$  | 6,01          | leste              | < l.d.                  | < l.d.                   |
| 30      | 124                    | 19h – 21h     | 210         | 1,49               | 15,7   | 6,87 | $1,35 \times 10^{-7}$  | 9,32          | leste              | < l.d.                  | < l.d.                   |

TABELA A20 – CONCENTRAÇÃO DOS CÁTIONS E ÂNIONS PRESENTES NA ÁGUA DA CHUVA EM NOVEMBRO/2000

| AMOSTRA<br>N <sup>o</sup> | Na <sup>+</sup><br>(mol/L) | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup><br>(mol/L) | K <sup>+</sup><br>(mol/L) | Mg <sup>+2</sup><br>(mol/L) | Ca <sup>+2</sup><br>(mol/L) | F <sup>-</sup><br>(mol/L) | Cl <sup>-</sup><br>(mol/L) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>(mol/L) | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup><br>(mol/L) |
|---------------------------|----------------------------|---|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|---|--|
| 106                       | 3,18 x 10 <sup>-5</sup>    | 3,78 x 10 <sup>-4</sup>                 | 1,74 x 10 <sup>-5</sup>   | 9,87 x 10 <sup>-6</sup>     | 1,60 x 10 <sup>-5</sup>     | 1,05 x 10 <sup>-6</sup>   | 5,36 x 10 <sup>-5</sup>    | 2,34 x 10 <sup>-4</sup>                 | 2,81 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 107                       | 2,13 x 10 <sup>-5</sup>    | 6,67 x 10 <sup>-4</sup>                 | 2,12 x 10 <sup>-5</sup>   | 1,85 x 10 <sup>-5</sup>     | 6,79 x 10 <sup>-5</sup>     | 1,58 x 10 <sup>-6</sup>   | 4,48 x 10 <sup>-5</sup>    | 2,00 x 10 <sup>-5</sup>                 | 1,30 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 108                       | 6,96 x 10 <sup>-6</sup>    | 4,69 x 10 <sup>-4</sup>                 | 1,59 x 10 <sup>-5</sup>   | 4,11 x 10 <sup>-6</sup>     | 7,98 x 10 <sup>-6</sup>     | < l.d.                    | 9,31 x 10 <sup>-6</sup>    | < l.d.                                  | < l.d.                                   |
| 109                       | 1,57 x 10 <sup>-5</sup>    | 5,46 x 10 <sup>-4</sup>                 | 9,97 x 10 <sup>-6</sup>   | 6,17 x 10 <sup>-6</sup>     | 9,98 x 10 <sup>-6</sup>     | < l.d.                    | 2,59 x 10 <sup>-5</sup>    | 9,03 x 10 <sup>-6</sup>                 | 1,11 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 110                       | 8,70 x 10 <sup>-6</sup>    | 5,42 x 10 <sup>-4</sup>                 | 7,16 x 10 <sup>-6</sup>   | 3,70 x 10 <sup>-6</sup>     | 1,32 x 10 <sup>-5</sup>     | < l.d.                    | 1,72 x 10 <sup>-5</sup>    | 1,45 x 10 <sup>-5</sup>                 | 7,70 x 10 <sup>-6</sup>                  |
| 111                       | 1,52 x 10 <sup>-5</sup>    | 6,40 x 10 <sup>-4</sup>                 | 7,16 x 10 <sup>-6</sup>   | 4,11 x 10 <sup>-6</sup>     | 1,40 x 10 <sup>-5</sup>     | < l.d.                    | 1,92 x 10 <sup>-5</sup>    | 1,50 x 10 <sup>-5</sup>                 | 8,02 x 10 <sup>-6</sup>                  |
| 112                       | 4,13 x 10 <sup>-5</sup>    | 4,15 x 10 <sup>-4</sup>                 | 4,35 x 10 <sup>-6</sup>   | 1,23 x 10 <sup>-6</sup>     | 5,99 x 10 <sup>-6</sup>     | < l.d.                    | 1,55 x 10 <sup>-5</sup>    | 1,63 x 10 <sup>-5</sup>                 | 1,77 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 113                       | 4,13 x 10 <sup>-5</sup>    | 3,80 x 10 <sup>-4</sup>                 | 3,84 x 10 <sup>-6</sup>   | < l.d.                      | 2,25 x 10 <sup>-6</sup>     | < l.d.                    | 1,02 x 10 <sup>-5</sup>    | 4,35 x 10 <sup>-6</sup>                 | 4,16 x 10 <sup>-6</sup>                  |
| 114                       | 2,91 x 10 <sup>-5</sup>    | 2,40 x 10 <sup>-3</sup>                 | 1,10 x 10 <sup>-5</sup>   | 8,23 x 10 <sup>-7</sup>     | 5,49 x 10 <sup>-6</sup>     | 5,79 x 10 <sup>-5</sup>   | 1,49 x 10 <sup>-5</sup>    | 4,19 x 10 <sup>-6</sup>                 | < l.d.                                   |
| 115                       | 3,65 x 10 <sup>-5</sup>    | 3,98 x 10 <sup>-4</sup>                 | 1,48 x 10 <sup>-5</sup>   | 1,23 x 10 <sup>-6</sup>     | 6,99 x 10 <sup>-6</sup>     | < l.d.                    | 2,09 x 10 <sup>-5</sup>    | 8,39 x 10 <sup>-6</sup>                 | 7,29 x 10 <sup>-6</sup>                  |
| 116                       | 4,78 x 10 <sup>-6</sup>    | 4,74 x 10 <sup>-4</sup>                 | 6,65 x 10 <sup>-6</sup>   | 4,53 x 10 <sup>-6</sup>     | 1,10 x 10 <sup>-5</sup>     | < l.d.                    | 6,21 x 10 <sup>-6</sup>    | 1,34 x 10 <sup>-5</sup>                 | 9,06 x 10 <sup>-6</sup>                  |
| 117                       | 3,61 x 10 <sup>-5</sup>    | 3,37 x 10 <sup>-4</sup>                 | 3,32 x 10 <sup>-6</sup>   | 1,65 x 10 <sup>-6</sup>     | 4,24 x 10 <sup>-6</sup>     | < l.d.                    | 7,05 x 10 <sup>-6</sup>    | 4,68 x 10 <sup>-6</sup>                 | < l.d.                                   |
| 118                       | 2,91 x 10 <sup>-5</sup>    | 1,47 x 10 <sup>-3</sup>                 | 4,09 x 10 <sup>-5</sup>   | 5,35 x 10 <sup>-6</sup>     | 4,24 x 10 <sup>-5</sup>     | < l.d.                    | 4,63 x 10 <sup>-5</sup>    | 9,77 x 10 <sup>-5</sup>                 | 1,68 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 119                       | 3,74 x 10 <sup>-5</sup>    | 3,59 x 10 <sup>-3</sup>                 | 1,94 x 10 <sup>-5</sup>   | 1,65 x 10 <sup>-6</sup>     | 8,48 x 10 <sup>-6</sup>     | < l.d.                    | 2,09 x 10 <sup>-5</sup>    | 1,10 x 10 <sup>-5</sup>                 | 6,97 x 10 <sup>-6</sup>                  |
| 120                       | 1,22 x 10 <sup>-5</sup>    | 7,69 x 10 <sup>-5</sup>                 | 6,14 x 10 <sup>-6</sup>   | <2,06 x 10 <sup>-7</sup>    | 4,74 x 10 <sup>-6</sup>     | < l.d.                    | 8,18 x 10 <sup>-6</sup>    | < l.d.                                  | < l.d.                                   |
| 121                       | 5,39 x 10 <sup>-5</sup>    | 2,11 x 10 <sup>-4</sup>                 | 1,02 x 10 <sup>-5</sup>   | <2,06 x 10 <sup>-7</sup>    | 4,99 x 10 <sup>-6</sup>     | < l.d.                    | 1,35 x 10 <sup>-5</sup>    | 2,58 x 10 <sup>-6</sup>                 | 3,33 x 10 <sup>-6</sup>                  |
| 122                       | 1,48 x 10 <sup>-5</sup>    | 3,78 x 10 <sup>-4</sup>                 | 1,46 x 10 <sup>-5</sup>   | <2,06 x 10 <sup>-7</sup>    | 5,99 x 10 <sup>-6</sup>     | < l.d.                    | 1,55 x 10 <sup>-5</sup>    | 3,06 x 10 <sup>-6</sup>                 | 3,64 x 10 <sup>-6</sup>                  |
| 123                       | < l.d.                     | < l.d.                                  | < l.d.                    | < l.d.                      | < l.d.                      | < l.d.                    | 5,42 x 10 <sup>-5</sup>    | 9,27 x 10 <sup>-5</sup>                 | 1,03 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 124                       | 1,22 x 10 <sup>-5</sup>    | 5,20 x 10 <sup>-4</sup>                 | 1,36 x 10 <sup>-5</sup>   | 8,23 x 10 <sup>-7</sup>     | 5,99 x 10 <sup>-6</sup>     | < l.d.                    | 2,28 x 10 <sup>-5</sup>    | < l.d.                                  | < l.d.                                   |

TABELA A23 – CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE CHUVA DO MÊS DE JANEIRO/2000

| DIA     | AMOSTRA N <sup>o</sup> | HORÁRIO       | VOLUME (mL) | INTENSIDADE (mm/h) | T (°C) | pH   | H <sup>+</sup> (mol/L)  | COND. (μS/cm) | DIREÇÃO DOS VENTOS | AC <sup>-</sup> (mol/L) | FOR <sup>-</sup> (mol/L) |
|---------|------------------------|---------------|-------------|--------------------|--------|------|-------------------------|---------------|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| 07      | 132                    | 16h – 16h30   | 110         | 3,11               | 24,6   | 6,5  | 3,16 x 10 <sup>-7</sup> | 19,45         | oeste              | -                       | -                        |
| 08      | 133                    | 14h18 – 14h43 | 138         | 4,65               | 26,2   | 6,2  | 6,31 x 10 <sup>-7</sup> | 16,39         | sudoeste           | -                       | -                        |
| 11 e 12 | 134                    | 17h – 8h      | 780         | 0,74               | 18,4   | 5,86 | 1,38 x 10 <sup>-6</sup> | 9,92          | norte              | -                       | -                        |
| 12      | 135                    | 9h30 – 10h30  | 34          | 0,48               | 15,9   | 6,41 | 3,89 x 10 <sup>-7</sup> | 21,9          | norte              | -                       | -                        |
| 12      | 136                    | 10h30 – 11h30 | 58          | 0,82               | 16,7   | 6,33 | 4,68 x 10 <sup>-7</sup> | 18,08         | norte              | -                       | -                        |
| 12      | 137                    | 11h30 – 12h30 | 42          | 0,59               | 16,8   | 6,56 | 2,75 x 10 <sup>-7</sup> | 20,99         | norte              | -                       | -                        |
| 12      | 138                    | 12h30 – 14h30 | 142         | 1,40               | 17,6   | 6,27 | 5,37 x 10 <sup>-7</sup> | 8,11          | norte              | -                       | -                        |
| 12      | 139                    | 14h30 – 15h50 | 80          | 3,43               | 17,8   | 6,36 | 4,37 x 10 <sup>-7</sup> | 7,90          | nordeste           | -                       | -                        |
| 12      | 140                    | 15h50 – 16h50 | 76          | 1,08               | 17,2   | 6,46 | 3,47 x 10 <sup>-7</sup> | 6,01          | nordeste           | -                       | -                        |
| 15      | 141                    | 19h – 19h40   | 70          | 1,50               | 22,4   | 6,42 | 3,80 x 10 <sup>-7</sup> | 17,27         | nordeste           | -                       | -                        |
| 16      | 142                    | 20h – 20h30   | 100         | 2,83               | 21,9   | 6,58 | 2,63 x 10 <sup>-7</sup> | 23,20         | nordeste           | -                       | -                        |
| 22      | 143                    | 16h – 16h20   | 64          | 1,81               | 27,9   | 6,42 | 3,80 x 10 <sup>-7</sup> | 18,07         | nordeste           | -                       | -                        |
| 30      | 144                    | 15h40 – 16h10 | 1025        | 72,50              | 24,2   | 6,48 | 3,31 x 10 <sup>-7</sup> | 9,56          | norte              | -                       | -                        |

TABELA A24 – CONCENTRAÇÃO DOS CÁTIOS E ÂNIOS PRESENTES NA ÁGUA DA CHUVA EM JANEIRO/2000

| AMOSTRA N <sup>o</sup> | Na <sup>+</sup> (mol/L) | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mol/L) | K <sup>+</sup> (mol/L)  | Mg <sup>+2</sup> (mol/L) | Ca <sup>+2</sup> (mol/L) | F <sup>-</sup> (mol/L) | Cl <sup>-</sup> (mol/L) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mol/L) | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mol/L) |
|------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 132                    | 7,05 x 10 <sup>-5</sup> | 1,61 x 10 <sup>-4</sup>              | 1,02 x 10 <sup>-5</sup> | < l.d. <sup>7</sup>      | 1,25 x 10 <sup>-5</sup>  | < l.d.                 | 4,17 x 10 <sup>-5</sup> | 1,98 x 10 <sup>-5</sup>              | 4,04 x 10 <sup>-5</sup>               |
| 133                    | 2,04 x 10 <sup>-5</sup> | 5,75 x 10 <sup>-5</sup>              | 1,38 x 10 <sup>-5</sup> | 2,47 x 10 <sup>-6</sup>  | 1,07 x 10 <sup>-5</sup>  | < l.d.                 | 2,06 x 10 <sup>-5</sup> | 1,25 x 10 <sup>-4</sup>              | 5,73 x 10 <sup>-6</sup>               |
| 134                    | 6,96 x 10 <sup>-6</sup> | 2,41 x 10 <sup>-5</sup>              | 5,63 x 10 <sup>-6</sup> | 2,55 x 10 <sup>-5</sup>  | < l.d.                   | < l.d.                 | 7,05 x 10 <sup>-6</sup> | 5,97 x 10 <sup>-6</sup>              | 3,44 x 10 <sup>-6</sup>               |
| 135                    | 6,44 x 10 <sup>-5</sup> | 1,42 x 10 <sup>-4</sup>              | 4,02 x 10 <sup>-5</sup> | < l.d.                   | 1,95 x 10 <sup>-5</sup>  | < l.d.                 | 8,83 x 10 <sup>-5</sup> | 1,45 x 10 <sup>-5</sup>              | 6,66 x 10 <sup>-6</sup>               |
| 136                    | 5,61 x 10 <sup>-5</sup> | 6,58 x 10 <sup>-5</sup>              | 3,58 x 10 <sup>-5</sup> | < l.d.                   | 1,52 x 10 <sup>-5</sup>  | < l.d.                 | 7,11 x 10 <sup>-5</sup> | 7,42 x 10 <sup>-6</sup>              | 1,98 x 10 <sup>-6</sup>               |
| 137                    | 5,57 x 10 <sup>-5</sup> | 1,58 x 10 <sup>-4</sup>              | 3,68 x 10 <sup>-5</sup> | 1,23 x 10 <sup>-6</sup>  | 2,00 x 10 <sup>-5</sup>  | < l.d.                 | 6,68 x 10 <sup>-5</sup> | 1 x 10 <sup>-5</sup>                 | 6,14 x 10 <sup>-6</sup>               |
| 138                    | 2,09 x 10 <sup>-5</sup> | 2,41 x 10 <sup>-5</sup>              | 1,43 x 10 <sup>-5</sup> | < l.d.                   | 1,52 x 10 <sup>-5</sup>  | < l.d.                 | 2,40 x 10 <sup>-5</sup> | 5,64 x 10 <sup>-6</sup>              | < l.d.                                |
| 139                    | 2,35 x 10 <sup>-5</sup> | 1,40 x 10 <sup>-4</sup>              | 1,61 x 10 <sup>-5</sup> | 2,02 x 10 <sup>-5</sup>  | < l.d.                   | < l.d.                 | 2,40 x 10 <sup>-5</sup> | < l.d.                               | 3,12 x 10 <sup>-7</sup>               |
| 140                    | 2,13 x 10 <sup>-5</sup> | 2,17 x 10 <sup>-5</sup>              | 1,30 x 10 <sup>-5</sup> | < l.d.                   | 5,24 x 10 <sup>-6</sup>  | < l.d.                 | 2,40 x 10 <sup>-5</sup> | < l.d.                               | < l.d.                                |
| 141                    | 4,09 x 10 <sup>-5</sup> | 2,06 x 10 <sup>-5</sup>              | 1,56 x 10 <sup>-5</sup> | < l.d.                   | 1,22 x 10 <sup>-5</sup>  | < l.d.                 | 6,97 x 10 <sup>-5</sup> | 1,77 x 10 <sup>-5</sup>              | 8,74 x 10 <sup>-6</sup>               |
| 142                    | 5,65 x 10 <sup>-5</sup> | 5,99 x 10 <sup>-5</sup>              | 2,86 x 10 <sup>-5</sup> | 4,11 x 10 <sup>-6</sup>  | 1,40 x 10 <sup>-5</sup>  | < l.d.                 | 7,56 x 10 <sup>-5</sup> | 3,37 x 10 <sup>-5</sup>              | 9,79 x 10 <sup>-6</sup>               |
| 143                    | 3,44 x 10 <sup>-5</sup> | 1,53 x 10 <sup>-5</sup>              | 2,15 x 10 <sup>-5</sup> | 2,06 x 10 <sup>-6</sup>  | 8,98 x 10 <sup>-6</sup>  | < l.d.                 | 4,82 x 10 <sup>-5</sup> | 7,6 x 10 <sup>-5</sup>               | 1,24 x 10 <sup>-5</sup>               |
| 144                    | 1,00 x 10 <sup>-5</sup> | 2,99 x 10 <sup>-5</sup>              | 6,14 x 10 <sup>-6</sup> | 2,06 x 10 <sup>-6</sup>  | 1,25 x 10 <sup>-5</sup>  | < l.d.                 | 1,41 x 10 <sup>-5</sup> | 7,9 x 10 <sup>-6</sup>               | 8,02 x 10 <sup>-6</sup>               |

< l.d. – maior que o limite de detecção da técnica utilizada

<2,17 x 10<sup>-7</sup> - nível de detecção cromatográfica, em mol/L, de íon Na<sup>+</sup>

<2,94 x 10<sup>-7</sup> - nível de detecção cromatográfica, em mol/L, de íon NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

<1,28 x 10<sup>-7</sup> - nível de detecção cromatográfica, em mol/L, de íon K<sup>+</sup>

<2,06 x 10<sup>-7</sup> - nível de detecção cromatográfica, em mol/L, de íon Mg<sup>2+</sup>

<1,25 x 10<sup>-7</sup> - nível de detecção cromatográfica, em mol/L, de íon Ca<sup>2+</sup>

<2,63 x 10<sup>-7</sup> - nível de detecção cromatográfica, em mol/L, de íon F<sup>-</sup>

<8,06 x 10<sup>-8</sup> - nível de detecção cromatográfica, em mol/L, de íon NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

<5,20 x 10<sup>-8</sup> - nível de detecção cromatográfica, em mol/L, de íon SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>

## RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DA CHUVA DA CIDADE DE ARAUCÁRIA

TABELA B1 – CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE CHUVA DE ARAUCÁRIA/2000

| DIA/MÊS/ANO      | AMOSTRA N <sup>o</sup> | TEMPO DE DURAÇÃO (h) | VOLUME (mL)  | INTENSIDADE (mm/h) | T (°C) | pH          | H <sup>+</sup> (mol/L)        | COND. (μS/cm) | DIREÇÃO DOS VENTOS |
|------------------|------------------------|----------------------|--------------|--------------------|--------|-------------|-------------------------------|---------------|--------------------|
| 02/maio/2000     | 1                      | 24                   | 45           | 0,64               | 26,4   | 6,88        | 1,32 x 10 <sup>-7</sup>       | 600,0         | sudeste            |
| 02/maio/2000     | 2                      | 24                   | 30           | 0,42               | 26,4   | 6,30        | 5,01 x 10 <sup>-7</sup>       | 861,0         | sudeste            |
| 02/maio/2000     | 3                      | 24                   | 95           | 1,34               | 26,4   | 5,30        | 5,01 x 10 <sup>-6</sup>       | 245,0         | sudeste            |
| -                | <b>média</b>           |                      | <b>56,6</b>  | <b>0,80</b>        |        | <b>5,72</b> | <b>1,88 x 10<sup>-7</sup></b> | <b>568,67</b> | -                  |
| 03/maio/2000     | 4                      | 24                   | 180          | 2,55               | 23,9   | 4,90        | 1,26 x 10 <sup>-5</sup>       | 157,9         | oeste              |
| 03/maio/2000     | 5                      | 24                   | 170          | 2,40               | 23,9   | 4,60        | 2,51 x 10 <sup>-5</sup>       | 68,3          | oeste              |
| 03/maio/2000     | 6                      | 24                   | 220          | 3,11               | 23,9   | 6,52        | 3,02 x 10 <sup>-7</sup>       | 49,9          | oeste              |
| 03/maio/2000     | 7                      | 24                   | 195          | 2,76               | 23,6   | 6,60        | 2,51 x 10 <sup>-7</sup>       | 38,3          | sudeste            |
| -                | <b>média</b>           |                      | <b>191,3</b> | <b>2,71</b>        |        | <b>5,02</b> | <b>0,56 x 10<sup>-6</sup></b> | <b>78,5</b>   | -                  |
| 04/maio/2000     | 8                      | 24                   | 240          | 3,40               | 23,6   | 6,80        | 1,58 x 10 <sup>-7</sup>       | 64            | sudeste            |
| 04/maio/2000     | 9                      | 24                   | 320          | 4,53               | 23,6   | 6,90        | 1,26 x 10 <sup>-7</sup>       | 36            | sudeste            |
| 04/maio/2000     | 10                     | 24                   | 345          | 4,88               | 23,6   | 6,80        | 1,59 x 10 <sup>-7</sup>       | 30            | sudeste            |
| 04/maio/2000     | 11                     | 24                   | 558          | 7,89               | 23,6   | 6,50        | 3,16 x 10 <sup>-7</sup>       | 24            | sudeste            |
| 04/maio/2000     | 12                     | 24                   | 600          | 8,49               | 23,6   | 6,30        | 5,01 x 10 <sup>-7</sup>       | 23            | sudeste            |
| -                | <b>média</b>           |                      | <b>412,6</b> | <b>5,84</b>        |        | <b>6,60</b> | <b>2,52 x 10<sup>-7</sup></b> | <b>35,4</b>   | -                  |
| 17/maio/2000     | 13                     | 24                   | 600          | 8,49               | 15,8   | 6,00        | 1,00 x 10 <sup>-6</sup>       | 31            | sudeste            |
| 26/junho/2000    | 14                     | 24                   | 650          | 9,20               | 17,5   | 6,20        | 6,31 x 10 <sup>-7</sup>       | 54            | sudeste            |
| 28/junho/2000    | 15                     | 24                   | 6440         | 91,11              | 21,1   | 5,90        | 1,26 x 10 <sup>-6</sup>       | 11,33         | sul                |
| 05/setembro/2000 | 16                     | 24                   | 7880         | 111,48             | 15,9   | 5,30        | 5,01 x 10 <sup>-6</sup>       | 12,90         | leste              |
| 20/setembro/2000 | 17                     | 24                   | 9950         | 140,76             | 15,4   | 5,75        | 1,78 x 10 <sup>-6</sup>       | 30,0          | leste              |
| 19/outubro/2000  | 18                     | 24                   | 8625         | 122,02             | 18,6   | 5,89        | 1,29 x 10 <sup>-6</sup>       | 14,47         | sudeste            |
| 04/dezembro/2000 | 19                     | 24                   | 7185         | 101,65             | 18,9   | 6,54        | 2,88 x 10 <sup>-7</sup>       | 11,00         | sudeste            |
| 10/janeiro/2001  | 20                     | 24                   | 4780         | 67,62              | 20,0   | 5,70        | 2,00 x 10 <sup>-6</sup>       | 9,84          | norte              |
| 30/janeiro/2001  | 21                     | 24                   | 8265         | 116,93             | 15,5   | 6,04        | 9,12 x 10 <sup>-7</sup>       | 19,72         | sudeste            |

TABELA B2 – CONCENTRAÇÃO DOS CÁTIONS E ÂNIONS PRESENTES NA ÁGUA DA CHUVA DE ARAUCÁRIA/2000

| N <sup>o</sup> | Na <sup>+</sup><br>(mol/L)    | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup><br>(mol/L) | K <sup>+</sup><br>(mol/L)     | Mg <sup>+2</sup><br>(mol/L)   | Ca <sup>+2</sup><br>(mol/L)   | F <sup>-</sup><br>(mol/L)     | Cl <sup>-</sup><br>(mol/L)    | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>(mol/L) | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup><br>(mol/L) |
|----------------|-------------------------------|---|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---|--|
| 1              | 2,22 x 10 <sup>-3</sup>       | 2,52 x 10 <sup>-3</sup>                 | 2,56 x 10 <sup>-4</sup>       | 2,10 x 10 <sup>-4</sup>       | 5,24 x 10 <sup>-4</sup>       | 3,95 x 10 <sup>-5</sup>       | 2,20 x 10 <sup>-4</sup>       | 3,55 x 10 <sup>-4</sup>                 | 3,25 x 10 <sup>-3</sup>                  |
| 2              | 3,70 x 10 <sup>-3</sup>       | 9,98 x 10 <sup>-4</sup>                 | 1,07 x 10 <sup>-3</sup>       | 2,89 x 10 <sup>-4</sup>       | 4,99 x 10 <sup>-4</sup>       | 2,63 x 10 <sup>-5</sup>       | 5,64 x 10 <sup>-4</sup>       | 4,35 x 10 <sup>-4</sup>                 | 4,29 x 10 <sup>-3</sup>                  |
| 3              | 7,83 x 10 <sup>-4</sup>       | 5,28 x 10 <sup>-4</sup>                 | 2,56 x 10 <sup>-4</sup>       | 1,19 x 10 <sup>-4</sup>       | 1,97 x 10 <sup>-4</sup>       | 1,21 x 10 <sup>-5</sup>       | 2,82 x 10 <sup>-4</sup>       | 1,77 x 10 <sup>-4</sup>                 | 9,47 x 10 <sup>-4</sup>                  |
| <b>média</b>   | <b>2,2 x 10<sup>-3</sup></b>  | <b>1,35 x 10<sup>-3</sup></b>           | <b>5,27 x 10<sup>-4</sup></b> | <b>2,06 x 10<sup>-4</sup></b> | <b>4,07 x 10<sup>-4</sup></b> | <b>2,60 x 10<sup>-5</sup></b> | <b>3,55 x 10<sup>-4</sup></b> | <b>3,22 x 10<sup>-4</sup></b>           | <b>2,83 x 10<sup>-3</sup></b>            |
| 4              | 5,22 x 10 <sup>-4</sup>       | 1,12 x 10 <sup>-4</sup>                 | 6,91 x 10 <sup>-5</sup>       | 5,76 x 10 <sup>-5</sup>       | 1,37 x 10 <sup>-4</sup>       | 6,32 x 10 <sup>-6</sup>       | 7,62 x 10 <sup>-5</sup>       | 5,97 x 10 <sup>-5</sup>                 | 5,93 x 10 <sup>-4</sup>                  |
| 5              | 1,83 x 10 <sup>-4</sup>       | 1,12 x 10 <sup>-4</sup>                 | 3,32 x 10 <sup>-5</sup>       | 2,14 x 10 <sup>-5</sup>       | 5,74 x 10 <sup>-5</sup>       | 4,74 x 10 <sup>-6</sup>       | 5,64 x 10 <sup>-5</sup>       | 3,23 x 10 <sup>-5</sup>                 | 1,67 x 10 <sup>-4</sup>                  |
| 6              | 1,78 x 10 <sup>-4</sup>       | 1,06 x 10 <sup>-5</sup>                 | 3,58 x 10 <sup>-5</sup>       | 1,73 x 10 <sup>-5</sup>       | 3,74 x 10 <sup>-5</sup>       | 2,63 x 10 <sup>-6</sup>       | 4,51 x 10 <sup>-5</sup>       | 2,42 x 10 <sup>-5</sup>                 | 1,25 x 10 <sup>-4</sup>                  |
| 7              | 1,00 x 10 <sup>-4</sup>       | 3,82 x 10 <sup>-5</sup>                 | 3,07 x 10 <sup>-5</sup>       | 1,60 x 10 <sup>-5</sup>       | 2,99 x 10 <sup>-5</sup>       | 3,16 x 10 <sup>-6</sup>       | 5,08 x 10 <sup>-5</sup>       | 2,26 x 10 <sup>-5</sup>                 | 6,56 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| <b>média</b>   | <b>2,46 x 10<sup>-4</sup></b> | <b>6,82 x 10<sup>-5</sup></b>           | <b>6,82 x 10<sup>-5</sup></b> | <b>2,81 x 10<sup>-5</sup></b> | <b>6,54 x 10<sup>-5</sup></b> | <b>4,21 x 10<sup>-6</sup></b> | <b>5,71 x 10<sup>-5</sup></b> | <b>3,47 x 10<sup>-5</sup></b>           | <b>2,38 x 10<sup>-4</sup></b>            |
| 8              | 4,78 x 10 <sup>-5</sup>       | 7,63 x 10 <sup>-4</sup>                 | 1,76 x 10 <sup>-5</sup>       | 1,85 x 10 <sup>-5</sup>       | 3,24 x 10 <sup>-5</sup>       | 1,58 x 10 <sup>-6</sup>       | 1,61 x 10 <sup>-5</sup>       | 1,94 x 10 <sup>-5</sup>                 | 7,60 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 9              | 3,35 x 10 <sup>-5</sup>       | 5,87 x 10 <sup>-4</sup>                 | 1,20 x 10 <sup>-5</sup>       | 1,23 x 10 <sup>-5</sup>       | 2,37 x 10 <sup>-5</sup>       | 2,63 x 10 <sup>-6</sup>       | 8,46 x 10 <sup>-6</sup>       | 1,37 x 10 <sup>-5</sup>                 | 4,16 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 10             | 5,22 x 10 <sup>-5</sup>       | 3,41 x 10 <sup>-4</sup>                 | 1,71 x 10 <sup>-5</sup>       | 1,07 x 10 <sup>-5</sup>       | 2,12 x 10 <sup>-5</sup>       | 2,63 x 10 <sup>-6</sup>       | 1,83 x 10 <sup>-5</sup>       | 1,40 x 10 <sup>-5</sup>                 | 3,64 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 11             | 2,87 x 10 <sup>-5</sup>       | 1,35 x 10 <sup>-4</sup>                 | 7,93 x 10 <sup>-6</sup>       | 1,23 x 10 <sup>-5</sup>       | 2,05 x 10 <sup>-5</sup>       | 5,26 x 10 <sup>-7</sup>       | 6,77 x 10 <sup>-6</sup>       | 1,00 x 10 <sup>-5</sup>                 | 3,02 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 12             | 3,65 x 10 <sup>-5</sup>       | 1,23 x 10 <sup>-4</sup>                 | 1,41 x 10 <sup>-5</sup>       | 1,32 x 10 <sup>-5</sup>       | 2,12 x 10 <sup>-5</sup>       | 1,05 x 10 <sup>-6</sup>       | 1,50 x 10 <sup>-5</sup>       | 1,16 x 10 <sup>-5</sup>                 | 2,29 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| <b>média</b>   | <b>3,97 x 10<sup>-5</sup></b> | <b>3,90 x 10<sup>-4</sup></b>           | <b>2,8 x 10<sup>-5</sup></b>  | <b>1,34 x 10<sup>-5</sup></b> | <b>2,38 x 10<sup>-5</sup></b> | <b>1,68 x 10<sup>-6</sup></b> | <b>1,29 x 10<sup>-5</sup></b> | <b>1,37 x 10<sup>-5</sup></b>           | <b>4,14 x 10<sup>-5</sup></b>            |
| 13             | 3,04 x 10 <sup>-4</sup>       | 5,87 x 10 <sup>-4</sup>                 | 9,46 x 10 <sup>-5</sup>       | 6,17 x 10 <sup>-5</sup>       | 1,42 x 10 <sup>-4</sup>       | 3,68 x 10 <sup>-6</sup>       | 1,13 x 10 <sup>-4</sup>       | 5,48 x 10 <sup>-5</sup>                 | 3,33 x 10 <sup>-4</sup>                  |
| 14             | 1,65 x 10 <sup>-5</sup>       | 1,21 x 10 <sup>-3</sup>                 | 5,37 x 10 <sup>-6</sup>       | 6,58 x 10 <sup>-6</sup>       | 1,67 x 10 <sup>-5</sup>       | 1,05 x 10 <sup>-6</sup>       | 1,18 x 10 <sup>-5</sup>       | 1,00 x 10 <sup>-5</sup>                 | 1,25 x 10 <sup>-4</sup>                  |
| 15             | 1,44 x 10 <sup>-5</sup>       | 1,23 x 10 <sup>-5</sup>                 | 5,37 x 10 <sup>-5</sup>       | 4,94 x 10 <sup>-6</sup>       | 9,48 x 10 <sup>-6</sup>       | <2,63 x 10 <sup>-7</sup>      | 7,70 x 10 <sup>-5</sup>       | 2,03 x 10 <sup>-5</sup>                 | 1,84 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 16             | 6,09 x 10 <sup>-6</sup>       | 4,52 x 10 <sup>-5</sup>                 | 3,58 x 10 <sup>-6</sup>       | 2,88 x 10 <sup>-6</sup>       | 1,17 x 10 <sup>-5</sup>       | <2,63 x 10 <sup>-7</sup>      | 2,91 x 10 <sup>-5</sup>       | 3,74 x 10 <sup>-5</sup>                 | 2,01 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 17             | 1,09 x 10 <sup>-5</sup>       | 1,65 x 10 <sup>-4</sup>                 | 4,60 x 10 <sup>-6</sup>       | <2,06 x 10 <sup>-7</sup>      | 3,24 x 10 <sup>-6</sup>       | <2,63 x 10 <sup>-7</sup>      | 1,52 x 10 <sup>-5</sup>       | 1,31 x 10 <sup>-5</sup>                 | 4,51 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 18             | 1,13 x 10 <sup>-5</sup>       | 4,97 x 10 <sup>-4</sup>                 | 2,81 x 10 <sup>-6</sup>       | <2,06 x 10 <sup>-7</sup>      | 6,99 x 10 <sup>-6</sup>       | <2,63 x 10 <sup>-7</sup>      | 5,92 x 10 <sup>-6</sup>       | 9,35 x 10 <sup>-6</sup>                 | 2,47 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 19             | 1,35 x 10 <sup>-5</sup>       | 7,35 x 10 <sup>-4</sup>                 | 5,37 x 10 <sup>-6</sup>       | 1,65 x 10 <sup>-6</sup>       | 3,99 x 10 <sup>-6</sup>       | <2,63 x 10 <sup>-7</sup>      | 1,27 x 10 <sup>-5</sup>       | 1,34 x 10 <sup>-5</sup>                 | 3,20 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 20             | 1,00 x 10 <sup>-5</sup>       | 8,46 x 10 <sup>-5</sup>                 | 4,09 x 10 <sup>-6</sup>       | 1,23 x 10 <sup>-6</sup>       | 5,24 x 10 <sup>-6</sup>       | <2,63 x 10 <sup>-7</sup>      | 5,36 x 10 <sup>-6</sup>       | <8,06 x 10 <sup>-6</sup>                | 1,85 x 10 <sup>-5</sup>                  |
| 21             | 7,83 x 10 <sup>-6</sup>       | 1,48 x 10 <sup>-4</sup>                 | 2,05 x 10 <sup>-6</sup>       | <2,06 x 10 <sup>-7</sup>      | 4,74 x 10 <sup>-6</sup>       | <2,63 x 10 <sup>-7</sup>      | 7,33 x 10 <sup>-6</sup>       | 9,84 x 10 <sup>-6</sup>                 | 4,91 x 10 <sup>-5</sup>                  |

## **ANEXO 2**

### **LAUDO FORNECIDO PELO LACTEC**

**ENSAIO: Determinação de ânions, Cátions e Acetato/Formiato por Cromatografia  
Iônica  
(concentrações em ppm)**



Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento

**ÁREA DE MATERIAIS E QUÍMICA  
UNIDADE DE TECNOLOGIA EM QUÍMICA APLICADA**

**RESULTADO DE ENSAIO**

SOLICITANTE: Rosane Madruga - UFPR

AMOSTRA: ÁGUA DE CHUVA

ENTRADA: -

CÓDIGO:

AMOSTRADOR:  SOLICITANTE  LACTEC

Este documento é emitido em uma via original, respondendo o LACTEC apenas pela veracidade desta via.

**RESULTADOS**

1) ENSAIO: Determinação de ânions, Cátions e Acetato/Formiato por Cromatografia Iônica. Tabelas em Anexo.

Curitiba, 30 de Julho de 2001.

  
Sidney Pacheco – Químico  
CRQ 9 - 09200823

  
Dr. Eduardo Marques Trindade - Químico  
CRQ IX 09200560

**RESULTADOS VÁLIDOS APENAS PARA AS AMOSTRAS ENSAIADAS NO LACTEC**

Centro Politécnico da UFPR • Caixa Postal 19067 • CEP 81531.990 • Curitiba • Paraná • Brasil  
Tel.: + 55 41 361 6200 • Fax: + 55 41 266 3582 • Internet. www.lactec.org.br • E-mail: lactec@lactec.org.br

## Resultados Ânions

| AMOSTRA    | Fluoreto<br>mg/L | Cloreto<br>mg/L | Nitrito<br>mg/L | Brometo<br>mg/L | Nitrato<br>mg/L | Sulfato<br>mg/L |
|------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Araucaria1 | < 0,05           | 2.7             | < 0,05          | < 0,05          | 1.3             | 1.8             |
| Araucaria2 | < 0,05           | 1.0             | < 0,05          | < 0,05          | 2.3             | 1.9             |
| Araucária3 | < 0,05           | 0.19            | < 0,05          | < 0,05          | < 0,05          | 1.8             |
| Araucária4 | < 0,05           | 0.26            | < 0,05          | < 0,05          | 0.61            | 4.7             |
| Araucária5 | < 0,05           | 0.54            | < 0,05          | < 0,05          | 0.81            | 4.3             |
| Araucária6 | < 0,05           | 0.45            | < 0,05          | < 0,05          | 0.83            | 3.1             |
| Araucária7 | < 0,05           | 0.73            | < 0,05          | < 0,05          | 47              | 17              |
| Araucária8 | 3.2              | 0.74            | 0.19            | < 0,05          | 0.81            | 7.3             |
| Araucária9 | < 0,05           | 0.21            | < 0,05          | < 0,05          | 0.58            | 2.4             |
| 001        | 0.07             | 3.2             | < 0,05          | < 0,05          | 14              | 1.1             |
| 002        | < 0,05           | 0.37            | < 0,05          | < 0,05          | 2.3             | 0.83            |
| 003        | < 0,05           | 1.1             | < 0,05          | < 0,05          | 10              | 0.28            |
| 004        | 0.07             | 0.28            | < 0,05          | < 0,05          | 1.5             | 0.61            |
| 005        | < 0,05           | < 0,05          | < 0,05          | < 0,05          | < 0,05          | < 0,05          |
| 006        | < 0,05           | 0.67            | < 0,05          | < 0,05          | 0.60            | 0.74            |
| 007        | < 0,05           | 0.47            | < 0,05          | < 0,05          | < 0,05          | 0.61            |
| 008        | < 0,05           | 1.7             | < 0,05          | < 0,05          | 4.5             | 2.3             |
| 009        | < 0,05           | 1.1             | < 0,05          | < 0,05          | 4.9             | 2.0             |
| 010        | < 0,05           | 0.23            | < 0,05          | < 0,05          | 3.6             | 0.50            |
| 011        | < 0,05           | 2.6             | < 0,05          | < 0,05          | 4.1             | 1.3             |
| 012        | < 0,05           | 0.50            | < 0,05          | < 0,05          | 10              | 0.68            |
| 013        | < 0,05           | 1.8             | < 0,05          | < 0,05          | 1.3             | 0.47            |
| 014        | < 0,05           | 1.7             | < 0,05          | < 0,05          | 9.7             | 0.92            |
| 015        | < 0,05           | 0.73            | < 0,05          | < 0,05          | 0.56            | 0.97            |
| 016        | < 0,05           | 0.90            | < 0,05          | < 0,05          | 2.6             | 1.1             |
| 017        | 0.10             | 0.65            | < 0,05          | < 0,05          | 0.71            | 1.3             |
| 018        | < 0,05           | 0.70            | 0.07            | < 0,05          | 0.40            | 1.0             |
| 019        | 0.15             | 0.74            | < 0,05          | < 0,05          | 13              | 0.79            |
| 020        | < 0,05           | 2.2             | < 0,05          | < 0,05          | 24              | 1.3             |
| 021        | < 0,05           | 0.32            | < 0,05          | < 0,05          | 2.0             | 0.49            |
| 022        | < 0,05           | 2.1             | < 0,05          | < 0,05          | 23              | 1.8             |
| 023        | < 0,05           | 2.2             | < 0,05          | < 0,05          | 13              | 1.1             |
| 024        | < 0,05           | 1.3             | < 0,05          | < 0,05          | 5.6             | 1.5             |
| 025        | < 0,05           | 0.83            | < 0,05          | < 0,05          | 0.41            | 1.4             |
| 026        | 0.44             | 5.8             | < 0,05          | 0.27            | 0.28            | 3.2             |
| 027        | < 0,05           | 1.3             | < 0,05          | 0.31            | 1.1             | 2.3             |
| 028        | < 0,05           | 0.66            | < 0,05          | < 0,05          | 0.85            | 0.77            |
| 029        | < 0,05           | 1.1             | < 0,05          | < 0,05          | 0.56            | 1.7             |
| 030        | < 0,05           | 4.7             | < 0,05          | < 0,05          | 6.3             | 1.9             |
| 031        | < 0,05           | 5.8             | < 0,05          | < 0,05          | 4.0             | 5.4             |
| 032        | 0.47             | 3.3             | < 0,05          | < 0,05          | 15              | 3.5             |
| 033        | < 0,05           | 2.5             | < 0,05          | < 0,05          | 8.9             | 1.3             |
| 034        | < 0,05           | 1.3             | < 0,05          | < 0,05          | 2.0             | 1.0             |
| 035        | < 0,05           | 1.0             | < 0,05          | < 0,05          | 11              | 3.0             |
| 036        | < 0,05           | 0.67            | < 0,05          | < 0,05          | 7.6             | 1.3             |
| 037        | < 0,05           | 1.1             | < 0,05          | < 0,05          | 7.8             | 2.8             |
| 038        | < 0,05           | 1.3             | < 0,05          | < 0,05          | 11              | 1.9             |
| 039        | < 0,05           | 0.78            | < 0,05          | < 0,05          | 1.3             | 1.4             |
| 040        | < 0,05           | 0.67            | < 0,05          | < 0,05          | 0.31            | 0.45            |
| 041        | < 0,05           | 0.55            | < 0,05          | < 0,05          | 4.0             | 0.41            |
| 042        | < 0,05           | 0.76            | 0.22            | < 0,05          | 4.0             | < 0,05          |

*Am*

|     |        |      |        |        |        |      |
|-----|--------|------|--------|--------|--------|------|
| 043 | < 0,05 | 0.45 | < 0,05 | < 0,05 | 0.74   | 4.0  |
| 044 | 0.06   | 2.3  | < 0,05 | < 0,05 | 12     | 5.6  |
| 045 | < 0,05 | 0.20 | 0.15   | < 0,05 | 0.67   | 1.1  |
| 046 | < 0,05 | 0.50 | 12     | < 0,05 | 6.2    | 2.4  |
| 047 | 0.21   | 0.93 | 0.12   | < 0,05 | 1.2    | 2.3  |
| 048 | < 0,05 | 0.73 | < 0,05 | < 0,05 | 2.7    | 1.9  |
| 049 | < 0,05 | 1.2  | < 0,05 | < 0,05 | 2.0    | 4.2  |
| 050 | < 0,05 | 1.1  | < 0,05 | < 0,05 | 0.52   | 2.3  |
| 051 | < 0,05 | 0.53 | < 0,05 | < 0,05 | 1.7    | 2.3  |
| 052 | < 0,05 | 0.19 | < 0,05 | < 0,05 | 0.24   | 1.8  |
| 053 | < 0,05 | 0.48 | < 0,05 | < 0,05 | 1.1    | 3.7  |
| 054 | 0.31   | 0.36 | < 0,05 | < 0,05 | 0.71   | 3.1  |
| 055 | 0.05   | 0.37 | < 0,05 | < 0,05 | 0.91   | 3.6  |
| 056 | < 0,05 | 1.2  | < 0,05 | < 0,05 | 5.8    | 3.5  |
| 057 | < 0,05 | 2.0  | < 0,05 | < 0,05 | 0.46   | 6.5  |
| 058 | < 0,05 | 0.97 | < 0,05 | < 0,05 | 3.4    | 3.2  |
| 059 | < 0,05 | 0.77 | < 0,05 | < 0,05 | 5.9    | 2.9  |
| 060 | < 0,05 | 1.3  | < 0,05 | < 0,05 | 20     | 7.1  |
| 061 | < 0,05 | 2.3  | 0.15   | < 0,05 | 0.20   | 4.1  |
| 062 | < 0,05 | 0.22 | < 0,05 | < 0,05 | 0.81   | 1.3  |
| 063 | < 0,05 | 0.80 | < 0,05 | < 0,05 | 12     | 3.8  |
| 064 | < 0,05 | 0.91 | < 0,05 | < 0,05 | 12     | 3.3  |
| 065 | < 0,05 | 4.8  | < 0,05 | < 0,05 | 0.32   | 3.6  |
| 066 | < 0,05 | 0.37 | < 0,05 | < 0,05 | 2.4    | 1.4  |
| 067 | < 0,05 | 0.30 | < 0,05 | < 0,05 | 0.93   | 2.8  |
| 068 | < 0,05 | 0.18 | < 0,05 | < 0,05 | 2.4    | 2.1  |
| 069 | < 0,05 | 2.2  | < 0,05 | < 0,05 | 0.36   | 2.8  |
| 070 | < 0,05 | 1.9  | < 0,05 | < 0,05 | 8.7    | 2.6  |
| 071 | < 0,05 | 1.4  | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | 1.9  |
| 072 | 0.06   | 1.7  | < 0,05 | < 0,05 | 7.4    | 1.6  |
| 073 | < 0,05 | 1.1  | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | 1.9  |
| 074 | < 0,05 | 0.96 | 0.25   | < 0,05 | < 0,05 | 2.4  |
| 075 | < 0,05 | 1.7  | < 0,05 | 0.53   | 1.1    | 1.0  |
| 076 | < 0,05 | 1.0  | < 0,05 | < 0,05 | 2.4    | 0.68 |
| 077 | < 0,05 | 1.9  | < 0,05 | < 0,05 | 0.94   | 2.6  |
| 078 | < 0,05 | 3.3  | < 0,05 | < 0,05 | 2.7    | 5.2  |
| 079 | < 0,05 | 0.31 | < 0,05 | < 0,05 | 0.56   | 0.47 |
| 080 | < 0,05 | 0.77 | < 0,05 | < 0,05 | 0.92   | 2.5  |
| 081 | < 0,05 | 1.7  | < 0,05 | < 0,05 | 1.6    | 11   |
| 082 | < 0,05 | 0.30 | < 0,05 | < 0,05 | 1.0    | 0.55 |
| 083 | < 0,05 | 0.51 | < 0,05 | < 0,05 | 1.6    | 1.2  |
| 084 | < 0,05 | 8.7  | < 0,05 | < 0,05 | 2.3    | 16   |
| 085 | < 0,05 | 8.6  | < 0,05 | < 0,05 | 2.7    | 9.7  |
| 086 | < 0,05 | 0.85 | < 0,05 | < 0,05 | 1.3    | 4.2  |
| 087 | < 0,05 | 3.3  | < 0,05 | < 0,05 | 2.1    | 24   |
| 088 | < 0,05 | 1.5  | < 0,05 | < 0,05 | 23     | 4.6  |
| 089 | < 0,05 | 0.78 | < 0,05 | < 0,05 | 0.76   | 2.5  |
| 090 | < 0,05 | 0.63 | < 0,05 | < 0,05 | 0.34   | 0.80 |
| 091 | < 0,05 | 0.75 | < 0,05 | < 0,05 | 0.43   | 6.7  |
| 092 | < 0,05 | 0.58 | < 0,05 | < 0,05 | 0.68   | 1.4  |
| 093 | < 0,05 | 1.0  | < 0,05 | < 0,05 | 1.2    | 1.3  |
| 094 | < 0,05 | 1.8  | < 0,05 | < 0,05 | 1.1    | 1.8  |
| 095 | < 0,05 | 1.2  | < 0,05 | < 0,05 | 0.45   | 2.0  |
| 096 | < 0,05 | 1.1  | < 0,05 | < 0,05 | 0.21   | 1.3  |

*Indy*

|     |        |      |        |        |        |        |
|-----|--------|------|--------|--------|--------|--------|
| 097 | < 0,05 | 1.6  | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | 3.2    |
| 098 | < 0,05 | 1.3  | < 0,05 | < 0,05 | 5.6    | 3.4    |
| 099 | < 0,05 | 3.3  | < 0,05 | 2.1    | 1.3    | 1.2    |
| 100 | < 0,05 | 1.9  | < 0,05 | < 0,05 | 20     | 6.0    |
| 101 | < 0,05 | 1.6  | < 0,05 | < 0,05 | 2.0    | 7.1    |
| 102 | < 0,05 | 0.72 | < 0,05 | < 0,05 | 2.2    | 5.7    |
| 103 | < 0,05 | 1.3  | < 0,05 | < 0,05 | 3.6    | 2.0    |
| 104 | < 0,05 | 0.97 | < 0,05 | < 0,05 | 0.69   | 1.9    |
| 105 | < 0,05 | 0.56 | < 0,05 | < 0,05 | 0.56   | 0.42   |
| 106 | < 0,05 | 1.9  | 5.8    | < 0,05 | 15     | 2.7    |
| 107 | < 0,05 | 1.6  | < 0,05 | < 0,05 | 1.2    | 1.3    |
| 108 | < 0,05 | 0.33 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 |
| 109 | < 0,05 | 0.92 | < 0,05 | < 0,05 | 0.56   | 1.1    |
| 110 | < 0,05 | 0.61 | 0.13   | < 0,05 | 0.90   | 0.74   |
| 111 | < 0,05 | 0.68 | < 0,05 | < 0,05 | 0.93   | 0.77   |
| 112 | < 0,05 | 0.55 | < 0,05 | < 0,05 | 1.0    | 1.7    |
| 113 | < 0,05 | 0.36 | < 0,05 | < 0,05 | 0.27   | 0.40   |
| 114 | 1,1    | 0.53 | < 0,05 | < 0,05 | 0.26   | < 0,05 |
| 115 | < 0,05 | 0.74 | < 0,05 | < 0,05 | 0.52   | 0.70   |
| 116 | < 0,05 | 0.22 | < 0,05 | < 0,05 | 0.83   | 0.87   |
| 117 | < 0,05 | 0.25 | < 0,05 | < 0,05 | 0.29   | < 0,05 |
| 118 | < 0,05 | 1.6  | < 0,05 | < 0,05 | 6.1    | 1.6    |
| 119 | < 0,05 | 0.74 | 0.07   | < 0,05 | 0.68   | 0.67   |
| 120 | < 0,05 | 0.29 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 |
| 121 | < 0,05 | 0.48 | 0.25   | < 0,05 | 0.16   | 0.32   |
| 122 | < 0,05 | 0.55 | < 0,05 | < 0,05 | 0.19   | 0.35   |
| 123 | < 0,05 | 1.9  | 0.22   | < 0,05 | 0.58   | 1.0    |
| 124 | < 0,05 | 0.81 | 0.10   | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 |
| 125 | < 0,05 | 0.78 | < 0,05 | < 0,05 | 0.32   | 0.36   |
| 126 | < 0,05 | 0.63 | < 0,05 | < 0,05 | 1.1    | 1.3    |
| 127 | < 0,05 | 0.16 | < 0,05 | < 0,05 | 0.30   | 1.0    |
| 128 | < 0,05 | 0.28 | 0.24   | < 0,05 | 0.27   | 1.1    |
| 129 | 0,06   | 2.0  | 0.41   | < 0,05 | 1.7    | 2.6    |
| 130 | < 0,05 | 0.33 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 |
| 131 | < 0,05 | 0.17 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 |
| 132 | < 0,05 | 1.5  | 0.35   | < 0,05 | 1.2    | 3.9    |
| 133 | < 0,05 | 0.73 | < 0,05 | < 0,05 | 7.8    | 0.55   |
| 134 | < 0,05 | 0.25 | < 0,05 | < 0,05 | 0.37   | 0.33   |
| 135 | < 0,05 | 3.1  | < 0,05 | < 0,05 | 0.90   | 0.64   |
| 136 | < 0,05 | 2.5  | < 0,05 | < 0,05 | 0.46   | 0.19   |
| 137 | < 0,05 | 2.4  | < 0,05 | < 0,05 | 0.62   | 0.59   |
| 138 | < 0,05 | 0.85 | < 0,05 | < 0,05 | 0.35   | < 0,05 |
| 139 | < 0,05 | 0.85 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 |
| 140 | < 0,05 | 0.85 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 |
| 141 | < 0,05 | 2.5  | < 0,05 | < 0,05 | 1.1    | 0.84   |
| 142 | < 0,05 | 2.7  | 0.33   | < 0,05 | 2.1    | 0.94   |
| 143 | < 0,05 | 1.7  | < 0,05 | < 0,05 | 4.7    | 1.2    |
| 144 | < 0,05 | 0.50 | < 0,05 | < 0,05 | 0.49   | 0.77   |

*Dolly*

## Resultados Cátions

| Amostra     | Sódio<br>ppm | Amônio<br>Ppm | Potássio<br>ppm | Magnésio<br>Ppm | Cálcio<br>ppm |
|-------------|--------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------|
| A9          | 0,26         | 8,5           | 0,11            | < 0,05          | 0,28          |
| A8          | 0,93         | 52            | 0,47            | 0,26            | 0,95          |
| A7          | 0,53         | 25            | 0,15            | < 0,05          | 0,71          |
| A6          | 0,31         | 13            | 0,21            | 0,04            | 0,16          |
| A5          | 0,25         | 2,8           | 0,18            | < 0,05          | 0,13          |
| A4          | 0,18         | 2,5           | 0,08            | < 0,05          | 0,19          |
| A3          | 0,23         | 1,4           | 0,16            | 0,03            | 0,21          |
| Araucária 1 | 0,33         | 0,21          | 2,1             | 0,12            | 0,38          |
| Araucária 2 | 0,14         | 0,77          | 0,14            | 0,07            | 0,47          |
| 001         | 0,14         | 4,5           | 1,8             | 0,19            | 0,60          |
| 002         | 0,10         | 3,2           | 0,14            | 0,14            | 0,48          |
| 003         | 0,43         | 4,0           | 0,64            | 0,09            | 0,47          |
| 004         | 0,10         | 3,3           | 0,22            | 0,11            | 0,39          |
| 005         | 0,15         | 3,2           | 0,24            | 0,07            | 0,32          |
| 006         | 0,33         | 4,3           | 0,59            | 0,07            | 0,47          |
| 007         | 0,23         | 3,6           | 0,34            | 1,02            | 0,74          |
| 008         | 0,58         | 10            | 0,87            | 0,09            | 0,52          |
| 009         | 0,37         | 10            | 0,58            | 0,12            | 0,73          |
| 010         | 0,13         | 3,2           | 0,24            | 0,08            | 0,19          |
| 011         | 0,82         | 11            | 1,4             | 0,12            | 0,58          |
| 012         | 0,11         | 3,4           | 0,16            | 0,09            | 0,32          |
| 013         | 0,50         | 4,2           | 0,23            | 0,14            | 0,45          |
| 014         | 0,67         | 0,03          | 0,64            | 0,16            | 0,34          |
| 015         | 0,28         | 0,05          | 0,12            | 0,09            | 0,65          |
| 016         | 0,47         | 0,08          | 0,40            | 0,22            | 0,65          |
| 017         | 0,31         | 0,36          | 0,28            | 0,24            | 0,55          |
| 018         | 0,38         | 0,03          | 0,38            | 0,31            | 0,56          |
| 019         | 0,31         | 0,04          | 0,24            | 0,13            | 0,27          |
| 020         | 0,65         | 16            | 2,0             | 0,27            | 0,55          |
| 021         | 0,12         | 0,38          | 0,16            | 0,08            | 0,23          |
| 022         | 0,71         | 4,1           | 0,39            | 0,35            | 0,65          |
| 023         | 0,58         | 6,6           | 1,5             | 0,20            | 0,46          |
| 024         | 0,45         | 0,32          | 0,70            | 0,18            | 0,54          |
| 025         | 0,32         | 0,16          | 0,37            | 0,13            | 0,40          |
| 026         | 1,8          | 34            | 0,51            | 0,42            | 0,71          |
| 027         | 0,40         | 1,7           | 0,35            | 0,23            | 0,42          |
| 028         | 0,20         | 0,09          | 0,34            | 0,17            | 0,33          |
| 029         | 0,37         | 0,90          | 0,64            | 0,31            | 0,61          |
| 030         | 2,2          | 1,30          | 3,5             | 0,17            | 0,44          |
| 030         | 3,4          | 84            | 3,9             | 0,32            | 1,24          |
| 031         | 1,5          | 3,1           | 2,4             | 0,67            | 1,4           |
| 031         | 2,9          | 50            | 2,6             | 0,72            | 2,1           |
| 032         | 0,80         | 0,22          | 2,4             | 0,44            | 0,96          |
| 033         | 0,90         | 0,40          | 1,1             | 0,34            | 0,68          |
| 034         | 0,18         | 1,4           | 0,27            | 0,22            | 0,55          |
| 035         | 0,30         | 2,5           | 0,50            | 0,30            | 0,82          |
| 036         | 0,14         | 1,3           | 0,26            | 0,18            | 0,44          |
| 037         | 0,35         | 1,7           | 0,45            | 0,42            | 1,0           |
| 038         | 0,42         | 1,7           | 0,49            | 0,27            | 0,81          |
| 039         | 0,32         | 1,2           | 0,34            | 0,11            | 0,39          |
| 040         | 0,25         | 1,8           | 0,36            | 0,12            | 0,40          |
| 041         | 0,23         | 1,1           | 0,30            | 0,08            | 0,29          |
| 042         | 0,37         | 2,3           | 0,50            | 0,04            | 1,4           |
| 043         | 0,21         | 1,3           | 0,32            | 0,15            | 0,45          |
| 044         | 0,39         | 1,8           | 1,2             | 0,51            | 5,3           |
| 045         | 0,21         | 1,4           | 0,37            | 0,18            | 1,4           |
| 046         | 0,22         | 2,2           | 0,56            | 0,63            | 2,4           |
| 047         | 0,27         | 2,3           | 0,53            | 0,29            | 1,3           |
| 048         | 0,20         | 2,5           | 0,41            | 0,17            | 1,1           |
| 049         | 0,50         | 2,5           | 0,85            | 0,34            | 1,3           |
| 050         | 0,62         | 1,5           | 0,50            | 0,32            | 1,4           |
| 051         | 0,18         | 1,1           | 0,29            | 0,22            | 0,79          |
| 052         | 0,13         | 0,61          | 0,20            | 0,06            | 1,6           |
| 053         | 0,21         | 2,2           | 0,69            | 0,32            | 0,89          |
| 054         | 0,14         | 1,5           | 0,24            | 0,06            | 5,1           |
| 055         | 0,18         | 1,4           | 0,25            | 0,23            | 0,87          |
| 056         | 0,72         | 1,2           | 1,2             | 0,08            | 0,52          |
| 057         | 0,97         | 1,7           | 1,7             | 0,14            | 0,49          |
| 058         | 0,43         | 2,0           | 1,0             | 0,29            | 0,79          |

|     |        |        |        |        |        |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|
| 059 | 0,19   | 1,6    | 0,34   | 0,18   | 0,65   |
| 060 | 0,75   | 2,7    | 0,79   | 0,29   | 0,77   |
| 061 | 0,43   | 0,66   | 0,53   | 0,32   | 0,93   |
| 062 | 0,09   | 0,64   | 0,17   | 0,12   | 0,46   |
| 063 | 0,26   | 0,94   | 0,51   | 0,27   | 0,62   |
| 064 | 0,23   | 0,46   | 0,50   | 0,18   | 0,49   |
| 065 | 1,92   | 42     | 2,18   | 0,26   | 0,96   |
| 066 | 0,13   | 0,01   | 0,15   | 0,12   | 0,36   |
| 067 | 0,14   | 0,40   | 0,17   | 0,11   | 0,34   |
| 068 | 0,07   | 0,24   | 0,17   | 0,08   | 0,23   |
| 069 | 0,87   | 0,08   | 1,4    | 0,16   | 0,41   |
| 070 | 0,67   | 0,11   | 0,90   | 0,07   | 0,30   |
| 071 | 0,61   | 0,03   | 0,78   | 0,33   | 0,34   |
| 072 | 0,40   | 0,07   | 0,48   | 0,06   | 0,23   |
| 073 | 0,56   | 0,11   | 0,72   | 0,05   | 0,26   |
| 074 | 0,79   | 0,26   | 0,84   | 0,05   | 0,36   |
| 075 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 |
| 076 | 1,02   | 2,5    | 0,62   | 0,19   | 0,64   |
| 077 | 1,45   | 3,6    | 0,82   | 0,18   | 0,71   |
| 078 | 1,83   | 2,4    | 1,2    | 0,29   | 2,2    |
| 079 | 0,7    | 3,6    | 0,14   | 0,06   | 0,35   |
| 080 | 0,86   | 3,2    | 0,31   | 0,02   | 0,33   |
| 081 | 0,47   | 3,0    | 0,72   | 0,06   | 0,37   |
| 082 | 0,12   | 1,5    | 0,15   | < 0,05 | 0,16   |
| 083 | 0,16   | 2,0    | 0,15   | < 0,05 | 0,46   |
| 084 | 0,94   | 1,4    | 0,47   | 0,09   | 0,38   |
| 085 | 1,63   | 6,1    | 8,5    | 0,3    | 0,89   |
| 086 | 0,61   | 3,1    | 0,58   | 0,03   | 0,93   |
| 087 | 1,86   | 6,9    | 6,5    | 0,09   | 4,4    |
| 088 | 0,5    | 9,6    | 0,72   | 0,48   | 1,2    |
| 089 | 0,3    | 11     | 0,34   | 0,22   | 0,81   |
| 090 | 0,29   | 10     | 0,31   | 0,03   | 0,37   |
| 091 | 0,69   | 11     | 0,54   | 0,04   | 1,3    |
| 092 | 0,37   | 17     | 0,29   | 0,02   | 0,42   |
| 093 | 0,43   | 7,8    | 0,47   | 0,14   | 0,72   |
| 094 | 0,72   | 11     | 0,64   | 0,21   | 0,92   |
| 095 | 0,46   | 15     | 0,49   | 0,09   | 0,50   |
| 096 | 0,41   | 21     | 0,63   | 0,08   | 0,50   |
| 097 | 0,71   | 10     | 1,0    | 0,07   | 2,2    |
| 098 | 0,51   | 9,5    | 0,68   | 0,21   | 0,77   |
| 099 | 0,77   | 10     | 1,17   | 0,01   | 0,96   |
| 100 | 0,54   | 9,0    | 1,34   | 0,08   | 0,43   |
| 101 | 0,67   | 11     | 1,7    | 0,04   | 13     |
| 102 | 0,42   | 13     | 1,8    | 0,15   | 7,1    |
| 103 | 0,52   | 9,2    | 0,73   | 0,46   | 1,1    |
| 104 | 0,5    | 8,8    | 0,58   | 0,42   | 1,7    |
| 105 | 0,23   | 16     | 0,43   | 0,16   | 0,51   |
| 106 | 0,73   | 6,4    | 0,68   | 0,24   | 0,64   |
| 107 | 0,49   | 11     | 0,83   | 0,45   | 2,7    |
| 108 | 0,16   | 8,0    | 0,62   | 0,10   | 0,32   |
| 109 | 0,36   | 9,3    | 0,39   | 0,15   | 0,40   |
| 110 | 0,2    | 9,2    | 0,28   | 0,09   | 0,53   |
| 111 | 0,35   | 11     | 0,28   | 0,10   | 0,56   |
| 112 | 0,95   | 7,1    | 0,17   | 0,03   | 0,24   |
| 113 | 0,95   | 6,5    | 0,15   | < 0,05 | 0,09   |
| 114 | 0,67   | 41     | 0,43   | 0,02   | 0,22   |
| 115 | 0,84   | 6,8    | 0,58   | 0,03   | 0,28   |
| 116 | 0,11   | 8,1    | 0,26   | 0,11   | 0,44   |
| 117 | 0,83   | 5,7    | 0,13   | 0,04   | 0,17   |
| 118 | 0,67   | 25     | 1,6    | 0,13   | 1,7    |
| 119 | 0,86   | 61     | 0,76   | 0,04   | 0,34   |
| 120 | 0,28   | 1,3    | 0,24   | < 0,05 | 0,19   |
| 121 | 1,24   | 3,4    | 0,40   | < 0,05 | 0,20   |
| 122 | 0,34   | 6,4    | 0,57   | < 0,05 | 0,24   |
| 124 | 0,28   | 8,9    | 0,53   | 0,02   | 0,24   |
| 125 | 0,38   | 4,1    | 0,35   | < 0,05 | 0,32   |
| 126 | 0,33   | 2,9    | 0,34   | 0,14   | 0,52   |
| 127 | 0,08   | 2,9    | 0,08   | < 0,05 | 0,30   |
| 128 | 0,16   | 6,6    | 0,19   | < 0,05 | 0,59   |
| 129 | 1,06   | 28     | 1,4    | 0,35   | 2,0    |
| 130 | 0,20   | 0,31   | 0,14   | < 0,05 | 0,39   |
| 131 | 0,12   | 0,23   | 0,15   | < 0,05 | 0,24   |
| 132 | 1,62   | 2,7    | 0,4    | < 0,05 | 0,50   |
| 133 | 0,47   | 0,98   | 0,54   | 0,06   | 0,43   |
| 134 | 0,16   | 0,41   | 0,22   | 0,62   | < 0,05 |
| 135 | 1,48   | 2,4    | 1,57   | < 0,05 | 0,78   |

|     |      |      |      |        |        |
|-----|------|------|------|--------|--------|
| 136 | 1,29 | 1,1  | 1,4  | < 0,05 | 0,61   |
| 137 | 1,28 | 2,7  | 1,4  | 0,03   | 0,80   |
| 138 | 0,48 | 0,41 | 0,56 | < 0,05 | 0,61   |
| 139 | 0,54 | 2,4  | 0,63 | 0,49   | < 0,05 |
| 140 | 0,49 | 0,37 | 0,51 | < 0,05 | 0,21   |
| 141 | 0,94 | 0,35 | 0,61 | < 0,05 | 0,49   |
| 142 | 1,3  | 1,0  | 1,1  | 0,10   | 0,56   |
| 143 | 0,79 | 0,26 | 0,84 | 0,05   | 0,36   |
| 144 | 0,23 | 0,51 | 0,24 | 0,05   | 0,50   |

## Resultados Acetato/Formiato

| Amostra     | Acetato (ppm) | Formiato (ppm) |
|-------------|---------------|----------------|
| Araucária 1 | 0,04          | Nd             |
| Araucária 2 | 0,15          | 0,07           |
| 001         | 0,02          | 0,02           |
| 002         | Nd            | 0,01           |
| 003         | Nd            | 0,02           |
| 004         | Nd            | 0,02           |
| 005         | Nd            | 0,01           |
| 006         | Nd            | 0,02           |
| 007         | Nd            | 0,02           |
| 008         | Nd            | 0,03           |
| 009         | Nd            | 0,03           |
| 010         | Nd            | 0,06           |
| 011         | 0,01          | 0,07           |
| 012         | Nd            | 0,02           |
| 013         | Nd            | 0,02           |
| 014         | -             | -              |
| 015         | Nd            | 0,06           |
| 016         | Nd            | 0,04           |
| 017         | Nd            | 0,83           |
| 018         | Nd            | Nd             |
| 019         | Nd            | 0,07           |
| 020         | Nd            | Nd             |
| 021         | Nd            | 0,04           |
| 022         | Nd            | Nd             |
| 023         | Nd            | 0,03           |
| 024         | 0,01          | 0,07           |
| 025         | Nd            | Nd             |
| 026         | Nd            | Nd             |
| 027         | Nd            | 0,04           |
| 028         | Nd            | Nd             |
| 029         | Nd            | Nd             |
| 030         | -             | -              |
| 031         | -             | -              |
| 032         | Nd            | 0,04           |
| 033         | Nd            | 0,05           |
| 034         | Nd            | 0,04           |
| 035         | Nd            | 0,04           |
| 036         | Nd            | 0,02           |
| 037         | Nd            | 0,03           |
| 038         | Nd            | 0,05           |
| 039         | Nd            | 0,04           |
| 040         | Nd            | 0,07           |
| 041         | Nd            | Nd             |
| 042         | 0,02          | 0,05           |
| 043         | Nd            | 0,09           |
| 044         | 0,02          | Nd             |
| 045         | Nd            | Nd             |
| 046         | 0,02          | 0,04           |
| 047         | Nd            | Nd             |
| 048         | Nd            | 0,03           |
| 049         | Nd            | 0,08           |
| 050         | 0,01          | 0,03           |
| 051         | Nd            | 0,90           |
| 052         | 0,02          | 0,04           |
| 053         | nd            | Nd             |
| 054         | 6,0           | Nd             |
| 055         | 0,01          | 0,05           |
| 056         | Nd            | 0,23           |
| 057         | 0,02          | Nd             |

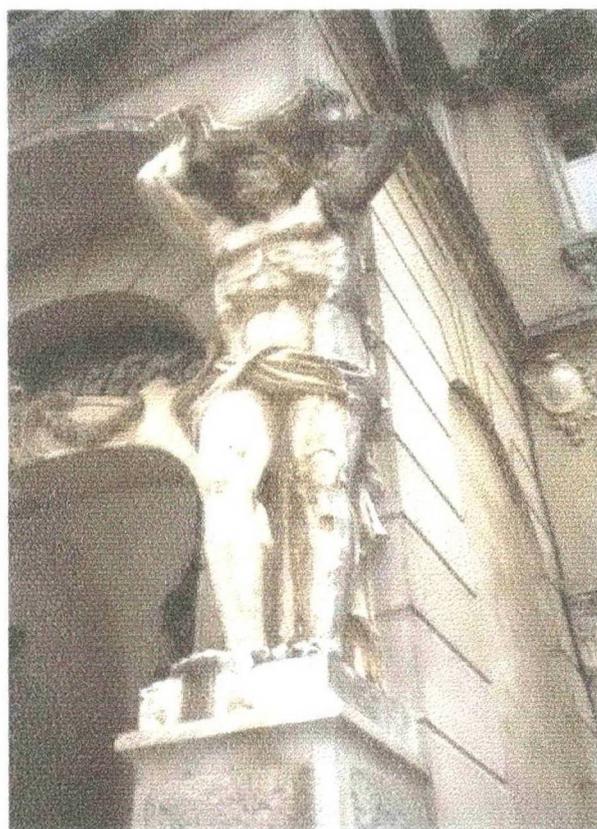
|     |      |      |
|-----|------|------|
| 058 | 0,04 | Nd   |
| 059 | 0,02 | Nd   |
| 060 | 0,20 | Nd   |
| 061 | Nd   | Nd   |
| 062 | 0,25 | 0,06 |
| 063 | 0,11 | Nd   |
| 064 | 0,07 | 0,09 |
| 066 | 0,12 | 0,06 |
| 067 | 0,08 | Nd   |
| 068 | 0,11 | Nd   |
| 069 | 0,05 | Nd   |
| 070 | 0,03 | Nd   |
| 071 | 0,05 | Nd   |
| 072 | 0,04 | 0,07 |
| 073 | 0,05 | Nd   |
| 074 | 0,10 | Nd   |
| 075 | Nd   | Nd   |
| 076 | 0,04 | 0,04 |
| 077 | Nd   | Nd   |
| 078 | 0,02 | Nd   |
| 079 | 0,15 | 0,04 |
| 080 | Nd   | Nd   |
| 081 | Nd   | Nd   |
| 082 | 0,02 |      |
| 083 | Nd   | 0,02 |
| 084 | Nd   | 0,06 |
| 085 | -    | -    |
| 086 | 0,02 | 0,01 |
| 087 | Nd   | Nd   |
| 088 | 0,03 | Nd   |
| 089 | 0,05 | Nd   |
| 090 | 0,06 | 0,01 |
| 091 | 0,01 | 0,01 |
| 092 | 0,03 | 0,01 |
| 093 | 0,04 | 0,12 |
| 094 | 0,73 | 0,01 |
| 095 | 0,02 | 0,01 |
| 096 | 1,8  | Nd   |
| 097 | 0,03 | Nd   |
| 098 | 0,04 | Nd   |
| 099 | 0,04 | Nd   |
| 100 | 0,03 | Nd   |
| 101 | 0,01 | Nd   |
| 102 | 0,07 | Nd   |
| 103 | 0,02 | Nd   |
| 104 | 0,03 | Nd   |
| 105 | 0,01 | Nd   |
| 106 | 0,06 | Nd   |
| 107 | 0,57 | Nd   |
| 108 | 0,03 | Nd   |
| 109 | 0,04 | Nd   |
| 110 | 0,05 | Nd   |
| 111 | 0,05 | Nd   |
| 112 | 0,04 | Nd   |
| 113 | 0,08 | Nd   |
| 114 | -    | -    |
| 115 | 0,05 | Nd   |
| 116 | 0,03 | Nd   |

## **ANEXO 3**

**FOTOS QUE DEMONSTRAM A CORROSÃO EM ESTRUTURAS AÉREAS EM  
CURITIBA**



Busto localizado na Praça Santos Andrade em Curitiba – PR (foto tirada em outubro de 2001)



Porta de entrada ao museu histórico do Paraná localizado na Praça (foto tirada em outubro de 2001)

## **ANEXO 4**

**FOTO DOS EQUIPAMENTOS DE DETERMINAÇÃO DE SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> E MATERIAL PARTICULADO NO INTERIOR DA ESTAÇÃO DE QUALIDADE DO AR – LACTEC**

