

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESÍRITO SANTO
ENGENHARIA MECÂNICA

JULIANA CORRÊA BITENCOURT
WARLEY XAVIER DA SILVA

**AVALIAÇÃO DE CONTRIBUIÇÕES DE FONTES PARA
O MATERIAL PARTICULADO
COLETADO EM VITÓRIA**

VITÓRIA
2005

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
ENGENHARIA MECÂNICA

JULIANA CORRÊA BITENCOURT
WARLEY XAVIER DA SILVA

**AVALIAÇÃO DE CONTRIBUIÇÕES DE FONTES PARA
MATERIAL PARTICULADO
COLETADO EM VITÓRIA**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de Engenharia
Mecânica da Universidade Federal do
Espírito Santo como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Rogério Silveira de Queiroz

VITÓRIA
2005

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
ENGENHARIA MECÂNICA

JULIANA CORRÊA BITENCOURT
WARLEY XAVIER DA SILVA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Aprovado em 16 de Março de 2005.

AVALIAÇÃO DE CONTRIBUIÇÕES DE FONTES PARA MATERIAL PARTICULADO COLETADO EM VITÓRIA

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Rogério Silveira de Queiroz
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. Dr. Elias Antonio Dalvi
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Marcelo Camargo S. de Macedo
Universidade Federal do Espírito Santo

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, por ter nos dado a oportunidade de concluir este projeto e aos nossos pais e amigos pelo apoio. Também agradecemos ao Prof. Rogério Silveira de Queiroz pela dedicação ao nosso projeto e aos colegas do LAB, em especial o Gustavo Imberti Gomes.

RESUMO

Esse trabalho vem avaliar a situação de amostras de material particulado coletadas na Ilha do Boi, Ilha do Frade e Enseada do Suá, para identificar fontes emissoras e verificar se os níveis de emissão de particulado nestas áreas atendem os requisitos da legislação vigente. Para essa avaliação foram utilizadas ferramentas estatísticas e computacionais. Também foram analisados dados meteorológicos da região. Foi visto a partir dessas análises que a poluição produzida por fatores urbanos como tráfego de automóveis, indústrias e solos são os principais contribuintes de material particulado na região estudada.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 5.1: Coletor de PTS..... | 18 |
| Figura 5.2: Foto do AGV..... | 19 |
| Figura 5.3: Desenho Esquemático do AGV MP10..... | 20 |
| Figura 5.4: Controlador de Volumétrica Tipo Venture..... | 21 |
| Figura 5.5: Foto do MiniVol..... | 23 |
| Figura 5.6: Foto MiniVol..... | 23 |
| Figura 6.1: Mapa da região em estudo | 24 |
| Figura 6.2: Orientação das direções médias calculadas..... | 26 |
| Figura 7.1 – Concentrações de PM10 e direção dos ventos na Ilha do Boi..... | 32 |
| Figura 7.2 – Velocidade e direção dos ventos na Ilha do Boi..... | 32 |
| Figura 7.3 – Concentração total de PM10 e direção dos ventos na Ilha do Boi..... | 33 |
| Figura 7.4 – Relação Fe/Cl de PM10 ao longo do tempo na Ilha do Boi..... | 33 |
| Figura 7.5 – Relação Fe/Cl de PM10 e direção dos ventos na Ilha do Boi..... | 34 |
| Figura 7.6 – Relação Fe/OC de PM10 ao longo do tempo na Ilha do Boi..... | 34 |
| Figura 7.7– Relação Fe/OC de PM10 e direção dos ventos na Ilha do Boi..... | 35 |
| Figura 7.8 – Relação Fe/EC de PM10 ao longo do tempo na Ilha do Boi..... | 35 |
| Figura 7.9 – Relação Fe/EC de PM10 e direção dos ventos na Ilha do Boi..... | 36 |
| Figura 7.10 – Concentrações de PTS e direção dos ventos na Ilha do Boi..... | 36 |
| Figura 7.11 - Velocidade e direção dos ventos na Ilha do Boi..... | 37 |
| Figura 7.12 – Concentração total de PTS e direção dos ventos na Ilha do Frade..... | 37 |
| Figura 7.13 – Relação Fe/Cl ao longo do tempo na Ilha do Boi..... | 38 |
| Figura 7.14 – Relação Fe/Cl de PTS e direção dos ventos na Ilha do Boi..... | 38 |
| Figura 7.15 – Relação Fe/OC de PTS ao longo do tempo na Ilha do Boi..... | 39 |
| Figura 7.16 – Relação Fe/OC de PTS e direção dos ventos na Ilha do Boi..... | 39 |
| Figura 7.17 – Relação Fe/EC de PTS ao longo do tempo na Ilha do Boi..... | 40 |
| Figura 7.18 – Relação Fe/EC de PTS e direção dos ventos na Ilha do Boi..... | 40 |
| Figura 7.19 – Concentrações de PM10 e direção dos ventos na Ilha do Frade..... | 41 |
| Figura 7.20 – Velocidade e direção dos ventos na Ilha do Frade..... | 42 |

| | |
|--|----|
| Figura 7.21 - Concentração total de PM10 direção dos ventos na Ilha do Frade..... | 43 |
| Figura 7.22 – Relação Fe/Cl ao longo do tempo na Ilha do Frade..... | 44 |
| Figura 7.23 – Relação Fe/Cl de PM10 e direção dos ventos na Ilha do Frade..... | 45 |
| Figura 7.24 – Relação Fe/OC de PM10 ao longo do tempo na Ilha do Frade..... | 46 |
| Figura 7.25 – Relação Fe/OC de PM10 e direção dos ventos na Ilha do Frade..... | 47 |
| Figura 7.26 – Relação Fe/EC de PM10 ao longo do tempo na Ilha do Frade.... | 48 |
| Figura 7.27 – Relação Fe/EC de PM10 e direção dos ventos na Ilha do Frade..... | 49 |
| Figura 7.28 – Concentrações de PTS e velocidade dos ventos na Ilha do Frade..... | 50 |
| Figura 7.29 – Velocidade e direção do vento na Ilha do Frade..... | 51 |
| Figura 7.30 – Concentração total de PTS velocidade dos ventos na Ilha do Frade..... | 51 |
| Figura 7.31 – Relação Fe/Cl de PTS ao longo do tempo na Ilha do Frade..... | 52 |
| Figura 7.32 – Relação Fe/Cl de PTS e direção dos ventos na Ilha do Frade.... | 52 |
| Figura 7.33 – Relação Fe/OC de PTS ao longo do tempo na Ilha do Frade..... | 53 |
| Figura 7.34 – Relação Fe/OC de PTS e direção dos ventos na Ilha do Frade..... | 53 |
| Figura 7.35 – Relação Fe/EC de PTS ao longo do tempo na Ilha do Frade..... | 54 |
| Figura 7.36 – Relação Fe/EC de PTS e direção dos ventos na Ilha do Frade..... | 54 |
| Figura 7.37: Resultado do SPSS para Alumínio em relação às Ilhas e Enseada..... | 55 |
| Figura 7.38: Intervalos de confiança da concentração de Alumínio..... | 56 |
| Figura 7.39: Resultado do SPSS Cloro em relação às Ilhas e Enseada..... | 57 |
| Figura 7.40: Intervalos de confiança da concentração de Cloro..... | 57 |
| Figura 7.41: Resultado do SPSS Cálcio em relação às Ilhas e Enseada..... | 58 |
| Figura 7.42: Intervalos de confiança da concentração de Cálcio..... | 59 |
| Figura 7.43: Resultado do SPSS Ferro em relação às Ilhas e Enseada..... | 59 |
| Figura 7.44: Intervalos de confiança da concentração de Ferro..... | 60 |

| | |
|---|----|
| Figura 7.45: Resultado do SPSS Carbono Orgânico em relação às Ilhas e Enseada..... | 61 |
| Figura 7.46: Tabela de Homogeneidade..... | 61 |
| Figura 7.47: Intervalos de confiança da concentração de Carbono Orgânico..... | 62 |
| Figura 7.48: Resultado do SPSS Carbono Elementar em relação às Ilhas e Enseada..... | 62 |
| Figura 7.49: Intervalos de confiança da concentração de Carbono Elementar. | 63 |
| Figura 7.50: Resultado do SPSS para Alumínio em relação às Ilhas..... | 64 |
| Figura 7.51: Intervalos de confiança da concentração de Alumínio..... | 65 |
| Figura 7.52: Resultado do SPSS para Cálcio em relação às Ilhas..... | 65 |
| Figura 7.53: Intervalos de confiança da concentração de Cálcio..... | 66 |
| Figura 7.54: Resultado do SPSS para Cloro em relação às Ilhas..... | 67 |
| Figura 7.55: Intervalos de confiança da concentração de Cloro..... | 67 |
| Figura 7.56: Resultado do SPSS para Alumínio em relação às Ilhas..... | 68 |
| Figura 7.57: Intervalos de confiança da concentração de Ferro..... | 68 |
| Figura 7.58: Resultado do SPSS para Carbono Orgânico em relação às Ilhas..... | 69 |
| Figura 7.59: Intervalos de confiança da concentração de Carbono Orgânico..... | 69 |
| Figura 7.60: Resultado do SPSS para Carbono Elementar em relação às Ilhas..... | 70 |
| Figura 7.61: Intervalos de confiança da concentração de Carbono Elementar..... | 71 |
| Figura 7.62: Dispersão de PM10 das Fontes Industriais..... | 73 |
| Figura 7.63: Dispersão de PM10 das Fontes de Tráfego..... | 74 |
| Figura 7.64: Dispersão de PTS das Fontes Industriais..... | 75 |
| Figura 7.65: Dispersão de PTS das Fontes de Tráfego..... | 76 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 4.1: Padrões Nacionais de Qualidade do Ar..... | 17 |
| Tabela 7.1: Dados da Ilha do Boi para PTS..... | 30 |
| Tabela 7.2: Dados da Ilha do Boi para PM10..... | 30 |
| Tabela 7.3: Dados da Ilha do Frade para PM10..... | 31 |
| Tabela 7.4: Dados da Ilha do Frade para PTS..... | 31 |
| Tabela 7.5: Dados da Enseada do Suá PM10..... | 31 |
| Tabela 7.6: Contribuição Percentual das Fontes PM10..... | 72 |
| Tabela 7.7: Contribuição Percentual das Fontes PM10..... | 72 |

LISTA DE SIGLAS

PM10 ou MP10: partículas de diâmetro aerodinâmico de até 10µm.

PTS ou TSP: Partículas Totais em Suspensão.

PS: Partículas Sedimentares.

CONAMA: Conselho Nacional de Meio Ambiente

MP: Material Particulado.

FRM: Federal Reference Method

AGV: Amostrador de Grande Volume

LAB: Laboratório de Aerossóis e Bio Escoamentos

CVV: Controle de Vazão de Volume

US EPA: United States Environmental Protection Agency

IEMA: Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

DNIT: Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes

PIXE: Particle induced X-Ray Emission

TOT: Thermal Optical Transmittance

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1- INTRODUÇÃO..... | 12 |
| 2- OBJETIVO..... | 13 |
| 3- MATERIAL PARTICULADO..... | 14 |
| 4- PADRÕES DE QUALIDADE DO AR..... | 16 |
| 5- COLETORES DE MATERIAL PARTICULADO..... | 17 |
| 5.1- Vasos de Coleta..... | 18 |
| 5.2- Amostrador de Grande Volume (AGV)..... | 18 |
| 5.3- Minivol..... | 23 |
| 6- METODOLOGIA..... | 24 |
| 6.1- Coleta de Dados..... | 25 |
| 6.1.1- Instrumentos Utilizados para Coleta de Dados..... | 26 |
| 6.1.2- Filtros Utilizados..... | 26 |
| 6.1.3- Procedimento de Coleta de Material Particulado..... | 27 |
| 6.2- Análises Químicas e Elementos Analisados | 28 |
| 6.3- Análise de Variância e de Simulação Numérica da Dispersão..... | 29 |
| 6.3.1- Software Utilizados..... | 29 |
| 7- AVALIAÇÃO DAS ANÁLISES..... | 30 |
| 7.1- Tabelas de Resultados..... | 32 |
| 7.2- Gráficos dos Resultados..... | 32 |
| 7.2.1- Ilha do Boi..... | 32 |
| 7.2.2- Ilha do Frade..... | 40 |
| 7.3- Análise de Variância..... | 55 |
| 7.3.1- Ilha do Boi e Ilha do Frade PM10..... | 55 |
| 7.3.2- Ilha do Boi e Ilha do Frade PTS..... | 64 |
| 7.4- Identificação das Fontes pelo CMB8..... | 70 |
| 7.4.1- Ilha do Boi e Ilha do Frade PM10..... | 70 |
| 7.4.2- Ilha do Boi e Ilha do Frade PTS..... | 72 |
| 7.5- Simulação Numérica da Dispersão..... | 73 |
| 7.5.1- Fontes de PM10..... | 73 |
| 7.5.2- Fontes de PTS..... | 75 |
| 8- CONCLUSÃO..... | 78 |
| 9- REFERÊNCIAS..... | 80 |

1 INTRODUÇÃO

As fontes antrópicas de poluição atmosférica são as mais variadas: processos industriais de extração e transformação; processos de geração de calor industrial; queima de resíduos; transporte, estocagem e transferência de combustíveis; veículos motores e outras fontes móveis; etc, e assim, estudos para definir estas fontes vem sendo desenvolvidos em parcerias entre instituições privadas e públicas, o que vem dando resultado significantes para o estudo ambiental local.

A industrialização dessas duas últimas décadas na região da Grande Vitória tem proporcionado grandes mudanças no comportamento social, econômico e ambiental da região. Com a geração de empregos, diretos e indiretos, houve uma considerável melhoria social, dando margem ao consumismo que se instala nos grandes centros urbanos. As conseqüências do desenvolvimento podem ser notadas nas mais diversas situações, podendo essas ser boas ou ruins. Devido aos inconvenientes provocados pelo desenvolvimento industrial, leis ambientais foram desenvolvidas, e hoje, a conscientização das empresas, em relação ao meio ambiente, tem crescido com a finalidade de melhorias tanto para a empresa quanto para a população. A pesquisa na área de poluição atmosférica é de grande importância para a nossa região, devido ao potencial de lançamento de material particulado por fontes industriais, de extração e beneficiamento de minerais não-metálicos e pelo crescente tráfego urbano em algumas regiões do Estado do Espírito Santo.

2 OBJETIVO

Nesta projeto, foi estudada a poluição atmosférica, tendo como foco principal o material particulado disperso nas região Ilhas do Boi e do Frade, no Município de Vitória. Serão focados os materiais particulados PM10 (partículas com diâmetro aerodinâmico equivalente a 10µm), PTS (partículas toais em suspensão) e PS (partículas sedimentares).

Com os resultados do projeto, comparações serão feitas com dados de fontes emissoras industriais e de tráfego urbano, para sabermos se as contribuições desses são primordiais ou não para a conclusão do estudo feito na região especificada, ou seja, definir quem são os possíveis contribuintes de poluição. A qualidade do ar será avaliada segundo o padrão de qualidade do ar estabelecido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), para podermos ter uma noção de como a região está em relação às leis ambientais.

3 MATERIAL PARTICULADO

O material particulado é um conjunto de partículas líquidas/sólidas dispersas no ar. Sob a denominação geral de material particulado (MP) se encontra uma classe de poluentes constituída de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido que, devido ao seu pequeno tamanho, se mantém suspenso na atmosfera.

As fontes emissoras desse poluente são as mais variadas, sendo originadas de veículos e de material expelido pelas chaminés industriais, passando pela própria poeira depositada em vias, levantada pela ação do vento e pelo movimento dos veículos.

O material particulado compreende partículas da ordem de dezenas de nanômetros (nm) a centenas de micrômetros (μm) de diâmetro. Sendo assim, algumas dessas partículas são nocivas a saúde humana, pois podem ser inaladas devido ao seu pequeno diâmetro.

Partículas minúsculas como as emitidas pelos veículos, principalmente os movidos a diesel, podem ser menores do que centésimos da espessura de um fio de cabelo. Sendo assim, não são retidas pelas defesas do organismo, tais como, pelos de nariz, mucosas etc. Causam irritação nos olhos e garganta, reduzindo a resistência às infecções e ainda provocando doenças crônicas. O mais grave é que essas partículas finas, quando respiradas, atingem as partes mais profundas dos pulmões, transportando para o interior do sistema respiratório substâncias tóxicas e cancerígenas. As partículas causam ainda danos à estrutura e à fachada de edifícios, à vegetação e são também responsáveis pela redução da visibilidade.

Até 1989, a legislação brasileira preocupava-se apenas com as “Partículas Totais em Suspensão”, ou seja, com todos os tipos e tamanhos de partículas que se mantêm suspensas no ar, a grosso modo, partículas menores que 100 micrômetro. No entanto, pesquisas recentes mostram que aquelas partículas mais finas como PM₁₀ e as menores que 10 micra, penetram mais

profundamente no aparelho respiratório e são as que apresentam efetivamente mais riscos à saúde. Dessa forma, a legislação brasileira passou também a se preocupar com as “Partículas Inaláveis”, a partir de 1990.

Partículas Totais em Suspensão (PTS): Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça ou fuligem, etc. Suas fontes principais são: processos Industriais e veículos motorizados (exaustão), poeira de vias ressuspenda, queima de biomassa. Fontes naturais de PTS incluem pólen, aerossol marinho e solos.

Particulado Sedimentado (PS): Partículas de material sólido que ficam depositadas sobre uma superfície sendo essas bem visíveis, causando incômodos à população.

Partículas inaláveis (PM10): Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça fuligem etc. Suas fontes principais são: processos de combustão (indústria e veículos automotores), aerossol secundário (formação na atmosfera).

4 PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

Em 1º de julho de 1987, a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (US EPA) promulgou um padrão primário de qualidade do ar especificamente para material particulado em suspensão no ar ambiente com diâmetros aerodinâmicos menores ou iguais a 10 micrômetros (PM10). Este padrão primário para PM10 substituiu as regras originais para material particulado total em suspensão (PTS). Para medir as concentrações destas partículas, a EPA promulgou um "*federal reference method*" (FRM) específico, baseado na remoção das partículas não PM10 da distribuição granulométrica, seguida de filtração e análise gravimétrica da massa de PM10 coletada no meio filtrante.

Um padrão de qualidade do ar define legalmente as concentrações máximas de um componente atmosférico para garantir a proteção da saúde e do bem estar das pessoas. Os padrões de qualidade do ar são baseados em estudos científicos dos efeitos produzidos por poluentes específicos e são estabelecidos em níveis que possam propiciar uma margem de segurança adequada.

Padrões primários de qualidade do ar, são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas poderão afetar a saúde da população. Podem ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes atmosféricos, constituindo-se em metas de curto e médio prazo.

São padrões secundários de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Podem ser entendidos como níveis desejados de concentração de poluentes, constituindo-se em meta de longo prazo.

No Brasil, os padrões (primários e secundários) e métodos de referência para as partículas PM10 foram estabelecidos através da Resolução nº 3 do CONAMA, datada de 29/06/90. O padrão primário (adotado para proteger a saúde humana) limita as concentrações médias anuais de PM10 em 50

microgramas por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e as concentrações máximas de 24 horas em 150 microgramas por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Acredita-se que estas pequenas partículas consigam atingir as regiões mais profundas do trato respiratório humano, sendo assim responsáveis pela maioria dos efeitos adversos na saúde humana relacionados com a poluição de partículas em suspensão. O padrão secundário, usado para avaliar o impacto da poluição no bem estar público, foi também estabelecido com os mesmos níveis que os do padrão primário.

Os parâmetros regulamentados pelo CONAMA são os seguintes: partículas totais em suspensão - TSP, fumaça, partículas inaláveis, dióxido de enxofre - SO_2 , monóxido de carbono - CO, ozônio - O_3 e dióxido de nitrogênio - NO_2 . Os padrões nacionais de qualidade do ar fixados na Resolução CONAMA nº 3 de 28/06/90. São apresentados na Tabela 4.1 os padrões para os materiais particulado em estudo.

Tabela 4.1- Padrões Nacionais de Qualidade do Ar (Resolução CONAMA nº 3 de 28/06/90)

| POLUENTE | TEMPO DE AMOSTRAGEM | PADRÃO PRIMÁRIO $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | PADRÃO SECUNDÁRIO $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | MÉTODO DE MEDIÇÃO |
|--------------------------------|-------------------------|--|--|-------------------------------|
| Partículas Totais em Suspensão | 24 horas (1) MGA (2) | 240 80 | 150 60 | Amostrador de grandes volumes |
| Partículas Inaláveis | 24 horas (1) MAA (3) | 150 50 | 150 50 | Separação Inercial/Filtração |

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

(2) Média geométrica anual.

(3) Média aritmética anual.

5 COLETORES DE MATERIAL PARTICULADO

Foram usados coletores de ar AGV (Amostrador de grande volume) e Minivol (amostrador portátil) para a coleta de PM10. Para a coleta de PS foram utilizados vasos de coleta desenvolvidos pelo Laboratório de Aerossóis e Bio-Escoamentos (LAB).

5.1 Vaso de coleta

Foi desenvolvido no **LAB** do Departamento de Engenharia Mecânica com a finalidade de coletar material sedimentado, Figura 5.1. Ele é feito em acrílico, sendo sua extremidade de saída vedada por filtros de quartzo e celulose, o que possibilita facilidade de coleta do material por simples limpeza mecânica do recipiente e coleta do que ficou retido nos filtros.



Figura 5.1: Coletor de PTS

5.2 Amostrador de grande volume (AGV MP10)

O AGV MP10, Figura 5.2, foi desenvolvido pela empresa Energética S.A, e é utilizado para coleta de partículas de até 10µm por seleção do tamanho e

posterior filtragem. Quando devidamente instalado num local de medição, movimenta um volume de ar ambiente sob vazão pré-estabelecida para a seleção aerodinâmica e filtra o fluxo em meio de quartzo durante um período de amostragem de 24 horas (nominais).

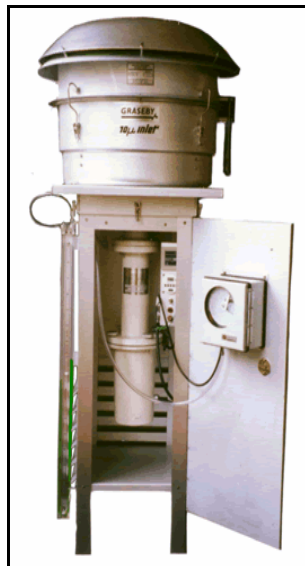


Figura 5.2: Foto do AGV

A vazão imprimida pelo aparelho, em torno de $1,13 \text{ m}^3/\text{min}$, e a geometria da entrada da cabeça de separação favorecem a coleta de apenas partículas com diâmetro aerodinâmico $10 \mu\text{m}$. As partículas são coletadas em meio equilibrado e pesado antes (tara) e após (bruto) a amostragem a fim de se determinar o ganho de massa da amostra. A duração da amostragem é controlada por um programador de tempo (timer) com exatidão de pelo menos ± 15 minutos em 24 horas e medida com um horômetro.

O volume de ar amostrado, corrigido para condições padrão [25°C , 760 mmHg], é determinado a partir da vazão medida e do tempo de amostragem. A concentração de partículas de até $10 \mu\text{m}$ em suspensão no ar ambiente, MP10, é computada dividindo-se a massa de partículas coletada pelo volume de ar amostrado e é expressada em microgramas por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

A vazão volumétrica real média durante a amostragem, é obtida a partir da pressão barométrica média, da temperatura ambiente média, e da média da

pressão de estagnação (abaixo do filtro). O AGV MP10 satisfaz as exigências básicas do Método de Referência da US EPA (bem como do CONAMA).

A discriminação das partículas num determinado tamanho (diâmetro aerodinâmico), aqui denominado "ponto de corte", é normalmente obtida em função da geometria da "entrada" do amostrador e da vazão imprimida pelo aparelho. A Figura 5.3 apresenta um desenho esquemático dos elementos básicos do AGV MPIO, Modelo 1200/CVV.

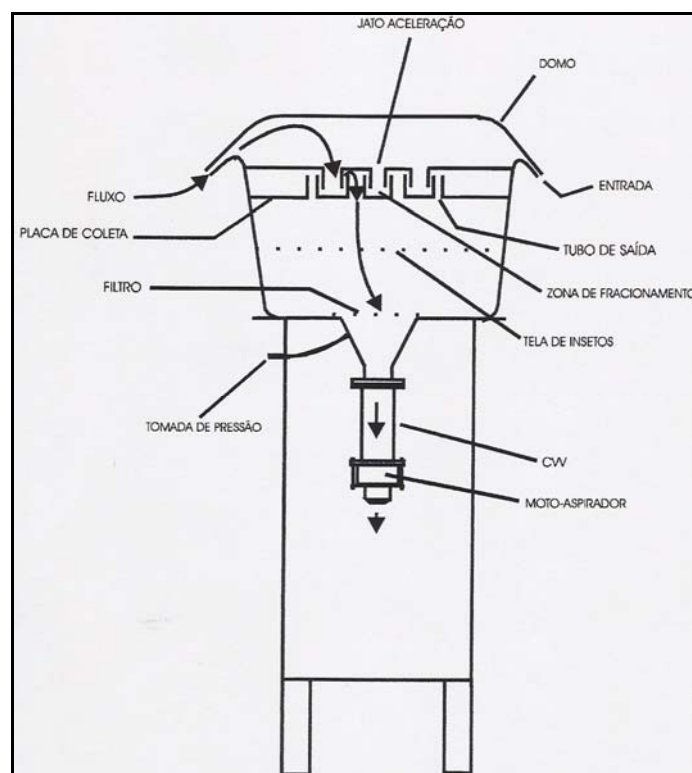


Figura 5.3: Desenho Esquemático do AGV MP10

O ar ambiente, aspirado para dentro da entrada, é evacuado da zona de amortecimento e direcionado, através de nove boqueiras de aceleração, para a primeira câmara de impactação, onde partículas maiores que $10\mu\text{m}$ são impactadas contra uma película de coleta untada de graxa. O ar contendo a concentração de partículas MP10 é então canalizado através de 16 tubos de saída e finalmente filtrado através do meio filtrante (micro-quartzo ou fibra de vidro). Os jatos de aceleração têm diâmetros críticos calculados e testados de modo a proverem a velocidade necessária para o fracionamento correto dos tamanhos de partículas dentro da câmara de impactação. Visto que as

velocidades são críticas para se manter um certo ponto de corte de MP10 dentro da entrada, toma-se de suma importância manter-se a correta vazão de projeto ($1,13 \text{ m}^3/\text{min} \pm 10\%$) em condições reais de pressão e temperatura. Teoricamente, a vazão de projeto do AGV MP10 (ou do MP10) pode variar na faixa de $1,02$ a $1,24 \text{ m}^3/\text{min}$. Entretanto, por razões de garantia da qualidade, essa faixa é reduzida para $1,05$ a $1,21 \text{ m}^3/\text{min}$.

A vazão de amostragem do AGV MP10 é controlada por um controlador de vazão volumétrica (CVV), do tipo tubo venturi, conforme mostrado na Figura 5.4. No CVV, o vácuo é provido pelo moto-aspirador, colocado à jusante do venturi. O controle da vazão é obtido pelo estrangulamento e, portanto, por aceleração do fluxo de ar através do venturi. Em algum ponto da corrente de ar, a velocidade do ar se aproxima da velocidade do som, obtendo-se então fluxo próximo do crítico. Esta vazão próxima da crítica é pouco afetada por alterações na perda de carga no filtro e, na temperatura ambiente e na pressão barométrica na estação, a vazão volumétrica é mantida estável à medida que haja vácuo suficiente na unidade.

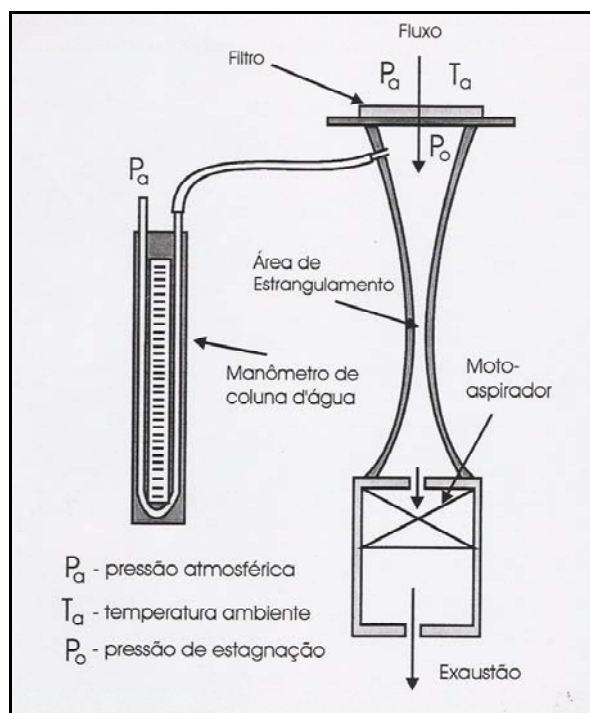


Figura 5.4: Controlador de Volumétrica Tipo Venture

O AGV MP10 é um amostrador com grande capacidade de deslocamento de

ar. Numa amostragem de 24 horas, por exemplo, a $1,13 \text{ m}^3/\text{min}$, o amostrador chega a deslocar $1.627,20 \text{ m}^3$.

Por norma, deve-se ter, com o AGV MP10, condições de determinar concentrações de partículas em suspensão de até $2 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$. A título de ilustração, com nível tão baixo de concentração obter-se-ia, nas 24 horas de amostragem, apenas 3,25 mg de partículas coletadas no filtro. Esta massa, baixíssima, é a razão de se ter que utilizar balanças com precisão de 0,1 mg, sem a qual não se obteria pesagens significativas.

Em junho de 1995, foi promulgado, pela ABNT, um método específico para MP10, o NBR 13412 “Material Particulado em Suspensão na Atmosfera – Determinação da Concentração de Partículas Inaláveis pelo Método do Amostrador de Grande Volume Acoplado a um Separador Inercial de Partículas.” Amostrador de Grande Volume (AGV) para partículas de até 10 micrômetros (MP10) da ENERGÉTICA, modelo 1200/CVV, com a cabeça (entrada) de separação modelo G1200 da Andersen e controlador de vazão volumétrica (CVV) da ENERGÉTICA, atende às especificações da US EPA, do CONAMA e da ABNT, sendo, portanto, considerado Método de Referência tanto nos EUA como no Brasil.

Nota: A cabeça (entrada) de separação é o componente do AGV que caracteriza o número da designação de método de referência do amostrador.

As principais aplicações do AGV MP10 são:

- Monitoramento da qualidade do ar, pela determinação da concentração de MP10 em suspensão;
- Estudos de Impacto Ambiental para determinar níveis preexistentes da qualidade do ar;
- Monitoramento de ambientes industriais internos (higiene industrial), incluindo coleta de amostras de materiais altamente tóxicos.

O AGV MP10 pode ser utilizado para outros fins além do seu uso comum em medidas de MP10, como por exemplo:

- Análise de poluentes orgânicos (nitratos, sulfatos, amônia, benzopireno), extraído-se os poluentes do filtro por meio de solventes orgânicos em

solução aquosa;

- Análise da presença de metais (Si, Ca, Na, Pb, Zn e outros) por meio de extração ácida ou outras técnicas;

5.3 MiniVol

O MiniVol, Figuras 5.5 e 5.6, é um amostrador portátil de ar ambiente para particulado e gases não reativos. A tecnologia de baixas vazões patenteada, usada no MiniVol foi desenvolvida juntamente pelo U. S. Environmental Protection Agency (US EPA) e a Autoridade de Poluição de Ar Regional em um esforço para avaliar os níveis de poluição de ar e de maneira mais fácil.

O MiniVol possui de um cronômetro programável, um sistema controlador de fluxo constante, um totalizador de tempo, bateria recarregável, e é feito em PVC. O amostrador de Ar Portátil é basicamente uma bomba controlada por um cronômetro programável que pode ser fixado para seis " corridas " dentro de 24 horas ou ao longo de uma semana.

A vazão utilizada é de 5l/min e os filtros são acomodados abaixo do sistema de bocal e de impactação, que limita o tamanho das partículas coletadas.



Figura 5.5: Foto do MiniVol.



Figura 5.6: Foto MiniVol.

6 METODOLOGIA

Devido a sua posição geográfica as regiões da Ilha do Boi, Ilha do Frade e Enseada do Suá, mostradas na Figura 6.1, são de grande interesse para o estudo da dispersão de poluentes atmosféricos, pois estas regiões se localizam numa área em que a concentração de material particulado é bastante significativa, com contribuições de diversas fontes industriais, naturais e veiculares. Neste estudo foram analisadas as concentrações de PM10 e PTS para a região da Ilha do Frade e Ilha do Boi, e para a região da Enseada do Suá somente o PM10.

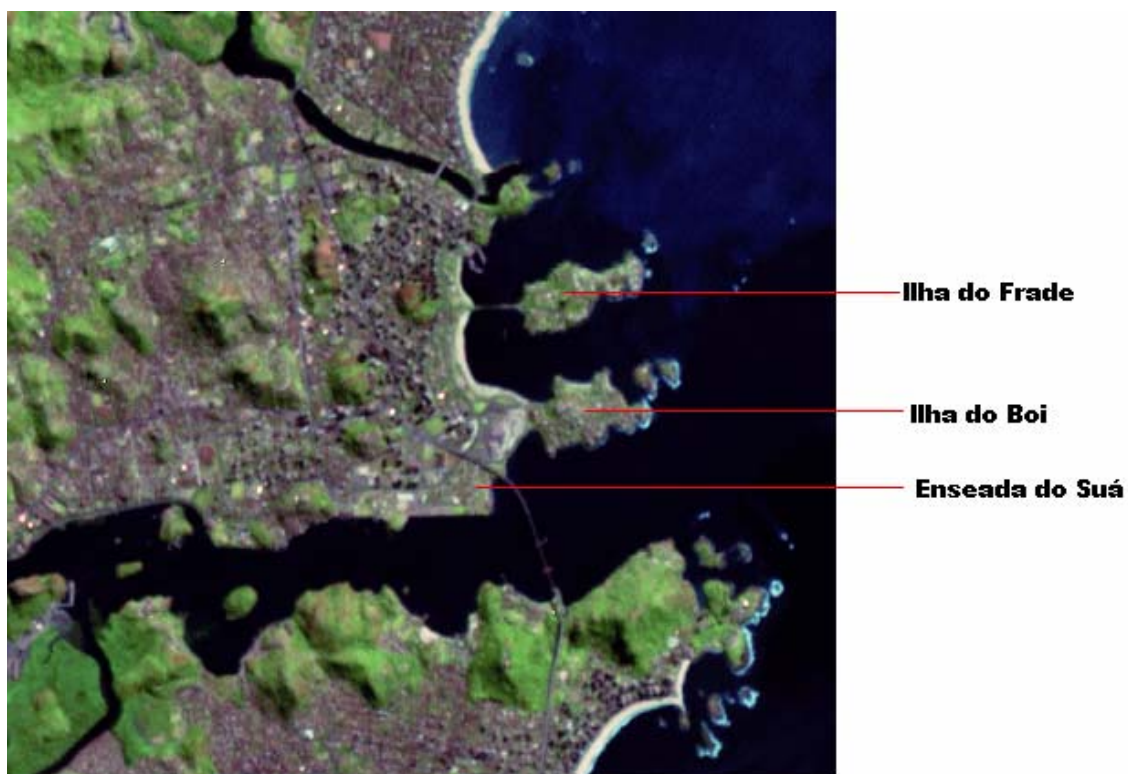


Figura 6.1: Mapa da região em estudo

A metodologia utilizada foi dividida em quatro etapas:

- Coleta de dados
- Análises químicas
- Análise de variância e de simulação numérica da dispersão
- Avaliação das análises

6.1 Coleta de dados

A coleta do material particulado foi realizada no período de Janeiro a Dezembro de 2002 na Ilha do Boi e Ilha do Frade, e de Agosto a Outubro de 2004 na Enseada do Suá. Além dos dados coletados, foram utilizados dados meteorológicos, industriais e de tráfego urbano.

Os dados da direção e velocidade dos ventos foram fornecidos pela estação meteorológica do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA). Os dados foram fornecidos para cada 24 horas do dia de coleta. Usando cálculos de trigonometria conseguimos avaliar uma direção média para o dia em estudo. A seguir colocamos os critérios para se obter a média desses ângulos.

Calculando $S = \text{soma sen}(y_1)$ e $C = \text{soma cos}(y_1)$, a média circular é definida como:

$\arctag(S/C)$, se $S \geq 0$ e $C > 0$;

$\arctag(S/C) + \pi$, se $C < 0$;

$\arctag(S/C) + 2\pi$, se $S < 0$ e $C > 0$;

Lembrando que para o sistema em questão, a Figura 6.2 mostram as orientações das direções:

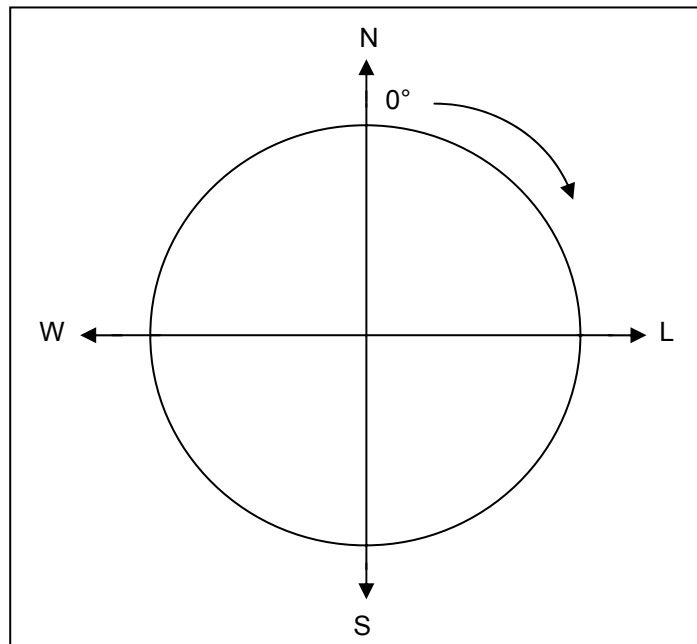


Figura 6.2: Orientação das direções médias calculadas

Dados de tráfego urbano foram cedidos pela Secretaria Municipal de Transportes de Vitória, Instituto Jones dos Santos Neves, DNIT. Avaliações de lançamentos por essas fontes foram feitas pela equipe **LAB**.

6.1.1 Instrumentos utilizados para coleta de dados

Além dos coletores de material particulado, também foi utilizada a balança do Laboratório de Materiais da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) para a pesagem dos filtros de quartzo.

6.1.2 Filtros utilizados

Três tipos de filtros foram utilizados durante a coleta, sendo eles de quartzo, celulose ou teflon.

- Filtros de quartzo: os filtros de microfibras de quartzo (SO₂), possuem eficiência superior a 99,9 % na retenção de aerossóis, retangular, com

203 mm x 254 mm, utilizado principalmente em amostragem de grande volume (AGV) de partículas totais em suspensão (PTS) no ar ambiente.

- Filtros de celulose: feitos de celulose de algodão alfa da mais alta qualidade, com eficiência de 75 % na retenção de aerossóis, retém precipitados grossos em alto fluxo. É particularmente recomendado para filtração de aerossóis metálicos e determinação de sílica em aço. Porém, por causa de sua composição, não é utilizado na determinação de carbono.
- Filtros de teflon: filtro utilizado para coleta de PM₁₀ e PM_{2,5} com eficiência de 100% para esses materiais particulados, e seu diâmetro é de 46.2 mm.

A escolha do filtro a ser utilizado para coleta depende do elemento a ser analisado. Como exemplo, o filtro de celulose não foi utilizado para obter amostras de concentrações de carbono e sim o de quartzo ou teflon.

6.1.3 Procedimento de coleta do material particulado

Durante a coleta foram usados diferentes coletores, e cada um teve um tempo de exposição para recolhimento das amostras.

Para a coleta de PS com filtro de celulose nos vasos de coleta, o tempo de exposição era de 30 dias para que houvesse a deposição do material. Estipulada a data de recolhimento desses filtros, eles eram levados para o Laboratório de Aerossóis e Bio-escoamentos (LAB) da UFES, para ser retirados componentes indesejáveis, tais como insetos, pêlos, etc.

Na coleta de PM₁₀ com filtro de quartzo no AGV, o tempo de exposição era de 24hs, pois nesses coletores existe um sistema de sucção de ar. Os filtros eram pesados antes e depois da utilização para sabermos a massa coletada. Na coleta de PM₁₀ com filtro de teflon o procedimento é o mesmo do filtro de quartzo, porém o coletor usado foi o Minivol.

6.2 Análises químicas e elementos analisados

As análises foram feitas na Element Analysis Corporation, localizada nos Estados Unidos (EUA). Foram utilizados para análise dos filtros, os métodos Próton Particle induced X-Ray Emission (PIXE) e Thermal Optical Transmittance (TOT).

PIXE (Particle induced X-Ray Emission): é uma técnica de análise multielementar que usa um feixe de prótons de energia de alguns MeV para excitar raios-X característicos dos átomos do material analisado. Trata-se de um método bem conhecido, usado há mais de 20 anos para determinar quantitativamente concentrações de elementos até limites de uma parte por bilhão. PIXE tem uma ampla gama de aplicações em áreas de interesse social e econômico.

Os usos mais comuns de PIXE são: análise de traços de elementos em materiais biológicos e de aplicação médica; determinação de composição de aerossóis da atmosfera (poluição atmosférica); aplicações na determinação da composição de materiais geológicos; medida de poluentes em rios, etc.

Elementos analisados: O material particulado é composto por grande variedade de elementos químicos. Dentre os elementos identificados no material particulado encontrado em Vitória, seis foram selecionados para o estudo por serem de grande importância para o meio estudado e pela sua frequência e magnitude de concentrações: alumínio (Al), cloro (Cl), cálcio (Ca), ferro (Fe), carbono orgânico (OC) e carbono elementar (EC). Na granulometria estudada todos esses elementos são prejudiciais à saúde humana principalmente no que se refere a problemas do sistema respiratório.

6.3 Análise de variância e de simulação numérica da dispersão

Dentre as ferramentas utilizadas para desenvolvimento de projetos, pesquisas, etc, temos que ter em mãos “bons ajudantes” que irão nos encaminhar para os resultados, e a análise computacional é um bom exemplo. Os softwares utilizados nesse projeto (EXCEL, SPSS, Environmental Management, Chemical Mass Balance) foram de vital importância para a finalização do projeto.

6.3.1 Softwares utilizados

SPSS: programa estatístico utilizado para fazer tratamento de dados. Para esse estudo, ele foi utilizado na análise de variância das concentrações obtidas na análise química dos filtros.

O objetivo da análise é verificar se as concentrações obtidas na região em estudo podem ser consideradas de uma mesma fonte com uma certeza de 95%.

Environmental Management (EnviMenu): version 2.0.50 (10/04/2003) Copyright 1999-2005, OPSIS AB, Sweden, programa doado ao LAB, utilizado para simular a dispersão de poluentes emitidos para a atmosfera. Com os resultados obtidos podemos observar áreas bem definidas, com as concentrações do poluente que está sendo simulado.

Chemical Mass Balance (CMB8): É um programa de acesso público que se encontra na pagina do EPA na internet. Este programa faz a simulação dos elementos analisados no filtro com o perfil de fontes de material particulado distribuído na região que se deseja estudar ou seja, ele faz iterações entre um vetor com os valores dos elementos do filtro com a matriz das fontes, conseguindo determinar quais são as fontes emissoras de material particulado.

7 AVALIAÇÃO DAS ANÁLISES

7.1 Tabela de resultados

As tabelas a seguir, contém dados das concentrações dos filtros analisados, velocidade média e direção do vento para Ilha do Boi e Ilha do Frade e para Enseada do Suá apenas as concentrações.

Tabela 7.1 - Dados da Ilha do Boi para PTS

| Ilha do Boi (PTS) | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------|-----------|------------------------------------|---------|--------|---------|--------|--------|-------|
| Data | Veloc.Média | Ang. Grau | Concentrações (µg/m ³) | | | | | | |
| | (m/s) | (grau) | Al | Cl | Ca | Fe | OC | EC | Total |
| 06/03/02 | 1.99 | 21 | 0.6137 | 4.6834 | 1.4173 | 7.7934 | 3.8963 | 1.5914 | 86.1 |
| 25/03/02 | 2.05 | 3381 | 0.6065 | 8.5512 | 2.6043 | 17.0984 | 3.4724 | 3.3738 | 137.3 |
| 16/04/02 | 1.40 | 71 | 0.6854 | 10.9862 | 2.3947 | 1.2022 | 7.5041 | 1.6573 | 98 |
| 11/06/02 | 2.04 | 22 | 1.2786 | 7.3194 | 3.6886 | 20.3428 | 4.8643 | 3.6926 | 187.4 |
| 25/06/02 | 1.75 | 181 | 0.9066 | 6.5542 | 1.7911 | 1.2944 | 3.3712 | 1.9082 | 80.7 |
| 22/07/02 | 1.67 | 5 | 0.0001 | 0.0004 | 0.0002 | 0.0007 | 0.0004 | 0.0003 | 69.5 |

Tabela 7.2 - Dados da Ilha do Boi para PM10

| Ilha do Boi (PM10) | | | | | | | | | |
|--------------------|-------------|-----------|------------------------------------|---------|--------|---------|--------|--------|-------|
| Data | Veloc.Média | Ang. Grau | Concentrações (µg/m ³) | | | | | | |
| | (m/s) | (grau) | Al | Cl | Ca | Fe | OC | EC | Total |
| 11/6/2002 | 2.05 | 338 | 0.7374 | 2.9819 | 1.0459 | 2.578 | 2.7176 | 1.5004 | 39.8 |
| 17/6/2002 | 1.77 | 338 | 0.4868 | 4.0085 | 0.6214 | 0.6629 | 1.1115 | 0.7555 | 42.5 |
| 19/6/2002 | 1.34 | 284 | 0.6289 | 1.4323 | 0.9723 | 0.4376 | 2.2719 | 1.0909 | 29.3 |
| 25/6/2002 | 1.75 | 181 | 0.8048 | 2.6374 | 0.6090 | 1.4387 | 1.9294 | 1.7445 | 38.8 |
| 16/7/2002 | 1.77 | 16 | 0.9811 | 0.72717 | 0.1895 | 0.79297 | 2.3331 | 1.0341 | 12.0 |
| 18/7/2002 | 3.28 | 188 | 1.2665 | 1.1938 | 0.4589 | 0.32327 | 3.2467 | 0.9476 | 28.0 |
| 22/7/2002 | 1.67 | 5 | 0.0006 | 2.0247 | 0.0006 | 2.2889 | 2.463 | 1.1963 | 30.7 |
| 25/7/2002 | 5.78 | 331 | 1.1765 | 1.2491 | 0.2900 | 0.7902 | 3.0623 | 1.107 | 26.0 |
| 31/7/2002 | 2.30 | 357 | 0.0008 | 2.4472 | 0.0008 | 1.8314 | 1.8269 | 1.3841 | 34.4 |
| 2/8/2002 | 1.43 | 167 | 0.0009 | 0.9799 | 0.0005 | 2.2573 | 5.6252 | 2.1441 | 34.5 |
| 10/8/2002 | 0.40 | 223 | 1.2784 | 0.6516 | 0.6492 | 1.7337 | 5.9272 | 1.5259 | 40.0 |
| 29/8/2002 | 0.09 | 5 | 0.5244 | 1.4981 | 0.2116 | 1.8139 | 2.5661 | 0.5650 | 30.0 |
| 27/9/2002 | 2.70 | 155 | 0.4417 | 1.1902 | 0.3648 | 2.0873 | 2.9889 | 1.1278 | 38.9 |
| 8/10/2002 | 0.48 | 28 | 0.9558 | 1.9602 | 0.9016 | 4.3476 | 3.2266 | 1.3308 | 51.0 |
| 12/12/2002 | 0.51 | 29 | 0.7520 | 1.2421 | 0.5241 | 5.1056 | 2.3232 | 0.9709 | 48.1 |

Tabela 7.3 - Dados da Ilha do Frade para PM10

| Ilha do Frade (PM10) | | | | | | | | | |
|----------------------|--------------|-----------|--|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Data | Veloc. Média | Ang. Grau | Concentrações ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | | | | | |
| | (m/s) | (grau) | Al | Cl | Ca | Fe | OC | EC | Total |
| 21/01/02 | 3.26 | 35 | 0.2738 | 5.0898 | 2.3055 | 3.0154 | 3.0216 | 2.4173 | 40.74 |
| 25/01/02 | 3.13 | 41 | 0.5543 | 2.9760 | 2.8584 | 4.3734 | 4.0381 | 2.1493 | 44.8 |
| 30/01/02 | 3.51 | 33 | 0.3661 | 7.2081 | 2.8010 | 2.7354 | 2.4634 | 1.9310 | 43.82 |
| 05/02/02 | 1.71 | 73 | 0.2230 | 3.4604 | 0.9546 | 0.6360 | 2.8383 | 1.2664 | 34.41 |
| 25/03/02 | 2.04 | 22 | 0.4492 | 3.1889 | 1.0585 | 3.3890 | 1.9736 | 1.4365 | 44.1 |
| 16/04/02 | 1.40 | 71 | 0.3504 | 4.0254 | 0.6724 | 0.4038 | 2.1941 | 1.1494 | 32.9 |
| 13/06/02 | 1.90 | 2 | 0.8175 | 3.1077 | 0.9107 | 3.0015 | 1.7668 | 1.5989 | 39.7 |
| 18/06/02 | 1.94 | 317 | 0.4290 | 1.9589 | 0.5651 | 1.3244 | 1.6818 | 0.9964 | 31.3 |
| 19/06/02 | 1.34 | 285 | 0.4023 | 1.8182 | 0.5646 | 1.3206 | 1.7911 | 1.1064 | 32.0 |
| 25/06/02 | 1.75 | 181 | 0.5166 | 0.8373 | 0.3813 | 0.6053 | 1.7010 | 0.9296 | 20.3 |
| 16/07/02 | 1.77 | 16 | 0.0012 | 1.0353 | 0.0006 | 0.9599 | 3.4316 | 0.8123 | 26.9 |
| 18/07/02 | 3.28 | 188 | 1.6719 | 1.4285 | 0.0000 | 0.2413 | 3.0429 | 0.9296 | 21.0 |
| 22/07/02 | 1.67 | 5 | 0.5438 | 1.5429 | 0.3253 | 2.5713 | 2.6268 | 1.2672 | 36.0 |
| 25/07/02 | 5.78 | 331 | 0.7183 | 0.8449 | 0.2958 | 2.6985 | 2.2535 | 0.8539 | 32.0 |
| 29/07/02 | 3.29 | 188 | 0.7567 | 1.1154 | 0.3429 | 0.8866 | 4.1046 | 1.1009 | 35.0 |
| 31/07/02 | 2.30 | 357 | 0.0006 | 2.2144 | 0.0007 | 3.1730 | 3.4601 | 1.3808 | 38.3 |
| 02/08/02 | 1.43 | 167 | 0.0008 | 0.3914 | 0.0006 | 2.2190 | 4.1911 | 1.8341 | 33.6 |
| 29/08/02 | 0.09 | 5 | 0.8080 | 1.7374 | 0.3634 | 1.2297 | 2.4039 | 0.2100 | 36.0 |
| 27/09/02 | 2.70 | 155 | 0.6470 | 0.6602 | 0.2333 | 0.6961 | 2.6029 | 0.8924 | 29.7 |
| 08/10/02 | 0.48 | 28 | 0.7148 | 1.9585 | 0.6813 | 3.4085 | 2.7603 | 0.8358 | 50.2 |
| 12/12/02 | 0.51 | 29 | 0.7875 | 1.9713 | 0.7315 | 4.4821 | 2.4326 | 1.1766 | 50.8 |

Tabela 7.4 - Dados da Ilha do Frade para PTS

| Ilha do Frade (PTS) | | | | | | | | | |
|---------------------|--------------|-----------|--|--------|--------|---------|--------|--------|-------|
| Data | Veloc. Média | Ang. Grau | Concentrações ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | | | | | |
| | (m/s) | (grau) | Al | Cl | Ca | Fe | OC | EC | Total |
| 12/06/02 | 2.84 | 352 | 0.8305 | 4.9158 | 2.6289 | 14.3366 | 3.2192 | 2.9926 | 121.8 |
| 17/06/02 | 1.77 | 88 | 0.5022 | 4.6632 | 1.1643 | 3.7765 | 2.1400 | 1.2302 | 106.1 |
| 20/06/02 | 2.76 | 119 | 0.5566 | 3.9544 | 1.4206 | 2.9885 | 4.8306 | 2.7630 | 71.1 |
| 26/06/02 | 1.75 | 171 | 0.4823 | 2.2323 | 1.1404 | 1.2275 | 2.4665 | 1.4739 | 45.9 |
| 01/08/02 | 2.10 | 107 | 0.0002 | 0.0007 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0010 | 0.0004 | 73.3 |
| 03/08/02 | 1.90 | 23 | 0.0001 | 0.0004 | 0.0002 | 0.0008 | 0.0003 | 0.0003 | 110.7 |

Tabela 7.5 – Dados da Enseada do Suá para PM10

| Enseada do Suá (PM10) | | | | | | | |
|-----------------------|--|--------|---------|---------|--------|---------|-------|
| Data | Concentrações ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | | | | | |
| | Al | Cl | Ca | Fe | OC | EC | Total |
| 11/8/2004 | 0.52263 | 6.3383 | 0.53047 | 0.70551 | 6.3995 | 0.67446 | 46.5 |
| 19/8/2004 | 0.19787 | 1.4849 | 0.21027 | 0.60129 | 4.821 | 1.1778 | 18.9 |
| 18/10/2004 | 0.34396 | 4.3646 | 0.39288 | 2.0208 | 3.5117 | 1.3639 | 30.8 |

7.2 Gráficos dos Resultados

7.2.1 Ilha do Boi

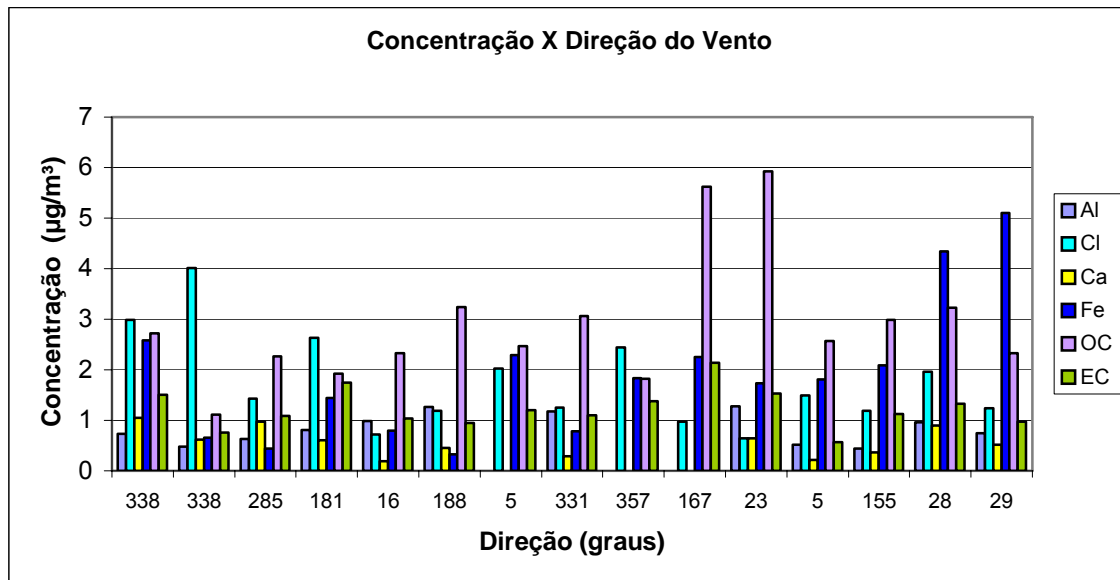


Figura 7.1 – Concentrações de PM10 e direção dos ventos na Ilha do Boi.

As coletas de PM10 na Ilha do Boi que geraram os resultados mostrados na Figura 7.1 foram realizadas sob as condições mostradas na Figura 7.2. As maiores velocidades estão associadas às direções médias 331 e 188/155 graus.

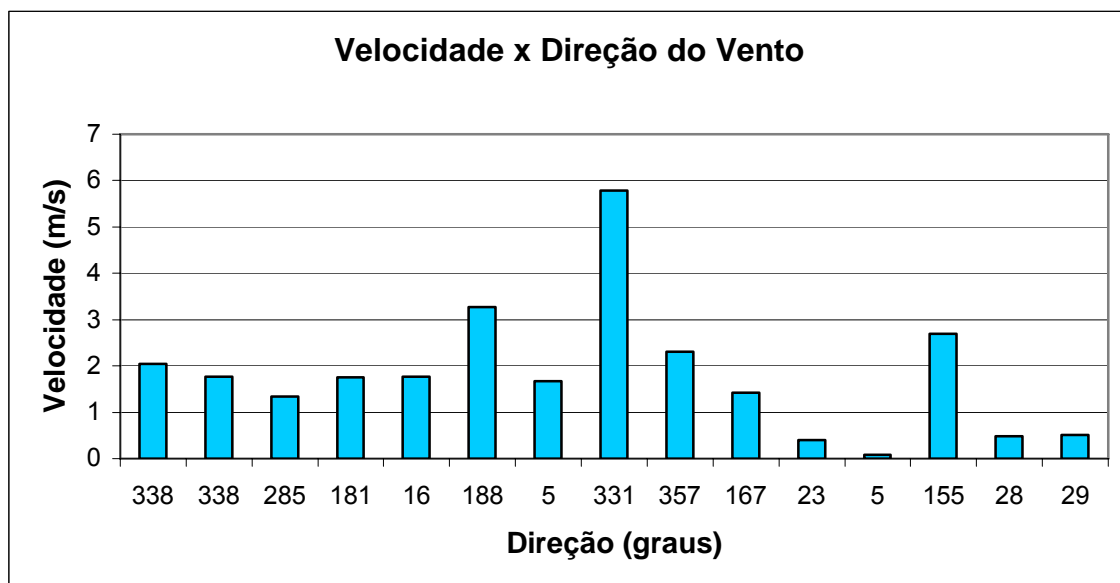


Figura 7.2 – Velocidade e direção dos ventos na Ilha do Boi.

As direções dos ventos são dadas conforme Figura 6.1, onde temos as direções norte, sul, leste e oeste definidas.

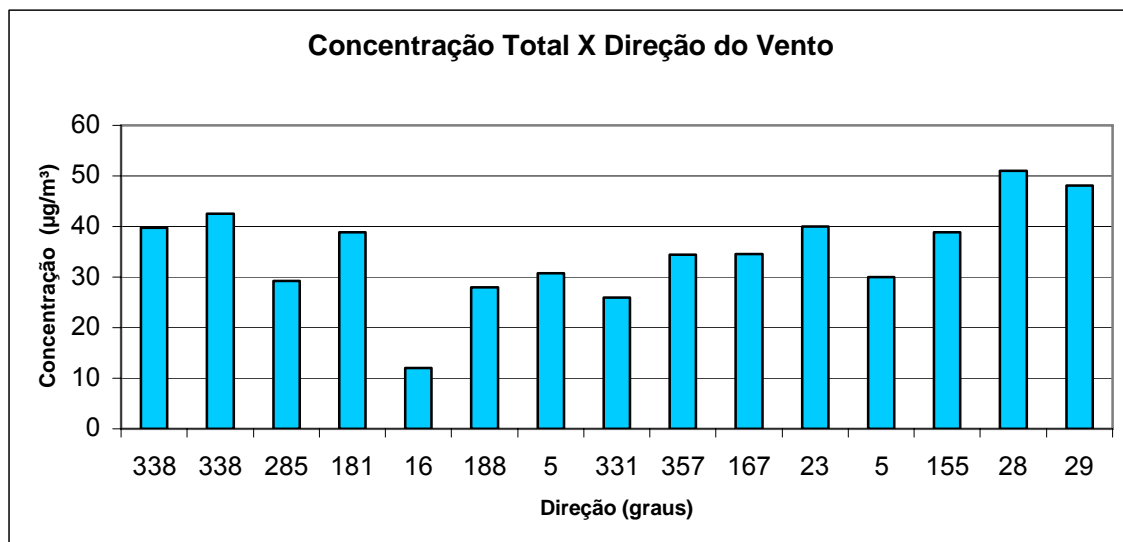


Figura 7.3 – Concentração total de PM10 e direção dos ventos na Ilha do Boi.

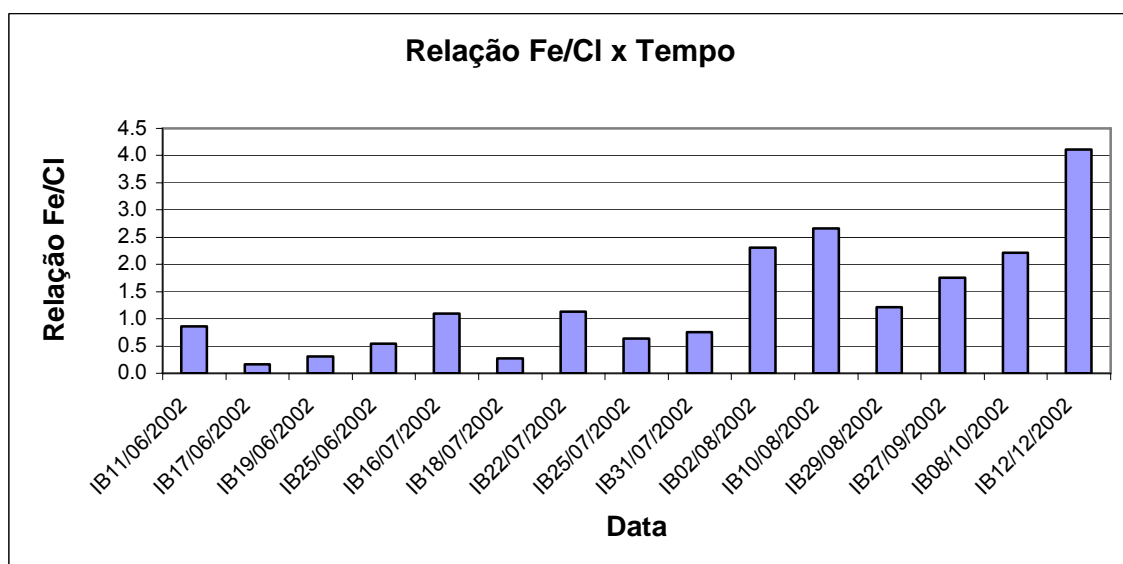


Figura 7.4 – Relação Fe/Cl de PM10 ao longo do tempo na Ilha do Boi.

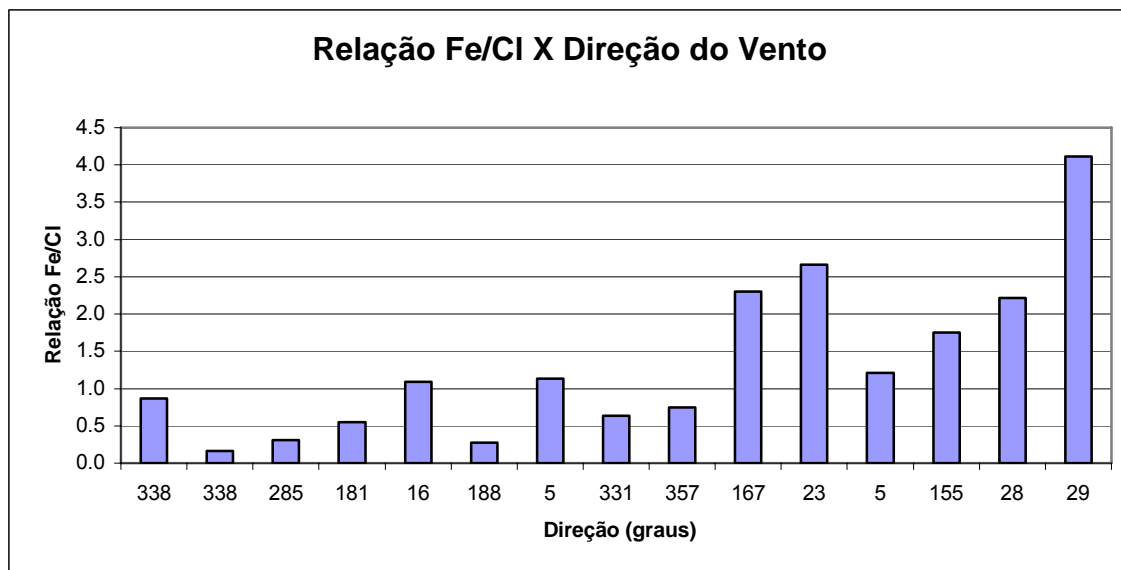


Figura 7.5 – Relação Fe/Cl de PM10 e direção dos ventos na Ilha do Boi.

As relações entre concentrações de Fe e Cl, mostradas na Figura 7.5 evidenciam valores elevados tanto sob ventos oriundos do norte (23, 28 e 29 graus), quanto oriundos do sul (155 e 167 graus). Dependendo da direção do vento as concentrações de cloro e ferro tendem a aumentar ou diminuir. Podemos perceber claramente que as concentrações de ferro são predominantemente da zona industrial.

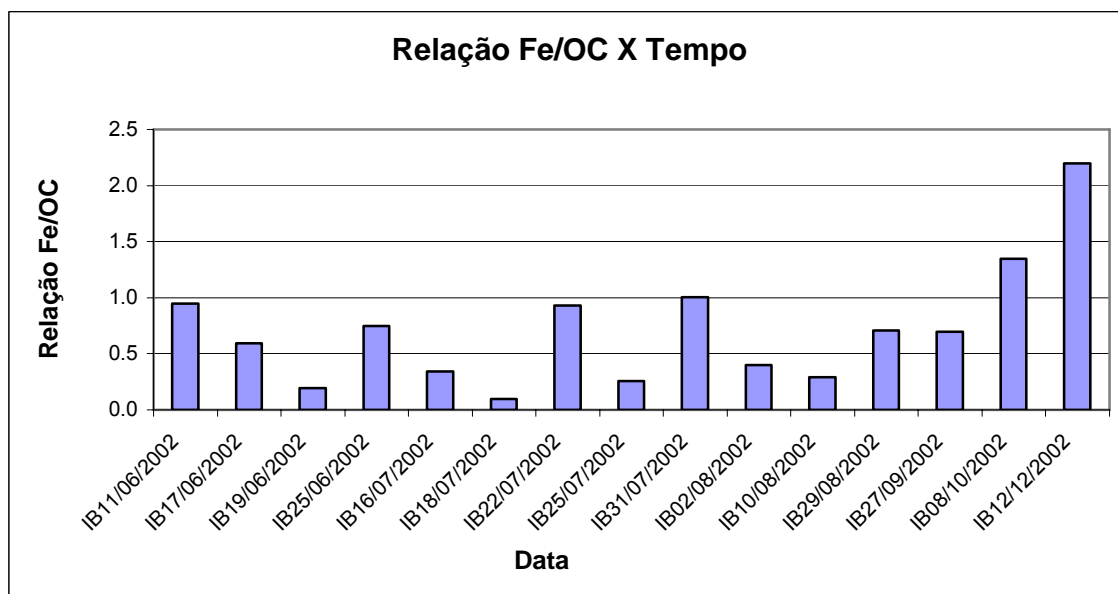


Figura 7.6 – Relação Fe/OC de PM10 ao longo do tempo na Ilha do Boi.

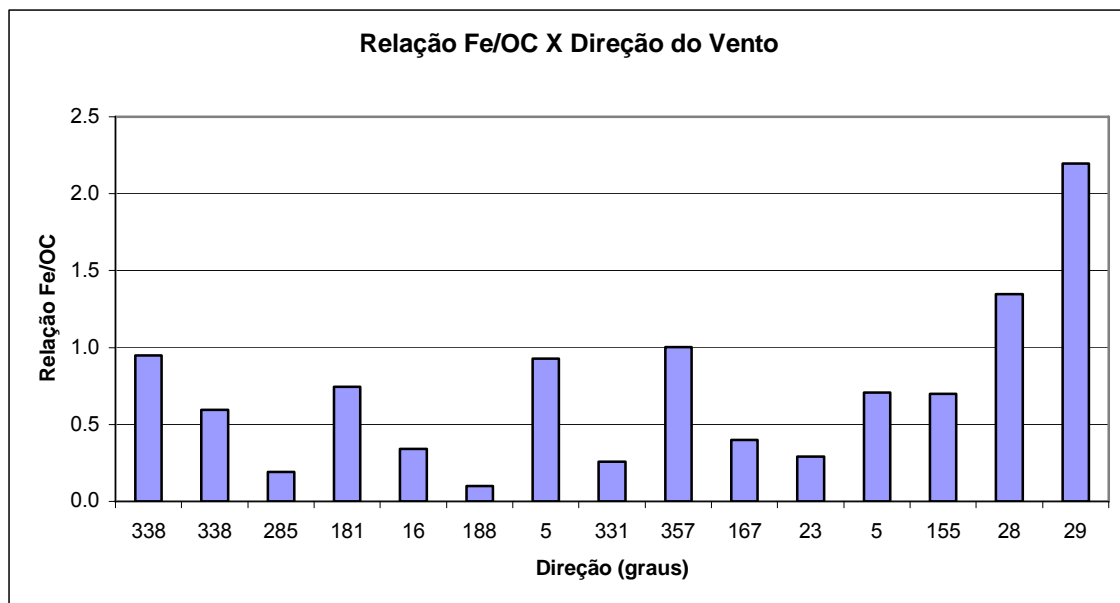


Figura 7.7– Relação Fe/OC de PM10 e direção dos ventos na Ilha do Boi.

As relações entre concentrações de Fe e OC, mostradas na Figura 7.7 evidenciam valores elevados sob ventos oriundos de norte (28 e 29 graus). Quando de ventos oriundos do sul (155, 167, 181 e 188 graus) os valores são secundários ou terciários. Os dois elementos não devem ser de mesma origem visto que, com a mudança de direção do vento, suas concentrações se modificam. O ferro é possivelmente mais de origem industrial e o OC de origem veicular.

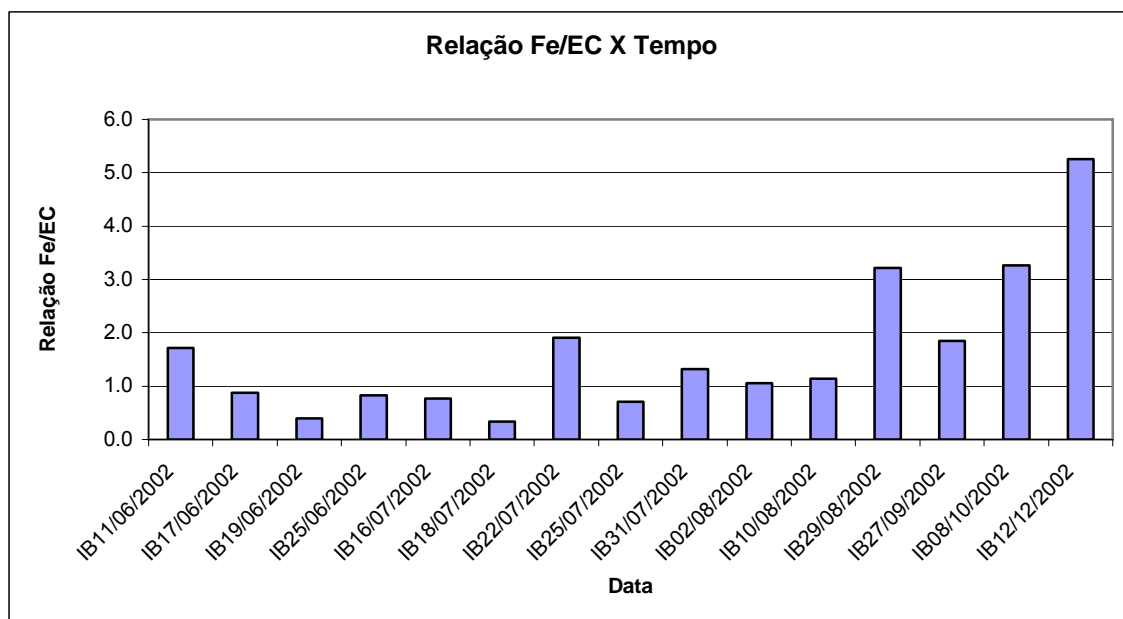


Figura 7.8 – Relação Fe/EC de PM10 ao longo do tempo na Ilha do Boi.

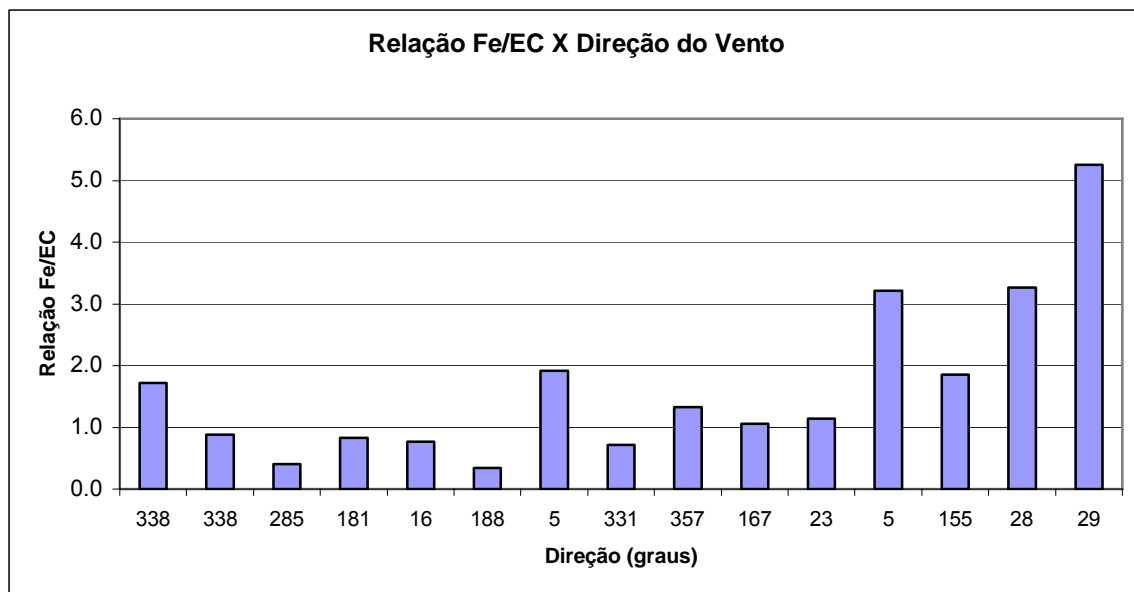


Figura 7.9 – Relação Fe/EC de PM10 e direção dos ventos na Ilha do Boi.

As relações entre concentrações de Fe e EC, mostradas na Figura 7.9 evidenciam as mesmas conclusões da relação Fe/OC.

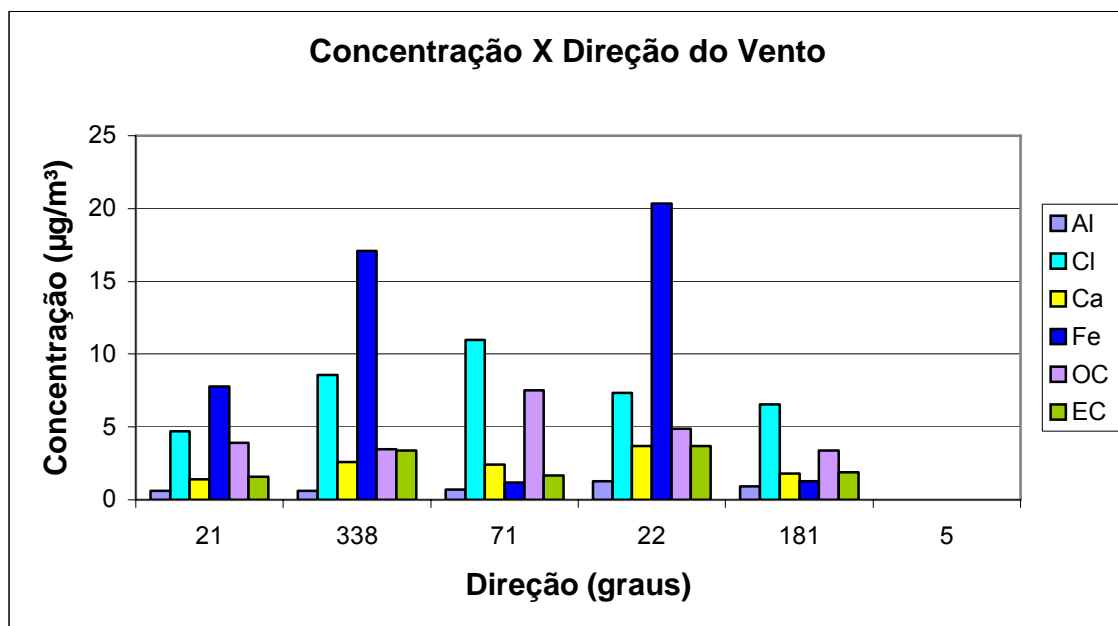


Figura 7.10 – Concentrações de PTS e direção dos ventos na Ilha do Boi.

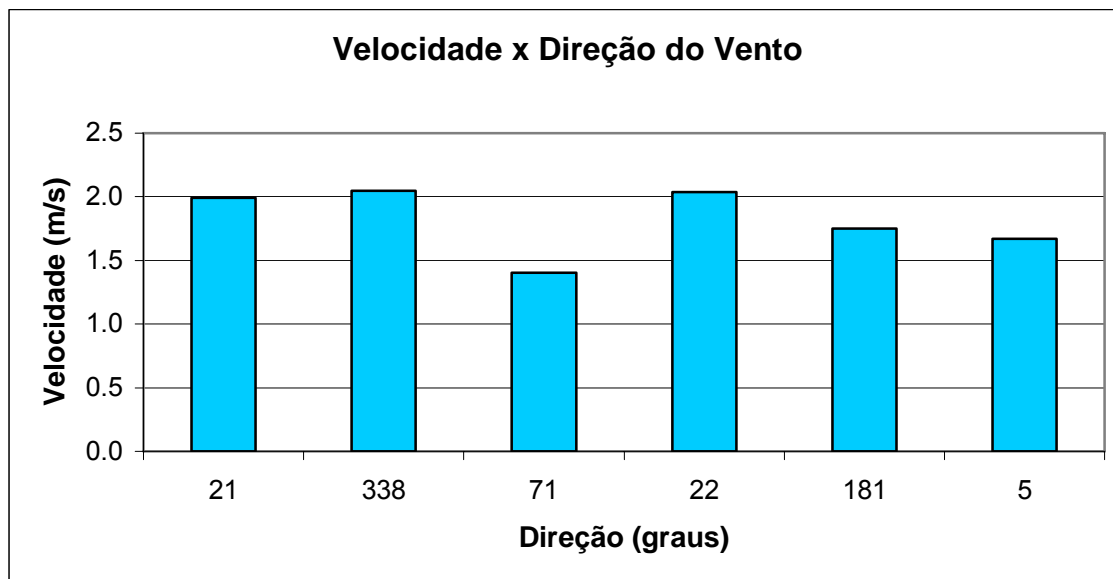


Figura 7.11 - Velocidade e direção dos ventos na Ilha do Boi.

Podemos observar na Figura 7.11 a predominância de ventos provenientes da zona industrial, e mesmo com a velocidade do vento na direção de 5 graus que esta na média das velocidades, as concentrações nesta direção não são significativas para os elementos analisados Figura 7.10.

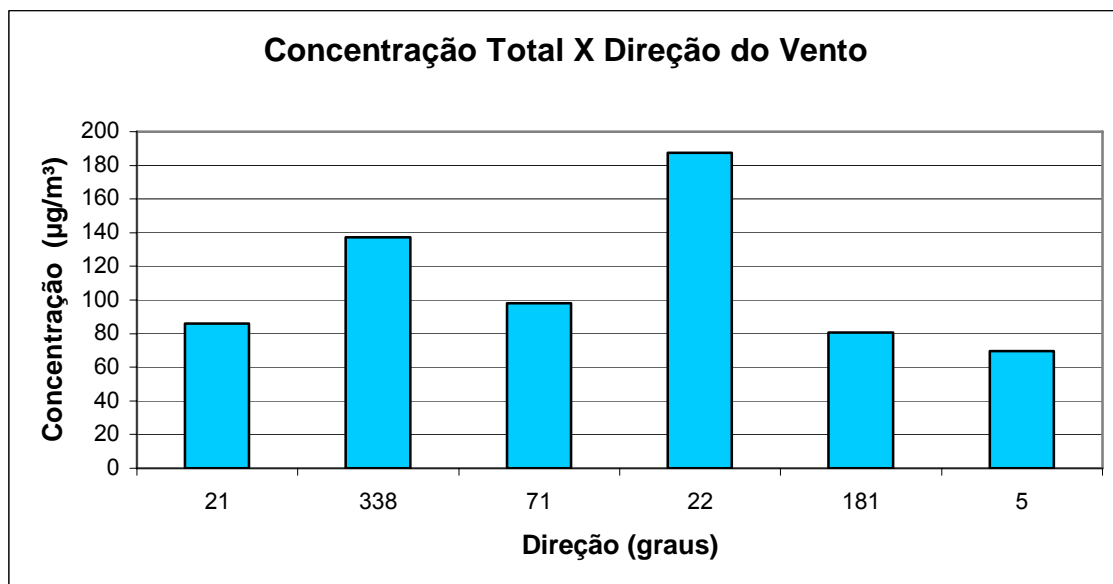


Figura 7.12 – Concentração total de PTS e direção dos ventos na Ilha do Frade.

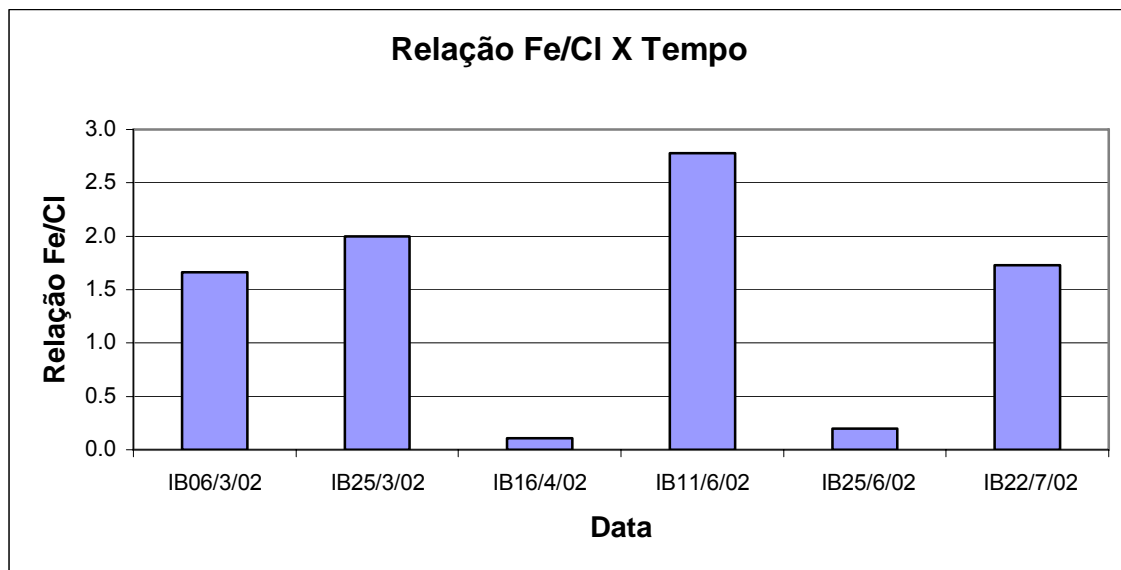


Figura 7.13 – Relação Fe/Cl ao longo do tempo na Ilha do Boi.

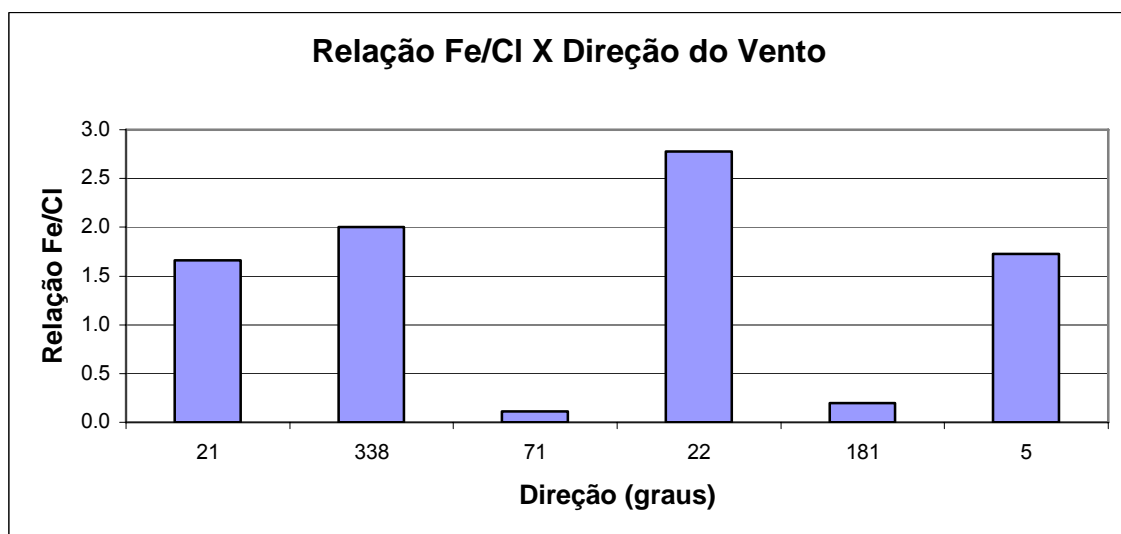


Figura 7.14 – Relação Fe/Cl de PTS e direção dos ventos na Ilha do Boi.

A relação Fe e Cl medidos para PTS são dados em maiores concentrações para os ventos vindos do norte, como mostra a Figura 7.14, enquanto que para ventos vindos do sul, esses valores são terceários, evidenciando que as fontes não são de mesma origem.

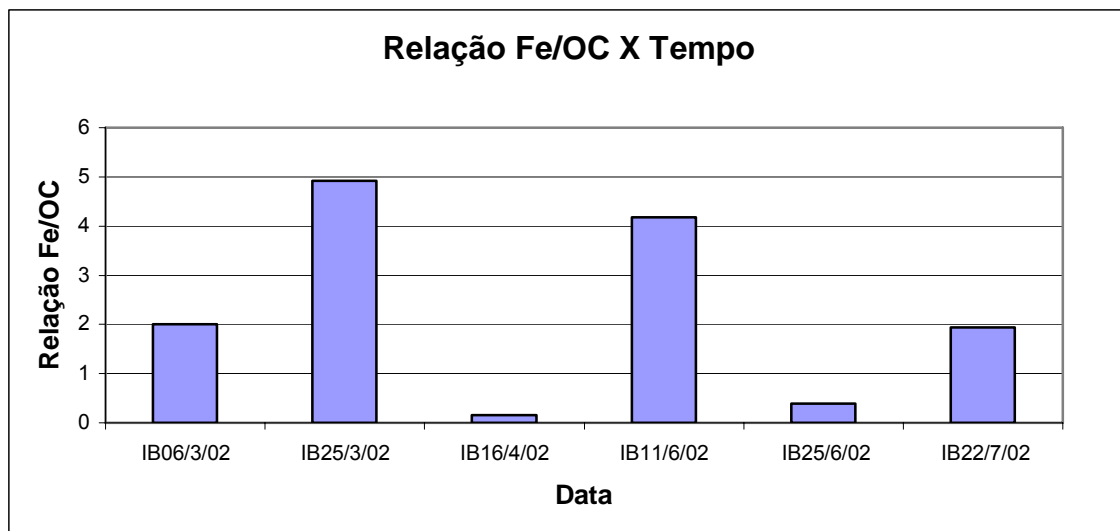


Figura 7.15 – Relação Fe/OC de PTS ao longo do tempo na Ilha do Boi.

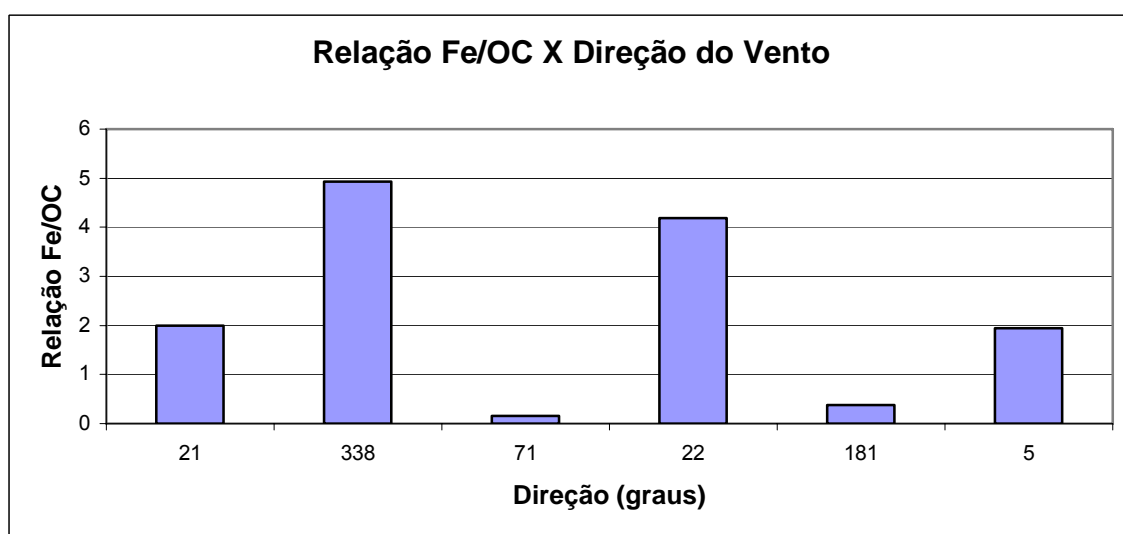


Figura 7.16 – Relação Fe/OC de PTS e direção dos ventos na Ilha do Boi.

Foi observado na Figura 7.16 a ocorrência de altas concentrações de Fe e OC que são provenientes da direção norte, evidenciando novamente que essas concentrações são de origens distintas.

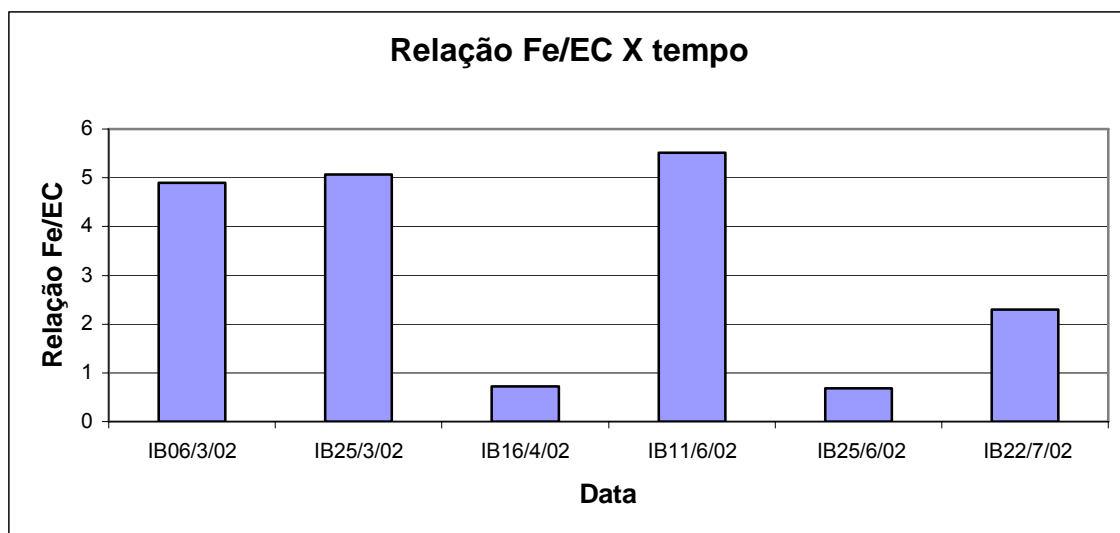


Figura 7.17 – Relação Fe/EC de PTS ao longo do tempo na Ilha do Boi.

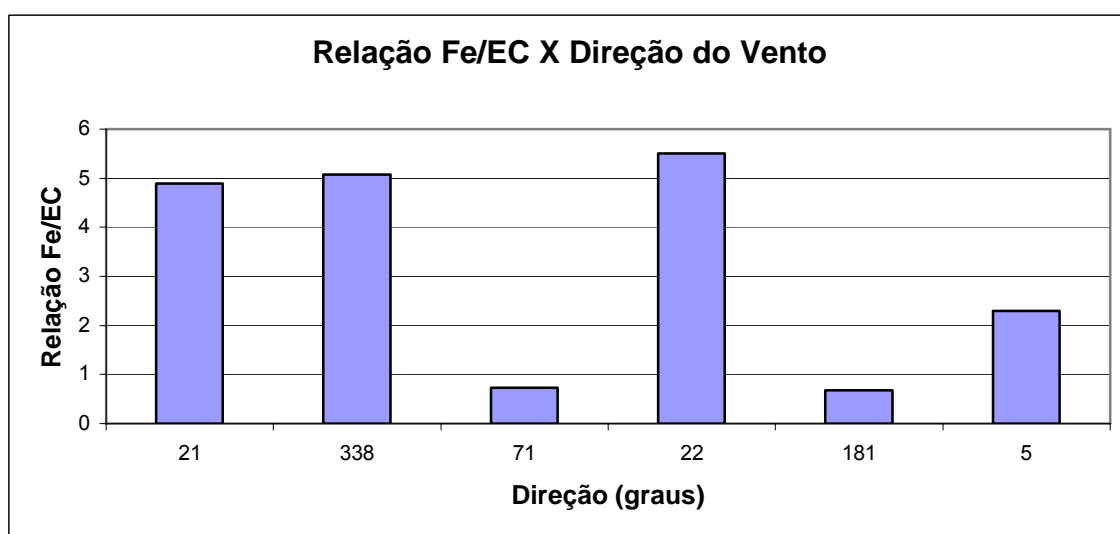


Figura 7.18 – Relação Fe/EC de PTS e direção dos ventos na Ilha do Boi.

Na Figura 7.18, temos a maior concentração de EC proveniente do sul (181°), o que pode ser contribuição de fontes veiculares e a contribuição de ferro é proveniente de fontes industriais.

7.2.2 Ilha do Frade

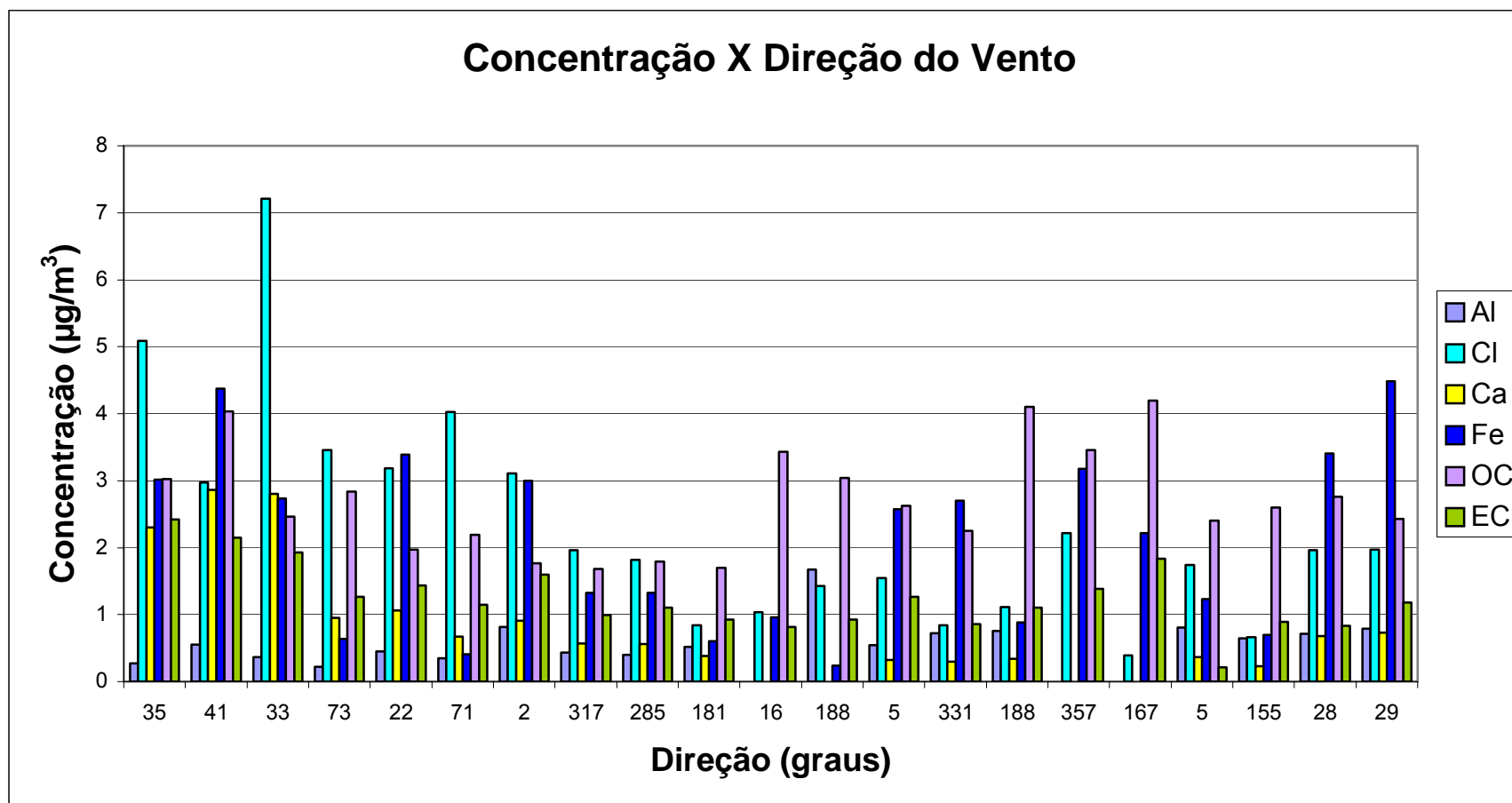


Figura 7.19 – Concentrações de PM10 e direção dos ventos na Ilha do Frade.

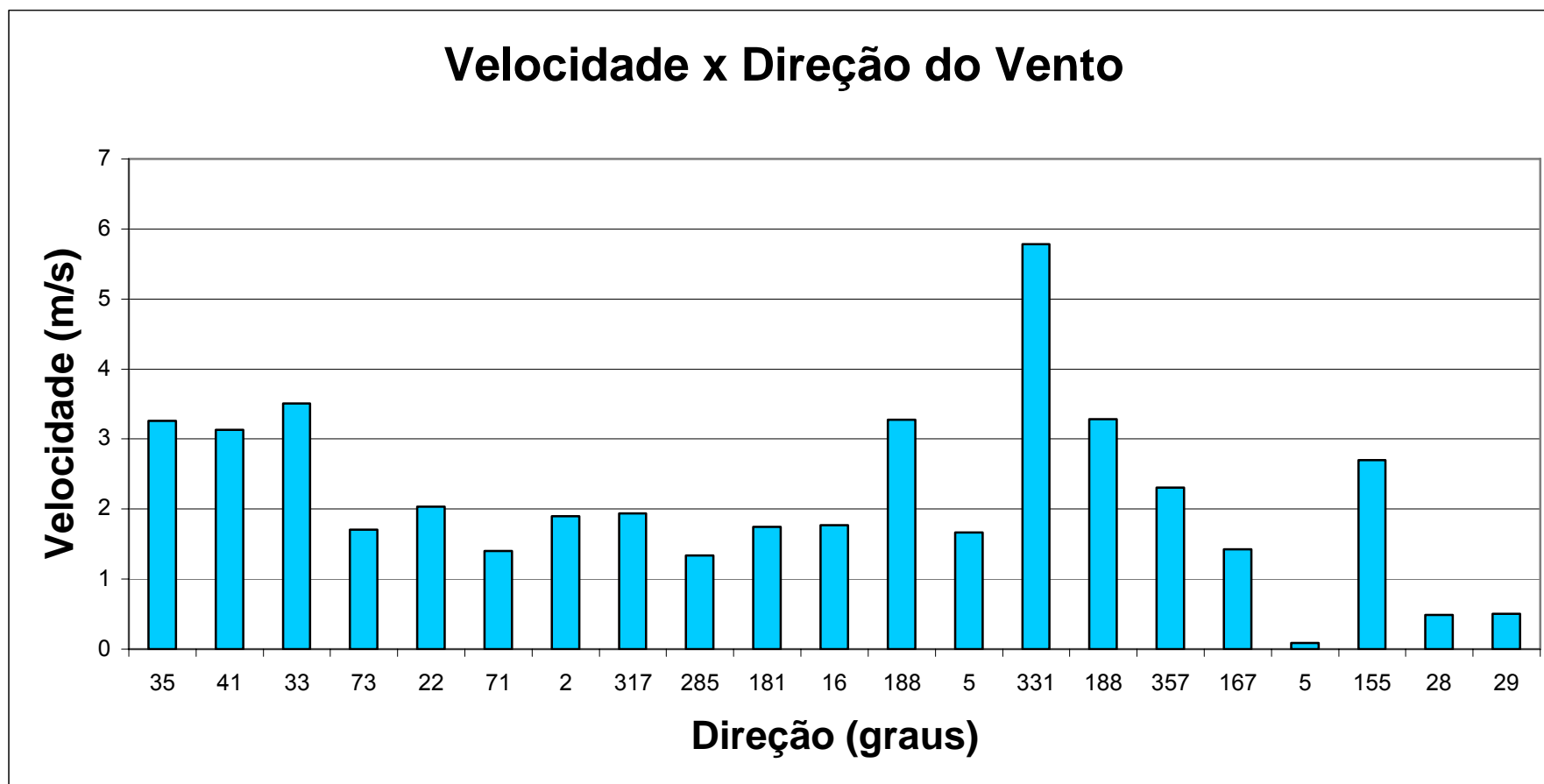


Figura 7.20 – Velocidade e direção dos ventos na Ilha do Frade.

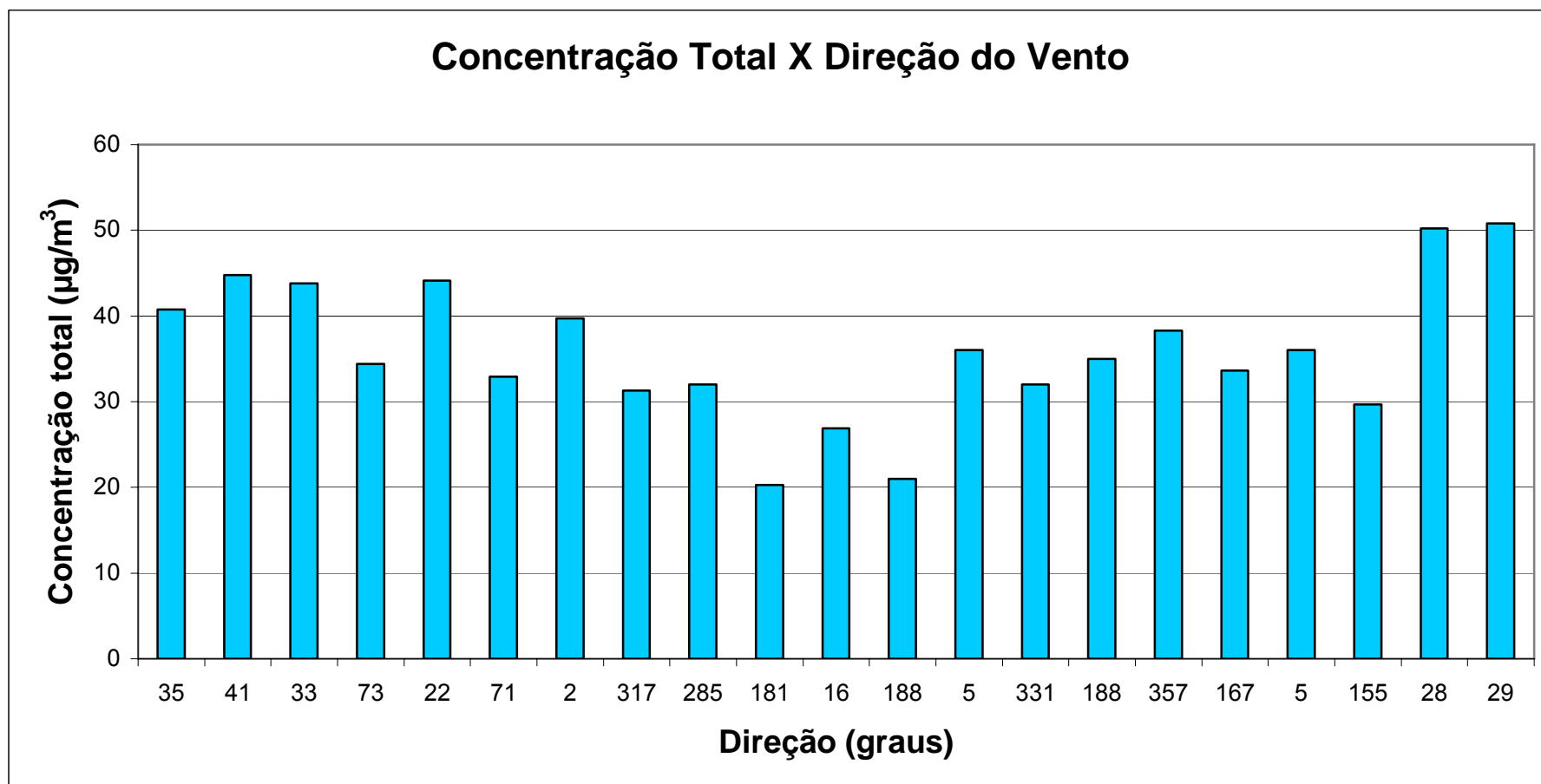


Figura 7.21 - Concentração total de PM10 direção dos ventos na Ilha do Frade.

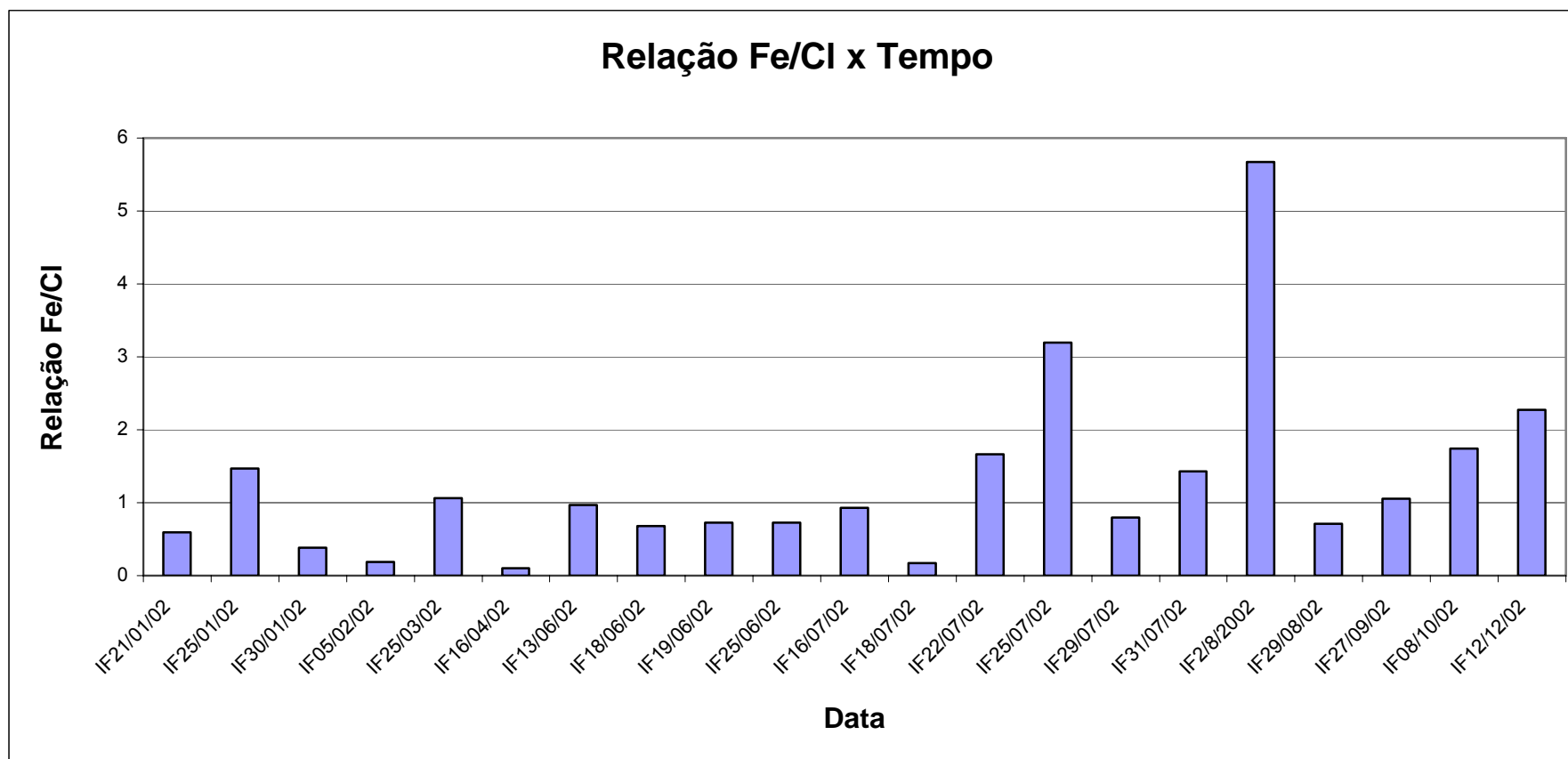


Figura 7.22 – Relação Fe/Cl ao longo do tempo na Ilha do Frade.

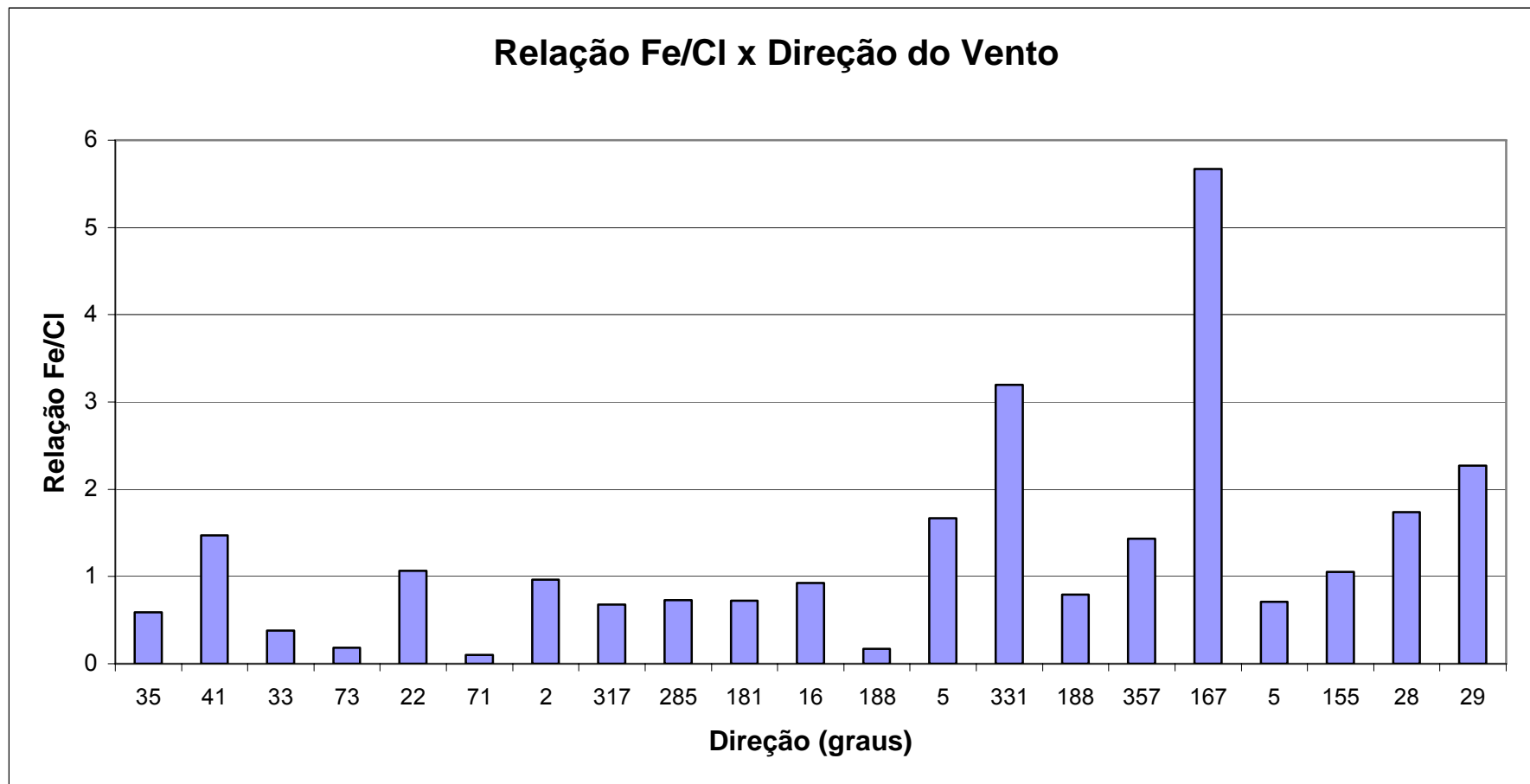


Figura 7.23 – Relação Fe/Cl de PM10 e direção dos ventos na Ilha do Frade.

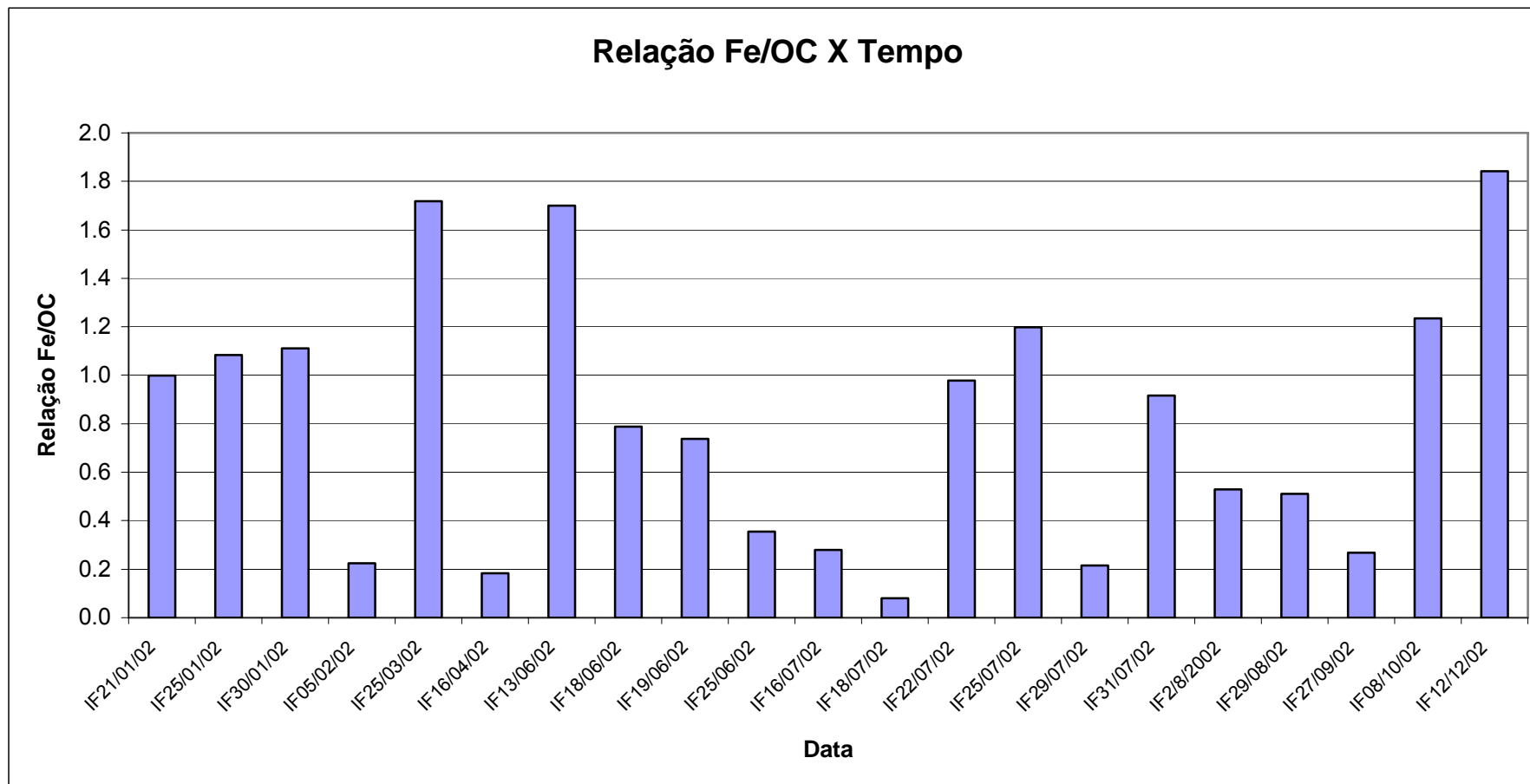


Figura 7.24 – Relação Fe/OC de PM10 ao longo do tempo na Ilha do Frade.

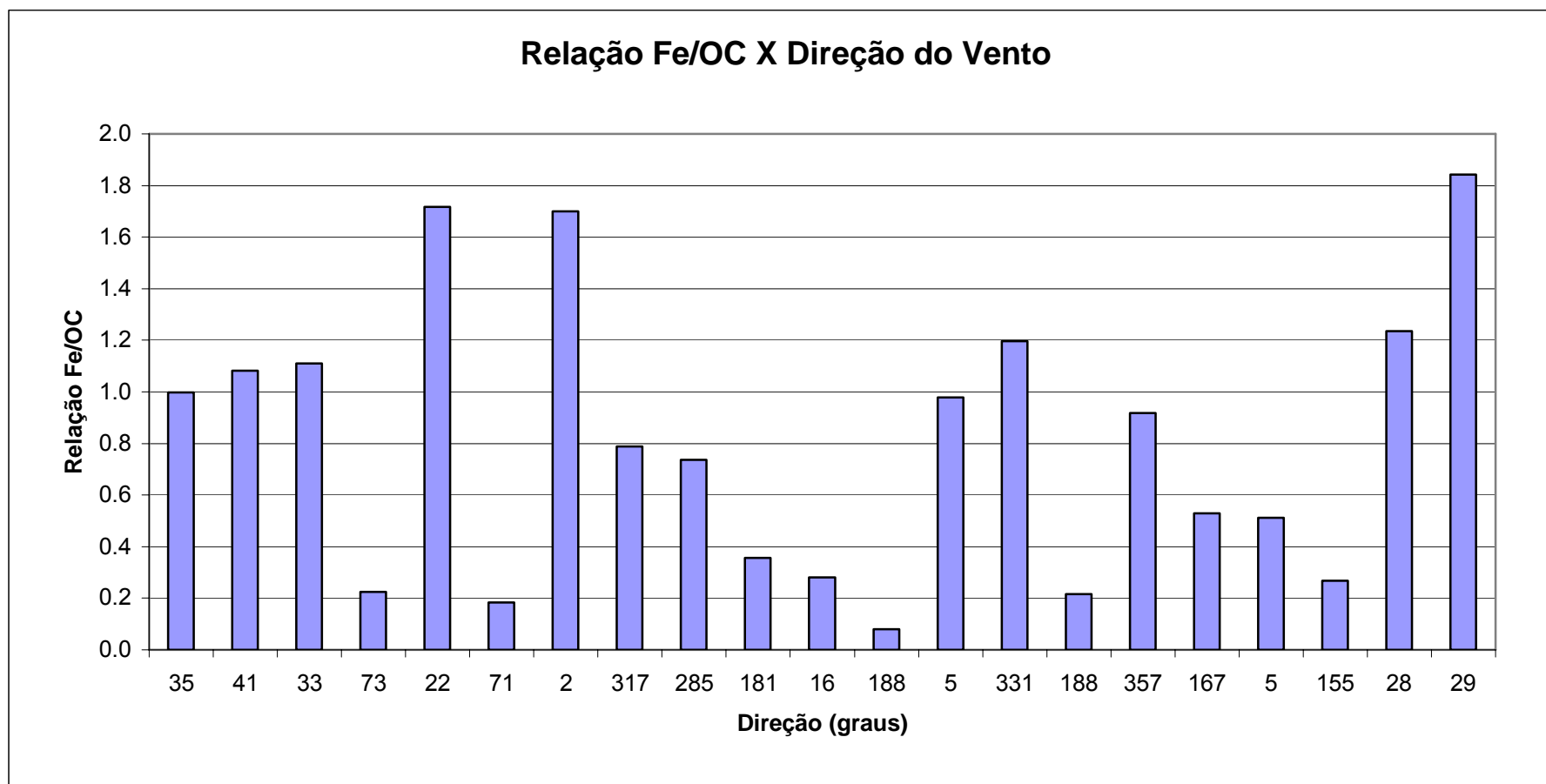


Figura 7.25 – Relação Fe/OC de PM10 e direção dos ventos na Ilha do Frade.

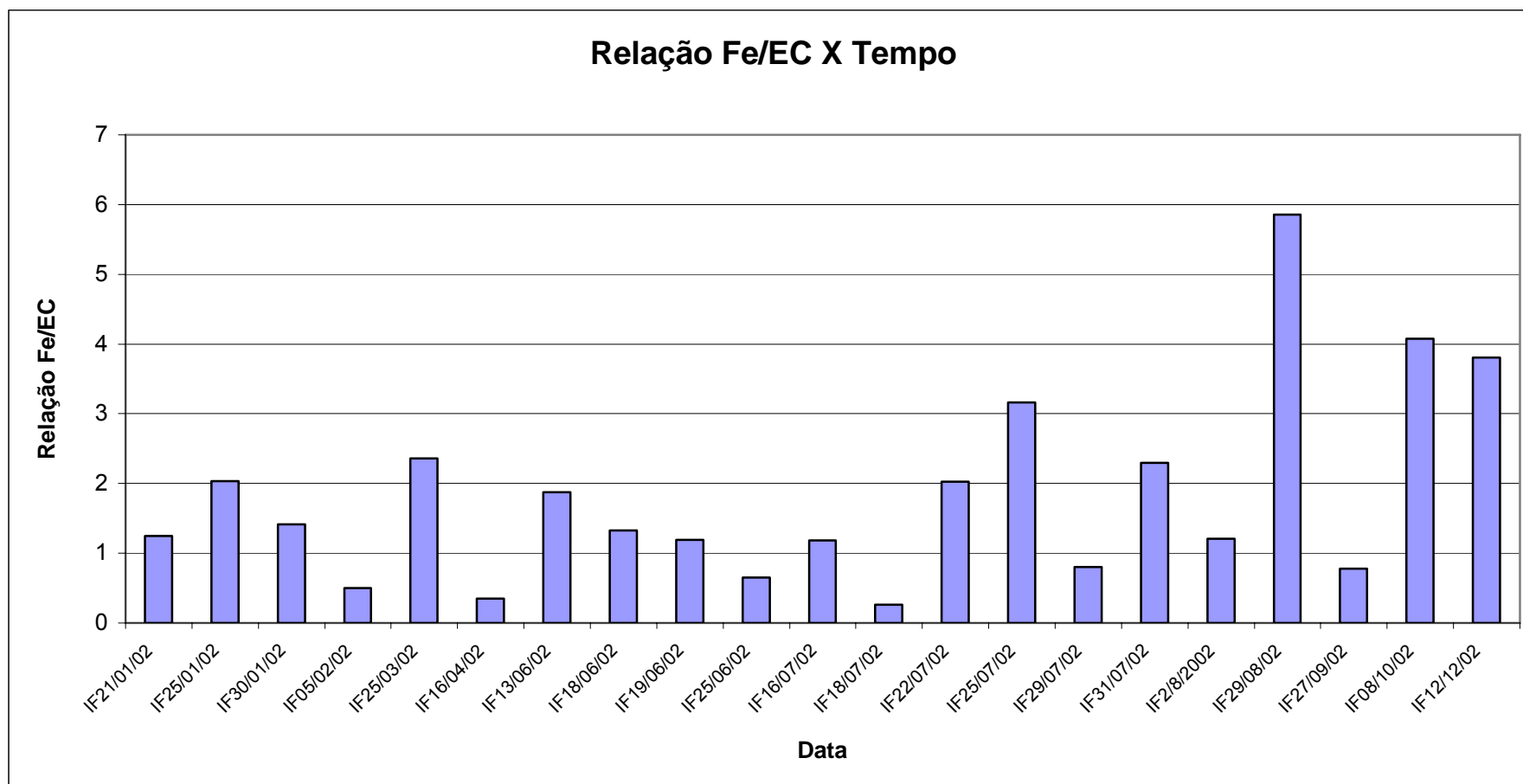


Figura 7.26 – Relação Fe/EC de PM10 ao longo do tempo na Ilha do Frade.

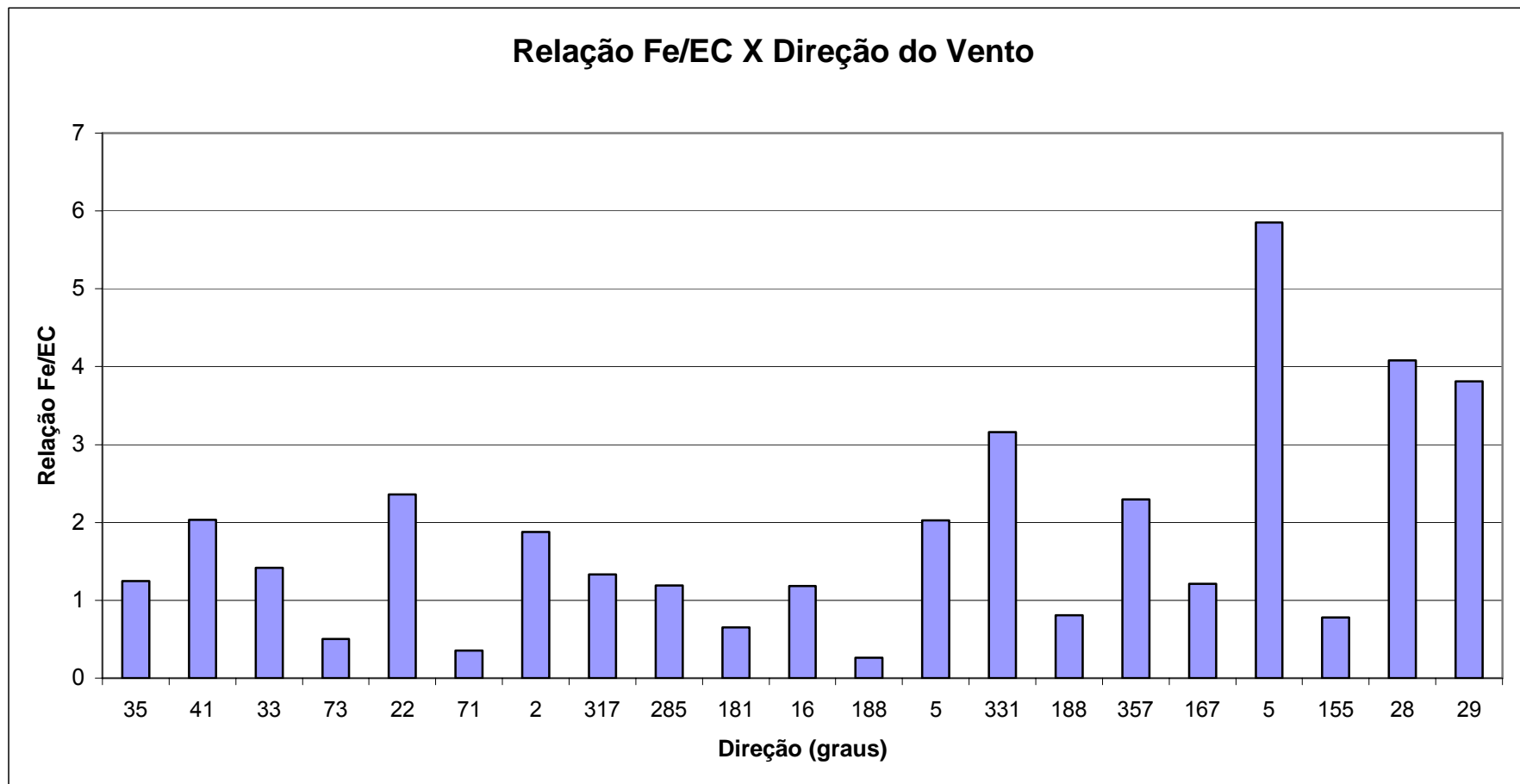


Figura 7.27 – Relação Fe/EC de PM₁₀ e direção dos ventos na Ilha do Frade.

Para a Figura 7.20, temos a predominância de ventos do norte, e as concentrações medidas de PM10 na Figura 7.19 foram coletadas sob essas condições.

Na Figura 7.21, observar-se que devido a predominância de ventos do norte, as maiores concentrações são relacionadas à estas direções.

As concentrações de cloro na Figura 7.23, mostra a participação da fonte mar para esses ângulos (35° , 33° , 73° , 71°), enquanto que as concentrações de ferro ocorrem com mais frequência para ventos oriundos do norte. Entretanto, para a direção de 161° , ocorreu uma concentração atípica, pois não é normal a concentração de ferro exceder a concentração de cloro para esses ângulos, que são ventos do sul. Deve-se observar que para o ângulo de 2° as concentrações de Fe e Cl são bem próximas, e isso mostra que alguns setores da zona industrial também contribuem na concentração de cloro.

A maior concentração ferro em relação ao carbono orgânico, na Figura 7.25, é no ângulo de 29° e a maior concentração de carbono orgânico está em 188° , o que evidencia fontes distintas de contribuição de PM10.

Os ventos nortes da Figura 7.27 fortalece a participação de fontes veiculares.

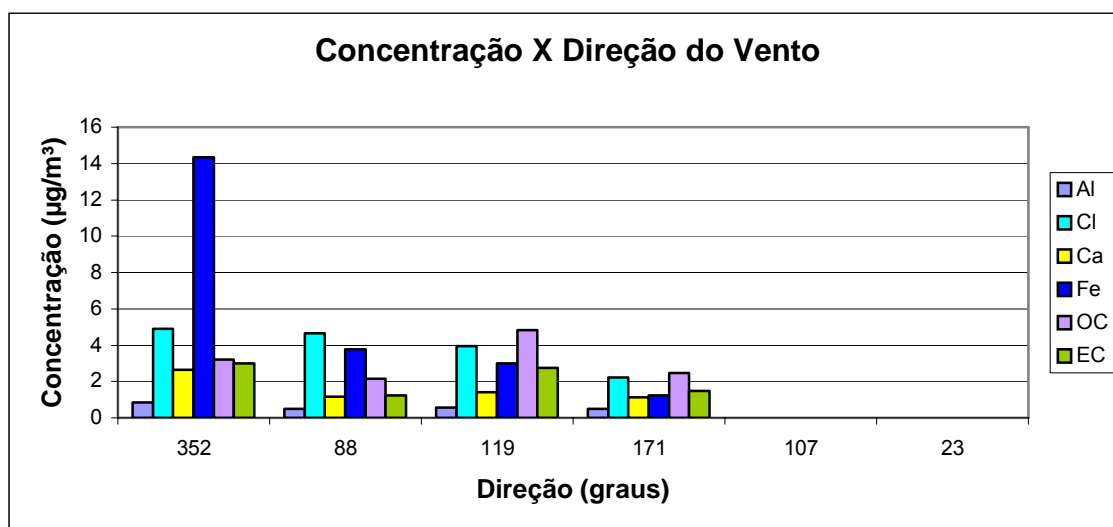


Figura 7.28 – Concentrações de PTS e velocidade dos ventos na Ilha do Frade.

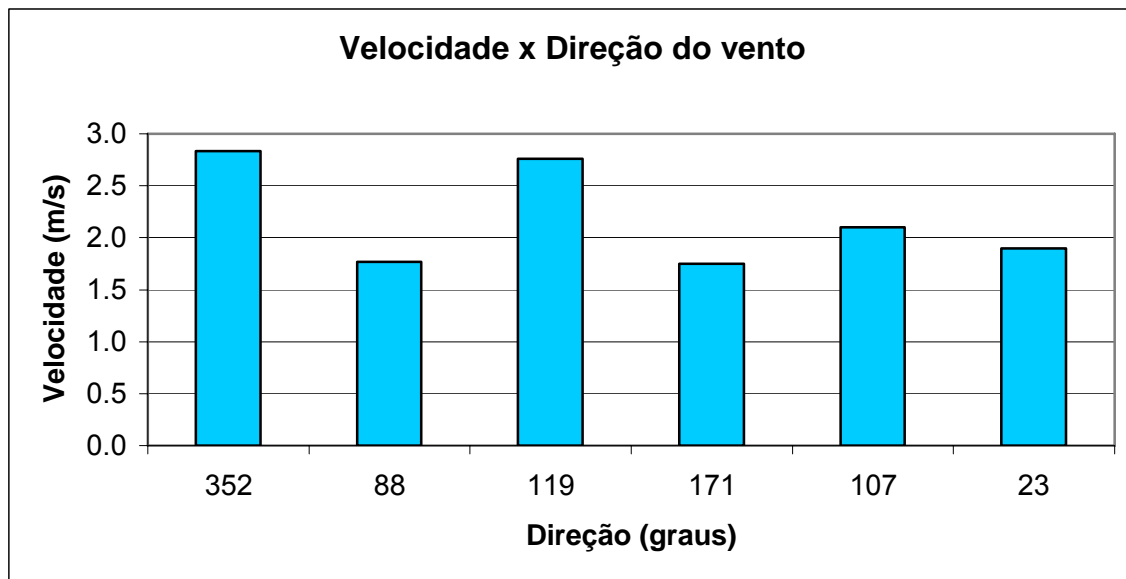


Figura 7.29 – Velocidade e direção do vento na Ilha do Frade.

Observamos na Figura 7.29 que para coleta de PTS, as direções dos ventos estão equiparadas, vento sul (119°, 171°, 107°) e vento norte (352°, 88°, 23°).

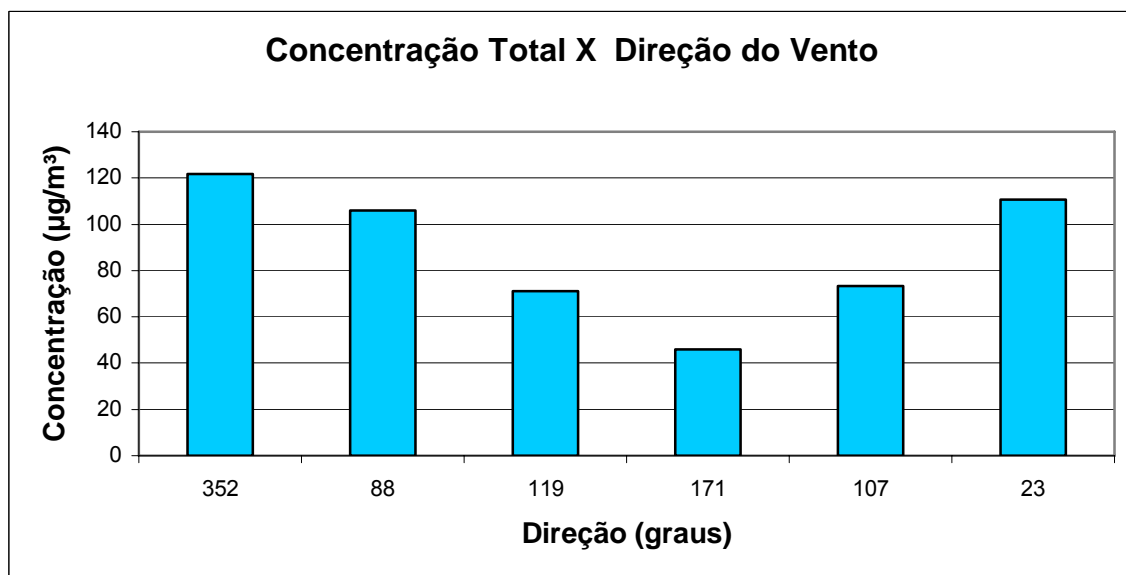


Figura 7.30 – Concentração total de PTS velocidade dos ventos na Ilha do Frade.

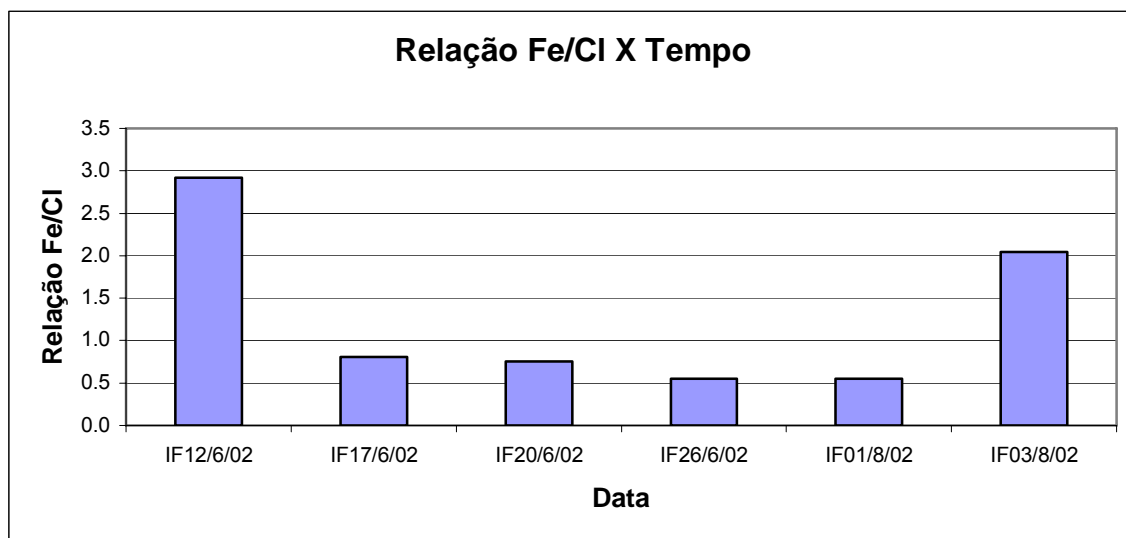


Figura 7.31 – Relação Fe/Cl de PTS ao longo do tempo na Ilha do Frade.

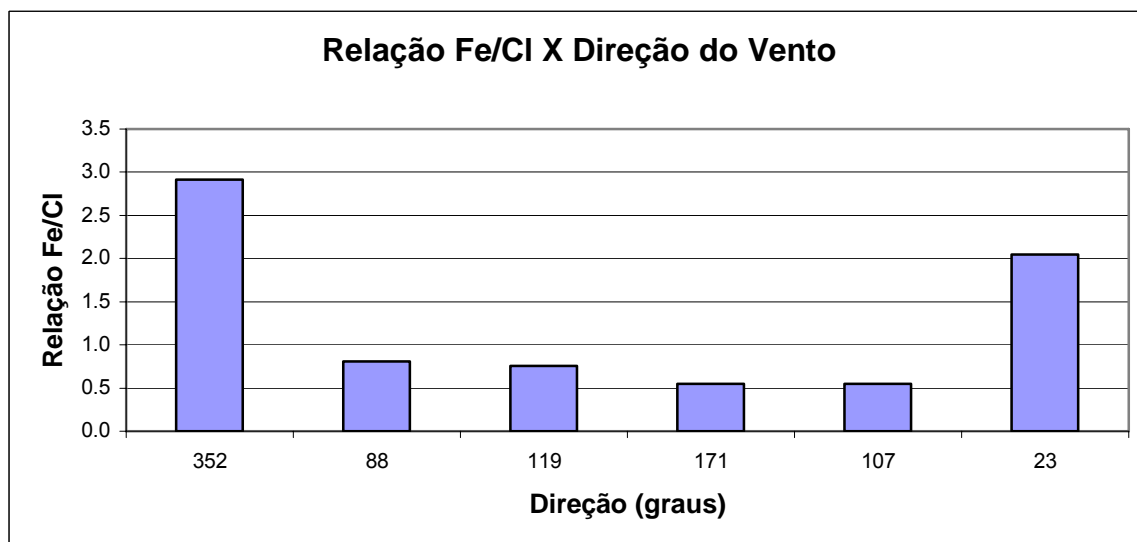


Figura 7.32 – Relação Fe/Cl de PTS e direção dos ventos na Ilha do Frade.

As contribuições estão divididas, Figura 7.32, o que mostra contribuições de mar, indústria e veículos.

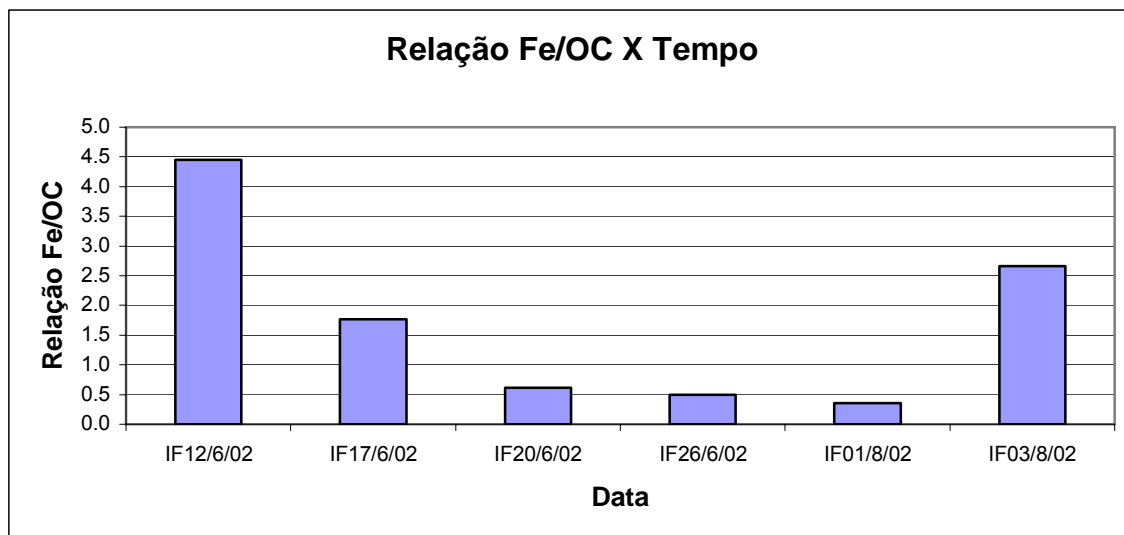


Figura 7.33 – Relação Fe/OC de PTS ao longo do tempo na Ilha do Frade.

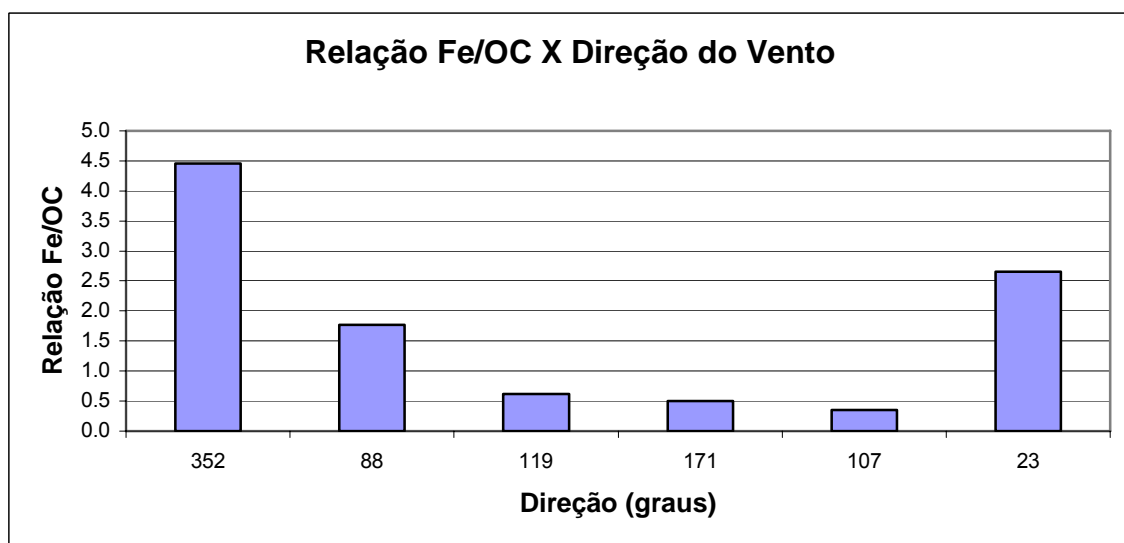


Figura 7.34 – Relação Fe/OC de PTS e direção dos ventos na Ilha do Frade.

A conclusão da Figura 7.32 pode ser usada para a Figura 7.34, porém a contribuição de mar não é considerada.

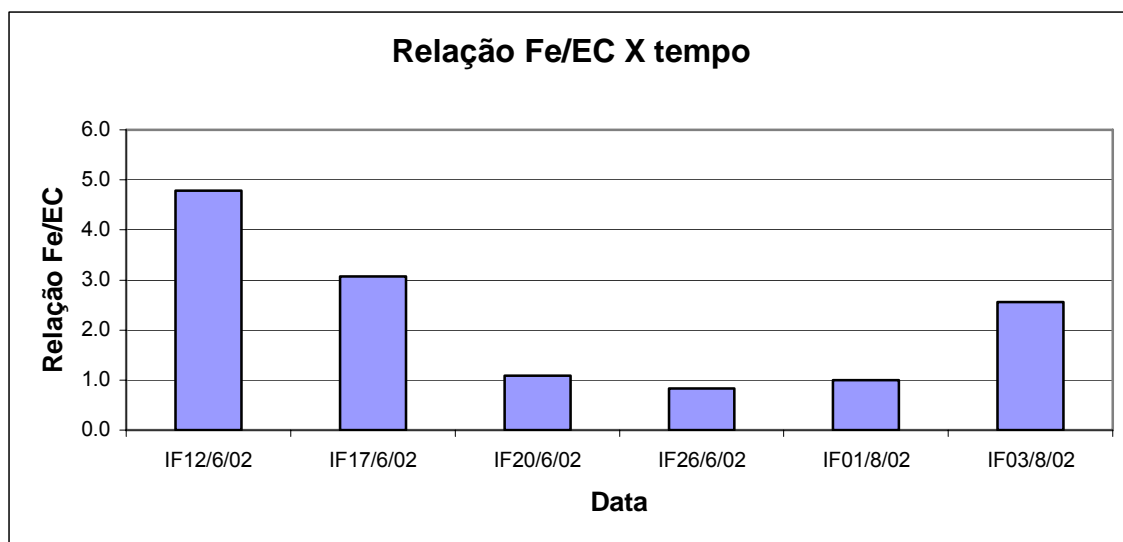


Figura 7.35 – Relação Fe/EC de PTS ao longo do tempo na Ilha do Frade.

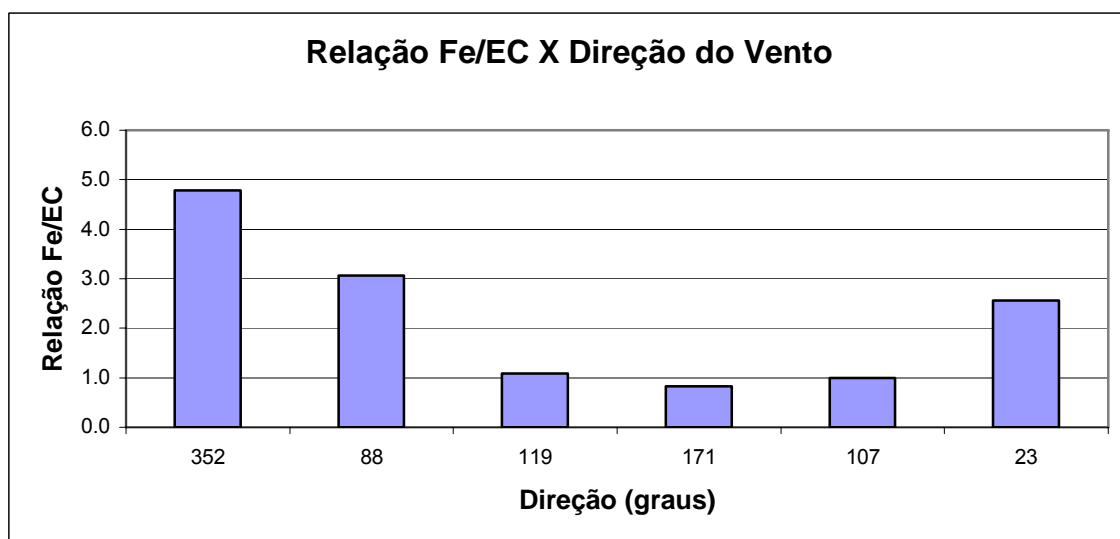


Figura 7.36 – Relação Fe/EC de PTS e direção dos ventos na Ilha do Frade.

Para a direção de 119° da Figura 7.36, temos a concentração de carbono elementar sobre o ferro, mostrando que com vento provenientes do sul, a concentração de ferro ainda é predominante, mesmo que isso não seja normal para essa direção de vento.

7.3 Análise de Variância

7.3.1 Ilha do Boi e Ilha do Frade para PM10

As figuras a seguir mostram resultados fornecidos pelos programas utilizados.

| Descriptives | | | | | | | | |
|---------------------|----|-------|----------------|------------|----------------------------------|-------------|---------|---------|
| Elemento - Alumínio | | | | | | | | |
| | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error | 95% Confidence Interval for Mean | | Minimum | Maximum |
| | | | | | Lower Bound | Upper Bound | | |
| Ilha do Frade | 21 | .5254 | .3713 | 8.103E-02 | .3564 | .6944 | .00 | 1.67 |
| Ilha do Boi | 15 | .6691 | .4345 | .1122 | .4285 | .9097 | .00 | 1.28 |
| Enseada do Suá | 3 | .3548 | .1627 | 9.391E-02 | -4.923E-02 | .7589 | .20 | .52 |
| Total | 39 | .5675 | .3900 | 6.245E-02 | .4411 | .6940 | .00 | 1.67 |

| ANOVA | | | | | | |
|---------------------|----------------|------------|----------------|----|-------------|------|
| Elemento - Alumínio | | | | | | |
| | | | Sum of Squares | df | Mean Square | Sig. |
| Between Groups | (Combined) | | .328 | 2 | .164 | .350 |
| | Linear Term | Unweighted | 7.635E-02 | 1 | 7.635E-02 | .482 |
| | | Weighted | 3.898E-03 | 1 | 3.898E-03 | .873 |
| | Deviation | | .324 | 1 | .324 | .152 |
| | Quadratic Term | Unweighted | .324 | 1 | .324 | .152 |
| | | Weighted | .324 | 1 | .324 | .152 |
| Within Groups | | | 5.453 | 36 | .151 | |
| Total | | | 5.781 | 38 | | |

Figura 7.37: Resultado do SPSS para Alumínio em relação às Ilhas e Enseada.

A Figura 7.37 mostra a análise de variância para o alumínio. Na tabela Descriptives podemos notar que os as médias dos intervalos de confiança para cada local estudado, onde podemos citar para efeito de visualização, a Ilha do Frade onde concentração média mínima foi de 0.3564 e para média máxima 0,6944.

Na tabela Anova, a significância para a combinação dos grupos foi de 0,350. Como esse valor deu maior que 0.05, podemos dizer que as concentrações de alumínio nos três locais estudados podem ser provenientes de uma mesma fonte com uma incerteza de $\pm 0,05$.

Isso ocorre para todos os outros elementos analisados de PM10, com a exceção do carbono orgânico.

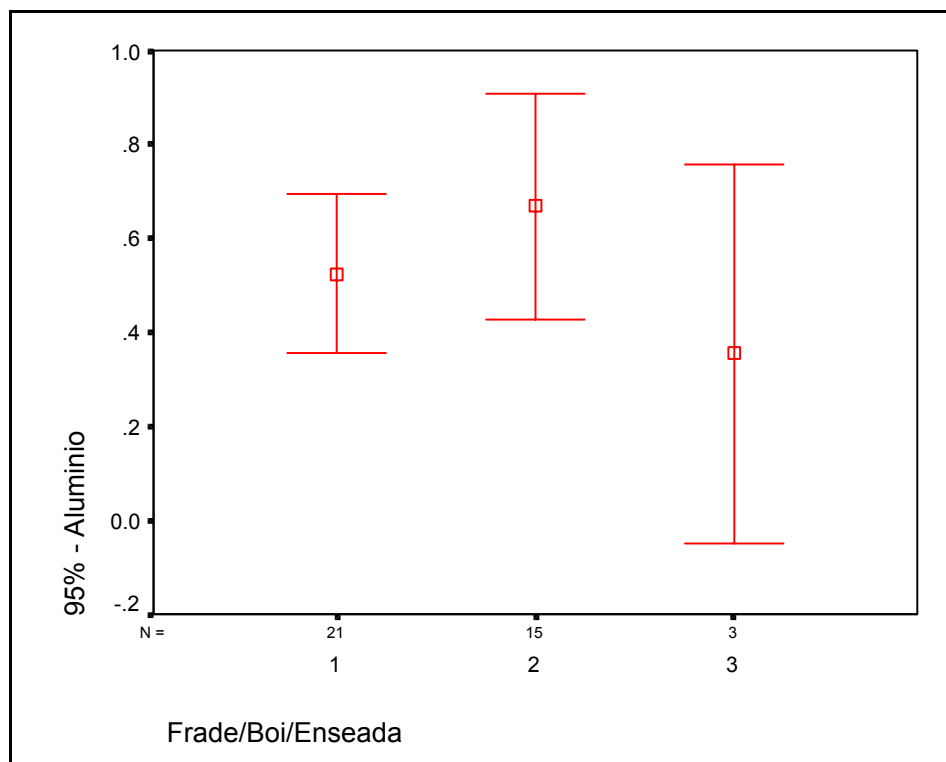


Figura 7.38: Intervalos de confiança da concentração de Alumínio.

O gráfico da Figura 7.38 mostra na seqüência 1- Ilha do Boi, 2- Ilha do Frade e 3- Enseada do Suá, o intervalo da média das concentrações de alumínio. Na Enseada do Suá esse intervalo é maior devido a presença de solos (Praça do Papa e 3ª Ponte). Como as Ilhas do Boi e Frade são mais afastadas dessas fontes, conseqüentemente seus intervalos são menores, porém suas médias são mais elevadas devido a quantidade de coletas feitas nesses locais.

| Descriptives | | | | | | | | |
|------------------|----|--------|----------------|------------|----------------------------------|-------------|---------|---------|
| Elemento - Cloro | | | | | | | | |
| | | | | | 95% Confidence Interval for Mean | | | |
| | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error | Lower Bound | Upper Bound | Minimum | Maximum |
| Ilha do Frade | 21 | 2.3129 | 1.6418 | .3583 | 1.5655 | 3.0603 | .39 | 7.21 |
| Ilha do Boi | 15 | 1.7483 | .9317 | .2406 | 1.2323 | 2.2642 | .65 | 4.01 |
| Enseada do Suá | 3 | 4.0626 | 2.4408 | 1.4092 | -2.0006 | 10.1258 | 1.48 | 6.34 |
| Total | 39 | 2.2303 | 1.5533 | .2487 | 1.7268 | 2.7338 | .39 | 7.21 |

| ANOVA | | | | | | |
|------------------|----------------|------------|----------------|----|-------------|------|
| Elemento - Cloro | | | | | | |
| | | | Sum of Squares | df | Mean Square | Sig. |
| Between Groups | (Combined) | | 13.700 | 2 | 6.850 | .054 |
| | Linear Term | Unweighted | 8.036 | 1 | 8.036 | .062 |
| | | Weighted | .902 | 1 | .902 | .523 |
| | | Deviation | 12.798 | 1 | 12.798 | .020 |
| | Quadratic Term | Unweighted | 12.798 | 1 | 12.798 | .020 |
| | | Weighted | 12.798 | 1 | 12.798 | .020 |
| Within Groups | | | 77.981 | 36 | 2.166 | |
| Total | | | 91.681 | 38 | | |

Figura 7.39: Resultado do SPSS Cloro em relação às Ilhas e Enseada.

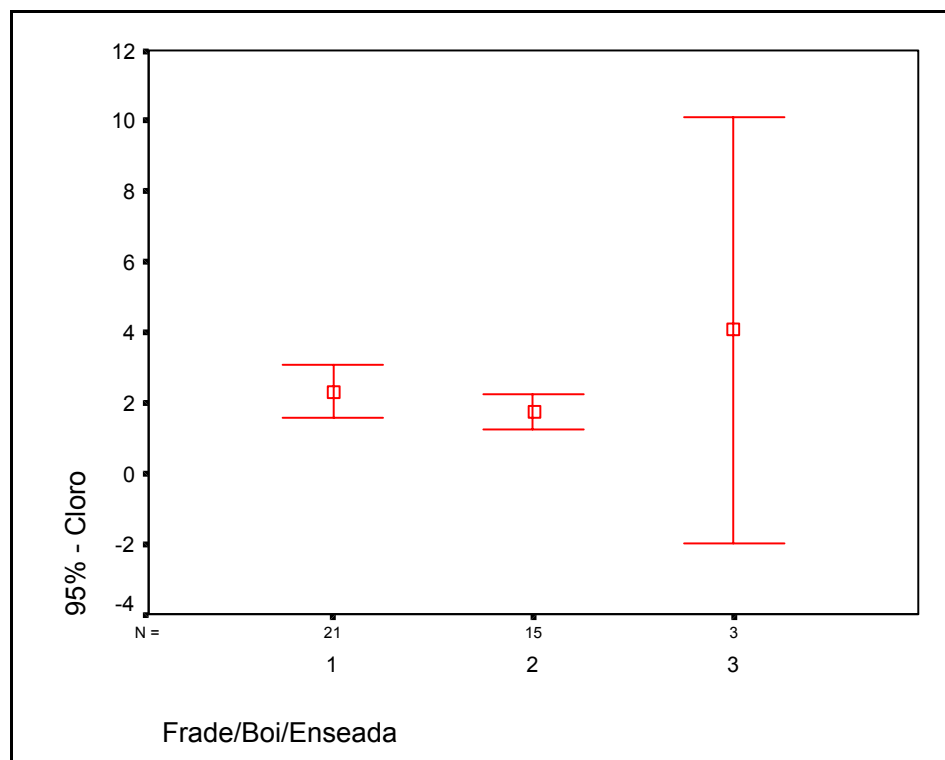


Figura 7.40: Intervalos de confiança da concentração de Cloro.

Devemos ressaltar que, para Enseada do Suá, foram analisadas três amostras e isso pode afetar o intervalo de confiança e as médias. Para Ilha do Boi e Ilha do Frade as médias são bem próximas devido a grande quantidade de coletas de dados e na Enseada do Suá, com poucas coletas, a média está bem afastada em relação às anteriores.

O cloro, Figura 7.40, tem seus maiores intervalos na extremidades (Ilha do Frade e Enseada do Suá), evidenciando a contribuição das fontes Mar e Veículos que são bem distribuídas.

| Descriptives | | | | | | | | |
|-------------------|----|-------|----------------|------------|----------------------------------|-------------|---------|---------|
| Elemento - Cálcio | | | | | | | | |
| | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error | 95% Confidence Interval for Mean | | Minimum | Maximum |
| | | | | | Lower Bound | Upper Bound | | |
| Ilha do Frade | 21 | .7642 | .8562 | .1868 | .3744 | 1.1539 | .00 | 2.86 |
| Ilha do Boi | 15 | .4560 | .3479 | 8.983E-02 | .2633 | .6487 | .00 | 1.05 |
| Enseada do Suá | 3 | .3779 | .1606 | 9.274E-02 | -2.115E-02 | .7769 | .21 | .53 |
| Total | 39 | .6159 | .6771 | .1084 | .3964 | .8354 | .00 | 2.86 |

| ANOVA | | | | | | | |
|-------------------|----------------|------------|----------------|----|-------------|-------|------|
| Elemento - Cálcio | | | | | | | |
| | | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| Between Groups | (Combined) | | 1.015 | 2 | .508 | 1.114 | .339 |
| | Linear Term | Unweighted | .392 | 1 | .392 | .859 | .360 |
| | | Weighted | .933 | 1 | .933 | 2.048 | .161 |
| | | Deviation | 8.170E-02 | 1 | 8.170E-02 | .179 | .675 |
| | Quadratic Term | Unweighted | 8.170E-02 | 1 | 8.170E-02 | .179 | .675 |
| | | Weighted | 8.170E-02 | 1 | 8.170E-02 | .179 | .675 |
| Within Groups | | | 16.408 | 36 | .456 | | |
| Total | | | 17.423 | 38 | | | |

Figura 7.41: Resultado do SPSS Cálcio em relação às Ilhas e Enseada.

A análise do cálcio, Figura 7.42, é comparada a do alumínio, porém suas médias são menores.

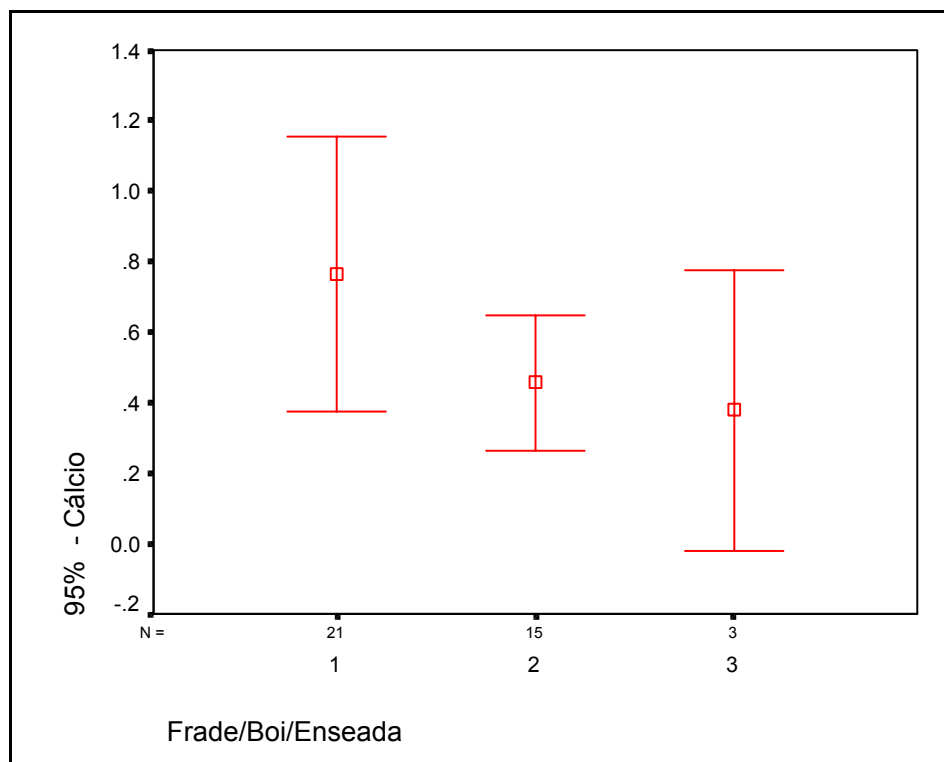


Figura 7.42: Intervalos de confiança da concentração de Cálcio.

Descriptives

Elemento - Ferro

| | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error | 95% Confidence Interval for Mean | | Minimum | Maximum |
|----------------|----|--------|-------------------|------------|-------------------------------------|----------------|---------|---------|
| | | | | | Lower Bound | Upper Bound | | |
| Ilha do Frade | 21 | 2.0653 | 1.3306 | .2904 | 1.4596 | 2.6710 | .24 | 4.48 |
| Ilha do Boi | 15 | 1.8993 | 1.3603 | .3512 | 1.1460 | 2.6526 | .32 | 5.11 |
| Enseada do Suá | 3 | 1.1092 | .7912 | .4568 | -.8562 | 3.0746 | .60 | 2.02 |
| Total | 39 | 1.9279 | 1.3077 | .2094 | 1.5040 | 2.3518 | .24 | 5.11 |

ANOVA

Elemento - Ferro

| | | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-------------------|-------------------|------------|-------------------|----|----------------|-------|------|
| Between Groups | (Combined) | | 2.419 | 2 | 1.210 | .696 | .505 |
| | Linear Term | Unweighted | 2.399 | 1 | 2.399 | 1.381 | .248 |
| | | Weighted | 1.818 | 1 | 1.818 | 1.046 | .313 |
| | | Deviation | .601 | 1 | .601 | .346 | .560 |
| | Quadratic Term | Unweighted | .601 | 1 | .601 | .346 | .560 |
| | | Weighted | .601 | 1 | .601 | .346 | .560 |
| Within Groups | | | 62.567 | 36 | 1.738 | | |
| Total | | | 64.987 | 38 | | | |

Figura 7.43: Resultado do SPSS Ferro em relação às Ilhas e Enseada.

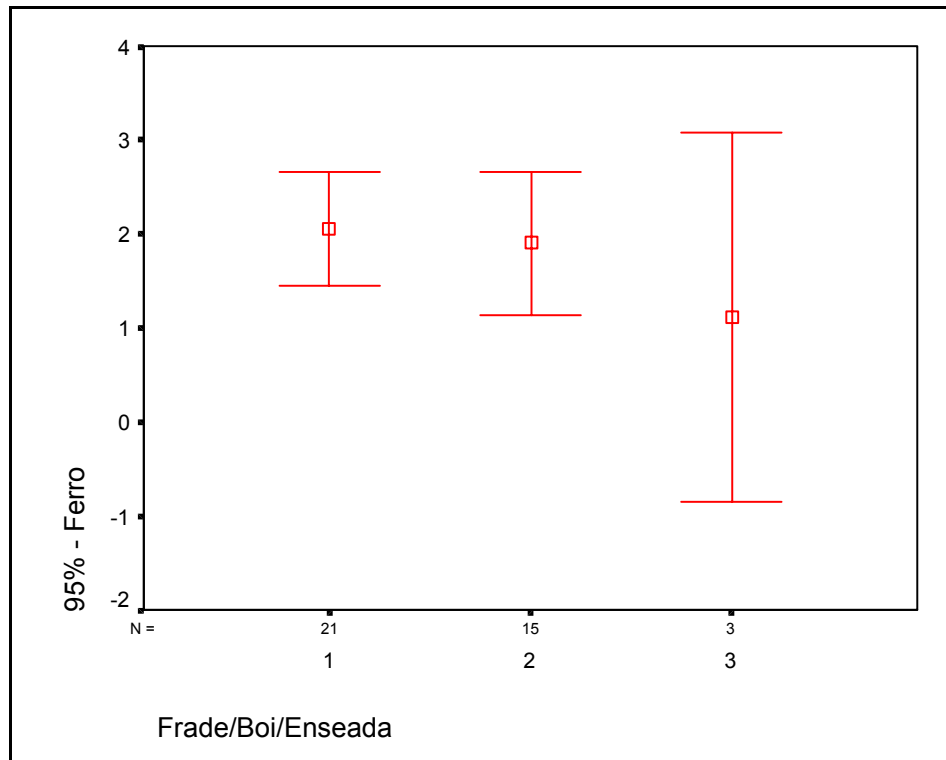


Figura 7.44: Intervalos de confiança da concentração de Ferro.

A maior média calculada de ferro, Figura 7.44, foi na Ilha do Frade, e isso é devido a sua localização, já que a maior parte da concentração de ferro vem de ventos do Norte.

| Descriptives | | | | | | | | |
|-----------------------------|----|--------|----------------|------------|----------------------------------|-------------|---------|---------|
| Elemento - Carbono Orgânico | | | | | | | | |
| | | | | | 95% Confidence Interval for Mean | | | |
| | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error | Lower Bound | Upper Bound | Minimum | Maximum |
| Ilha do Frade | 21 | 2.7038 | .7838 | .1710 | 2.3470 | 3.0606 | 1.68 | 4.19 |
| Ilha do Boi | 15 | 2.9080 | 1.2964 | .3347 | 2.1901 | 3.6259 | 1.11 | 5.93 |
| Enseada do Suá | 3 | 4.9107 | 1.4460 | .8348 | 1.3187 | 8.5028 | 3.51 | 6.40 |
| Total | 39 | 2.9521 | 1.1791 | .1888 | 2.5699 | 3.3343 | 1.11 | 6.40 |

| ANOVA | | | | | | | | |
|-----------------------------|----------------|------------|----------------|----|-------------|--------|------|--|
| Elemento - Carbono Orgânico | | | | | | | | |
| | | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. | |
| Between Groups | (Combined) | | 12.833 | 2 | 6.416 | 5.775 | .007 | |
| | Linear Term | Unweighted | 12.785 | 1 | 12.785 | 11.507 | .002 | |
| | | Weighted | 7.837 | 1 | 7.837 | 7.054 | .012 | |
| | | Deviation | 4.995 | 1 | 4.995 | 4.496 | .041 | |
| | Quadratic Term | Unweighted | 4.995 | 1 | 4.995 | 4.496 | .041 | |
| | | Weighted | 4.995 | 1 | 4.995 | 4.496 | .041 | |
| Within Groups | | | 39.997 | 36 | 1.111 | | | |
| Total | | | 52.830 | 38 | | | | |

Figura 7.45: Resultado do SPSS Carbono Orgânico em relação às Ilhas e Enseada.

Devido ao numero de coletas feitas na enseada do Suá, a análise de carbono orgânico foi um pouco prejudicada em seus resultados. A Figura 7.45 mostra que a significância para esses grupos em relação a carbono elementar é menor que 0,05, o que significa que esses grupos não são homogêneos ou seja, esse elemento não provem de fontes de mesma origem. A Figura 7.46 indica essa não homogeneidade dos grupos.

| Elemento - Carbono Orgânico | | | |
|-----------------------------|----|------------------------|--------|
| Tukey HSD ^{a,b} | | | |
| Frade/Boi/Enseada | N | Subset for alpha = .05 | |
| | | 1 | 2 |
| 1 | 21 | 2.7038 | |
| 2 | 15 | 2.9080 | |
| 3 | 3 | | 4.9107 |
| Sig. | | .933 | 1.000 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.702.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Figura 7.46: Tabela de Homogeneidade.

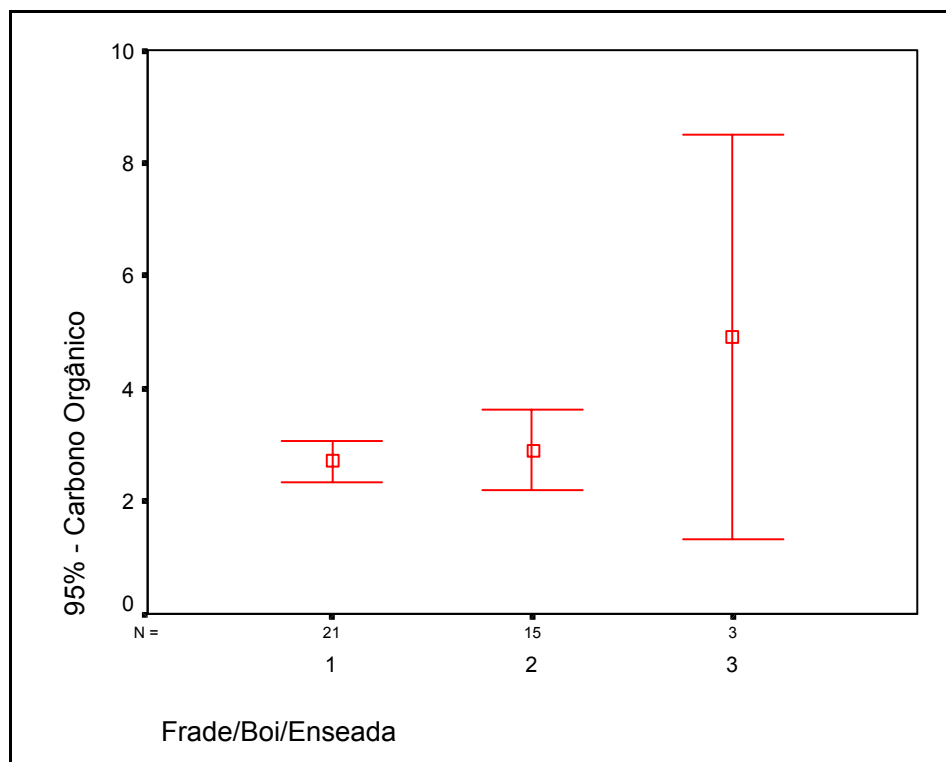


Figura 7.47: Intervalos de confiança da concentração de Carbono Orgânico.

| Descriptives | | | | | | | | |
|------------------------------|----|--------|----------------|------------|----------------------------------|-------------|---------|---------|
| Elemento - Carbono Elementar | | | | | | | | |
| | | | | | 95% Confidence Interval for Mean | | | |
| | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error | Lower Bound | Upper Bound | Minimum | Maximum |
| Ilha do Frade | 21 | 1.2512 | .5103 | .1114 | 1.0189 | 1.4835 | .21 | 2.42 |
| Ilha do Boi | 15 | 1.2283 | .3958 | .1022 | 1.0091 | 1.4475 | .56 | 2.14 |
| Enseada do Suá | 3 | 1.0721 | .3567 | .2059 | .1860 | 1.9581 | .67 | 1.36 |
| Total | 39 | 1.2286 | .4513 | 7.227E-02 | 1.0823 | 1.3749 | .21 | 2.42 |

| ANOVA | | | | | | | |
|------------------------------|----------------|------------|----------------|----|-------------|------|------|
| Elemento - Carbono Elementar | | | | | | | |
| | | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| Between Groups | (Combined) | | 8.423E-02 | 2 | 4.212E-02 | .198 | .821 |
| | Linear Term | Unweighted | 8.423E-02 | 1 | 8.423E-02 | .396 | .533 |
| | | Weighted | 5.675E-02 | 1 | 5.675E-02 | .267 | .609 |
| | | Deviation | 2.748E-02 | 1 | 2.748E-02 | .129 | .721 |
| | Quadratic Term | Unweighted | 2.748E-02 | 1 | 2.748E-02 | .129 | .721 |
| | | Weighted | 2.748E-02 | 1 | 2.748E-02 | .129 | .721 |
| Within Groups | | | 7.656 | 36 | .213 | | |
| Total | | | 7.740 | 38 | | | |

Figura 7.48: Resultado do SPSS Carbono Elementar em relação às Ilhas e Enseada.

As médias de carbono elementar, Figura 7.48, das Ilhas do Boi e Frade são bem próximas, e mesmo com uma diferença entre os números de amostras coletas em relação elas, a média da Enseada do Suá está no intervalo de confiança das Ilhas. A concentração de carbono elementar também é distribuída entre as fontes.

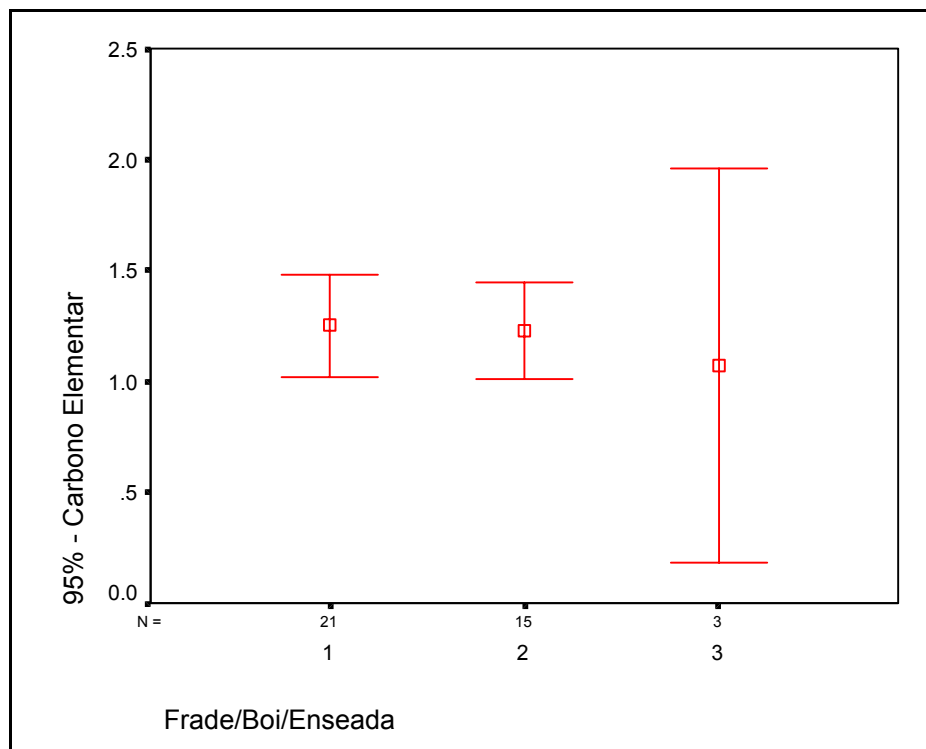


Figura 7.49: Intervalos de confiança da concentração de Carbono Elementar.

7.3.2 Ilha do Boi e Ilha do Frade para PTS

Para os elementos analisados nas Ilhas do Boi e Frade para PTS, não houve grupos não homogêneos para nenhuma avaliação.

| Descriptives | | | | | | | | |
|---------------------|----|-------|----------------|------------|----------------------------------|-------------|---------|---------|
| Elemento - Alumínio | | | | | | | | |
| | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error | 95% Confidence Interval for Mean | | Minimum | Maximum |
| | | | | | Lower Bound | Upper Bound | | |
| Ilha do Frade | 6 | .3953 | .3307 | .1350 | 4.830E-02 | .7423 | .00 | .83 |
| Ilha do Boi | 6 | .6818 | .4199 | .1714 | .2411 | 1.1225 | .00 | 1.28 |
| Total | 12 | .5386 | .3902 | .1126 | .2907 | .7865 | .00 | 1.28 |

| ANOVA | | | | | | |
|---------------------|-------------|----------|----------------|----|-------------|------|
| Elemento - Alumínio | | | | | | |
| | | | Sum of Squares | df | Mean Square | Sig. |
| Between Groups | (Combined) | | .246 | 1 | .246 | 1.72 |
| | Linear Term | Contrast | .246 | 1 | .246 | 1.72 |
| Within Groups | | | 1.428 | 10 | .143 | |
| Total | | | 1.675 | 11 | | |

Figura 7.50: Resultado do SPSS para Alumínio em relação às Ilhas.

A média do alumínio na Ilha do Boi é quase o dobro da média da Ilha do Frade, Figura 7.51, o que confirma contribuição devido a solos, já que esse local é mais próximo a essas fontes. O intervalo de confiança é bastante expressivo para esse elemento.

A seqüência dos gráficos seguintes é 1- Ilha do Frade e 2- Ilha do Boi.

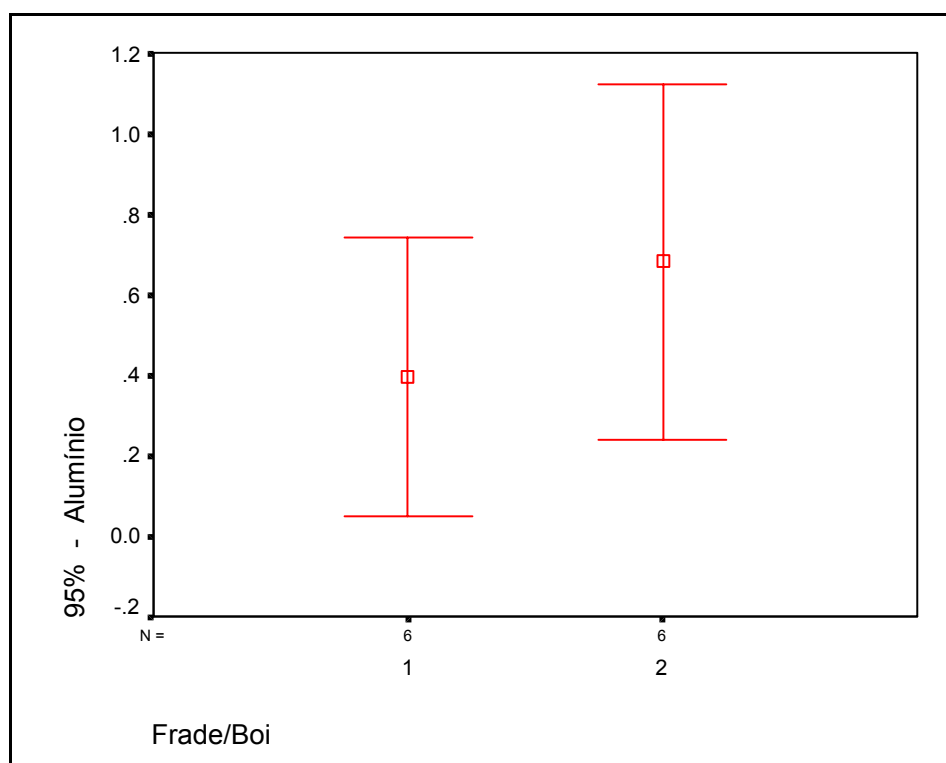


Figura 7.51: Intervalos de confiança da concentração de Alumínio.

| Descriptives | | | | | | | | |
|-------------------|----|--------|----------------|------------|----------------------------------|-------------|---------|---------|
| Elemento - Cálcio | | | | | | | | |
| | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error | 95% Confidence Interval for Mean | | Minimum | Maximum |
| | | | | | Lower Bound | Upper Bound | | |
| 1 | 6 | 1.0591 | .9854 | .4023 | 2.501E-02 | 2.0932 | .00 | 2.63 |
| 2 | 6 | 1.9827 | 1.2452 | .5084 | .6759 | 3.2895 | .00 | 3.69 |
| Total | 12 | 1.5209 | 1.1742 | .3390 | .7748 | 2.2670 | .00 | 3.69 |

| ANOVA | | | | | | |
|-------------------|-------------|----------|----------------|----|-------------|------|
| Elemento - Cálcio | | | | | | |
| | | | Sum of Squares | df | Mean Square | Sig. |
| Between Groups | (Combined) | | 2.559 | 1 | 2.559 | .030 |
| | Linear Term | Contrast | 2.559 | 1 | 2.559 | .030 |
| Within Groups | | | 12.608 | 10 | 1.261 | |
| Total | | | 15.167 | 11 | | |

Figura 7.52: Resultado do SPSS para Cálcio em relação às Ilhas.

Para a Figura 7.53, o cálcio também se mostra em maior concentração na Ilha do Boi, fortalecendo a presença de solos nas amostras.

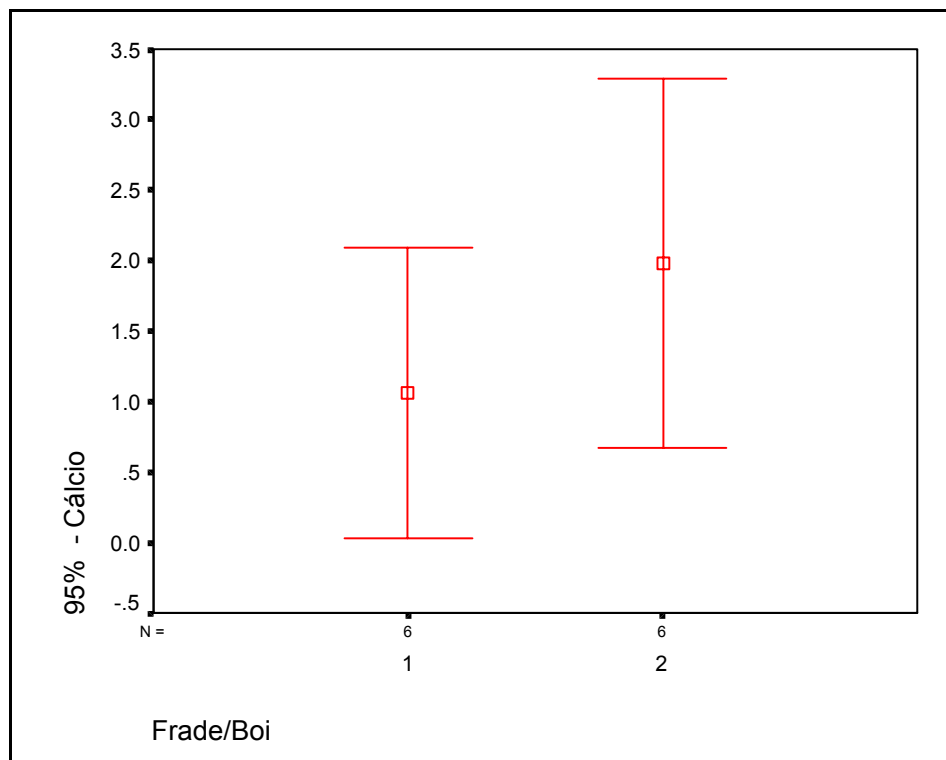


Figura 7.53: Intervalos de confiança da concentração de Cálcio.

A média de concentração de cloro, Figura 7.55, na Ilha do Boi está acima da média da Ilha do Frade, e este fato pode estar ligado a direção dos ventos durante a coleta dos dados, pois as maiores concentrações de cloro são devidos a aerossóis marinhos que são de ventos provenientes o norte.

| Descriptives | | | | | | | | |
|------------------|----|--------|----------------|------------|----------------------------------|-------------|---------|---------|
| Elemento - Cloro | | | | | | | | |
| | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error | 95% Confidence Interval for Mean | | Minimum | Maximum |
| | | | | | Lower Bound | Upper Bound | | |
| 1 | 6 | 2.6278 | 2.2405 | .9147 | .2766 | 4.9790 | .00 | 4.92 |
| 2 | 6 | 6.3491 | 3.7528 | 1.5321 | 2.4109 | 10.2874 | .00 | 10.99 |
| Total | 12 | 4.4885 | 3.5299 | 1.0190 | 2.2457 | 6.7312 | .00 | 10.99 |

| ANOVA | | | | | |
|------------------|----------------------|----------------|----|-------------|------|
| Elemento - Cloro | | | | | |
| | | Sum of Squares | df | Mean Square | Sig. |
| Between Groups | (Combined) | 41.545 | 1 | 41.545 | .064 |
| | Linear Term Contrast | 41.545 | 1 | 41.545 | .064 |
| Within Groups | | 95.515 | 10 | 9.552 | |
| Total | | 137.060 | 11 | | |

Figura 7.54: Resultado do SPSS para Cloro em relação às Ilhas.

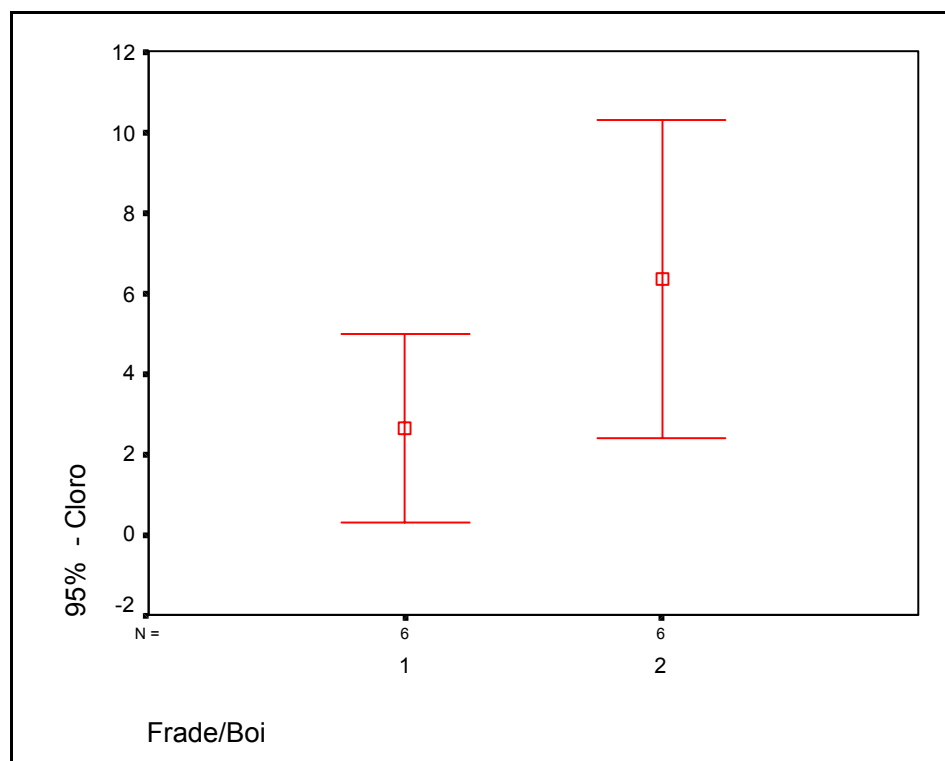


Figura 7.55: Intervalos de confiança da concentração de Cloro.

| Descriptives | | | | | | | | |
|------------------|----|--------|----------------|------------|----------------------------------|-------------|---------|---------|
| Elemento - Ferro | | | | | | | | |
| | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error | 95% Confidence Interval for Mean | | Minimum | Maximum |
| | | | | | Lower Bound | Upper Bound | | |
| 1 | 6 | 3.7217 | 5.4246 | 2.2146 | -1.9710 | 9.4145 | .00 | 14.34 |
| 2 | 6 | 7.9553 | 8.8354 | 3.6070 | -1.3169 | 17.2275 | .00 | 20.34 |
| Total | 12 | 5.8385 | 7.3313 | 2.1164 | 1.1805 | 10.4966 | .00 | 20.34 |

| ANOVA | | | | | |
|------------------|----------------------|----------------|----|-------------|------|
| Elemento - Ferro | | | | | |
| | | Sum of Squares | df | Mean Square | Sig. |
| Between Groups | (Combined) | 53.770 | 1 | 53.770 | .000 |
| | Linear Term Contrast | 53.770 | 1 | 53.770 | .000 |
| Within Groups | | 537.451 | 10 | 53.745 | |
| Total | | 591.221 | 11 | | |

Figura 7.56: Resultado do SPSS para Alumínio em relação às Ilhas.

O PTS devido a ferro, Figura 7.57, é mais evidente na Ilha do Boi, o contrário do PM10 que é na Ilha do Frade. Isso significa que ventos oriundos do sul foram bastante significantes.

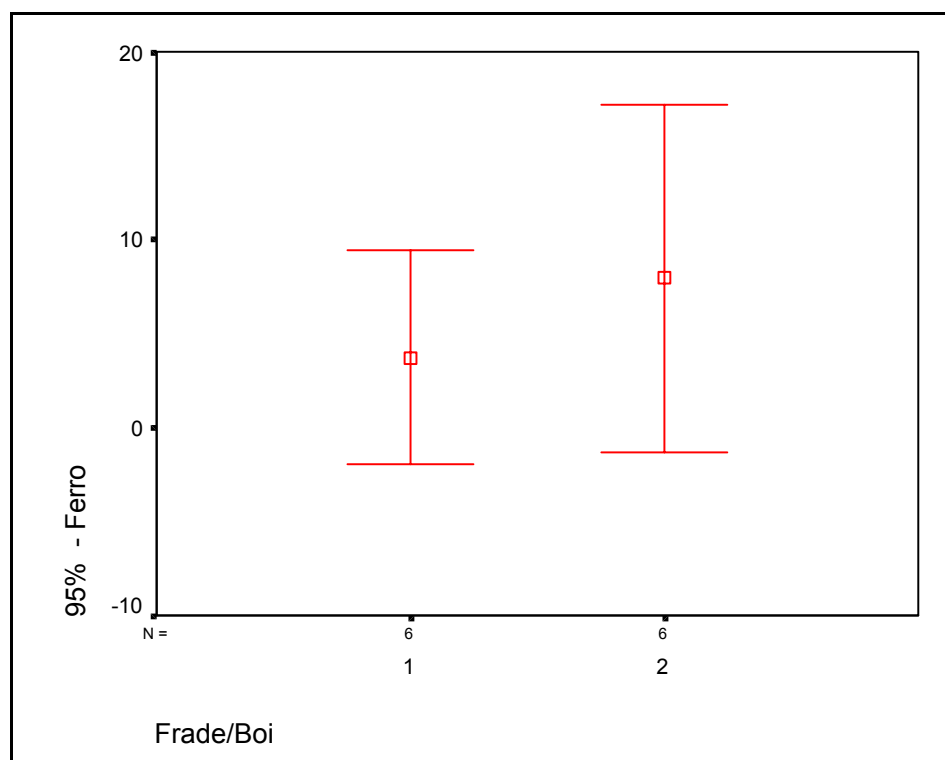


Figura 7.57: Intervalos de confiança da concentração de Ferro.

| Descriptives | | | | | | | | |
|-----------------------------|----|--------|----------------|------------|----------------------------------|-------------|---------|---------|
| Elemento - Carbono Orgânico | | | | | | | | |
| | | | | | 95% Confidence Interval for Mean | | | |
| | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error | Lower Bound | Upper Bound | Minimum | Maximum |
| 1 | 6 | 2.1096 | 1.8793 | .7672 | .1374 | 4.0818 | .00 | 4.83 |
| 2 | 6 | 3.8515 | 2.4321 | .9929 | 1.2992 | 6.4037 | .00 | 7.50 |
| Total | 12 | 2.9805 | 2.2631 | .6533 | 1.5427 | 4.4184 | .00 | 7.50 |

| ANOVA | | | | | | |
|-----------------------------|-------------|----------|----------------|----|-------------|------|
| Elemento - Carbono Orgânico | | | | | | |
| | | | Sum of Squares | df | Mean Square | Sig. |
| Between Groups | (Combined) | | 9.102 | 1 | 9.102 | .195 |
| | Linear Term | Contrast | 9.102 | 1 | 9.102 | .195 |
| Within Groups | | | 47.233 | 10 | 4.723 | |
| Total | | | 56.335 | 11 | | |

Figura 7.58: Resultado do SPSS para Carbono Orgânico em relação às Ilhas.

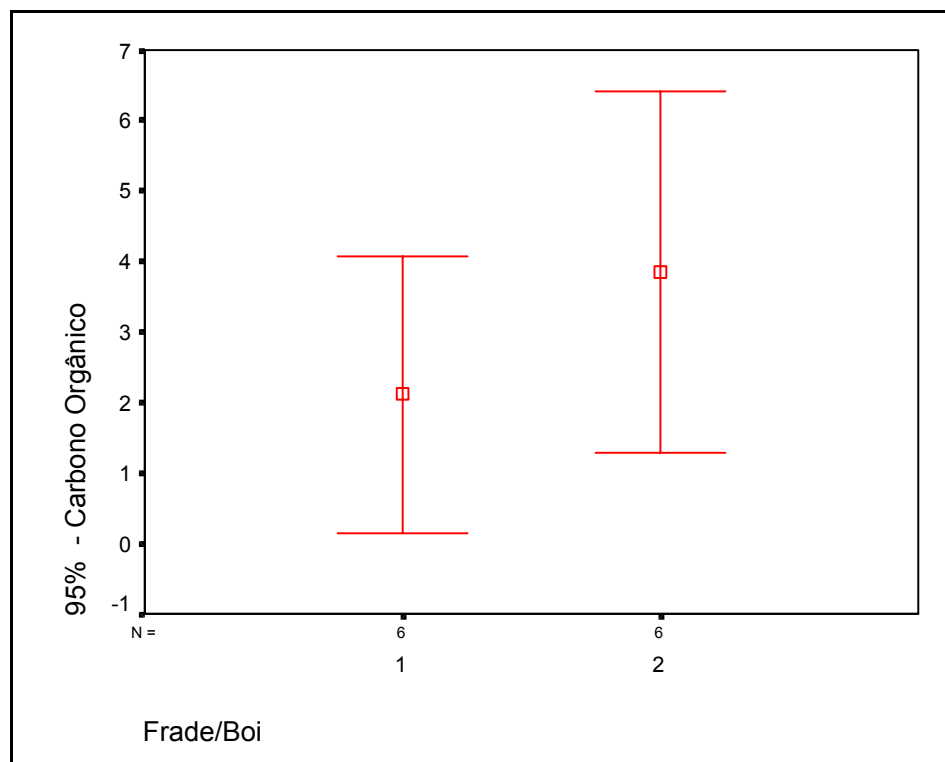


Figura 7.59: Intervalos de confiança da concentração de Carbono Orgânico.

| Descriptives | | | | | | | | |
|------------------------------|----|--------|----------------|------------|----------------------------------|-------------|---------|---------|
| Elemento - Carbono Elementar | | | | | | | | |
| | | | | | 95% Confidence Interval for Mean | | | |
| | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error | Lower Bound | Upper Bound | Minimum | Maximum |
| 1 | 6 | 1.4101 | 1.2920 | .5274 | 5.423E-02 | 2.7659 | .00 | 2.99 |
| 2 | 6 | 2.0373 | 1.3443 | .5488 | .6265 | 3.4480 | .00 | 3.69 |
| Total | 12 | 1.7237 | 1.2990 | .3750 | .8983 | 2.5490 | .00 | 3.69 |

| ANOVA | | | | | |
|------------------------------|-------------|----------|----------------|----|------|
| Elemento - Carbono Elementar | | | | | |
| | | | Sum of Squares | df | Sig. |
| Between Groups | (Combined) | | 1.180 | 1 | .679 |
| | Linear Term | Contrast | 1.180 | 1 | .679 |
| Within Groups | | | 17.381 | 10 | |
| Total | | | 18.562 | 11 | |

Figura 7.60: Resultado do SPSS para Carbono Elementar em relação às Ilhas.

As médias de carbono orgânico (Figura 7.58) e carbono elementar (Figura 7.60) são maiores na Ilha do Boi mostrando que a participação da fonte veículo, é de grande importância para a região.

O gráfico da Figura 7.59 mostra que o intervalo de confiança do carbono orgânico é maior na Ilha do Boi, enquanto que na Figura 7.61 os intervalos são mais próximos, e assim podemos dizer que suas médias são iguais.

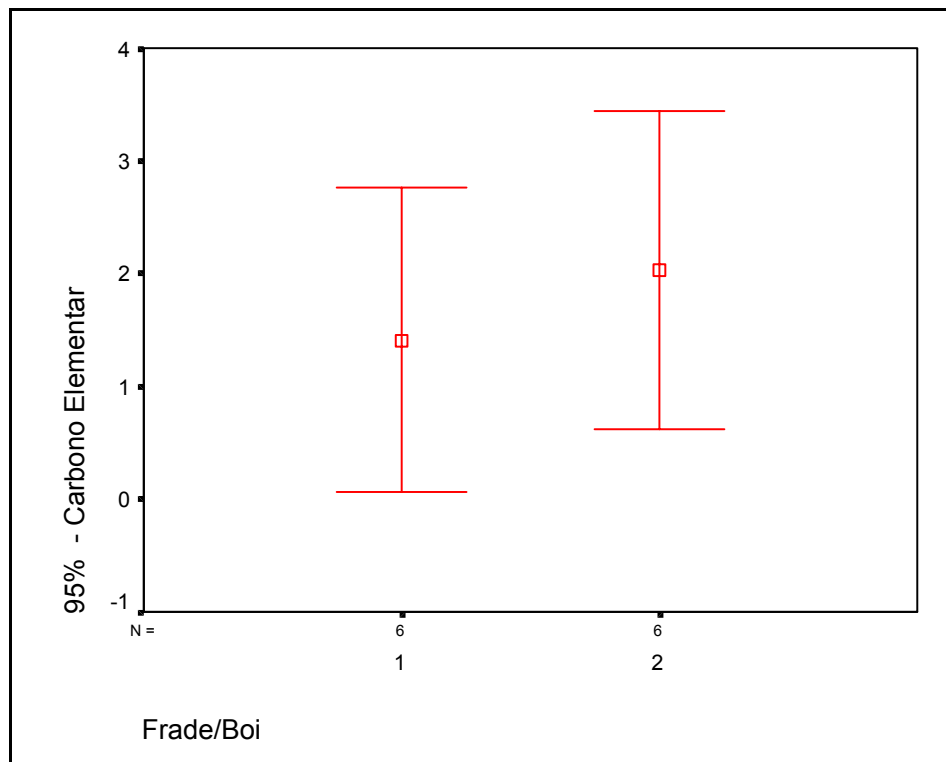


Figura 7.61: Intervalos de confiança da concentração de Carbono Elementar.

7.4 Identificação das fontes pelo CMB8

7.4.1 Ilha do Boi e Ilha do Frade PM10

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: IF/IB PM10 CMB8
 SAMPLE DURATION 24 START HOUR 0 SIZE: FINE
 SOURCE
 EST CODE NAME SCE(UG/M3)

| | | |
|--------|--------------------|----------|
| YES 2 | FONTES INDUSTRIAIS | 437.0766 |
| YES 3 | MAR | 179.2184 |
| YES 4 | SOLOS/PEDRAS | 415.9817 |
| YES 6 | VEÍCULOS | 265.7502 |
| YES 15 | OUTROS | 44.87966 |

MEASURED CONCENTRATION FOR SIZE: FINE
 1342.907

Os resultados acima foram gerados pelo CMB8, e assim podemos estimar as porcentagens de contribuição de cada fonte:

Tabela 7.6: Contribuição Percentual das Fontes PM10

| FONTES | % |
|--------------|----------|
| Industriais | 0.325471 |
| Mar | 0.133456 |
| Solos/Pedras | 0.309762 |
| Veículos | 0.197892 |
| Outros | 0.03342 |

7.4.2 Ilha do Boi e Ilha do Frade PTS

SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES - SITE: IF/IB PTS CMB8
 SAMPLE DURATION 24 START HOUR 0 SIZE: FINE
 SOURCE
 EST CODE NAME SCE(UG/M3)

| | | |
|--------|--------------------|----------|
| YES 2 | FONTES INDUSTRIAIS | 778.2152 |
| YES 3 | MAR | 63.79344 |
| YES 4 | SOLOS/PEDRAS | 190.4854 |
| YES 6 | VEÍCULOS | 94.20209 |
| YES 15 | OUTROS | 3.95174 |

MEASURED CONCENTRATION FOR SIZE: FINE

1130.648

Tabela 7.7: Contribuição Percentual das Fontes PM10

| FONTES | % |
|--------------|----------|
| Industriais | 0.688291 |
| Mar | 0.056422 |
| Solos/Pedras | 0.168475 |
| Veículos | 0.083317 |
| Outros | 0.003495 |

Os resultados acima são incertos em $\pm 20\%$ devido à reprodução da massa pelas interpolações ter ficado entre 80% e 120%, valores aceitáveis conforme interpretador da saída do simulador.

7.5 Simulação numérica da dispersão

7.5.1 Fontes de PM10

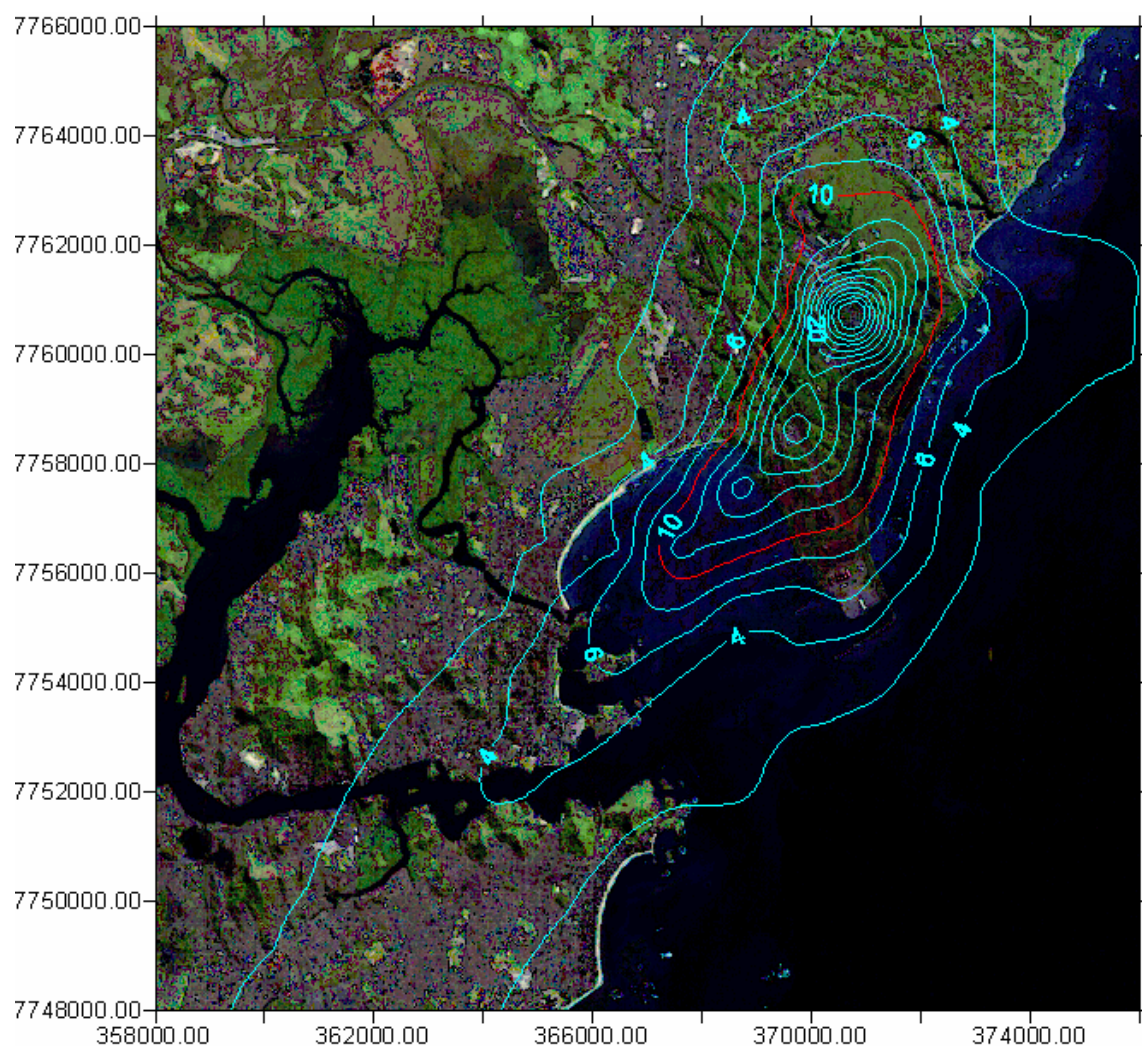


Figura 7.62: Dispersão de PM10 das Fontes Industriais.

O mapa de dispersão mostrado na Figura 7.62, ilustra as concentrações que chegam de PM10 às ilhas do Boi e Frade e Enseada do Suá provenientes da zona industrial.

Para a Figura 7.63, está sendo mostrado as concentrações que chegam na região em estudo provenientes de fontes veiculares.

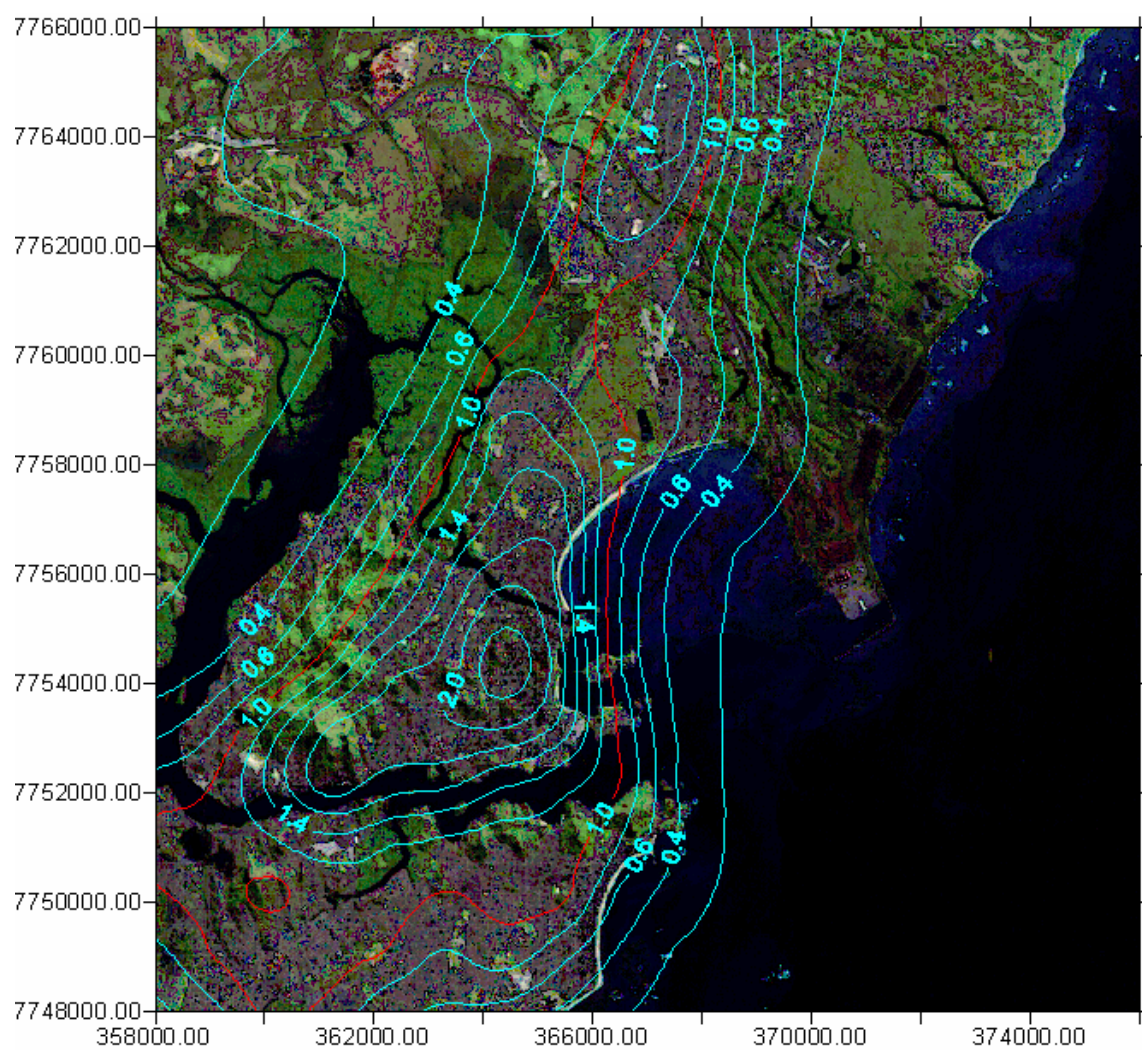


Figura 7.63: Dispersão de PM10 das Fontes de Tráfego.

7.5.2 Fontes de PTS

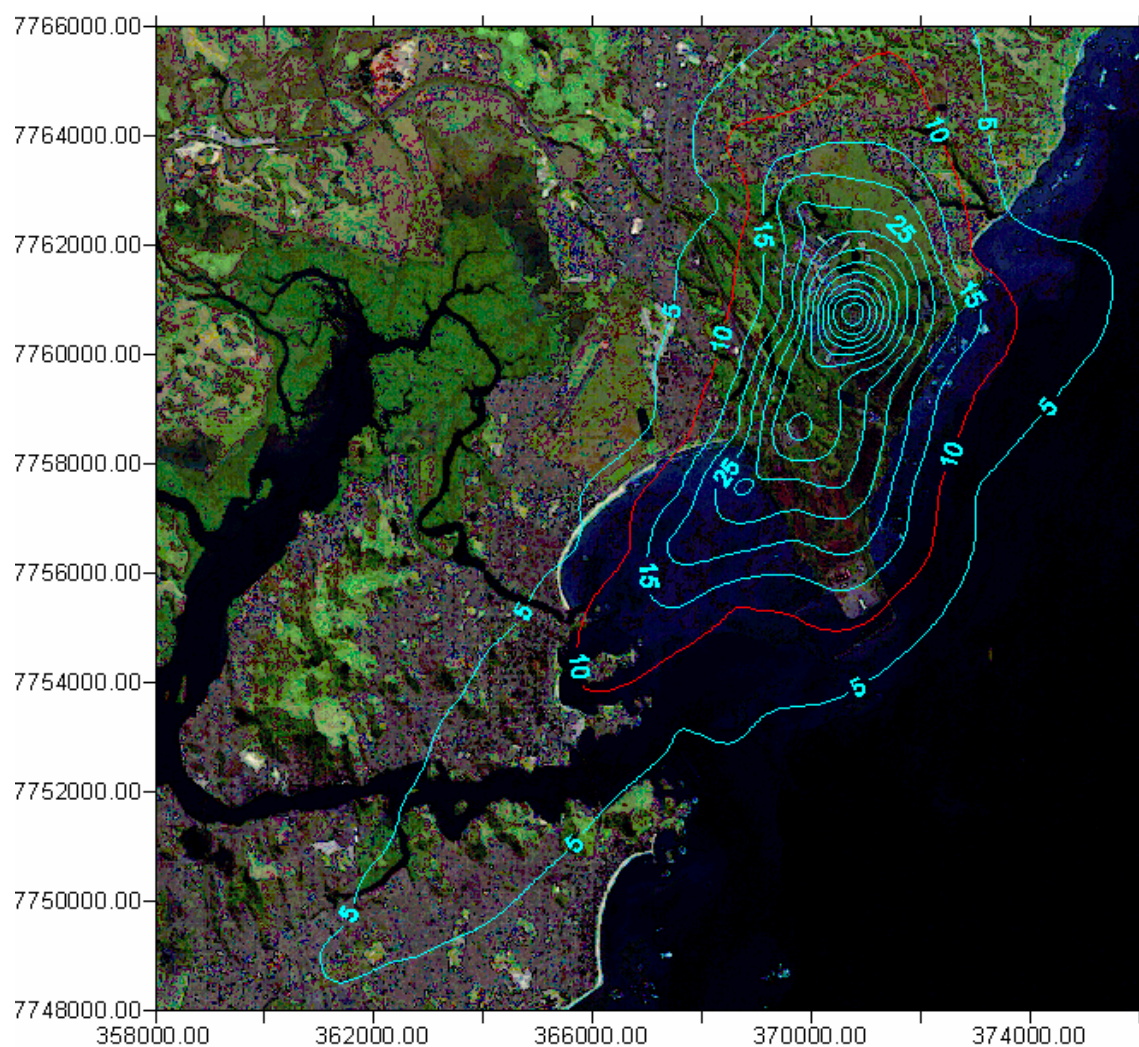


Figura 7.64: Dispersão de PTS das Fontes Industriais.

O mapa de dispersão mostrado na Figura 7.64, ilustra as concentrações que chegam de PTS às ilhas do Boi e Frade e Enseada do Suá provenientes da zona industrial, e a Figura 7.65, mostra as concentrações que chegam na região provenientes de fontes veiculares.

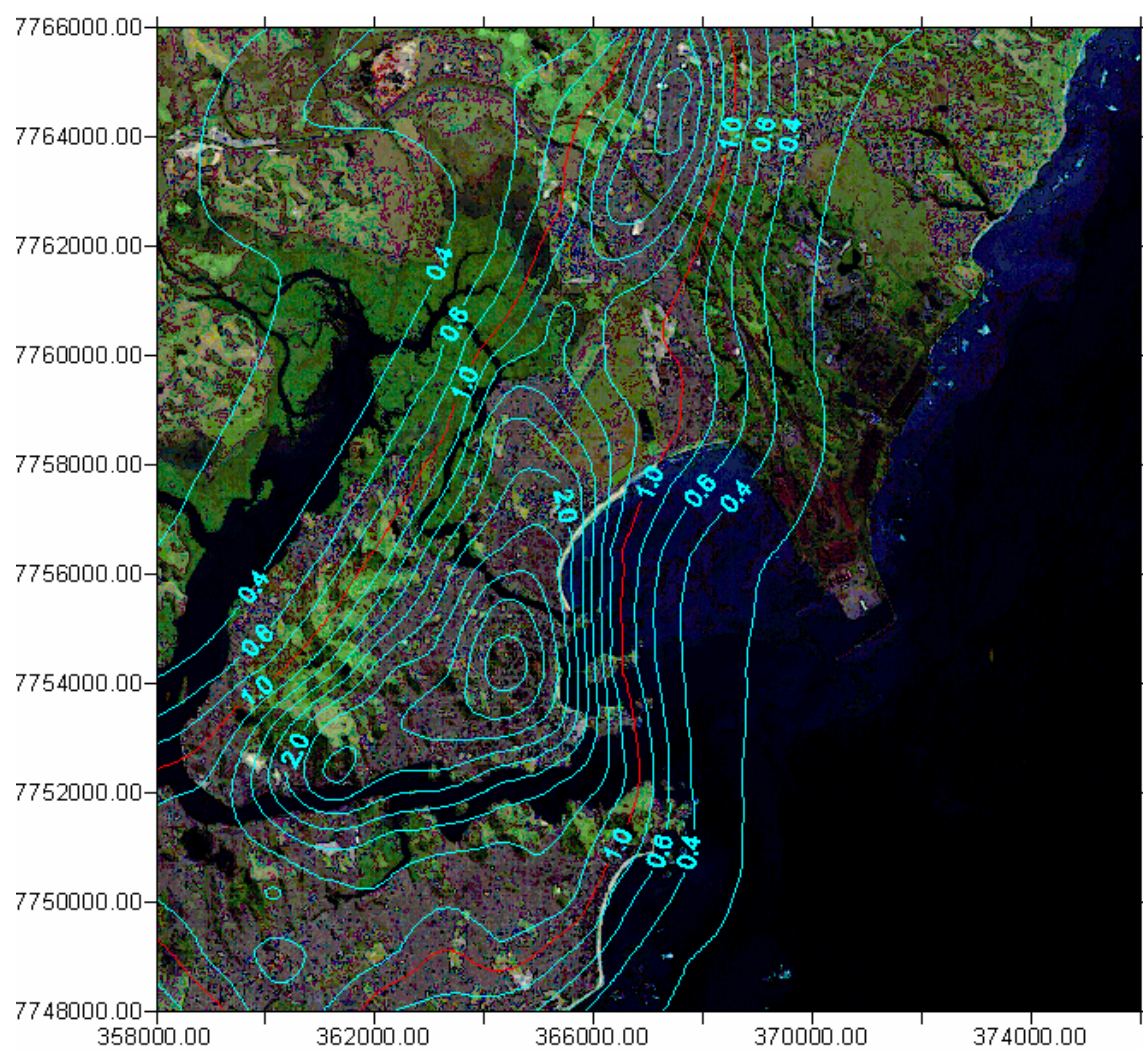


Figura 7.65: Dispersão de PTS das Fontes de Tráfego.

8 CONCLUSÃO

Com base nas avaliações realizadas as seguintes conclusões para a região estudada podem ser feitas.

Não há mudança substancial de concentrações medidas de PTS ou PM10 com a mudança de direção dos ventos da mais observada durante um ano típico (N-NE) para a observada com mais frequência durante o outono e inverno (S-SE).

Assim, pode-se concluir que não há apenas uma fonte causadora dos cenários de concentrações de material particulado descritos no local, e sim um conjunto de fontes que, dependendo da direção do vento, podem causar maior ou menor impacto para a contribuição desses materiais nas regiões das Ilhas do Boi, e do Frade e Enseada do Suá. Os resultados mostrados nos gráficos das Figuras de 7.1 a 7.36, mostram claramente essas situações.

Com análises de variância, os resultados obtidos também levam a concluir que os materiais coletados são distribuídos de maneira uniforme sobre toda a microregião, tendo como ressalva o carbono orgânico da Enseada do Suá que, devido às poucas amostras, mostra um resultado atípico.

Todas as médias de PTS na Ilha do Boi são maiores que na Ilha do Frade, e a explicação para esse resultado pode ser a sua proximidade com a área da Praça do Papa, que contribui com a parte de solos, e com a 3ª Ponte, por seu alto fluxo de veículos, além da contribuição oriunda das fontes industriais.

No caso do PM10, o maior valor das concentrações de ferro ocorreu na Ilha do Frade, mostrando que para esse local, fontes industriais são mais expressivas que as outras. Entretanto, alumínio está em maior concentração na Ilha do Boi,

cloro na Enseada do Suá, e assim, a variedade de contribuição das fontes para esse material particulado é maior que para o PTS.

Com o resultado do balanço de massas, pode-se concluir claramente que as maiores contribuições de material particulado são de fontes industriais, para PTS. Analisando os resultados de PM₁₀, as fontes industriais ainda são majoritária nas contribuições, mas a soma das outras fontes são mais expressivas.

A microregião analisada, no que se refere às concentrações de PTS e PM₁₀ é, portanto, rica em tipologia de fontes que, em conjunto com as variadas direções do vento, levam a cenários diferentes em base diária.

Deve ser observado que qualquer controle de fontes industriais proposto com o intuito de diminuir concentrações de material particulado na região terá um teto possível de impacto baseado na participação daquelas fontes.

Mesmo reduções severas de emissões industriais de material particulado grosseiro (PTS) não devem afetar sensivelmente as concentrações ambientais diárias e mesmo as médias anuais. Reduções de 20% das emissões industriais, o que pode ser considerado uma meta extremamente audaciosa, resultariam por exemplo em reduções das médias anuais de cerca de 70 µg/m³ para 60 µg/m³, o que, em termos de geração de incômodos não seria sequer percebido.

No caso de PM₁₀ a situação atual dos controles não permitiria grande elasticidade de melhorias. Reduções de 10% nas emissões, em grande parte já controladas por precipitadores eletrostáticos, resultaria em diminuição inferior a 5 % nas concentrações ambientais que já se encontram bastante abaixo dos valores máximos estabelecidos pela legislação. As concentrações típicas de 30 µg/m³ seriam reduzidas para 28 µg/m³, dentro da incerteza da média anual.

Chama atenção especial a avaliação feita para OC e EC. O carbono na forma orgânica é considerado poluente associado a efeitos negativos sobre a saúde respiratória, inclusive por ser acumulativa. Sua concentração na região estudada é alta em relação a outros elementos, oriunda principalmente dos lançamentos por veículos automotores e mais significativa em dias com predominância de ventos de Sul/Sudeste, que se dá no outono e no inverno.

Juntas as condições de menores temperaturas, maior umidade e alto OC pode-se aventar a possibilidade de explicação de aumentos de incidência de problemas respiratórios nessa época do ano pela qualidade dominante da poluição e não apenas pelas concentrações.

Em relação ao padrão de qualidade do ar, as concentrações de PM₁₀ e PTS, estão dentro das normas estabelecidas pelo CONAMA, com 35,23µg/m³ de PM₁₀ e 74,16µg/m³ de PTS na região em estudo.

Não existem trabalhos similares realizados em regiões onde os fatores de influência sejam próximos das encontradas em Vitória, tais como: efeito de brisa marítima, proximidade da região industrial com centros urbanos, topologia industrial dominante. Comparações seriam, portanto, no mínimo, fora de padrões repetidos, o que não se justifica.

Sugere-se a continuidade dos trabalhos na região com ênfase em PM₁₀, visto ser tal classe de material particulado o mais importante no que se refere a aspectos da saúde humana, e nas concentrações de carbono orgânico e elementar sob a maior diversidade possível de condições micrometeorológicas.

O objetivo deve ser testar hipóteses sobre as relações entre concentrações desses elementos e direções de vento, capacidade dispersiva e comportamento do tráfego.

9 REFERÊNCIAS

<http://acd.ufrj.br>

<http://relictos.vilabol.uol.com.br/legislação>

www.seculodiario.com

www.cnpq.br

www.5elementos.org.br

www.energetica.com.br

REALIZAÇÃO



LABORATÓRIO DE AEROSSÓIS E BIO-ESCOAMENTOS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO