

**EDISON SCHMIDT FILHO**

**DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE ZINCO DE SOLOS DO ENTORNO DE  
UMA FÁBRICA DE CIMENTO QUE CO-PROCESSA RESÍDUOS  
INDUSTRIAIS.**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Agronomia Área de Concentração Ciência do Solo no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná

Orientador: Prof. Dr. Luiz A. C. Lucchesi.

CURITIBA

Dezembro, 2001

**EDISON SCHMIDT FILHO**

**DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE ZINCO DE SOLOS DO ENTORNO DE  
UMA FÁBRICA DE CIMENTO QUE CO-PROCESSA RESÍDUOS  
INDUSTRIAIS.**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Agronomia Área de Concentração Ciência do Solo no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná

Orientador: Prof. Dr. Luiz A. C. Lucchesi.

CURITIBA

Dezembro, 2001

A Deus, pelo simples dom da vida, pois é para continuar vivendo que lutamos dia após dia. A meus pais Edison e Lúcia pela graça de me darem à luz, pois graças a seus esforços incessantes em formar uma família digna cheguei até aqui e por eles tenho forças para continuar, dedico.

*Edison Schmidt Filho*

## **AGRADECIMENTOS**

Um cientista não reserva para si uma descoberta, mostra ao mundo o que todos ajudaram a criar. Seria inútil tentar agradecer a poucos quando muitos complementaram na realização deste trabalho e que a todos nós pertence. Porém, alguns se destacam e a eles agradeço:

Ao Prof. Luiz A C Lucchesi, mais que meu orientador, um amigo, pelos conhecimentos transmitidos ao longo de muitos anos que se estendem além deste trabalho;

Ao Rubens C Secco, ao Jetro Turan Salvador, à Marceli Hikshima e ao Fernando, pelos longos dias de trabalho juntos para atingir nosso objetivo.

Ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) e à FINEP, pelos recursos que tornaram possível a sua realização.

À Companhia de Cimento ITAMBÉ, pela preocupação e interesse pela pesquisa.

À TRANSFORMA Engenharia do Meio Ambiente na pessoa de Marília Tissot, pela amizade e carinho com que participou de todas as atividades.

Ao Prof. Henrique Soares Koehler pela atenção com que me recebeu para discutir as análises estatísticas.

Ao Jean Carlos Padilha pelos excelentes trabalhos de digitalização de mapas e companheirismo.

Ao colega e amigo Adonai Pinheiro de Ulhôa Cintra pelo auxílio em vários momentos da elaboração deste trabalho e pela amizade de hoje e desde sempre.

A meus pais Edison e Lúcia, pela compreensão quando os deixei novamente a fim de atingir este propósito. Agradeço a vocês de coração e para sempre terei orgulho em dizer: “Pai e Mãe, Eu Amo Vocês !! “

*Ao Senhor Deus, por tudo...*

## SUMÁRIO

|                                                                                             |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>RESUMO.....</b>                                                                          | <b>IX</b> |
| <b>ABSTRACT.....</b>                                                                        | <b>X</b>  |
| <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                                     | <b>1</b>  |
| <b>OBJETIVOS.....</b>                                                                       | <b>5</b>  |
| Objetivo Geral .....                                                                        | 5         |
| Objetivos Específicos .....                                                                 | 5         |
| <b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>                                                          | <b>7</b>  |
| O co-processamento de resíduos industriais .....                                            | 7         |
| Procedimento para co-processamento.....                                                     | 8         |
| <i>Processo de co-processamento</i> .....                                                   | 8         |
| Uso dos resíduos como combustível.....                                                      | 10        |
| Controle da qualidade DO CO-PROCESSAMENTO.....                                              | 10        |
| A emissão de metais por fornos de cimento.....                                              | 11        |
| Características de emissões atmosféricas oriundas do processo de fabricação de cimento..... | 12        |
| Os elementos traço no solo.....                                                             | 16        |
| A mobilidade de metais pesados no solo .....                                                | 17        |
| Zinco no solo .....                                                                         | 18        |
| Extratores de zinco do solo .....                                                           | 19        |
| <i>Extração de Zn Mehlich 1</i> .....                                                       | 23        |
| <i>Extração de Zn Nitro-perclórica</i> .....                                                | 24        |
| <i>Extração de Zn por DTPA</i> .....                                                        | 24        |
| determinação de Zinco por Absorção ATÔMICA .....                                            | 25        |
| <i>Sensibilidade e Limites de Detecção</i> .....                                            | 27        |
| <i>Interferências no método de absorção atômica para o Zn</i> .....                         | 27        |
| <i>Soluções e extrato de solo por absorção atômica</i> .....                                | 28        |
| <b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>                                                            | <b>29</b> |
| Localização geográfica da região estudada .....                                             | 29        |
| Descrição da área estudada.....                                                             | 30        |
| <i>Relevo e ocupação do solo</i> .....                                                      | 30        |
| <i>Solos</i> .....                                                                          | 33        |
| <i>CAMBISSOLO ÁLICO – Ca 39</i> .....                                                       | 34        |
| <i>PODZOLICO VERMELHO-AMARELO Pva 21</i> .....                                              | 35        |
| <i>LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO LVa1</i> .....                                                | 36        |
| Uso atual do solo das estações da amostragem.....                                           | 37        |

|                                                                                                                            |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| A amostragem dos solos da área estudada .....                                                                              | 40        |
| <i>Localização das estações de amostragem e profundidade de coleta.</i> .....                                              | 40        |
| <i>Profundidades de amostragem nas estações.</i> .....                                                                     | 41        |
| <i>Descrição das estações de amostragem.</i> .....                                                                         | 44        |
| <i>Coleta do Solo, Preparo e Acondicionamento das Amostras.</i> .....                                                      | 45        |
| Análise química .....                                                                                                      | 46        |
| <i>Métodos de Extração Química do Elemento Zn</i> .....                                                                    | 47        |
| Extrator de Mehlich 1 .....                                                                                                | 47        |
| Extração Total Nitro-Perclórica .....                                                                                      | 48        |
| Extração com DTPA .....                                                                                                    | 49        |
| <i>Determinação do Zn no espectrofotômetro de absorção atômica</i> .....                                                   | 50        |
| Metodologia utilizada para a compilação ordenação e interpolação dos dados<br>obtidos .....                                | 51        |
| <i>A rosa dos ventos e os pontos de amostragem</i> .....                                                                   | 52        |
| <i>O tratamento dos dados</i> .....                                                                                        | 53        |
| Análise estatística .....                                                                                                  | 57        |
| <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                                                                        | <b>58</b> |
| Variabilidade vertical do Zn por setor amostrado .....                                                                     | 62        |
| <i>Teores totais de Zn em profundidade.</i> .....                                                                          | 62        |
| <i>Teores de Zn extraídos por Mehlich 1 em profundidade</i> .....                                                          | 63        |
| <i>Teores de Zn extraídos por DTPA em profundidade</i> .....                                                               | 64        |
| Variabilidade horizontal dos teores de Zn para diferentes profundidades .....                                              | 73        |
| <i>Teores de Zn totais, extraíveis por Mehlich 1 e por DTPA e sua distribuição<br/>    setorial em profundidades</i> ..... | 74        |
| <i>Variabilidade horizontal dos teores de Zn relativa à dominância do fluxo de<br/>    massas de ar.</i> .....             | 82        |
| Distribuição diametral dos teores de Zn relativos à planta industrial .....                                                | 85        |
| <b>CONCLUSÕES .....</b>                                                                                                    | <b>92</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                                                                                   | <b>94</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>                                                                                                        | <b>98</b> |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABELA 01 – COMPARAÇÃO ENTRE NORMA BRASILEIRA E TEORES ENCONTRADOS EM PARTICULADOS EMITIDOS PELA CHAMINÉ DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ .....                                                               | 13 |
| TABELA 02 – COMPOSIÇÃO MÉDIA DA MATÉRIA PRIMA DE UM COMBUSTÍVEL (CARVÃO) E O PRODUTO DE CLINQUER E PÓ-DE-ELETROFILTRO GERADO PELA UNIDADE INDUSTRIAL DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ DE Balsa Nova, PR ..... | 14 |
| TABELA 03 - BALANÇO DE MASSA ESTIMADO PARA O Zn COM BASE NOS DADOS FORNECIDOS POR ANDRADE (1999) PARA A COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ .....                                                                   | 15 |
| TABELA 04 – COMPARAÇÃO DO TEOR DE MATERIAL PARTICULADO EMITIDO À ATMOSFERA PELA CHAMINÉ DO FORNO 02 DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ A VALORES MÁXIMOS ESPECIFICADOS PELA NBR 1265. ....                      | 16 |
| TABELA 05 – RELAÇÃO ENTRE FAIXAS DE Zn EXTRAÍVEIS DE SOLO POR DIFERENTES MÉTODOS.....                                                                                                                       | 21 |
| TABELA 06 – TEORES TOTAIS DE Zn DE MATERIAIS DE ORIGEM DOS SOLOS DIVERSOS.....                                                                                                                              | 22 |
| TABELA 07 - TEORES MÉDIOS DE Zn DE DIFERENTES SOLOS BRASILEIROS....                                                                                                                                         | 23 |
| TABELA 09 – DATA E HORA DE COLETA, USO ATUAL, DECLIVIDADE E OUTROS ASPECTOS RELEVANTES RELATIVOS ÀS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM DE SOLO. ....                                                                    | 38 |
| TABELA 10 – CONCENTRAÇÃO DE Zn E RESPECTIVAS ABSORBÂNCIAS UTILIZADAS PARA A CALIBRAÇÃO DO ESPECTROFOTÔMETRO DE ABSORÇÃO ATÔMICA PARA ANÁLISE DO Zn.....                                                     | 51 |
| TABELA 11 – MÉDIA DE 3 REPETIÇÕES DA CONCENTRAÇÃO DE Zn NO SOLO NAS 4 PROFUNDIDADES ESTUDADAS POR EXTRAÇÃO TOTAL NITRO-PERCLÓRICA, MEHLICH 1 E DTPA. ....                                                   | 60 |

## LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS

|                                                                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 01 – VISTA AÉREA DA PLANTA INDUSTRIAL DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ. ....                                                                                                          | 30 |
| FIGURA 02 – REPRESENTAÇÃO PLANI-ALTIMÉTRICA DA ÁREA. ....                                                                                                                                  | 32 |
| FIGURA 03 - DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES DE SOLOS DA ÁREA ESTUDADA. ...                                                                                                                       | 33 |
| FIGURA 4A – DISTRIBUIÇÃO DAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM DE SOLOS DO ENTORNO DA PLANTA INDUSTRIAL DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ..                                                              | 42 |
| FIGURA 4B - REPRESENTAÇÃO DAS FAIXAS CIRCULARES E SEÇÃO TRANSVERSAL DA ÁREA CIRCULAR ESTUDADA DE 10 KM DE RAIO A PARTIR DA PLANTA INDUSTRIAL DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ.....           | 43 |
| FIGURA 05 - DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE SOLO DENTRO DA ESTAÇÃO DE AMOSTRAGEM. ....                                                                                                | 44 |
| FIGURA 06 – MODELO DE IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS DE SOLO ACONDICIONADAS EM SACOS PLÁSTICOS.....                                                                                            | 46 |
| FIGURA 07 – COMPARAÇÃO ENTRE A DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM DE SOLO APÓS SEU TRATAMENTO PARA SUBSTITUIÇÃO DE DELINEAMENTO EXPERIMENTAL COMPLETAMENTE CASUALIZADO. .... | 56 |
| GRÁFICO 01– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 1 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ.....      | 66 |
| GRÁFICO 02– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 2 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ.....      | 66 |
| GRÁFICO 03– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 3 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ.....      | 67 |
| GRÁFICO 04– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE ZN EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 4 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ.....      | 67 |

|                                                                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| GRÁFICO 05– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 5 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ..... | 68 |
| GRÁFICO 06– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 6 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ..... | 68 |
| GRÁFICO 07– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 7 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ..... | 69 |
| GRÁFICO 08– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 8 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ..... | 69 |
| GRÁFICO 09– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 9 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ..... | 70 |
| GRÁFICO 10– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 10 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ.... | 70 |
| GRÁFICO 11– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 11 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ.... | 71 |
| GRÁFICO 12– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 12 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ.... | 71 |
| GRÁFICO 13– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 13 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ.... | 72 |
| GRÁFICO 14– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 14 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ.... | 72 |
| GRÁFICO 15– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 15 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ.... | 73 |

|                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| GRÁFICO 16– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 16 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ....                                                   | 73 |
| GRÁFICO 17– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn NOS SETORES CIRCULARES POR EXTRAÇÃO TOTAL, REPRESENTANDO A VARIABILIDADE HORIZONTAL DOS TEORES DE Zn PARA A PROFUNDIDADES 0 A 5 CM PROFUNDIDADES E COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA POR TUKEY A 0,05. .... | 78 |
| GRÁFICO 18– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn NOS SETORES CIRCULARES EXTRAÍDO POR MEHLICH 1, REPRESENTANDO A VARIABILIDADE HORIZONTAL DOS TEORES DE Zn PARA A PROFUNDIDADES 0 A 5 CM E COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA POR TUKEY A 0,05. ....           | 78 |
| GRÁFICO 19– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn NOS SETORES CIRCULARES EXTRAÍDO POR DTPA, REPRESENTANDO A VARIABILIDADE HORIZONTAL DOS TEORES DE Zn PARA A PROFUNDIDADES 0 A 5 CM E COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA POR TUKEY A 0,05. ....                | 78 |
| GRÁFICO 20– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn NOS SETORES CIRCULARES POR EXTRAÇÃO TOTAL, REPRESENTANDO A VARIABILIDADE HORIZONTAL DOS TEORES DE Zn PARA A PROFUNDIDADES 5 A 10 CM.....                                                         | 79 |
| GRÁFICO 21– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn NOS SETORES CIRCULARES EXTRAÍDO POR MEHLICH 1, REPRESENTANDO A VARIABILIDADE HORIZONTAL DOS TEORES DE Zn PARA A PROFUNDIDADES 5 A 10 CM.....                                                     | 79 |
| GRÁFICO 22– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn NOS SETORES CIRCULARES EXTRAÍDO POR DTPA, REPRESENTANDO A VARIABILIDADE HORIZONTAL DOS TEORES DE Zn PARA A PROFUNDIDADES 5 A 10 CM.....                                                          | 79 |
| GRÁFICO 23– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn NOS SETORES CIRCULARES POR EXTRAÇÃO TOTAL, REPRESENTANDO A VARIABILIDADE HORIZONTAL DOS TEORES DE Zn PARA A PROFUNDIDADES 10 A 15 CM.....                                                        | 80 |
| GRÁFICO 24– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn NOS SETORES CIRCULARES EXTRAÍDO POR MEHLICH 1, REPRESENTANDO A VARIABILIDADE HORIZONTAL DOS TEORES DE Zn PARA A PROFUNDIDADES 10 A 15 CM.....                                                    | 80 |
| GRÁFICO 25– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn NOS SETORES CIRCULARES EXTRAÍDO POR DTPA, REPRESENTANDO A VARIABILIDADE HORIZONTAL DOS TEORES DE Zn PARA A PROFUNDIDADES 10 A 15 CM.....                                                         | 80 |
| GRÁFICO 26– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn NOS SETORES CIRCULARES POR EXTRAÇÃO TOTAL, REPRESENTANDO A VARIABILIDADE HORIZONTAL                                                                                                              |    |

|                                                                                                                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| DOS TEORES DE Zn PARA A PROFUNDIDADES 45 A 50 CM.....                                                                                                                                                                | 81 |
| GRÁFICO 27– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn NOS SETORES CIRCULARES<br>EXTRAÍDO POR MEHLICH 1, REPRESENTANDO A VARIABILIDADE HORIZONTAL<br>DOS TEORES DE Zn PARA A PROFUNDIDADES 45 A 50 CM.....                           | 81 |
| GRÁFICO 28– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn NOS SETORES CIRCULARES<br>EXTRAÍDO POR DTPA, REPRESENTANDO A VARIABILIDADE HORIZONTAL<br>DOS TEORES DE Zn PARA A PROFUNDIDADES 45 A 50 CM.....                                | 81 |
| GRÁFICO 29 – DIREÇÃO PREDOMINANTE DOS VENTOS QUE TRANSPASSAM<br>PELA UNIDADE INDUSTRIAL EM Balsa Nova PR.....                                                                                                        | 83 |
| GRÁFICO 30 – COMPARAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE Zn NOS 16<br>SETORES CIRCULARES COM A DIREÇÃO PREDOMINANTE DOS VENTOS,<br>POR EXTRAÇÃO TOTAL NITROPERCLÓRICA. ....                                             | 83 |
| GRÁFICO 31– COMPARAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE Zn NOS 16<br>SETORES CIRCULARES COM A DIREÇÃO PREDOMINANTE DOS VENTOS,<br>EXTRAÍDO POR MEHLICH 1. ....                                                          | 84 |
| GRÁFICO 32– COMPARAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE Zn NOS 16<br>SETORES CIRCULARES COM A DIREÇÃO PREDOMINANTE DOS VENTOS,<br>EXTRAÍDO POR DTPA.....                                                                | 84 |
| GRÁFICO 33 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE Zn EXTRAÍDO DE FORMA TOTAL E<br>PARCIAL DO SETOR 1 E SEU SETOR OPOSTO 9, PARA TODAS AS<br>PROFUNDIDADES DA ÁREA CIRCULAR SOB INFLUÊNCIA DA PLANTA<br>INDUSTRIAL (TRANSECT). ....  | 88 |
| GRÁFICO 34 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE Zn EXTRAÍDO DE FORMA TOTAL E<br>PARCIAL DO SETOR 2 E SEU SETOR OPOSTO 10, PARA TODAS AS<br>PROFUNDIDADES DA ÁREA CIRCULAR SOB INFLUÊNCIA DA PLANTA<br>INDUSTRIAL (TRANSECT). .... | 88 |
| GRÁFICO 35 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE Zn EXTRAÍDO DE FORMA TOTAL E<br>PARCIAL DO SETOR 3 E SEU SETOR OPOSTO 11, PARA TODAS AS<br>PROFUNDIDADES DA ÁREA CIRCULAR SOB INFLUÊNCIA DA PLANTA<br>INDUSTRIAL (TRANSECT). .... | 89 |
| GRÁFICO 36 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE Zn EXTRAÍDO DE FORMA TOTAL E<br>PARCIAL DO SETOR 4 E SEU SETOR OPOSTO 12, PARA TODAS AS<br>PROFUNDIDADES DA ÁREA CIRCULAR SOB INFLUÊNCIA DA PLANTA<br>INDUSTRIAL (TRANSECT). .... | 89 |

|                                                                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| GRÁFICO 37 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE Zn EXTRAÍDO DE FORMA TOTAL E PARCIAL DO SETOR 5 E SEU SETOR OPOSTO 13, PARA TODAS AS PROFUNDIDADES DA ÁREA CIRCULAR SOB INFLUÊNCIA DA PLANTA INDUSTRIAL (TRANSECT). ..... | 90 |
| GRÁFICO 38 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE Zn EXTRAÍDO DE FORMA TOTAL E PARCIAL DO SETOR 6 E SEU SETOR OPOSTO 14, PARA TODAS AS PROFUNDIDADES DA ÁREA CIRCULAR SOB INFLUÊNCIA DA PLANTA INDUSTRIAL (TRANSECT). ..... | 90 |
| GRÁFICO 39 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE Zn EXTRAÍDO DE FORMA TOTAL E PARCIAL DO SETOR 7 E SEU SETOR OPOSTO 15, PARA TODAS AS PROFUNDIDADES DA ÁREA CIRCULAR SOB INFLUÊNCIA DA PLANTA INDUSTRIAL (TRANSECT). ..... | 91 |
| GRÁFICO 40 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE Zn EXTRAÍDO DE FORMA TOTAL E PARCIAL DO SETOR 8 E SEU SETOR OPOSTO 16, PARA TODAS AS PROFUNDIDADES DA ÁREA CIRCULAR SOB INFLUÊNCIA DA PLANTA INDUSTRIAL (TRANSECT). ..... | 91 |

## RESUMO

O co-processamento de resíduos em fornos de cimento vem sendo crescentemente utilizado no Brasil como alternativa para sua reciclagem e ou disposição final, razão pela qual vem-se demandando por critérios que permitam avaliar sua influência no ambiente. Considerando-se que teores e formas de Zn do solo possam ser indicadoras de seus efeitos cumulativos de deposição, concebeu-se o presente trabalho. Tal elemento traço, o mais abundantemente presente em particulados emitidos pela planta da Companhia de Cimento Itambé de Balsa Nova, PR, foi extraído de amostras de solo tomadas de 4 profundidades (0-5, 5-10, 10-15 e 45-50 cm) em 96 estações de amostragem de 20 m<sup>2</sup> cada uma, distribuídas num raio de 10 km da indústria. Extraíu-se destas formas “total” (digestão nitro-perclórica) e parciais com os extratores de Mehlich 1 (HCl 0,01 M e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 M) e DTPA geraram valores respectivamente entre 4,4-186,5, < 0,01 - 79,2 e 0,02-49,0 mg Zn kg<sup>-1</sup> solo<sup>-1</sup> e que podem estar relacionadas a esta e ou a outras atividades humanas desenvolvidas na área estudada e suas proximidades.

Palavras-chave: co-processamento, resíduos, zinco, cimento, ambiente, extração de metais.

## ABSTRACT

However, because of public perception and scientific needs instruments to allow comprehension and monitoring the activity effects on the environmental have been remodeling. Assumptions that total and extractable soil zinc (Zn) forms originated from depositions on top of sites located in the surroundings of cement plants embased this document.

Because of Zn is the most abundant trace element present in particles emitted by Companhia de Cimentos Itambé cement plant located at Balsa Nova, State of Paraná, Brazil. It was extracted from composed samples soils taken from the following soil depths: 0-5, 5-10, 10-15, and 45-50 cm. For that purpose 96 samplings stations were uniformly distributed in a circular area with radius of 10 Km.

Total and partially soil Zn forms extracted with Mehlich1 (nitric-perchloric digestion) ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,0125 M + HCl 0,05 M ) and DTPA solutions were respectively between the following ranges: 4.4 to 186.5 mg Zn.kg<sup>-1</sup>.soil<sup>-1</sup>; 20,01 to 79,2 mg Zn.kg<sup>-1</sup>.soil<sup>-1</sup> and 0,02 to 49,0 mg Zn.kg<sup>-1</sup>.soil<sup>-1</sup>. Observed anomalies for Zn are probably not only related to waste co-process but also to other several human activities conducted inside the studied area.

Key words: Co-processing, wastes, zinc, cement, environment, metals extraction.

## INTRODUÇÃO

A utilização de resíduos com conteúdo energético em substituição parcial à combustíveis tecnicamente denomina-se “Co-processamento” ou “Co-incineração” uma vez que dois processos podem estar ocorrendo simultaneamente em apenas uma operação: sua queima como combustível propriamente dito e, ou seu uso como ingrediente para o processo de fabricação do clínquer (BARELLA Jr, 1993).

Segundo a Resolução CONAMA n.º 264 (BRASIL, 1999) o co-processamento de resíduos é definido como a *“Técnica de utilização de resíduos sólidos industriais a partir do processamento desses como substituto parcial de matéria-prima e / ou de combustível no sistema forno de produção de clínquer, na fabricação de cimento”* e clínquer é definido como o *“componente básico do cimento, constituído principalmente de silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico e ferroaluminato tetracálcico”*.

O co-processamento de resíduos em fornos de clínquerização vem sendo constantemente utilizado como prática considerada segura para a eliminação tanto de resíduos perigosos quanto daqueles não perigosos. Exemplo disso é o da Indústria de Cimento St. Lawrence no Canadá que realizou uma série de testes conduzidos com o objetivo de avaliar sua eficácia na destruição de vários resíduos clorados que uma vez alimentados em fornos de cimento de via úmida geraram uma eficiência de destruição térmica de 99,99 % (BARELLA Jr, 1993). Além deste pode-se citar diversos outros exemplos como o da Companhia de Cimento Itambé de Balsa Nova PR e o da Indústria Votorantim de Rio Branco do Sul PR.

Apesar de tratar-se de procedimento eficaz na destruição de resíduos, torna-se necessário desenvolver padrões ambientais que permitam entender e monitorar os efeitos da atividade para as condições brasileiras, inclusive e se possível sob particularidades locais. Tanto sob esta quanto sob outras condições onde se realiza o co-processamento de resíduos, a quantidade de substâncias liberadas à atmosfera dependerá não somente da composição dos resíduos utilizados mas também dos ingredientes principais de que o processo necessita. No caso para a produção de cimento.

Assim, dependendo da situação equacionada pode-se supor que sejam liberados à atmosfera pequenas ou mesmo ínfimas quantidades de certas substâncias. Estas poderiam ser utilizadas como indicadores ambientais para os casos em que fossem pouco abundantes no ambiente ao redor das unidades geradoras. Sendo assim passíveis de monitoramento no que concerne a alteração, por exemplo em solos. Estas quando lançadas por via seca na atmosfera na forma de partículas resultantes do processo de fabricação de cimento podem trazer, dependendo da composição e quantidade emanada, implicações positivas ou negativas sobre ecossistemas sob influência da planta industrial.

O ar atmosférico, além de ser componente essencial para a fabricação de cimento no qual é o agente transportador e transmissor de calor, é também aquele que ao final do processo torna-se o principal agente de transporte e dispersão de substâncias emanadas, poluentes ou não. Este é o caso da Companhia de Cimento Itambé sediada no município de Balsa Nova PR nas imediações da região metropolitana de Curitiba, mais especificamente da região de Campo Largo, donde

assume-se que os ventos que predominantemente por ela passam carregam substâncias desta unidade geradora. Desta forma supõe-se que materiais particulados estariam sendo transportados pelo vento e depositados na superfície de solos localizados nas proximidades de uma fábrica de cimento e estes poderiam estar sendo emanados pela Planta industrial da Companhia de Cimento Itambé. E, em estas partículas possuindo teores de um elemento traço, no caso zinco (Zn), mais elevados do que aqueles normalmente encontrados nos solos da área estudada, então poder-se-ia encontrar um certo padrão de distribuição deste elemento e no caso considerá-lo como indicador da eventual influência desta planta sobre este ambiente. Ainda, em se analisando os teores totais no solo e aqueles parcialmente extraíveis por métodos extratores passíveis de correlação com a biodisponibilidade vegetal, supõe-se também encontrar teores muito mais elevados para este que para aqueles e uma distribuição decrescente da superfície dos pontos (solos) estudados em relação à sua sub-superfície uma vez que uma das características próprias do Zn no solo é a sua baixa mobilidade no perfil. Isto pode ser detectado com maior acuracidade quando de sua extração com extratores parciais ácidos ou com quelantes. Pressupõe-se também que o solo atue como um registro temporal do efeito cumulativo da deposição de Zn. Assim a distribuição espacial deste elemento pode indicar se sua origem pode de fato ser ou não aquela estudada, no caso a Indústria de cimento que co-processa resíduos industriais (Cia de Cimento Itambé).

Em se testando a hipótese acima além de se estar contribuindo para a compreensão, validação ou redirecionamento da atividade de co-processamento de resíduos e ou de produção de cimento estaria-se também abrindo novas perspectivas

de estudo para subsidiar medidas mitigatórias dos efeitos poluentes desta ou de outras unidades que por meio da dispersão atmosférica polui ou está poluindo o ambiente, bem como para embasar futuros estudos sobre a biodisponibilidade ou movimentação de Zn ou outros poluentes respectivamente à cadeia alimentar e às águas.

Neste contexto, face a importância e atualidade do tema “co-processamento de resíduos” que permite a eliminação de passivos ambientais, uma forma de reciclagem, o Ministério da Ciência e Tecnologia do Brasil (MCT), por meio da Fase III de seu Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PADCT III) e da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) financiou o projeto “Estabelecimento de critérios para a avaliação da qualidade do ar no entorno de uma fábrica de cimento que co-processa resíduos industriais.” O presente trabalho é parte componente do referido projeto seu autor é seu bolsista.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral deste trabalho é o de verificar a possibilidade de utilização de parâmetros edáficos como base para a compreensão dos efeitos da atividade de produção de cimento Portland e do co-processamento de resíduos industriais sobre o ambiente e seu entorno.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Os objetivos específicos da presente dissertação são:

- Avaliar os teores totais e parciais quimicamente extraíveis de Zn de diversas profundidades de solos localizados no entorno de uma fábrica de cimento que co-processa resíduos industriais.
- Relacionar os teores totais e extraíveis de Zn com as direções predominantes de ventos que carregam e dispersam substâncias emanadas da Companhia de Cimento Itambé em Balsa Nova, PR.
- Identificar áreas com maiores concentrações de Zn e discutir as possíveis causas dessa ocorrência.
- Conceber, testar e sugerir critérios para a amostragem e análise química para indicador ambiental em solos, no caso Zn do solo, para

permitir o monitoramento de empreendimentos, no caso indústria de cimento que co-processa resíduos industriais, que emitem substâncias na atmosfera passíveis de acúmulo e detecção em solos.

- Gerar informações que subsidiem geradores de “poluentes” e gestores do ambiente na tomada de decisões que permitam a regulamentação de sua atividade ou a manifestação de seus efeitos indesejáveis.

## REVISÃO DE LITERATURA

### O CO-PROCESSAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

Resíduos com conteúdo energético considerável e passíveis de serem utilizados como parte integrante da matéria prima do cimento vem encontrando uma aplicação renovável como combustíveis, classificados como alternativos, secundários ou complementares. A este tipo de aplicação atribui-se o termo “*Co-processamento*” ou “*Co-incineração*” de resíduos, em razão de dois processos ocorrerem em apenas uma operação (destruição dos resíduos e imobilização de elementos químicos). Assim em um resíduo sendo co-processado, este não estará sendo simplesmente apenas destruído mas sim transformado em matéria prima ou combustível para a produção de clínquer (BARELLA Jr, 1993); material aglutinado do qual após moagem se obtêm o cimento.

Segundo MORAES (1993), um grande número de fornos de cimento utilizando diferentes combustíveis de resíduos alternativos foram testados debaixo de condições variáveis de operação. Vários dos testes tem incluído a determinação dos efeitos de diversos resíduos nas emissões na chaminé e na qualidade do cimento.

Só nos Estados Unidos desde o início do uso do forno de cimento como a solução para disposição final por co-processamento de resíduos, esta técnica já possui de 25 a 30 fornos de cimento queimando resíduos e aproximadamente 20 novas unidades estão se propondo a queimá-los.

Ainda segundo MORAES (1993), na França existem 14 fornos de cimento queimando 200.000 ton. de resíduos por ano citado na apresentação da Rhône-Poulenc no Seminário da Associação Brasileira de Engenharia Química - ABEQ em agosto/93. No Brasil existem 9 fornos de cimento queimando resíduos perigosos, alguns em forma de teste, situados nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná, Minas Gerais e Rio Grande do Sul.

Segundo BARELLA Jr (1993) o co-processamento de resíduos industriais em fornos de cimento surgiu no Brasil como uma “tecnologia de ponta para o tratamento de determinados tipos de resíduos industriais”.

## **PROCEDIMENTO PARA CO-PROCESSAMENTO**

O co-processamento de resíduos industriais exige um projeto de queima, apresentação e aprovação dos órgãos ambientais e da cimenteira. Estes projetos incluem descrições detalhadas da produção do cimento, o sistema de transporte, amostragem, recebimento, manipulação e preparação dos resíduos, as condições técnicas do processo, os resultados dos testes de queima, licenças, análises químicas, monitoramento, leste em branco.

### **Processo de co-processamento**

MORAES (1993) diz que o processo produtivo do cimento utiliza alta temperatura e uma mistura proporcional de Calcário, Sílica, Alumina e Óxido de Ferro

num forno rotatório. Este processo térmico da matéria-prima misturada, pode ser descrito em 3 estágios: secagem, calcinação e clinquerização. O tempo de residência do material sólido varia de forno para forno e é controlado pela revolução do forno e está na ordem de até 2 horas. O fluxo do material sólido no forno é em contra corrente com o fluxo dos gases aquecidos e o tempo de residência dos gases varia de 6 a 10 segundos.

Segundo o mesmo autor (MORAES, 1993) há dois fatores importantes no processo de fabricação do cimento com relação ao combustível utilizado, seja ele derivado de resíduo ou carvão. Primeiro, que as cinzas provenientes da combustão desses combustíveis são incorporadas no clínquer, isto é prática frequente na indústria do cimento para ajustar a alimentação da matéria-prima. Segundo, é o fato que a própria matéria-prima atua como lavador dos gases que passam através dela trocando calor nos pre-calcinadores. Dentro do forno, na zona de calcinação, na qual o carbonato de cálcio é convertido em óxido de cálcio, há reação com óxidos de enxofre formando sulfetos e sulfatos, tendo o efeito de lavador de gases, outros gases ácidos também sofrem abatimento dentro da matéria-prima alcalina. Os gases após resfriados passam por precipitadores eletrostáticos a fim de atender aos padrões de emissão para material particulado que são reciclados retornando ao processo após mistura com a matéria-prima.

## **USO DOS RESÍDUOS COMO COMBUSTÍVEL**

Segundo MOURNIGHAN (1988), os resíduos industriais devem ser usados como combustíveis aproveitando-se o seu poder calorífico, eles podem ser queimados isoladamente ou em misturas, de tal forma que, se tenha um poder calorífico semelhante ao do carvão.

Vários tipos de resíduos de diferentes origens industriais podem ser destruídos e co-processados em fornos de cimento, tais como: solventes halogenados e não-halogenados derivados de desengraxantes, tintas, resíduos da indústria petroquímica, química, óleos usados, entre outros.

Embora os fornos de cimento tenham potencial para incinerar todo o tipo de resíduo, deve-se fazer misturas de resíduos, de tal forma a obter um poder calorífico semelhante ao do carvão na mistura final.

Atualmente, os fornos de cimento não queimam resíduos com elevada concentração de clorados, nem PCB – apesar de testes de queima terem demonstrado que o PCB pode ser destruído (MORAES, 1993).

## **CONTROLE DA QUALIDADE DO CO-PROCESSAMENTO**

Para controlar a qualidade dos resíduos recebidos, a do combustível derivado dos resíduos e as emissões, é necessário um laboratório adequado com métodos analíticos desenvolvidos, pessoal treinado em análise e amostragem, bem como, uma instrumental específica, incluindo: absorção atômica, bomba calorimétrica, viscosímetro,

Karl Fisher, cromatógrafo a gás/espectômetro de massa com ionização de chama e captura de elétrons. Também deve existir equipamentos para amostragem das emissões da chaminé, voltados para amostragem do material particulado, orgânicos voláteis e semi-voláteis, HCl, C12, NOx, SOx e metais (MORAES, 1993)

## **A EMISSÃO DE METAIS POR FORNOS DE CIMENTO**

Segundo BERNIT (1993), fornos de cimento permitem uma boa e eficiente destruição de compostos orgânicos perigosos. No entanto, em fornos de cimento todos os metais podem ser incluídos na categoria de voláteis ou refratários dependendo de seu comportamento frente às altíssimas temperaturas em seu interior (BERNIT ,1993). Desta forma objetivando-se quantificar e determinar o que é emanado de fornos de cimento a Resolução CONAMA n.º 264 (BRASIL,1999) regulamenta para fornos que queimam resíduos perigosos a emissão de 10 elementos traço: Arsênio, Antimônio, Berílio, Cobalto, Cromo, Cobre, Cádmio, Chumbo, Níquel, Manganês, Mercúrio, Selênio, Telúrio e Zinco. Ainda segundo BERNIT (1993) durante a alimentação de fornos de cimento a quantidade de resíduos co-processados pode ser até mil vezes menor que a dos ingredientes utilizados pelos processo. Isto se deve ao fato de os fornos de cimento apresentarem um vantagem a mais no que concerne à imobilização de metais pesados. Ou seja, estes durante o co-processamento de resíduos permitem a sua incorporação nos minerais ativos do cimento produzido agora em formas não tóxicas (inertizadas). Isto ocorre devido à matéria prima atuar no sistema como absorvente de metais volatilizados no fluxo de gás que a encontra. As

partículas finíssimas de metais quando volatilizadas colidem-se com as de matéria prima, que por sua vez aglomeram-se. Tal fenômeno ainda é objeto de estudos porém atribui-se como mecanismos para a ocorrência da inertização de metais sua adsorção à superfície dos ingredientes nos fornos mesmo para aqueles metais mais voláteis como o mercúrio (Hg). No entanto materiais como aqueles utilizados em aço de pneus, têm a mesma constituição que alguns dos principais ingredientes utilizados na fabricação de cimento Portland, que por sua vez são de ocorrência natural na crosta terrestre (cálcio, silício, ferro) na forma de calcário, argila e areia. ([www.portcement.org/cem/index.asp](http://www.portcement.org/cem/index.asp), 2001). Assim, segundo BERNÖIT (1993) o cimento é insensível a substâncias orgânicas derivadas de resíduos ou presente na matéria prima normalmente utilizada no processo de fabricação de cimento. Estas não afetarão a qualidade do produto final.

#### **CARACTERÍSTICAS DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS ORIUNDAS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CIMENTO**

VIEIRA et al. (2000) responsáveis pela elaboração do *Relatório técnico parcial* da Companhia de Cimento Itambé para o PADCT III, após análise criteriosa do material particulado na forma de pó e que fica retido no eletrofiltro, que é um dos dispositivos de segurança ambiental com a finalidade de reduzir ou eliminar a poeira disposta ao ar, obtiveram os resultados da Tabela 01 onde se pode compará-los aos níveis máximos especificados pela NBR 1265.

TABELA 01 – COMPARAÇÃO ENTRE NORMA BRASILEIRA E TEORES ENCONTRADOS EM PARTICULADOS EMITIDOS PELA CHAMINÉ DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ

| <b>Metais</b> | <b>Itambé</b>             | <b>NB 1265</b>            |
|---------------|---------------------------|---------------------------|
|               | <b>mg kg<sup>-1</sup></b> | <b>mg kg<sup>-1</sup></b> |
| <b>Cd</b>     | 0,03                      | 0,28                      |
| <b>Cr</b>     | 0,13                      | 7,00                      |
| <b>Cu</b>     | 0,06                      | 7,00                      |
| <b>Ni</b>     | 0,16                      | 1,40                      |
| <b>Pb</b>     | 0,56                      | 7,00                      |
| <b>Zn</b>     | 1,86                      | 7,00                      |

FONTE - ANDRADE (1999)

Comparando-se as composições químicas médias da matéria prima para a fabricação de cimento antes desta adentrar ao forno e a de um combustível utilizado (carvão mineral), com a dos produtos e resíduos gerados (Clinker e a poeira do eletrofiltro da chaminé), observa-se na Tabela 2, para vários elementos químicos, uma tendência à diminuição nas concentrações destes no clínquer em relação à matéria prima e acréscimo aparentemente significativo nos teores de vários elementos ( Cd, Pb, Co, Cr, Mn, Hg, Ni, Zn) no pó do eletrofiltro, particularmente do Zn.

Nota-se, no entanto que para muitos dos elementos determinados os dados de ANDRADE (1999) não contemplam a metodologia utilizada para suas determinações nem tampouco esse autor deixa claro o método e o nível de detecção que foram utilizados nos equipamentos analíticos com os quais trabalhou.

TABELA 02 – COMPOSIÇÃO MÉDIA DA MATÉRIA PRIMA DE UM COMBUSTÍVEL (CARVÃO) E O PRODUTO DE CLINQUER E PÓ-DE-ELETROFILTRO GERADO PELA UNIDADE INDUSTRIAL DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ DE Balsa Nova, PR

| Parâmetros                                    | ENTRADA             |                     | SAÍDA               |                     |
|-----------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                                               | MATÉRIA PRIMA       | Carvão Mineral      | Clinquer            | Pó Eletrofiltro     |
|                                               | mg kg <sup>-1</sup> | mg kg <sup>-1</sup> | mg kg <sup>-1</sup> | mg kg <sup>-1</sup> |
| ARSENIO                                       | ND                  | ND                  | ND                  | ND                  |
| CADMIO                                        | 3,8                 | 0,22                | 2,2                 | 17,2                |
| CHUMBO                                        | 30                  | 9,8                 | 38                  | 71                  |
| CIANETO                                       | ND                  | ND                  | ND                  | ND                  |
| COBALTO                                       | 22                  | 2,2                 | 26                  | 22                  |
| COBRE                                         | 5,8                 | 14                  | 11                  | 13                  |
| CROMO TOT.                                    | 24                  | 1,6                 | 9,9                 | 55                  |
| ESTANHO                                       | ND                  | ND                  | ND                  | ND                  |
| FENOL                                         | ND                  | ND                  | ND                  | ND                  |
| MANGANÊS TOT.                                 | 214                 | 50                  | 211                 | 284                 |
| MERCURIO                                      | ND                  | 0,037               | ND                  | 0,317               |
| NIQUEL                                        | 18                  | 8,0                 | 31                  | 31                  |
| VANÁDIO                                       | ND                  | ND                  | ND                  | ND                  |
| ZINCO                                         | 55                  | 29                  | 46                  | 156                 |
| Produção de clínquer                          |                     |                     | 92 t/h              |                     |
| Alimentação de farinha                        |                     |                     | 145 t/h             |                     |
| Alimentação de matéria-prima no moinho de cru |                     |                     | 185 t/h             |                     |
| Consumo de carvão no maçarico                 |                     |                     | 185 t/h             |                     |
| Consumo de carvão no calcinador               |                     |                     | 8,45 t/h            |                     |

ND – não detectado

FONTE - ANDRADE (1999)

Observa-se também que com os dados da Tabela 02 e que são relativos à planta industrial (produtividade de clínquer, taxa de alimentação de matéria prima e combustível) pode-se estimar um balanço de massa. Para o caso do Zn, multiplicando-se sua concentração, nos materiais considerados, pela produção ou consumo durante uma hora tem-se como constituintes do balanço de massa as quantidades apresentadas na Tabela 03:

TABELA 03 - BALANÇO DE MASSA ESTIMADO PARA O Zn COM BASE NOS DADOS FORNECIDOS POR ANDRADE (1999) PARA A COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ.

| <b>Material</b>      | <b>Entrada</b><br>..... | <b>Saída</b><br>...kg Zn... | <b>Saldo</b><br>..... |
|----------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Matéria prima        | 7975                    | ---                         | ---                   |
| Carvão no maçarico   | 158                     | ---                         | ---                   |
| Carvão no calcinador | 245                     | ---                         | ---                   |
| Clinker              | ---                     | 4232                        | ---                   |
| <b>Total</b>         | <b>8373</b>             | <b>4232</b>                 | <b>4146</b>           |

Ou seja, segundo dados fornecidos por ANDRADE (1999) tem-se como resultado da estimativa de um balanço para o Zn uma massa equivalente a 4146 kg Zn que assumindo-se como sendo integralmente retida juntamente com os materiais particulados pelo eletrofiltro na forma de pó seria por cálculo equivalente a 26,577 toneladas deste subproduto (pó de eletrofiltro). Fica em analisando-se este trabalho (ANDRADE, 1999), a dúvida sobre o quanto deste Zn (e quiçá de outras substâncias) não seria retido pela estrutura de preservação ou controle da poluição, e quanto atingiria a superfície do solo e de que forma. Assim com base no raciocínio acima e o comparando com os dados da Tabela 01 pode-se talvez inferir que a maior parte do Zn de fato não deixa a chaminé ficando retido no eletrofiltro uma vez que as concentrações de Zn encontradas no pó que deixa a chaminé (Tabela 01) são inferiores às do pó retido no eletrofiltro (Tabela 02) o que é um indicativo de eficiência

do sistema de eletrofiltros e dos possíveis baixos níveis de Zn a serem encontrados derivados desta fonte sobre os solos.

Complementarmente, ao se analisar o teor de material particulado emitido por metro cúbico de ar da chaminé do forno 02 da Companhia de Cimento Itambé, normalizando os gases ali emanados para um teor de 7 % de oxigênio observa-se na Tabela 04 estar a unidade industrial em tela gerando poluentes em acordo com as normas vigentes (NBR 1265) o que em parte subsidia as informações do parágrafo acima.

TABELA 04 – COMPARAÇÃO DO TEOR DE MATERIAL PARTICULADO EMITIDO À ATMOSFERA PELA CHAMINÉ DO FORNO 02 DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ A VALORES MÁXIMOS ESPECÍFICADOS PELA NBR 1265.

|                      | <b>Forno 02</b>                             | <b>NBR 1265</b> |
|----------------------|---------------------------------------------|-----------------|
|                      | <b>mg/m<sup>3</sup> ( 7 %O<sub>2</sub>)</b> |                 |
| Material Particulado | 84 – 145                                    | 180             |

NOTA – Valores em condições normais de temperatura e pressão (CNTP).  
 FONTE – ANDRADE (1999)

## OS ELEMENTOS TRAÇO NO SOLO

Segundo LUCCHESI (1994), a concentração de elementos traço em solo pode ser obtida através da utilização de métodos não-destrutivos e destrutivos. Exemplo deste segundo é a dissolução total de solo com o emprego de ácidos fortes como o HF, pela dissolução parcial com HNO<sub>3</sub> 4 mol.l<sup>-1</sup> ou por uso da mistura do HNO<sub>3</sub> com o HClO<sub>4</sub> (digestão nitro-perclórica) (LUND, 1981). No entanto diferentes métodos podem gerar diferentes resultados . SOMMERS (1987) citado por , LUCCHESI (1994) diz por

exemplo que a concentração de elementos traço extraídos de mesmos solos será função da metodologia utilizada, devendo-se pois padronizar procedimentos de extração de solos quando se desejar comparar resultados. Isto vale também para quando se desejar avaliar teores de metais traço advindos da mistura de resíduos com solos LUCCHESI (1994).

### **A MOBILIDADE DE METAIS PESADOS NO SOLO**

Os metais pesados podem ser encontrados na fase sólida dos solos na forma adsorvida. Segundo GOMES (1997), que o Cd se associa à fase sólida do solo por reações de troca de adsorção específica sendo pois adequado o uso de extração fracionada para o estudo de seu comportamento no solo. Tal informação pode talvez ser extrapolada para outros metais pesados como o próprio Zn.

Ao avaliar a mobilidade de metais pesados em solos MATOS et al. (1996) verificaram que para o horizonte A de um Latossolo Vermelho-Amarelo (solo oxídico) com e sem a aplicação de calcário, a mobilidade em relação ao horizonte B era maior que para seu horizonte A. Ao que este atribuiu o maior número de sítios disponíveis para absorção e troca de cátions em razão da maior presença de matéria orgânica. Ainda segundo os mesmos autores, neste trabalho verificou-se ser a mobilidade do Cd do horizonte C maior que aquelas observadas nos horizontes A e B. Este evidenciou ainda a existência de uma estreita relação entre a presença de Cd e a de sítios de troca da matriz do solo. O que os levou a afirmar que o principal mecanismo de retenção de Cd no solo é o da atração eletrostática. No entanto, tal fato não foi

observado para Zn, Pb e Cu o que os levou a conjecturar que outros mecanismos de retenção assumiram maior importância para estes metais. Os autores finalmente observaram não haver efeito significativos da calagem sobre a mobilidade de metais no horizonte A em razão de elevação da CTC (Capacidade de troca catiônica) do solo não ser suficiente para causar uma diminuição significativa na taxa de lixiviação de metais. Porém constatou-se que a mobilidade de Cd e Zn tendem a diminuir com a elevação do pH do horizonte A

Estes autores ao estudarem a mobilidade entre alguns metais pesados nos horizontes B e C do mesmo solo, verificam ter o Cd e o Zn se destacado como os mais móveis, o que os levou a afirmar serem estes metais aqueles que ofereceram maior risco à contaminação de águas subterrâneas. Já com relação ao Zn observou-se uma grande retenção deste elemento nas porções trocáveis das camadas superficiais do solo que não sofreram calagem (62 % do total retido). No horizonte C observou-se adsorção de Zn em todo o horizonte. Desta forma MATOS et al. (1996) concluíram que a fração oxídica dos solos tem um importante papel na retenção de Zn.

## **ZINCO NO SOLO**

Segundo RAIJ (1987), do ponto de vista da fertilidade do solo o micronutriente catiônico que desperta maior interesse na região centro sul do Brasil é o Zn devido aos numerosos relatos de solos deficientes e, ou às respostas de culturas a este nutriente.

O Zn pode existir no solo como constituinte de minerais primários como  $\text{Zn}^{2+}$  adsorvido à fase sólida como formas solúveis e ou dissolvidas em iões ou complexos. Neste ambiente o Zn precipita com hidróxidos, fosfatos, carbonatos e silicatos e pode também fazer parte de materiais amorfos do solo. Este metal pode ainda estar adsorvido à matéria orgânica do solo e ou com ela formar complexos, sendo ainda pouco móvel no perfil do solo (RAIJ, 1987).

A forma de Zn normalmente disponível para as plantas é a do ião  $\text{Zn}^{+2}$ . O aumento do pH ou a presença de grandes quantidades de ânions que precipitam Zn pode reduzir sua disponibilidade no solo. A solubilidade do Zn não é afetada por mudanças no potencial de oxi-redução (RAIJ, 1987). No entanto, conforme LINDSAY (1979) nem sempre sabe-se para uma determinada situação o que controla a atividade de Zn na solução do solo.

## **EXTRATORES DE ZINCO DO SOLO**

Muitos extratores têm sido usados para avaliar a disponibilidade de Zn do solo para as plantas. Estes incluem desde água e soluções de sais neutros (para extrair a fração solúvel e trocável) até soluções ácidas e mais recentemente agentes quelantes (VIETS & LINDSAY, 1973). Dentre os extratores ácidos o HCl é o que tem merecido maiores atenções por muitos autores. Este extrai formas solúveis, trocáveis de Zn e parte daquelas ligadas à matéria orgânica, além de solubilizar parcialmente frações precipitadas como fosfatos e carbonatos. Diversos autores encontraram boas

correlações entre Zn extraído com HCl a  $0,1 \text{ mol.l}^{-1}$  e absorvido por vegetais. No Brasil, diversos laboratórios extraem Zn com solução HCl  $0,05 \text{ mol.l}^{-1}$  e  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $0,025 \text{ mol.l}^{-1}$  (Mehlich 1), no entanto esse método não é adequado para o uso em solos calcários (RAIJ, 1987), provavelmente pelo alto pH desses solos. Como exemplo podemos citar o laboratório de fertilidade do solo da Universidade Federal do Paraná.

Ao contrário disso muitos laboratórios têm preferido o uso de quelatos para extrair o Zn e outros metais do solo assumindo que estes tendem a melhor simular a remoção dos nutrientes pelas plantas e o reabastecimento da solução pela fase sólida do solo. Durante a extração a quantidade de metal quelatado que se acumula será função da atividade inicial do elemento em questão (fator intensidade) e da habilidade do solo em repô-lo na solução (fator capacidade) que por sua vez são fatores dos quais depende a disponibilidade para as plantas. Outra vantagem atribuída aos quelatos é a de que o pH de extração pode ser mantido o mais próximo daquele encontrado nas condições originais do solo. A solubilidade de metais como o Zn depende da reação do solo (RAIJ, 1987).

Vários quelatos dissolvidos em água têm sido descritos na literatura como extratores para Zn. Entre estes a ditizona tamponada a pH 7,0 com  $\text{NH}_4^+$ , o EDTA (ácido dietilinediaminotetracético) em várias concentrações e geralmente tamponado, próximo à neutralidade, e o DTPA (ácido dietilenotetraminopentacético) tamponado a pH 7,3 com trietanolamina. Este último é talvez o mais usado. Uma proposta de método para o DTPA, desenvolvido por BAKER & AMACHER (1982) para solos calcários pode e tem sido também utilizado em solos ácidos desde que incluído o pH dos solos na interpretação dos resultados. Após sua extração por quaisquer métodos o Zn pode

então ser quantificado por diferentes vias como colorimétrica, por espectrofotometria de absorção atômica, entre outras, sendo esta última a mais adequada para laboratórios de solos que fazem determinações de vários cátions (RAIJ, 1987). Ainda segundo o mesmo autor, o extrator de Mehlich 1 é o preferido por muitos laboratórios por já ser usado para a extração de fósforo e por fornecer extratos muito límpido, embora não haja alguma razão teórica que recomende seu uso.

Os valores obtidos com o uso do método de extração parcial de Mehlich 1 são da ordem de até algumas partes por milhão de Zn. No entanto, COX & KAMPRATH (1972) afirmam que as concentrações de Zn extraíveis de solos dependem do extrator utilizado, onde cita que a intensidade e a quantidade do elemento extraídos está diretamente relacionada ao tipo de extrator usado. Ou seja, pode-se obter diferentes valores de concentração de um mesmo elemento com diferentes extratores utilizados, para o quê citou os exemplos da Tabela 05 que abriga valores sugeridos por MELLO (1983).

TABELA 05 – RELAÇÃO ENTRE FAIXAS DE Zn EXTRAÍVEIS DE SOLO POR DIFERENTES MÉTODOS.

| <b>Extrator</b>                              | <b>Faixa extraível<br/>mg Zn kg solo<sup>-1</sup></b> |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| HCl 0,1 M                                    | 1,0 a 7,5                                             |
| Ditizona+Acetato de Amônio                   | 0,3 a 2,3                                             |
| EDTA                                         | < 8,50                                                |
| Acetato de NH <sub>4</sub> , neutra e normal | < 0,52                                                |
| EDTA+Carbonato de Amônio                     | 1,4 a 3,0                                             |

FONTE - COX & KAMPRATH (1972) e MELLO (1983).

Segundo MELLO (1983) o Zn pode estar presente no solo em minerais primários, rochas básicas, biotita e hornblenda e minerais secundários sendo fosfatos, carbonatos, hidróxidos, como cátion trocável ou adsorvido a óxidos, dissolvido na solução do solo e ainda na matéria orgânica conforme a Tabela 06.

TABELA 06 – TEORES TOTAIS DE Zn DE MATERIAIS DE ORIGEM DOS SOLOS DIVERSOS.

| <b>Material de origem</b>       | <b>Zn Total<br/>mg kg<sup>-1</sup></b> |
|---------------------------------|----------------------------------------|
| Rochas básicas                  | 87 – 135                               |
| Materiais aluviais e coaluviais | 53 – 84                                |
| Sedimentos modernos             | 29 – 35                                |
| Arenito Bauru                   | 16 – 30                                |
| Sedimentos recentes arenosos    | 1 – 17                                 |

FONTE - MELLO (1983)

MELLO (1983) refere-se ao teor de Zn total da litosfera como sendo da ordem de 10 a 300 mg Zn kg<sup>-1</sup>. Comparativamente o teor trocável é muito menos do que seus totais atingindo valores da ordem de 1 mg Zn kg<sup>-1</sup> solo ou menos (MELLO, 1983).

MELLO (1983) afirma ainda que as quantidades de Zn extraídas de solos dependem não somente do método extrator mas também da relação entre a massa de solo e a do extrator, do tempo de contato entre esses e ainda do pH da solução. Isso pode explicar a inconsistência entre o que se observa e os resultados obtidos em diferentes laboratórios.

Ainda CAMARGO (1979) ao se utilizar de Mehlich 1 para a extração de Zn de vários solos do Brasil obteve os resultados que podem ser observados na Tabela 07, o que pode explicar os dados da Tabela 05.

TABELA 07 - TEORES MÉDIOS DE Zn DE DIFERENTES SOLOS BRASILEIROS.

| SOLO                                             | Zn - MEHLICH 1<br>mg Kg <sup>-1</sup> |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Latossolo Vermelho Amarelo Húmico (LH)           | 1,4 – 7,4                             |
| Latossolo Vermelho Escuro (LE)                   | 1,7 – 17,9                            |
| Latossolo Vermelho Escuro fase arenosa (LEa)     | 0,6 – 10,7                            |
| Latossolo Roxo (LR)                              | 3,6 – 6,8                             |
| Podzólico Vermelho Amarelo horto (PV)            | 9,7 – 13,4                            |
| Podzolizado de Lins e Marília var. Marília (Pml) | 1,3 – 3,8                             |
| Cambissolo                                       | 1,0 – 1,7                             |

FONTE – CAMARGO (1979)

### Extração de Zn Mehlich 1

A solução extratora de Mehlich 1 (criada em 1953) foi desenvolvida por Dr. Adolph Mehlich para a Divisão de Teste de Solos Agrícolas do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. É um versátil extrator usado para determinar quantidades de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, zinco, cobre e boro. É feito com uma solução de ácido clorídrico e ácido sulfúrico, e conhecido como extrator “duplo ácido”. É um bom extrator para solos ácidos, de baixa CTC (<http://hudcap.clemson.edu/~blpprt/bobweb/bobweb33.htm>, 2001). Esta solução extratora de Mehlich 1, também chamada de solução duplo-ácida ou de Carolina do Norte, é constituída por uma mistura de  $\text{HCl } 0,05 \text{ mol.l}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,0125 \text{ mol.l}^{-1}$ . O emprego dessa solução para a extração de fósforo, potássio, sódio e micronutrientes do solo baseia-se na solubilização desses elementos pelo efeito do pH, entre 2 e 3, sendo o papel do  $\text{Cl}^-$  o de restringir o processo de re-adsorção dos fosfatos recém extraídos.

Para micronutrientes como o Zn e o Cu, a relação solo-extrator sugerida é a de 1:5 e para os demais de 1:10, tanto em volume quanto em massa, (SILVA, 1999).

### **Extração de Zn Nitro-perclórica**

Segundo REED & MARTENS (1996), a determinação total de Cu e Zn em solos requer solubilização destes elementos traço da fase sólida. Esta solubilização requer para as determinações a destruição completa das frações orgânicas e inorgânicas ou a destruição parcial para a extração e quantificação propriamente dita do Zn. As amostras de solo devem previamente receber  $\text{HNO}_3$  para que este oxide e elimine a matéria orgânica presente no solo durante a digestão e evite reações explosivas com a rápida e drástica oxidação pela adição subsequente de  $\text{HClO}_4$ . O método de digestão total Nitro-Perclórica é descrito por BAKER & AMACHER (1982).

### **Extração de Zn por DTPA**

A extração de Zn do solo com DTPA tem como princípio a complexação dos metais com este quelante, ácido dietilenotriaminopentacético. Segundo Silva (1999) o DTPA está entre os melhores quelantes para complexar simultaneamente Cu, Fe, Mn, e Zn. Esse agente ao se ligar a estes elementos na forma iônica em solução, forma complexos solúveis e, conseqüentemente, reduz a atividade desses elementos. Em

resposta a este processo, íons de Cu, Fe, Mn e Zn desorvem-se da superfície dos colóides do solo ou dissolvem-se para o reabastecimento da fase líquida. A quantidade destes elementos quelatados que se acumulam na solução durante a extração é pois função da atividade dos íons livres (fator intensidade), da habilidade do solo em reabastece-los à solução (fator capacidade), da estabilidade do quelato e da capacidade do quelante de competir com a matéria orgânica do solo pelos mesmos íon (SILVA, 1999).

## **DETERMINAÇÃO DE ZINCO POR ABSORÇÃO ATÔMICA**

Segundo WRIGHT (1996) o método analítico quantitativo de espectroscopia atômica está baseado na energia absorvida (ou emitida quando for o caso) durante a transição entre níveis eletrônicos energéticos de um átomo. Elétrons de dados elementos têm a característica de mudar de níveis de energia quando excitados por fonte energética externa como uma chama. A radiação absorvida (ou emitida), resultado da transição entre esses níveis eletrônicos, pode ser usada para análise quantitativa e qualitativa. A análise quantitativa pela espectroscopia atômica depende da medida da intensidade de radiação emitida a partir desta transição. Assumindo-se que a radiação emitida ou absorvida é proporcional à concentração atômica do elemento determinado e ao se comparar seus valores relativos de intensidade de amostras, aos de modelos padrões chega-se à concentração dos elementos buscados.

A menor configuração energética eletrônica de um átomo é conhecida como “ground state” (estado fundamental). Em condições normais de temperatura e pressão a grande maioria dos átomos dos elementos estão nestas condições. A partir desta condição ao se fornecer energia a um átomo por uma fonte como uma chama, seus elétrons passarão de um a outro nível de elevado estado de excitação energética. Este estado de excitação é instável fazendo com que aquele átomo permaneça naquela configuração por apenas um tempo muito pequeno, geralmente  $10^{-8}$  s. Quando então este retorna à sua configuração mais estável (estado fundamental) este emite uma energia luminosa é emitida quando o elétron excitado retorna ao estado de menor energia, representada por  $hc \lambda^{-1}$ . Cada elemento tem sua única característica de estado de excitação bem como uma quantidade específica e diferenciada de energia que deve ser fornecida para que um átomo mude seu estado de excitação. A espectroscopia de emissão atômica é baseada na medição da intensidade dessa luz emitida quando o átomo excitado retorna ao seu estado de menor energia. Já a espectroscopia de absorção atômica consiste na passagem de um feixe de luz com certo comprimento de onda específico para cada elemento que poderá ser absorvido pelos átomos do elemento analisado quando de sua passagem através de um vapor atômico desses elementos. Mede-se pois a diminuição da intensidade luminosa não absorvida.

## **Sensibilidade e Limites de Detecção**

Segundo WRIGHT (1996) vários termos, incluindo sensibilidade, concentração característica, massa característica e limite de detecção são usados para descrever a performance do instrumento relativa a determinação do elemento analisado. Para a metodologia da absorção atômica, a sensibilidade por exemplo é definida como a concentração de um elemento requerida para produzir 1% de absorção sendo lida (0,0044 unidade arbitrária de absorbância) em condições ótimas de operação.

O termo limite de detecção indica a menor concentração de um elemento que pode ser detectado com 95% de probabilidade. Medidas realizadas próximas ao limite de detecção têm alto grau de incerteza, assim, para obter-se resultados precisos, devem ser empregadas concentrações de pelo menos 5 a 10 vezes o limite de detecção na rotina de análise (WRIGHT, 1996). Este limite pode variar consideravelmente segundo o aparelho e condições de operação. Esse valor deve ser visto como uma aproximação e utilizado somente para comparações (WRIGHT, 1996).

## **Interferências no método de absorção atômica para o Zn**

Interferências que reduzem a exatidão das medições por absorção atômica para o Zn podem ocorrer em vários estágios da análise. Estas interferências podem ser o resultado das diferentes propriedades físicas entre amostras e padrões, reações químicas que limitam a formação do vapor atômico e absorção de luz do comprimento

de onda de interesse ou outros elementos diferentes daquele analisado. Essas interferências podem ser agrupadas em *espectrais e não espectrais*. As interferências *não espectrais* influenciam a formação do vapor atômico enquanto as *espectrais* produzem absorção ou emissão de luz na linha de emissão do elemento determinado, Deve-se pois, sempre que isto ocorra, efetuar as devidas correções destas interferências (WRIGHT ,1996).

### **Soluções e extrato de solo por absorção atômica**

Soluções e extratos de solos são rotineiramente analisados para nutrientes e elementos traço usando espectrometria de absorção atômica.

Níveis de equilíbrio químico de elementos traço na solução do solo são, em geral, baixos e dependem de um grande número de fatores, incluindo concentração total do elemento presente, pH do solo, características sortivas do solo e presença de agentes complexantes. Técnicas de pré-concentração do íon trocável ou de solução extratora devem ser requeridos para a análise (WRIGHT ,1996).

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA REGIÃO ESTUDADA**

A região objeto da presente pesquisa está limitada a um raio de 10 km da planta industrial da Companhia de Cimento Itambé (Figura 01) no município de Balsa Nova PR no km 32 entre as pistas de ida e retorno e às margens da rodovia do Café BR 277 de tráfego intenso, no trecho que liga Curitiba a Ponta Grossa, no Estado do Paraná. Tal área abrange parte dos municípios de Balsa Nova e Campo Largo.

A oeste está a Escarpa Devoniana de São Luís do Purunã que divide o Primeiro (onde se encontra a indústria) do Segundo Planalto Paranaense. Geomorfologicamente a região estudada encontra-se em 90 % no primeiro planalto paranaense abrigando também um pequeno segmento do segundo planalto do Paraná também conhecido como Região dos Campos Gerais de Ponta Grossa, distante aproximadamente 2,0 km do complexo industrial (Figura 01).

A leste está a cidade de Campo Largo, pertencente à Região Metropolitana de Curitiba. Possui uma grande população concentrada na área urbana e também conta com diversas indústrias dos mais variados produtos. Indústrias estas situadas praticamente em área urbana da cidade e que, por conseqüente, podem também liberar algum tipo de material particulado no ambiente e vir a se tornar um potencial contaminante dos solos aqui considerados como sendo de influência da Companhia de Cimento Itambé em Balsa Nova.

FIGURA 01 – VISTA AÉREA DA PLANTA INDUSTRIAL DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ.



## DESCRIÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

### Relevo e ocupação do solo

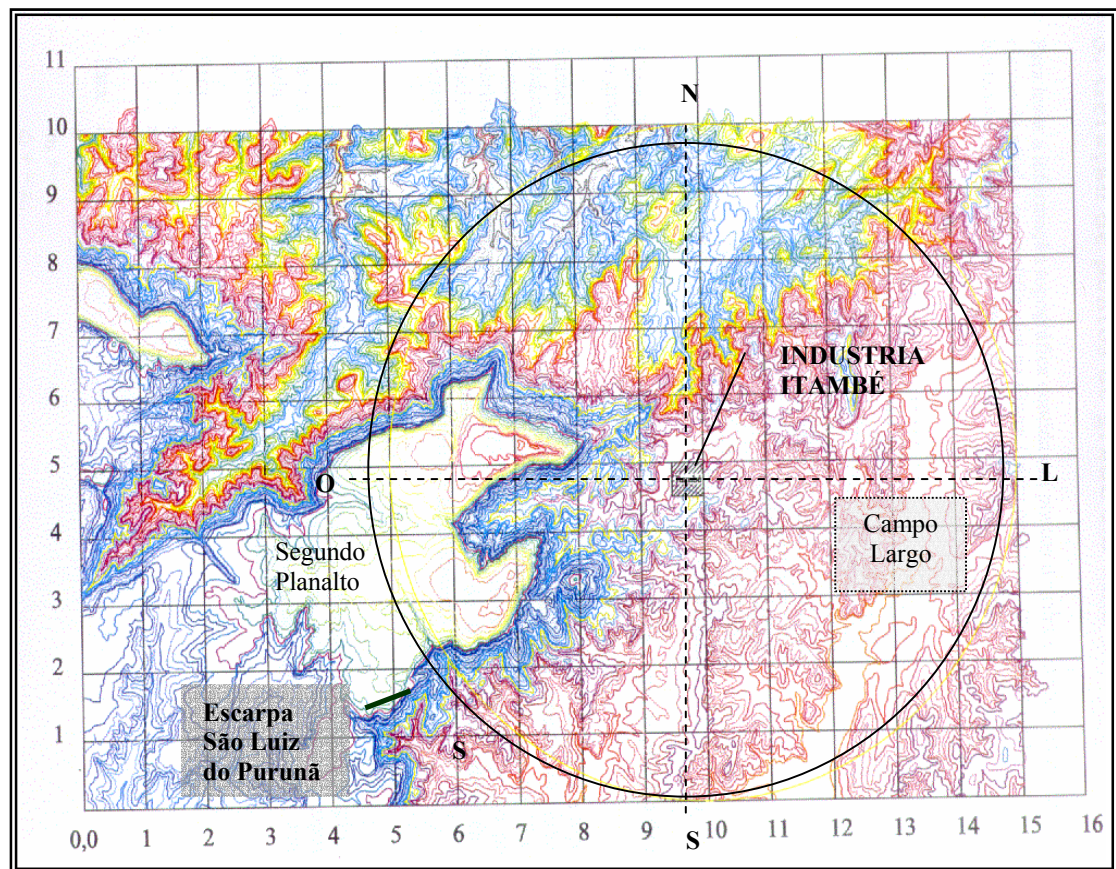
O relevo da área circular estudada varia de suave ondulado a escarpado e está representado na Figura 02. A porção da área estudada que abriga o primeiro planalto, cuja geologia abriga por sua vez rochas metamórficas da formação Assungui (filitos, calcários e quartzitos, plutonitos e granitos), possui altitude notadamente uniforme com

paisagem suave ondulada. Já a escarpa está localizada a oeste da indústria, formada por sedimentos paleozóicos quase horizontais e se constitui em terreno montanhoso a forte ondulado. A porção do segundo planalto é formada por sedimentos paleozóicos e mesozóicos, é suave ondulada (MAACK, 1968). O relevo da área estudada foi digitalizado a partir de carta de levantamento plani-altimétrico na escala de 1:20000 da COMEC (1998).

A vegetação nativa predominante na porção da área estudada pertencente ao primeiro planalto constituía-se por campos subtropicais e florestas subtropicais perenifolias com árvores de grande porte e divide o primeiro do segundo planalto paranaense. O Segundo Planalto é composto por vegetação rasteira com predominância de gramíneas nativas. Ao norte existe um relevo mais acidentado apresentando grande dificuldade de acesso aos pontos de coleta de solo devido a grande incidência de matas e capoeiras nativas ou em recuperação. Estas áreas são ainda pouco exploradas do ponto de vista agrícola e pecuário. Não existe nesta região estradas asfaltadas ou de tráfego intenso, porém a única estrada pavimentada ao norte é de concreto rígido construída pela própria indústria de cimento e que serve de acesso à jazida de onde a Itambé retira parte de sua matéria prima. O tráfego de caminhões que transportam este material até a indústria é grande e ocorre diariamente. Ao sul da planta industrial o relevo é mais suave, existindo também uma maior ocupação destas áreas por pequenos e médios agricultores que cultivam culturas anuais como milho e feijão em sua maioria e ainda pecuaristas que trabalham em pequenas e médias áreas com gado de corte e de leite. A 25 km da planta industrial existe a pequena cidade de Balsa Nova. A leste, posicionada sobre área de relevo suave-ondulado, encontra-se a

cidade de Campo Largo, que abriga diversas indústrias e uma grande população concentrada na área urbana. Já a noroeste da Companhia de cimento Itambé e ainda próximo a Campo Largo encontra-se algumas propriedades rurais cuja atividade principal é a fruticultura, existindo pomares de maçã e pêra. A rodovia BR 277 corta a área no sentido leste-oeste passando a cerca de 500 metros da planta industrial e conjectura-se que pode ter influência direta nos solos próximos a suas margens devido a fumaça de escapamento de automóveis e principalmente de caminhões que há décadas trafegam dia e noite por essa rodovia.

FIGURA 02 – REPRESENTAÇÃO PLANI-ALTIMÉTRICA DA ÁREA.



FONTE – COMEC (2001)

## Solos

Identificou-se como principais solos da área estudada as unidades de mapeamento identificadas pelo levantamento pedológico de reconhecimento da EMBRAPA (LARACH, 1994) cuja ampliação resultou na distribuição aproximada que está representada na Tabela 08 e na Figura 03.

FIGURA 03 - DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES DE SOLOS DA ÁREA ESTUDADA.

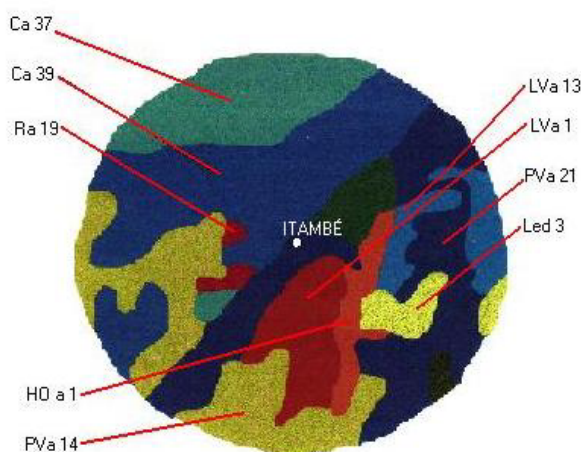


TABELA 08 – DISTRIBUIÇÃO EM ÁREA DA DIFERENTES UNIDADES DE SOLO E RIOS DA REGIÃO ESTUDADA.

| <b>Tipos de Solos</b>            | <b>Área<br/>ha</b> | <b>%</b>   |
|----------------------------------|--------------------|------------|
| Rios                             | 231                | 1          |
| Ra 19 (                          | 332                | 1          |
| PV 7 (Podzólico vermelho)        | 977                | 3          |
| LEd 3 (Latossolo escuro)         | 1004               | 3          |
| HOa 1 (Húmico orgânico)          | 1140               | 4          |
| LVa 13 (Latossolo verm.amarelo)  | 1611               | 5          |
| LVa 1* (Latossolo verm.amarelo)  | 2241               | 7          |
| Ca 37 (Cambissolo)               | 4094               | 13         |
| PVa 14 (Pdzólico verm. Amarelo)  | 5352               | 17         |
| PVa 21* (Pdzólico verm. Amarelo) | 6701               | 21         |
| Ca 39* (Cambissolo)              | 7885               | 25         |
| <b>Área Total</b>                | <b>31568</b>       | <b>100</b> |

FONTE - LARACH (1994)

NOTA - \* Solos mais predominantes com perfil descrito na amostragem.

Os solos relacionados na Figura 03 e Tabela 08, com maior incidência na região, possuem as seguintes características, resumidamente, conforme descrito por LARACH et al.,(1984):

### **CAMBISSOLO ÁLICO – Ca 39**

- “Associação CAMBISSOLO ÁLICO Tb textura média + SOLOS LITÓLICOS ÁLICOS textura arenosa ambos A proeminente fase campo subtropical relevo suave ondulado de vertentes curtas substratos arenitos + SOLOS ORGÂNICOS ÁLICOS fase campo subtropical relevo plano”.

Ocupa aproximadamente 0.57% da superfície do solo do Estado do Paraná, este solo apresenta uma baixa fertilidade natural. Esta dividido em 35, 35 e 30 % respectivamente de Cambissolo no terço médio das elevações, Litólicos no topo ( as vezes no topo inferior) e Orgânicos distribuídos em pequenas depressões do terreno.

Inclusões: afloramento de rochas e Podzólico vermelho-amarelo Câmbico textura média.

Material de origem: primeiro e segundo, composto por meteorização de arenitos formação furnas e terceiro formado da deposição de resíduos orgânicos recentes.

Clima: Mesotérmico úmido, sem estação seca com verões frescos e geadas freqüentes, tipo climático Cfb

Relevo: suave ondulado, conjunto de colinas , suavemente arredondados formações em V aberto e com declives suaves, em toda a área da unidade encontram-se abaciadas onde são encontrados os solos orgânicos.

Vegetação primária é do tipo campo subtropical com algumas incidência de espécies arbustivas.

Utilização : Dentre os componentes da associação apenas o primeiro apresente boas características para a agricultura, apesar da baixa fertilidade natural que este solo apresenta. Porém como os cambissolos apresentem-se associados com solos que por apresentarem perfis rasos possuem uma drenagem ruim este é impossibilitado a mecanização e logo a agricultura.

### **PODZOLICO VERMELHO-AMARELO Pva 21**

– “Associação PODZOLICO VERMELHO-AMARELO ÁLICO Tb textura média / argilosa com cascalho relevo forte e ondulado, mais PODZOLICO VERMELHO-AMARELO ÁLICO latossolico textura argilosa com cascalho relevo ondulado ambas A moderado fase floresta subtropical perenifólia”. Ocorre em 0,78% da superfície do estado do Paraná, aproximadamente.

Proporção e arranjo dos componentes: Ocorrem na proporção 60% - 40% respectivamente ocupando o primeiro componente as partes baixas próximas aos canais de drenagem natural e o segundo partes mais altas do relevo.

Inclusões:

- a) Cambissolo;
- b) Latossolo vermelho-amarelo; e
- c) Solos aluviais

Litologia e material de origem: Decomposição de rochas do complexo cristalino, gnaisses e outras rochas metamórficas e de pórfiro-granitos, todas do pré-cambriano.

Clima: Mesotérmico, subtropical Húmico sem estação seca tipo climático Cfb.

Relevo: Ondulado e forte ondulado

Vegetação primária: Floresta subtropical perenifólia com árvores de grande porte

Consideração sobre a utilização: Além da baixa fertilidade natural e da elevada saturação com alumínio e relevo desfavorável para a agricultura este solo é recomendado para pastagens.

### **LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO LVa1**

- "LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO ÁLICO A proeminente textura argilosa fase floresta sub-perenifólia relevo suave ondulado, ocupa 0,09% da superfície do estado".

Variações e inclusões: Solos intermediários para Cambissolo Álico textura argilosa e solo intermediário para Podzólico vermelho-amarelo textura argilosa

Constituem inclusões desta unidade:

- a) Cambissolo álico;
- b) Podzólico vermelho - amarelo
- c) Latossolo vermelho - amarelo álico textura média; e
- d) Latossolo vermelho-escuro textura argilosa

Litologia e matérias de origem: Rochas sedimentares e cristalinas, principalmente arcusio e granitos Três Córregos, Pré cambriano

Clima: Mesotérmico úmido sem estação seca tipo climático Cfb

Relevo: Suave ondulado, de pendentes longas.

Vegetação primária: floresta subtropical perenifólia

Considerações sobre utilização: Apresenta alto teores de alumínio trocável e por isso deve-se procurar implantar culturas pouco suscetíveis a este Al. Assim a calagem é indispensável também para suprir as plantas de Ca e Mg.

### **USO ATUAL DO SOLO DAS ESTAÇÕES DA AMOSTRAGEM**

Por ocasião da coleta de solos foram previamente determinados alguns fatores de influência nos dados que seriam gerados. Entre esses fatores foi eleito como de importância significativa o uso atual da região onde se encontravam inseridas as estações de amostragem. Com a finalidade de quantificar e ou qualificar o uso do solo e sua possível influência nos trabalhos, registrou-se para cada estação de amostragem a data e hora de coleta, a declividade média do solo e o uso atual, considerando para isso a área interna da estação de amostragem e alguns aspectos de relevância da região. Portanto, Nessa oportunidade foram especificados alguns detalhes julgados relevantes e que poderiam vir a ter algum tipo de influência sobre os resultados obtidos. Tais informações estão resumidas na Tabela 09.

TABELA 09 – DATA E HORA DE COLETA, USO ATUAL, DECLIVIDADE E OUTROS ASPECTOS RELEVANTES RELATIVOS ÀS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM DE SOLO.

| Nº | Setor | Faixa | Data (2000) | Hora  | Uso Atual                  | Dec .% | Observações                |
|----|-------|-------|-------------|-------|----------------------------|--------|----------------------------|
| 1  | 1     | B     | 21/Jun      | 12:40 | MATA NATIVA                | 0      |                            |
| 2  | 1     | G     | 21/Dez      | 15:00 | PASTAGEM NATIVA            | 15     |                            |
| 3  | 1     | C     | 11/Jun      | 14:10 | PASTAGEM NATIVA            | 18     |                            |
| 4  | 1     | F     | 22/Dez      | 18:00 | CAPOEIRA                   | 5      |                            |
| 5  | 1     | A     | 02/Dez      | 11:00 | PASTAGEM NATIVA            | 20     |                            |
| 6  | 1     | D     | 19/Jul      | 17:00 | CAPIM NATIVO               | 5      |                            |
| 7  | 1     | E     | 22/Dez      | 18:30 | CAPIM NATIVO               | 2      |                            |
| 8  | 2     | F     | 22/Dez      | 14:00 | MATA NATIVA                | 0      | PERÍODO DE POUSIO: 2 ANOS  |
| 9  | 2     | D     | 13/Ago      | 15:30 | PASTAGEM NATIVA            | 15     |                            |
| 11 | 2     | B     | 21/Dez      | 09:30 | ÁREA DE POUSIO             | 5      |                            |
| 12 | 2     | E     | 22/Dez      | 13:45 | POMAR DE PÊRA E MAÇÃ       | 0      |                            |
| 13 | 2     | C     | 22/Dez      | 11:00 | MATA NATIVA                | 8      |                            |
| 14 | 3     | A     | 19/Jul      | 16:30 | CAPIM NATIVO               | 0      | MARGENS DA BR 277          |
| 15 | 3     | D     | 22/Dez      | 15:10 | CAPOEIRA                   | 0      | EM ÁREA QUEIMADA           |
| 16 | 3     | G     | 22/Dez      | 16:30 | MATA NATIVA                | 8      |                            |
| 17 | 3     | B     | 21/Dez      | 10:15 | MILHO                      | 20     |                            |
| 18 | 3     | E     | 22/Dez      | 14:30 | PASTAGEM NATIVA            | 10     |                            |
| 19 | 3     | C     | 21/Dez      | 11:00 | GRAMA                      | 0      |                            |
| 20 | 3     | F     | 22/Dez      | 10:30 | PASTAGEM NATIVA            | 10     |                            |
| 21 | 4     | D     | 10/Ago      | 15:00 | MATA NATIVA                | 5      | POUCO DENSA                |
| 22 | 4     | B     | 13/Ago      | 14:15 | MILHO                      | 8      | CAPOEIRA RECÉM DESMATADA   |
| 23 | 4     | E     | 10/Ago      | 10:00 | PASTAGEM NATIVA            | 2      |                            |
| 24 | 4     | C     | 22/Dez      | 15:45 | CAMPO NATIVO               | 10     |                            |
| 25 | 4     | F     | 19/Jul      | 14:30 | POUSIO                     | 20     |                            |
| 26 | 5     | A     | 23/Jul      | 14:00 | PASTAGEM NATIVA E CAPOEIRA | 0      |                            |
| 27 | 5     | G     | 11/Jun      | 11:30 | PASTO NATIVO               | 0      | TERRENO BALDIO             |
| 28 | 5     | F     | 21/Jun      | 15:15 | ÁREA URBANA                | 13     |                            |
| 29 | 5     | D     | 10/Ago      | 14:23 | PASTAGEM NATIVA            | 10     |                            |
| 30 | 5     | B     | 19/Jul      | 15:25 | PASTAGEM NATIVA            | 2      |                            |
| 31 | 5     | E     | 19/Jul      | 13:30 | CLUBE DE RECREAÇÃO         | 16     |                            |
| 32 | 5     | C     | 19/Jul      | 15:10 | CAPOEIRA NATIVA            | 5      |                            |
| 33 | 6     | D     | 16/Jul      | 16:00 | TERRENO URBANO             | 0      | TERRENO BAUDIO             |
| 34 | 6     | B     | 16/Jul      | 16:40 | CAPOEIRA NATIVA            | 3      |                            |
| 36 | 6     | E     | 16/Jul      | 15:05 | BATATA                     | 3      |                            |
| 37 | 6     | C     | 21/Jun      | 14:30 | BRAQUIÁRIA                 | 3      |                            |
| 38 | 6     | F     | 21/Jun      | 16:00 | ÁREA URBANA                | 10     |                            |
| 39 | 7     | A     | 23/Jul      | 15:12 | PASTAGEM ARTIFICIAL        | 8      | <i>Axonopus compressus</i> |
| 40 | 7     | G     | 16/Jul      | 14:20 | ÁREA URBANO                | 0      | SOLO ATERRADO              |
| 41 | 7     | F     | 10/Ago      | 14:00 | MILHO                      | 0      |                            |
| 42 | 7     | D     | 13/Ago      | 16:30 | CAPIM NATIVO               | 0      |                            |
| 43 | 7     | B     | 16/Jul      | 17:30 | CAPOEIRA NATIVA            | 3      |                            |
| 44 | 7     | E     | 10/Ago      | 13:00 | PASTAGEM NATIVA            | 0      |                            |
| 45 | 7     | C     | 10/Ago      | 11:20 | ÁREA URBANA                | 0      |                            |

CONTINUA

| Nº | Setor Faixa |   | Data (2000) | Hora  | Uso Atual                   | Dec % | Observações                |
|----|-------------|---|-------------|-------|-----------------------------|-------|----------------------------|
| 46 | 8           | D | 04/Out      | 14:23 | PASTAGEM                    | 4     | PASTO POR 34 ANOS          |
| 47 | 8           | B | 23/Jul      | 16:50 | PASTO NATIVO                | 8     |                            |
| 48 | 8           | E | 23/Set      | 15:00 | POUSIO                      | 5     |                            |
| 49 | 8           | C | 11/Jun      | 16:06 | PASTAGEM                    | 8     |                            |
| 50 | 8           | F | 23/Set      | 15:30 | POUSIO                      | 4     |                            |
| 10 | 9           | A | 23/Jul      | 16:15 | AZEVÉM E PECUÁRIA           | 10    | <i>Lolium multiflorum</i>  |
| 51 | 9           | G | 11/Out      | 13:00 | CAPIM NATIVO                | 1     | RESERVA PERMANENTE         |
| 52 | 9           | F | 11/Out      | 14:00 | PASTAGEM                    | 7     |                            |
| 53 | 9           | D | 11/Out      | 16:02 | MATA NATIVA                 | 0     |                            |
| 35 | 9           | B | 23/Jul      | 17:30 | MILHO                       | 0     |                            |
| 54 | 9           | E | 11/Out      | 14:45 | PASTAGEM NATIVA             | 16    |                            |
| 55 | 9           | C | 11/Out      | 17:00 | CAPOEIRA                    | 6     |                            |
| 56 | 10          | D | 21/Nov      | 15:30 | CAPIM NATIVO                | 0     | POUCO DENSA                |
| 57 | 10          | B | 21/Nov      | 14:15 | CULTURA DE MILHO            | 3     |                            |
| 58 | 10          | E | 21/Nov      | 16:15 | SOJA                        | 10    |                            |
| 59 | 10          | C | 21/Nov      | 15:12 | CAPOEIRA E CAPIM            | 3     |                            |
| 60 | 10          | F | 21/Nov      | 16:45 | AMENDOIM                    | 10    |                            |
| 61 | 11          | A | 04/Out      | 15:00 | GRAMA NATIVA                | 4     | REFLORESTAMENTO PINUS      |
| 62 | 11          | G | 01/Dez      | 15:22 | PASTAGEM E GRAMA ARTIFICIAL | 10    |                            |
| 63 | 11          | F | 01/Dez      | 15:48 | CAPOEIRA NATIVA             | 2     |                            |
| 64 | 11          | D | 02/Dez      | 12:00 | CAPOEIRA NATIVA             | 1     |                            |
| 65 | 11          | B | 21/Nov      | 13:50 | CAPIM NATIVO                | 10    |                            |
| 66 | 11          | E | 01/Dez      | 16:10 | CAPIM NATIVO                | 0     |                            |
| 67 | 11          | C | 02/Dez      | 11:45 | CAPOEIRA NATIVA             | 1     |                            |
| 68 | 12          | D | 09/Out      | 14:00 | CAPIM                       | 2     | MARGENS DA BR 277          |
| 69 | 12          | B | 21/Nov      | 13:20 | FLORESTA DE ENCOSTA         | 2     | MARGENS DA BR 277          |
| 70 | 12          | E | 09/Out      | 13:00 | AZEVÉM                      | 5     | ENCOSTA DA ESCARPA         |
| 71 | 12          | C | 09/Out      | 15:00 | FLORESTA                    | 20    | ENCOSTA DA ESCARPA         |
| 72 | 12          | F | 06/Out      | 15:30 | CAMPOS GERAIS               | 5     |                            |
| 73 | 13          | A | 04/Out      | 15:25 | CAPOEIRA                    | 15    | <i>Axonopus compressus</i> |
| 74 | 13          | G | 06/Out      | 14:50 | CAMPOS GERAIS               | 2     |                            |
| 75 | 13          | F | 06/Out      | 14:00 | CAMPOS GERAIS               | 0     |                            |
| 76 | 13          | D | 06/Out      | 10:00 | CAMPOS GERAIS               | 0     |                            |
| 77 | 13          | B | 05/Out      | 15:30 | PASTAGEM                    | 10    |                            |
| 78 | 13          | E | 06/Out      | 12:00 | CAMPOS GERAIS               | 0     | <i>Axonopus compressus</i> |
| 79 | 13          | C | 05/Out      | 15:42 | PASTAGEM                    | 2     |                            |
| 80 | 14          | D | 21/Dez      | 13:40 | CAPIM NATIVO                | 10    | ENCOSTA DA ESCARPA         |
| 81 | 14          | B | 05/Out      | 14:30 | FLORESTA VIRGEM             | 5     |                            |
| 82 | 14          | E | 23/Dez      | 13:30 | CAMPO NATIVO                | 0     | ENCOSTA DA ESCARPA         |
| 83 | 14          | C | 06/Out      | 11:10 | CAMPOS GERAIS               | 5     |                            |
| 84 | 14          | F | 23/Dez      | 12:30 | MATA                        | 15    |                            |
| 85 | 15          | A | 04/Out      | 14:00 | PINUS RECÉM IMPLANTADO      | 20    |                            |
| 86 | 15          | G | 23/Dez      | 11:45 | PASTAGEM CAPINEIRA          | 8     |                            |
| 87 | 15          | F | 23/Dez      | 11:20 | CAPOEIRA                    | 20    |                            |

## CONTINUAÇÃO

| Nº | Setor Faixa |   | Data<br>(2000) | Hor<br>a | Uso Atual       | Dec<br>.% | Observações |
|----|-------------|---|----------------|----------|-----------------|-----------|-------------|
| 88 | 15          | D | 21/Dez         | 13:10    | MATA NATIVA     | 15        |             |
| 89 | 15          | B | 02/Dez         | 09:28    | CAPOEIRA NATIVA | 0         |             |
| 90 | 15          | E | 23/Dez         | 14:00    | CAPOEIRA        | 0         |             |
| 91 | 15          | C | 02/Dez         | 10:00    | PASTAGEM NATIVA | 10        |             |
| 92 | 16          | D | 21/Dez         | 11:05    | MATA NATIVA     | 20        |             |
| 93 | 16          | E | 23/Dez         | 10:15    | CAPOEIRA        | 15        |             |
| 94 | 16          | F | 23/Dez         | 09:30    | CAPIM NATIVO    | 5         |             |
| 95 | 16          | B | 02/Dez         | 11:00    | PASTAGEM NATIVA | 20        |             |
| 96 | 16          | C | 02/Dez         | 10:27    | CAPOEIRA NATIVA | 0         |             |

**A AMOSTRAGEM DOS SOLOS DA ÁREA ESTUDADA****Localização das estações de amostragem e profundidade de coleta.**

Os pontos de amostragem de solos, em número de 96 estações eqüidistantes foram alocados a campo com base em mapa plani-altimétrico (Figura 02) (COMEC,1998) e nos levantamentos pedológicos já citados e também com auxílio de fotos aéreas na escala 1:25000. Estes pontos foram dispostos em círculo de disposição concêntrica a partir da planta industrial, num raio de 10 km conforme a disposição esquemática representada na Figura 04. Tais pontos tiveram sua localização com base no mapa plani-altimétrico de modo a planejar sua amostragem previamente à visita ao campo para coleta do solo. Neste planejamento procurou-se buscar locais onde os pontos fossem alocados com a menor declividade possível ou em partes convexas do relevo, em porções de meia encosta (vertentes) de modo que se evitasse ao máximo porções côncavas passíveis de receber significativas contribuições

à seu montante. Nesta disposição, admitiu-se como área passível de receber deposição de material particulado aquela compreendida entre 400 metros da indústria até 10 km desta donde ao todo coletou-se 96 amostras de solo. Esta porção foi então dividida em 7 faixas de círculos concêntricos denominados A, B, C, D, E, F e G compreendidos entre as distâncias especificadas nas Figuras 04a e 04b. No que abrigou-se estações de amostragem por faixa ali identificadas. O objetivo de tal procedimento foi o de possibilitar a identificação de um eventual gradiente de deposição de materiais particulados a partir da planta industrial. No caso destes teores elevados de Zn, seria possível registrar eventual gradiente da contaminação dada por este elemento e a forma de distribuição de plumas atmosféricas a partir da planta uma vez que procura-se correlacionar os dados obtidos com os ali existentes.

### **Profundidades de amostragem nas estações.**

Em cada estação de amostragem foram coletadas amostras de solo a diferentes profundidades em camadas de 5,0 cm a partir da superfície do solo até 50 cm de profundidade. Para cada profundidade (camada) coletada retirou-se 10 sub-amostras que ao serem homogeneizadas perfizeram 1 amostra composta. Ou seja, para cada estação amostrou-se 10 camadas 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm, 20-25 cm, 25-30 cm, 30-35 cm, 35-40 cm, 40-45 cm e 45-50 cm de solo constituídas cada uma por 10 sub-amostras simples. No entanto, destas camadas analisou-se para este trabalho apenas as camadas 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm e 45-50 cm.

A profundidade 45-50 cm foi selecionada para permitir o “resgate histórico” dos solos das estações amostradas no que concerne ao Zn, permitindo assim que seus resultados pudessem ser comparados aos da superfície. Estes podem pois ser considerados como níveis de referência (back ground level), uma vez que a mobilidade de Zn no perfil do solo é baixa e portanto, deposições de origem diversas em sua superfície tenderiam a gerar concentrações totais ou parcialmente extraíveis superiores às aquelas encontradas no solo em maiores profundidades.

FIGURA 4a – DISTRIBUIÇÃO DAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM DE SOLOS DO ENTORNO DA PLANTA INDUSTRIAL DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ

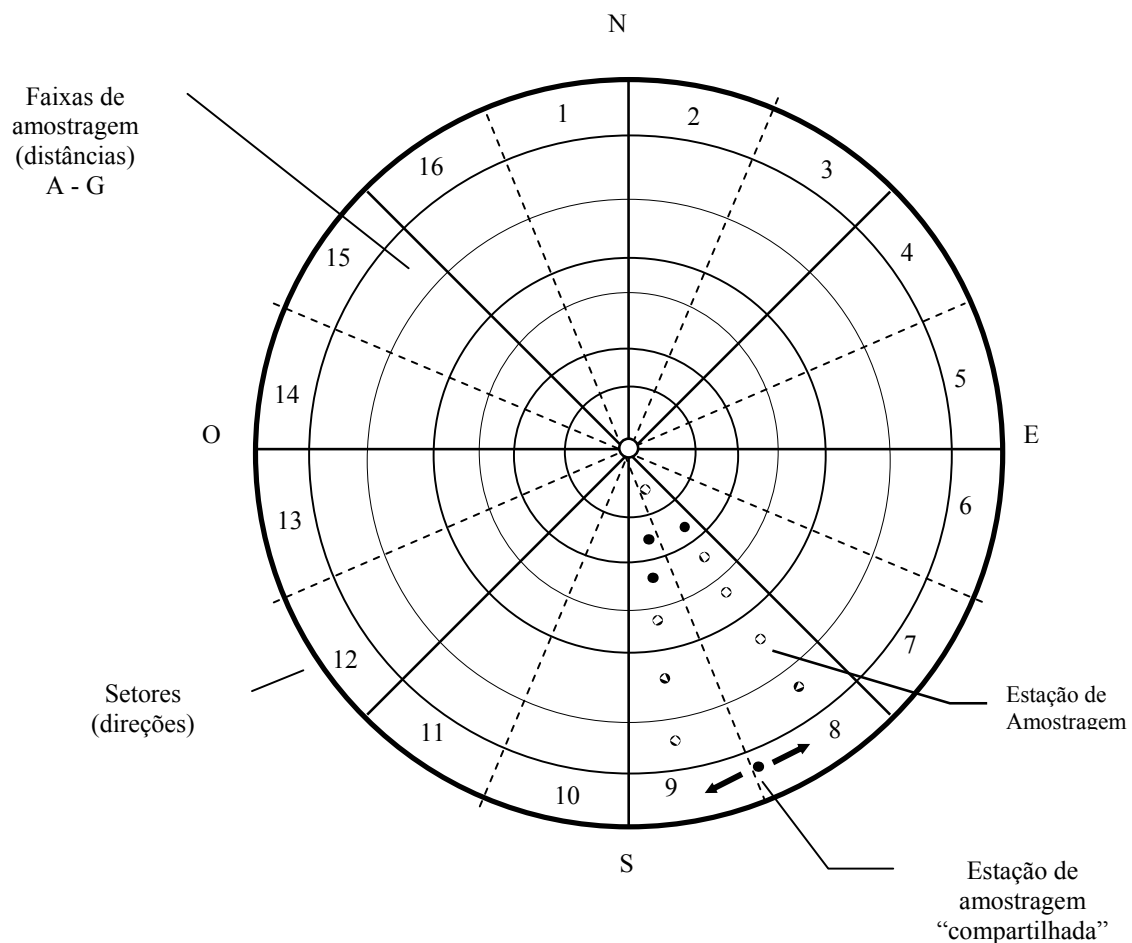
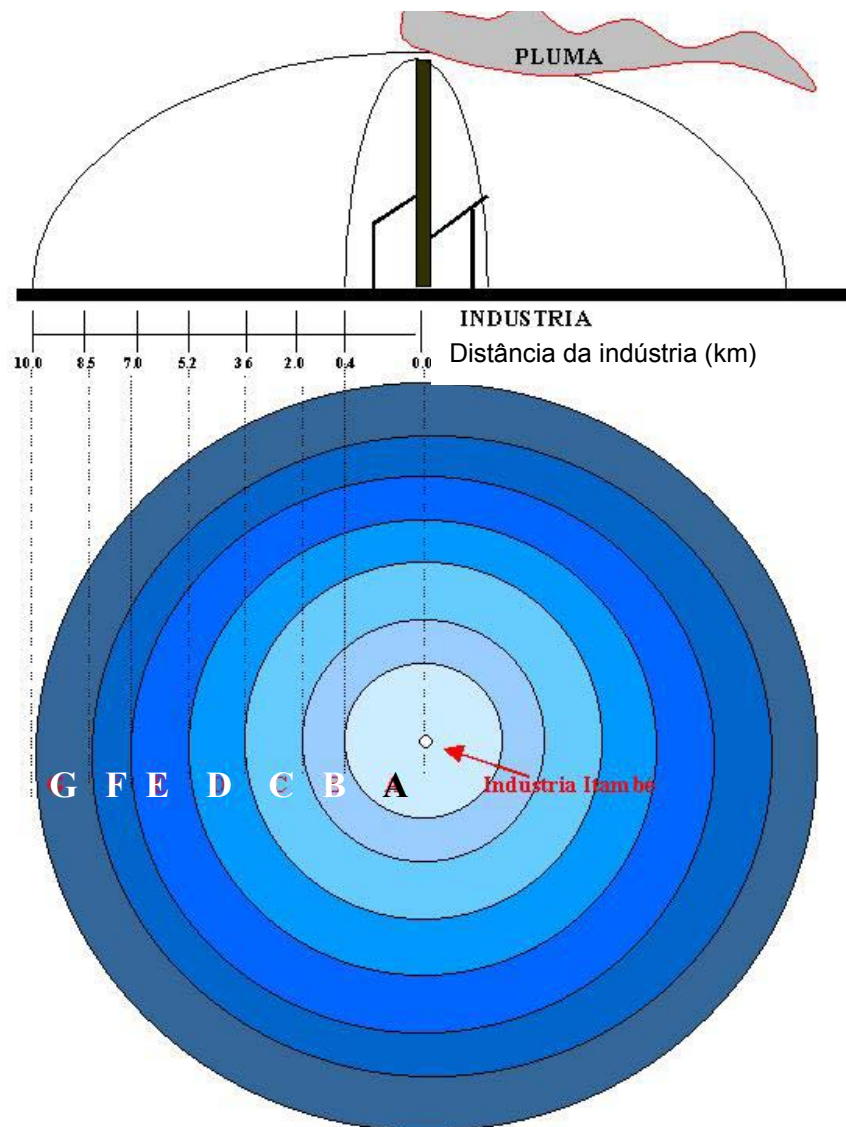


FIGURA 4b - REPRESENTAÇÃO DAS FAIXAS CIRCULARES E SEÇÃO TRANSVERSAL DA ÁREA CIRCULAR ESTUDADA DE 10 KM DE RAIO A PARTIR DA PLANTA INDUSTRIAL DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ.

| Faixa Circular    | Estações de Amostragem<br>Número | Distância da Fábrica<br>Km |
|-------------------|----------------------------------|----------------------------|
| A                 | 8                                | 0,4                        |
| B                 | 16                               | 2,0                        |
| C                 | 16                               | 3,6                        |
| D                 | 16                               | 5,2                        |
| E                 | 16                               | 7,0                        |
| F                 | 16                               | 8,5                        |
| G                 | 8                                | 10,0                       |
| Total de Estações | 96                               | ---                        |



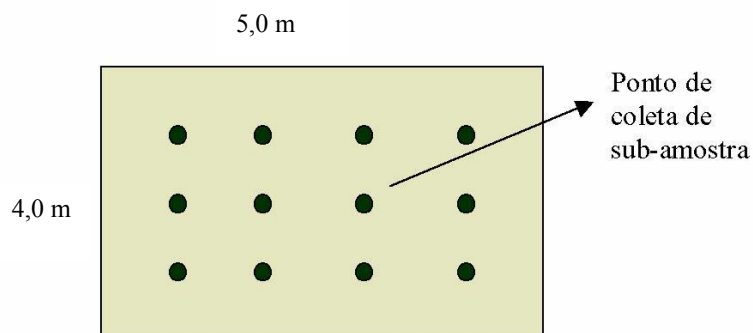
### Descrição das estações de amostragem

Os “pontos” de coleta de solo para a posterior análise do fator indicador Zn na verdade eram constituídos pelo que se denominou de estações de amostragem sendo estes representados por em uma área delimitada por um retângulo de 5,0 m x 4,0 m.

Descreveu-se o uso atual da área de cada estação de amostragem observado por ocasião da coleta do solo. Nessa ocasião foram desprezadas áreas que estavam sob influência direta de relevo.

A distribuição das sub-amostras coletadas nas estações de amostragem seguiram o padrão esquemático de coleta representado na Figura 05.

FIGURA 05 - DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE SOLO DENTRO DA ESTAÇÃO DE AMOSTRAGEM.



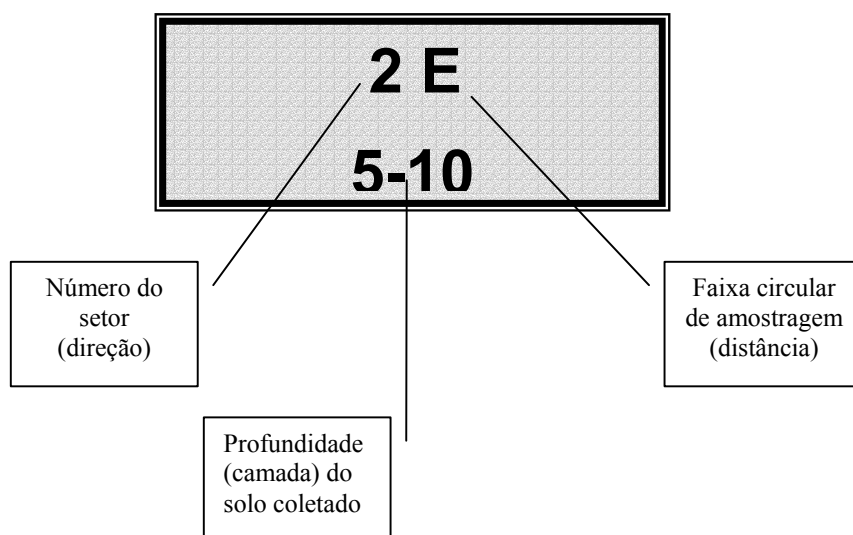
### **Coleta do Solo, Preparo e Acondicionamento das Amostras**

A coleta de solo se deu com o uso de um trado holandês de ferro, removeu-se os resíduos vegetais da superfície do solo e se retirou alíquotas de 5 em 5 cm a partir da superfície até 50 cm de profundidade. Após a coleta as amostras ainda não preparadas foram secas ao ar em sala ambiente fechada coberta por papel de embrulho novo e de acesso restrito a fim de se evitar contaminações por via aérea e também para impedir possíveis deposições de zinco. Exceção foi feita no caso de 20 amostras que foram secas em estufa a 60° C por um período de 24 a 48 horas e então armazenadas segundo metodologia descrita por PAVAN (1992). Ou seja, foram acondicionadas em sacos plásticos de polietileno (já secas) e, posteriormente embalados em caixas de papelão devidamente identificadas.

Após a secagem o solo foi triturado em gral de porcelana para o máximo de precisão possível e passado em peneira de 2 mm de malha gerando o solo seco denominado “terra fina seca ao ar” (TFSA) ou “ terra fina seca a estufa (TFSE) .

A moagem do solo foi realizada manualmente efetuando-se limpeza completa com lavagem dos recipientes e equipamentos de moagem com água deionizada ao término de cada amostra. As amostras secas e já moídas foram acondicionadas em novos sacos plásticos, convenientemente identificadas com números e letras alfabéticas de acordo com a Figura 06.

FIGURA 06 – MODELO DE IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS DE SOLO ACONDICIONADAS EM SACOS PLÁSTICOS.



Exemplo: Setor número 2 (direção N-NNE), faixa de amostragem E (7,0 km da planta industrial) da camada 5-10 cm de profundidade.

## ANÁLISES QUÍMICAS

As amostras de solo foram analisadas para Zn no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da UFPR após 3 diferentes métodos de extração. Para tanto utilizou-se de método de extração total e de métodos que extraíam apenas parcialmente o Zn. Como método de extração “total” de Zn utilizou-se da digestão total nitro-perclórica proposta por BACKER & AMACHER (1982) adaptada para as particularidades do laboratório e que será mais a frente descrita. Para a extração parcial de Zn utilizou-se do extrator de Mehlich 1 ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,025 mol  $\text{L}^{-1}$  +  $\text{HCl}$  0,05 mol  $\text{L}^{-1}$ ) conforme as metodologias propostas por Westerman,(1990) e por Silva, F.C. (1999)

também adaptadas para as condições deste trabalho. Também para se extrair parcialmente o Zn do solo utilizou-se de solução de DTPA conforme SILVA (1999) e LINDSAY & NOWELL (1976).

Os extratos foram analisados em espectrofotômetro de Absorção Atômica da marca Perkin Elmer modelo 2380 AAS, utilizando-se gás acetileno e ar comprimido para atomização, o equipamento estava alocado no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da UFPR.

### **Métodos de Extração Química do Elemento Zn**

A extração do Zn se deu por três métodos distintos. De forma a permitir-se avaliar a reserva “total” de Zn no solo e as porções extraíveis passíveis de se futuramente relacionar à capacidade de extração de Zn pelas plantas.

#### **Extrator de Mehlich 1**

A extração de Zn com a solução de Mehlich 1 conforme SILVA (1999) e WESTERMAN (1990) é semelhante à rotineiramente utilizada para o P comum nos laboratórios de avaliação de solos no Brasil. Foram feitas algumas modificações de modo a se obter a menor variabilidade possível nos resultados, uma vez que qualquer alteração de procedimento (ex. tempo decantado) poderiam alterar os resultados finais.

Sendo assim, a tomada de alíquota foi feita gravimetricamente pesando-se em balança de precisão com  $10^{-3}$  números de significância, cerca de 10 gramas de solo para cada amostra analisada.

As alíquotas de 10 gramas foram então transferidas para erlenmeyers de 250 ml e receberam 100 ml da solução extratora de Mehlich 1 ( $\text{H}_2\text{SO}_4$   $0,025 \text{ mol L}^{-1}$  +  $\text{HCl}$   $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ ), sendo então agitadas por 15 minutos a 220 rpm e após 5 minutos de decantação eram filtradas em papel filtro Whatman nº 01. As alíquotas do extrato eram a seguir transferidas para frascos de vidro (snap cap) com tampa de polietileno lavados com solução de  $\text{HCl}$  a 4% e secos. A quantificação de Zn no extrato se deu por espectrofotometria de absorção atômica. Para tanto utilizou-se de padrões com matriz semelhante às das amostras, ou seja com parte (10 %) de Mehlich 1, e comparadas também com solução de controle (testemunha em branco).

### **Extração Total Nitro-Perclórica**

O termo “total” utilizado neste trabalho refere-se àquela porção de Zn solubilizada pela metodologia empregada que, por não ser totalmente capaz de solubilizar certas frações recalcitantes, é então muitas vezes referida entre aspas (“Total”). O método de extração total empregado foi adaptado de BAKER & AMACHER (1982). Portanto, tomou-se aproximadamente 2 gramas de solo em tubos de ensaio de vidro de 100 ml e adicionou-se 5 ml de  $\text{HNO}_3$  concentrado (P.A.). Os tubos eram então colocados num bloco digestor cuja temperatura era elevada a  $170^\circ\text{C}$  e mantida nesse

patamar por 90 minutos. Após esta adicionava-se 3 ml de  $\text{HClO}_4$  concentrado (P.A.) sempre mantendo-se os tubos cobertos com funis de vidro para se evitar evaporação excessiva. Nesta etapa a temperatura foi elevada até  $203^\circ \text{C}$  e ali mantida por 75 minutos. A seguir os tubos eram resfriados e a solução obtida filtrada em papel filtro Whatman nº 1 lavando-se os tubos com água deionizada, refiltrando-se o material residual. O filtrado era então acondicionado em frascos “snap cap” de vidro com tampa de polietileno. O teor de Zn era então determinado diretamente da solução obtida, sofrendo eventuais diluições quando necessário, por espectrofotometria de absorção atômica. Para tanto utilizou-se de padrões para a aferição do equipamento utilizando-se como solução matriz os referidos ácidos diluídos de forma a aproximar sua condição ao máximo à das amostras. O comprimento de onda utilizado foi o de 280 nm. O nível de detecção do aparelho era o descrito na Tabela 10.

### **Extração com DTPA**

A extração parcial de Zn com DTPA se deu sobre alíquotas de solo de aproximadamente 20 gramas de solo pesadas com até  $10^{-3}$  de precisão, em frascos de polipropileno (Marca Corning) de 50 ml com tampa nos quais se adicionou 40 ml da solução extratora ( $\text{DTPA} + \text{TEA} + \text{CaCl}_2$ ) pH 7,3 ou seja, Ácido dietilenotetraminopentacético a  $0,005 \text{ mol L}^{-1}$ , trietanolamina (TEA) a  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ , cloreto de cálcio a  $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  ajustado para pH 7,30 (DTPA). Os frascos foram tampados e agitados por 2 horas a 220 rpm conforme o descrito por SILVA (1999) E LINDSAY &

NOVELL (1978). Após a agitação a suspensão foi imediatamente filtrada deixando-se escorrer o filtrado por 1 hora. O extrato era armazenado quando necessário em geladeira. Foi analisado por espectrofotometria de absorção atômica cuja calibração se deu com o uso de padrões constituídos com matriz composta com 10 % de solução extratora mencionada, de modo a se assemelhar em termos de viscosidade às alíquotas extraídas.

### **Determinação do Zn no espectrofotômetro de absorção atômica**

Os padrões com distintas concentrações de Zn utilizado para as calibrações do Espectrofotômetro de Absorção Atômica foram construídos com Sulfato de Zinco Héptahidratado ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ ) em solução aquosa, ao qual se adicionou o extrator, para uniformizar a viscosidade, antes de se completar o volume. As concentrações utilizadas para a construção das curvas de calibração e seus respectivos valores de absorbância foram aquelas apresentadas na Tabela 10.

TABELA 10 – CONCENTRAÇÃO DE Zn E RESPECTIVAS ABSORBÂNCIAS UTILIZADAS PARA A CALIBRAÇÃO DO ESPECTROFOTÔMETRO DE ABSORÇÃO ATÔMICA PARA ANÁLISE DO Zn.

|                                | <b>Branco</b> | <b>Padrão</b>                          |          |          |          |
|--------------------------------|---------------|----------------------------------------|----------|----------|----------|
|                                |               | <b>1</b>                               | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> |
|                                |               | <b>Extração Total Nitro-perclórica</b> |          |          |          |
| <b>Zn (mg kg<sup>-1</sup>)</b> | 0,000         | 0,100                                  | 0,300    | 0,500    | 1,500    |
| <b>Absorbância</b>             | 0,000         | 0,023                                  | 0,071    | 0,120    | 0,327    |
|                                |               | <b>Extrator de Mehlich 1</b>           |          |          |          |
| <b>Zn (mg kg<sup>-1</sup>)</b> | 0,000         | 0,100                                  | 0,300    | 0,500    | 1,500    |
| <b>Absorbância</b>             | 0,000         | 0,026                                  | 0,072    | 0,120    | 0,324    |
|                                |               | <b>Extrator DTPA pH 7,3</b>            |          |          |          |
| <b>Zn (mg kg<sup>-1</sup>)</b> | 0,000         | 0,100                                  | 0,300    | 0,500    | 1,500    |
| <b>Absorbância</b>             | 0,000         | 0,022                                  | 0,069    | 0,130    | 0,325    |

#### **METODOLOGIA UTILIZADA PARA A COMPILAÇÃO ORDENAÇÃO E INTERPOLAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS**

As médias dos resultados obtidos para os teores de Zn de cada uma das estações (Total, Mehlich 1 e DTPA) foram compilados (agrupados) em tabelas e gráficos de forma a permitir-se visualizar eventuais gradientes de concentração do elemento conforme os resultados apresentados no Anexo 01, com os seguintes critérios:

- a) Comparação entre médias de repetições por estação de amostragem (3 repetições) para cada profundidade analisada.

- b) Comparação entre média de repetições por setor circular (seção, direção), (média de 21 repetições originadas de 3 repetições por estação e de 7 estações por setor)
- c) Comparação entre médias das repetições por faixa circular (distância) setorizada e de forma alinhada em cortes transversais diametrais (Transect) para as diferentes orientações seguindo a rosa dos ventos (Gráfico 29), com média de 3 repetições por estação.
- d) Médias das repetições obtidas por setor por profundidade dispostas circularmente (“forma de radar” com médias de 21 repetições) (Gráficos 30 a 32).

Ou seja, os dados analíticos gerados foram dispostos segundo sua distribuição em faixas circulares, para cada uma das estações de amostragem, em 16 setores de círculo (seções de círculos ou direções dos ventos), conforme a Figura 07.

### **A rosa dos ventos e os pontos de amostragem**

O presente trabalho é componente do projeto mais amplo intitulado “Estabelecimento de critérios para a avaliação da qualidade do ar no entorno de uma fábrica de cimento que co-processa resíduos industriais” que por sua vez abriga estações meteorológicas que visam subsidiar estudos de dispersão para a calibração de modelos matemáticos para esse fim. Assim, por meio do monitoramento da atmosfera do entorno da planta industrial da Companhia de Cimento Itambé (ZOTELLI

& DIAS, 2000), determinou-se a direção predominante do fluxo das massas de ar (vento) que transpassam a área circular estudada em seu centro. Desta forma cada um dos setores (seções de círculo) foi orientado seguindo a direção da rosa dos ventos. Esta por sua vez serviu de referência para a direção do fluxo dos ventos predominantes na área de estudo determinado por DIAS et al. (2000) e PALMA et al.(2000) de acordo com o Gráfico 29.

Assim iniciou-se a divisão do círculo pelo setor número 1 que foi orientado segundo a direção NNW-N (Figura 07). Seguindo-se as divisões do círculo para as demais seções obteve-se as seguintes orientações geográficas (direções) respectivamente para as de número 2 a 16: N-NNE, NNE-NE, NE-ENE, ENE-E, E-ESSE, ESSE-SE, SE-SSE, SSE-S, S-SSW, SSW-SW, SW-WSW, WSW-W, W-WNW, WNW-NW, NW-NNW. Com este procedimento possibilitou-se além das análises estatísticas a confecção de cortes transversais da área circular (Transect) unindo 2 setores alinhados e opostos. Esta divisão também poderia permitir relacionar os teores de zinco de cada camada de solo analisado com a direção dos fluxos das massas de ar e sua habilidade de dispersão de eventual material particulado (Zn) em relação à planta industrial.

### **O tratamento dos dados**

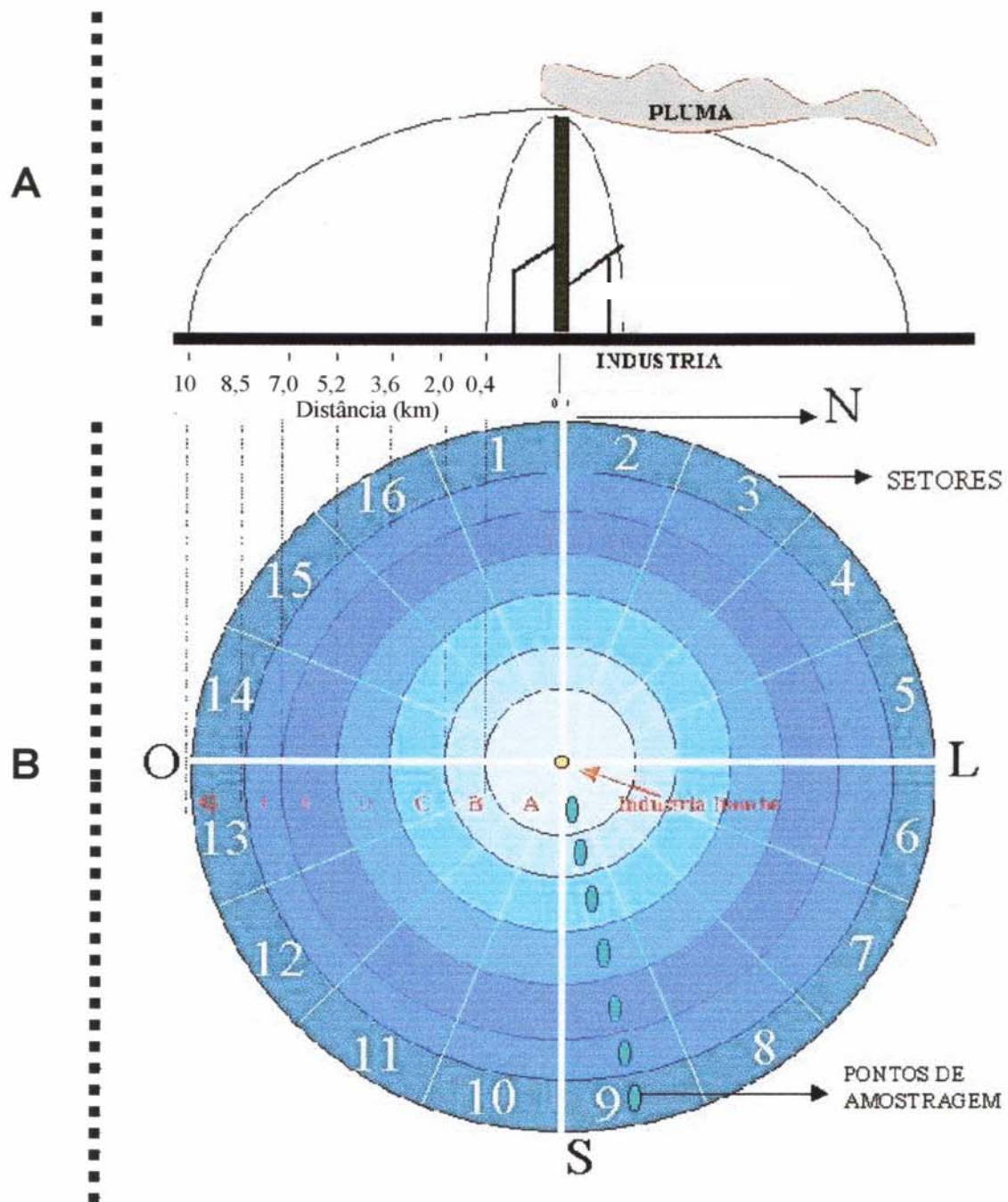
Conforme o explanado anteriormente no item “A amostragem dos solos da área estudada” as 96 estações de amostragem foram distribuídas em 16 setores divididos cada um em 7 a partir das faixas circulares. No entanto verificou-se que em

razão daquela distribuição (Figura 4a) muitas das estações, consistente e homogeneamente, acabavam por estar alocadas justamente sobre o limite imaginário (divisa) entre 2 setores o que levou este autor a “tratar os dados” obtidos de cada estação e profundidade com o procedimento que será descrito mais adiante.

A Figura 07 representa a distribuição espacial das estações de amostragem de forma análoga entre a sua situação real (Figura 4a em “A amostragem dos solos da área estudada”) aproximadamente encontrada a campo e aquela já “trabalhada”, imaginária, mas de fato utilizada para as análises estatísticas e construção das figuras e gráficos apresentados no item resultados e discussão. Ou seja, na disposição real (Figura 4a) nota-se haver uma distribuição uniforme das estações de amostragem por toda a área circular de modo a se deixar para cada um dos 16 setores: 5 estações linearmente distribuídas em seu centro e 2 estações (próximas do centro e ao limite externo do arco considerado) em sua linha divisória com um dos setores adjacentes. Na Figura 4a nota-se que cada uma das 7 estações de amostragem estava distribuída no centro de cada um dos segmentos de setor ou seja, de cada uma daquelas porções de setor circular seccionadas por feixe circular, à exceção de duas estações as mesmas referidas acima que situavam-se no limite divisório e imaginários. Assim, de modo a permitir uma análise estatística dos dados com base em delineamento experimental completamente casualizado onde cada um dos segmentos de setor se constituíram em parcela experimental, foi necessário o tratamento dos dados que por sua vez gerou uma nova distribuição espacial das estações de amostragem na área circular estudada agora apresentada pela porção B da Figura 07. Ou seja, aquelas duas estações de cada seção “compartilhadas” entre dois setores foram desconsideradas,

tendo tido seus dados anulados para a posição real encontrada a campo. Estes foram por sua vez então substituídos por duas séries de dados idênticas para cada uma das estações, agora virtualmente alocadas em seções de setor (parcelas) distintas (Figura 7b). A profundidade de 45 a 50 cm foi selecionada devido ao Zn ser um elemento pouco móvel no solo (RAIJ, 1987). Este procedimento foi adotado para permitir o resgate histórico das estações analisadas no que concerne ao Zn tendo seus resultados como comparativo (Background level) e que não possui influência positiva ou negativa das emissões da indústria. Também foram efetuadas regressões de modo a correlacionar as variáveis com a Indústria de Cimento Itambé.

FIGURA 07 – COMPARAÇÃO ENTRE A DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM DE SOLO APÓS SEU TRATAMENTO PARA SUBSTITUIÇÃO DE DELINEAMENTO EXPERIMENTAL COMPLETAMENTE CASUALIZADO.



## **ANÁLISE ESTATÍSTICA**

Os dados gerados e tratados foram submetidos à ANOVA e suas médias comparadas pelo Teste de Tukey (KOEHLER et al., 1992) ao nível de 5 % para os diferentes setores (direções) bem como para as diferentes seções de faixas circulares (distâncias de amostragem) para cada uma das profundidades amostradas a partir da planta industrial. Para tanto utilizou-se de um delineamento experimental completamente casualizado com parcelas subdivididas com três repetições. Ou seja, as diferentes seções de círculo que representavam os setores influenciados pela direção do vento constituíram as parcelas e as seções das faixas circulares (parte dos setores) constituíram-se em sub-parcelas. Cada uma das sub-amostras de solo tomadas a cada profundidade, de cada estação de amostragem oriundas do parcelamento das amostras em 3, cada uma destas analisada para os fatores aqui considerados (Zn total e parcialmente extraível) constitui-se numa repetição, ou seja três repetições.

As análises foram procedidas com o auxílio do programa computacional SPSS 10,0 Versão Demonstrativa (SPSS, 2001).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados analíticos para o zinco (Zn) são apresentados a seguir de forma a se possibilitar a visualização da distribuição horizontal e vertical de seus teores no solo (Tabela 11). Tais teores, obtidos a partir de extração total (digestão nitro-perclórica) e parcial (Mehlich 1 e DTPA) são desta forma apresentados segundo a seguinte estratégia e ordem:

- a) apresentação das médias obtidas para todos os métodos e profundidades de forma numérica (Tabela 11 e Anexo 1 );
- b) apresentação de médias expressas graficamente de modo a representar a variabilidade vertical dos distintos teores de Zn para as quatro profundidades analisadas para cada um dos 16 setores (segmento de círculo ou direções) (Gráficos 1 à 16);
- c) apresentação das médias expressas graficamente para representar a distribuição horizontal e setorial (por direção) para cada uma das metodologias de extração utilizadas para as diferentes profundidades (Gráficos 17 a 28);
- d) gráficos que permitem visualizar ao mesmo tempo a variabilidade espacial (horizontal e vertical) dos teores extraíveis de Zn com a variabilidade dos fluxos de massas de ar (Gráficos 29 a 32);

e) médias para os valores totais e extraíveis de Zn representados graficamente, de acordo com sua distribuição diametral (em corte) entre dois setores opostos e do mesmo eixo da área circular estudada para cada direção (Gráficos 33 a 40), dando assim uma idéia da sua distribuição vertical (profundidade) e horizontal (distância) em relação à planta industrial.

TABELA 11 – MÉDIA DE 3 REPETIÇÕES DA CONCENTRAÇÃO DE Zn NO SOLO NAS 4 PROFUNDIDADES ESTUDADAS POR EXTRAÇÃO TOTAL NITRO-PERCLÓRICA, MEHLICH 1 E DTPA.

| IDENTIFICAÇÃO |       |               | DTPA                     |       |        |       | MEHLICH 1                |       |        |       | EXT. TOTAL               |        |        |        |
|---------------|-------|---------------|--------------------------|-------|--------|-------|--------------------------|-------|--------|-------|--------------------------|--------|--------|--------|
| Nº            | SETOR | SUB.<br>FAIXA | mg kg <sup>-1</sup> solo |       |        |       | mg kg <sup>-1</sup> solo |       |        |       | mg kg <sup>-1</sup> solo |        |        |        |
|               |       |               | 0-5                      | 5.-10 | 10.-15 | 45-50 | 0-5                      | 5.-10 | 10.-15 | 45-50 | 0-5                      | 5.-10  | 10.-15 | 45-50  |
| 1             | 1     | A             | 0,53                     | 0,20  | 0,32   | 0,35  | 3,38                     | 3,04  | 1,94   | 0,86  | 72,08                    | 34,15  | 91,49  | 71,36  |
| 2             | 1     | B             | 0,94                     | 0,25  | 0,40   | 0,34  | 0,39                     | 0,70  | 0,10   | 0,12  | 20,12                    | 26,98  | 42,12  | 26,13  |
| 3             | 1     | C             | 0,96                     | 0,34  | 0,35   | 0,47  | 2,60                     | 1,47  | 0,31   | 0,23  | 22,36                    | 2,18   | 13,76  | 28,14  |
| 4             | 1     | D             | 0,38                     | 0,27  | 0,90   | 0,39  | 2,58                     | 1,21  | 1,73   | 0,11  | 21,16                    | 10,32  | 10,03  | 17,31  |
| 5             | 1     | E             | 0,60                     | 0,12  | 0,52   | 0,36  | 1,29                     | 0,94  | 1,00   | 0,12  | 20,51                    | 15,56  | 12,37  | 120,53 |
| 6             | 1     | F             | 0,67                     | 0,21  | 0,94   | 0,37  | 2,55                     | 2,40  | 2,67   | 1,04  | 75,49                    | 137,86 | 41,50  | 57,21  |
| 7             | 1     | G             | 0,28                     | 0,20  | 0,94   | 0,29  | 2,54                     | 1,79  | 1,29   | 0,51  | 16,89                    | 12,12  | 20,34  | 19,23  |
| 8             | 2     | A             | 1,98                     | 0,83  | 0,83   | 1,04  | 7,16                     | 5,78  | 5,06   | 3,58  | 189,05                   | 148,16 | 171,77 | 184,98 |
| 9             | 2     | B             | 4,16                     | 2,01  | 1,10   | 0,51  | 12,98                    | 15,29 | 14,62  | 1,74  | 151,70                   | 113,81 | 129,32 | 11,97  |
| 10            | 2     | C             | 1,23                     | 1,12  | 1,25   | 0,27  | 5,93                     | 6,66  | 5,87   | 0,63  | 44,34                    | 40,45  | 44,66  | 72,80  |
| 11            | 2     | D             | 1,60                     | 0,29  | 0,61   | 0,28  | 5,29                     | 6,86  | 5,26   | 0,41  | 16,03                    | 61,21  | 46,02  | 21,95  |
| 12            | 2     | E             | 2,61                     | 1,51  | 0,61   | 0,55  | 5,76                     | 4,53  | 4,33   | 0,23  | 25,18                    | 10,01  | 12,84  | 23,25  |
| 13            | 2     | F             | 1,88                     | 0,26  | 0,84   | 0,58  | 5,63                     | 4,10  | 4,07   | 0,19  | 30,04                    | 11,46  | 27,97  | 30,39  |
| 14            | 2     | G             | 1,40                     | 0,16  | 0,77   | 0,28  | 2,79                     | 1,88  | 1,71   | 0,23  | 17,05                    | 21,98  | 15,38  | 28,25  |
| 15            | 3     | A             | 1,98                     | 0,83  | 0,83   | 1,04  | 7,16                     | 5,78  | 5,06   | 3,58  | 189,05                   | 148,16 | 171,77 | 184,98 |
| 16            | 3     | B             | 1,50                     | 0,22  | 0,82   | 0,23  | 10,30                    | 7,01  | 7,46   | 0,51  | 21,16                    | 57,25  | 44,98  | 81,52  |
| 17            | 3     | C             | 1,36                     | 0,12  | 0,33   | 0,22  | 3,86                     | 0,95  | 0,75   | 0,42  | 23,73                    | 14,39  | 17,18  | 61,12  |
| 18            | 3     | D             | 0,92                     | 0,39  | 0,38   | 0,30  | 2,76                     | 1,50  | 1,47   | 0,11  | 20,91                    | 16,17  | 9,43   | 28,77  |
| 19            | 3     | E             | 1,39                     | 0,11  | 0,55   | 0,30  | 3,03                     | 2,11  | 1,75   | 0,50  | 25,34                    | 27,20  | 9,40   | 32,24  |
| 20            | 3     | F             | 1,20                     | 0,17  | 3,25   | 0,46  | 2,31                     | 2,18  | 1,63   | 0,44  | 16,05                    | 6,76   | 38,73  | 28,29  |
| 21            | 3     | G             | 1,40                     | 0,16  | 0,77   | 0,28  | 2,79                     | 1,88  | 1,71   | 0,23  | 17,05                    | 21,98  | 15,38  | 28,25  |
| 22            | 4     | A             | 0,50                     | 0,94  | 1,63   | 0,23  | 22,01                    | 21,60 | 7,75   | 0,58  | 58,47                    | 62,27  | 56,94  | 32,85  |
| 23            | 4     | B             | 0,74                     | 0,28  | 0,47   | 0,34  | 1,77                     | 2,50  | 1,99   | 0,30  | 12,30                    | 12,59  | 6,71   | 16,09  |
| 24            | 4     | C             | 3,37                     | 0,17  | 0,60   | 0,34  | 1,16                     | 1,08  | 0,64   | 0,46  | 19,74                    | 16,99  | 9,03   | 30,67  |
| 25            | 4     | D             | 1,19                     | 0,26  | 0,44   | 0,34  | 2,74                     | 1,44  | 1,18   | 0,17  | 22,59                    | 18,46  | 19,15  | 21,07  |
| 26            | 4     | E             | 1,00                     | 0,24  | 0,66   | 0,24  | 3,28                     | 2,94  | 1,87   | 0,11  | 23,31                    | 9,72   | 15,69  | 17,12  |
| 27            | 4     | F             | 1,32                     | 0,12  | 0,35   | 0,28  | 2,68                     | 3,72  | 1,51   | 0,32  | 34,71                    | 13,72  | 50,01  | 55,91  |
| 28            | 4     | G             | 1,08                     | 0,28  | 0,60   | 0,15  | 2,56                     | 1,50  | 0,67   | 0,22  | 28,04                    | 19,65  | 29,93  | 33,42  |
| 29            | 5     | A             | 0,50                     | 0,94  | 1,63   | 0,23  | 22,01                    | 21,60 | 7,75   | 0,58  | 58,47                    | 62,27  | 56,94  | 32,85  |
| 30            | 5     | B             | 1,05                     | 0,37  | 0,56   | 0,45  | 4,29                     | 3,39  | 2,79   | 1,27  | 31,18                    | 15,42  | 44,18  | 17,92  |
| 31            | 5     | C             | 3,99                     | 2,38  | 1,09   | 0,34  | 7,93                     | 7,89  | 8,02   | 0,31  | 29,58                    | 15,21  | 38,15  | 26,80  |
| 32            | 5     | D             | 1,15                     | 1,15  | 2,79   | 0,35  | 7,59                     | 3,78  | 2,98   | 0,47  | 34,89                    | 34,57  | 10,48  | 35,57  |
| 33            | 5     | E             | 1,05                     | 0,45  | 1,80   | 0,32  | 2,17                     | 2,41  | 0,92   | 0,28  | 11,52                    | 18,91  | 9,66   | 12,70  |
| 34            | 5     | F             | 0,58                     | 0,28  | 0,33   | 0,24  | 1,15                     | 1,12  | 0,73   | 0,27  | 23,92                    | 22,78  | 41,90  | 30,81  |
| 35            | 5     | G             | 1,08                     | 0,28  | 0,60   | 0,15  | 2,56                     | 1,50  | 0,67   | 0,22  | 28,04                    | 19,65  | 29,93  | 33,42  |
| 36            | 6     | A             | 1,26                     | 0,16  | 0,49   | 0,30  | 3,91                     | 1,34  | 0,91   | 0,40  | 22,47                    | 9,15   | 15,28  | 22,83  |
| 37            | 6     | B             | 0,71                     | 0,29  | 0,40   | 0,48  | 1,69                     | 1,45  | 1,08   | 0,23  | 20,10                    | 8,65   | 10,26  | 19,91  |
| 38            | 6     | C             | 0,97                     | 0,22  | 0,49   | 0,40  | 4,67                     | 3,81  | 1,48   | 0,22  | 35,44                    | 15,28  | 81,90  | 20,40  |
| 39            | 6     | D             | 0,48                     | 2,80  | 1,20   | 0,30  | 7,60                     | 21,73 | 12,54  | 0,54  | 14,55                    | 69,33  | 68,75  | 36,21  |
| 40            | 6     | E             | 0,73                     | 0,18  | 1,08   | 0,24  | 1,84                     | 2,59  | 0,99   | 0,23  | 30,62                    | 106,35 | 18,21  | 29,39  |
| 41            | 6     | F             | 0,90                     | 0,69  | 0,79   | 0,39  | 2,87                     | 3,60  | 1,19   | 0,29  | 23,70                    | 17,85  | 23,27  | 26,48  |
| 42            | 6     | G             | 1,32                     | 0,20  | 0,66   | 0,36  | 3,58                     | 4,18  | 1,99   | 1,56  | 43,89                    | 34,68  | 36,06  | 34,17  |
| 43            | 7     | A             | 1,26                     | 0,16  | 0,49   | 0,30  | 3,91                     | 1,34  | 0,91   | 0,40  | 22,47                    | 9,15   | 15,28  | 22,83  |
| 44            | 7     | B             | 0,58                     | 0,21  | 0,99   | 0,21  | 2,36                     | 1,09  | 0,38   | 0,19  | 16,13                    | 5,20   | 14,57  | 19,57  |
| 45            | 7     | C             | 1,51                     | 0,70  | 0,62   | 0,25  | 7,12                     | 12,02 | 11,38  | 0,43  | 37,89                    | 10,54  | 37,91  | 26,40  |
| 46            | 7     | D             | 1,03                     | 0,28  | 0,24   | 0,22  | 1,30                     | 1,17  | 0,69   | 0,24  | 21,32                    | 17,91  | 16,48  | 31,90  |
| 47            | 7     | E             | 0,90                     | 0,26  | 0,74   | 0,33  | 0,95                     | 0,86  | 0,61   | 0,27  | 11,43                    | 27,04  | 13,53  | 22,84  |
| 48            | 7     | F             | 0,86                     | 0,21  | 3,03   | 0,27  | 2,19                     | 3,15  | 2,83   | 0,30  | 22,00                    | 19,29  | 9,63   | 22,85  |
| 49            | 7     | G             | 1,32                     | 0,20  | 0,66   | 0,36  | 3,58                     | 4,18  | 1,99   | 1,56  | 43,89                    | 34,68  | 36,06  | 34,17  |
| 50            | 8     | A             | 0,55                     | 0,36  | 0,50   | 0,23  | 2,65                     | 3,14  | 1,71   | 0,30  | 26,72                    | 29,02  | 31,75  | 33,73  |
| 51            | 8     | B             | 1,96                     | 0,24  | 0,84   | 0,27  | 5,80                     | 3,03  | 1,21   | 0,45  | 41,34                    | 11,38  | 9,03   | 141,87 |
| 52            | 8     | C             | 0,67                     | 0,33  | 0,43   | 0,39  | 1,98                     | 1,61  | 0,61   | 0,11  | 18,93                    | 12,15  | 14,61  | 65,30  |
| 53            | 8     | D             | 0,61                     | 0,17  | 1,85   | 0,22  | 1,70                     | 1,15  | 0,87   | 0,10  | 17,81                    | 12,99  | 26,33  | 22,28  |
| 54            | 8     | E             | 0,96                     | 0,43  | 0,36   | 0,33  | 2,81                     | 1,47  | 1,43   | 0,26  | 31,95                    | 34,88  | 38,22  | 27,48  |
| 55            | 8     | F             | 1,05                     | 0,17  | 1,83   | 0,32  | 2,53                     | 1,99  | 1,67   | 0,11  | 22,43                    | 14,61  | 19,60  | 16,21  |
| 56            | 8     | G             | 2,43                     | 0,34  | 0,79   | 0,27  | 9,51                     | 5,54  | 3,91   | 0,25  | 36,31                    | 33,08  | 28,14  | 38,09  |

CONTINUA

| IDENTIFICAÇÃO |       |               | DTPA                     |       |        |       | MEHLICH 1                |       |        |       | EXT. TOTAL               |       |        |        |
|---------------|-------|---------------|--------------------------|-------|--------|-------|--------------------------|-------|--------|-------|--------------------------|-------|--------|--------|
| Nº            | SETOR | SUB.<br>FAIXA | mg kg <sup>-1</sup> solo |       |        |       | mg kg <sup>-1</sup> solo |       |        |       | mg kg <sup>-1</sup> solo |       |        |        |
|               |       |               | 0-5                      | 5.-10 | 10.-15 | 45-50 | 0-5                      | 5.-10 | 10.-15 | 45-50 | 0-5                      | 5.-10 | 10.-15 | 45-50  |
| 57            | 9     | A             | 0,55                     | 0,36  | 0,50   | 0,23  | 2,65                     | 3,14  | 1,71   | 0,30  | 26,72                    | 29,02 | 31,75  | 33,73  |
| 58            | 9     | B             | 0,69                     | 0,12  | 0,38   | 0,27  | 1,16                     | 0,99  | 0,78   | 0,32  | 20,73                    | 13,97 | 10,57  | 34,56  |
| 59            | 9     | C             | 3,03                     | 0,49  | 0,36   | 0,24  | 13,22                    | 12,26 | 4,40   | 0,40  | 33,94                    | 20,05 | 43,36  | 23,54  |
| 60            | 9     | D             | 1,23                     | 0,20  | 0,38   | 0,56  | 2,17                     | 1,09  | 1,34   | 0,77  | 20,93                    | 27,18 | 30,69  | 26,85  |
| 61            | 9     | E             | 1,55                     | 0,12  | 0,47   | 0,27  | 5,22                     | 3,60  | 2,44   | 0,24  | 23,83                    | 51,67 | 15,11  | 91,48  |
| 62            | 9     | F             | 1,90                     | 0,13  | 0,55   | 0,23  | 4,35                     | 2,38  | 1,29   | 0,31  | 96,60                    | 53,28 | 37,55  | 60,83  |
| 63            | 9     | G             | 2,43                     | 0,34  | 0,79   | 0,27  | 9,51                     | 5,54  | 3,91   | 0,25  | 36,31                    | 33,08 | 28,14  | 38,09  |
| 64            | 10    | A             | 0,72                     | 0,16  | 0,36   | 0,19  | 2,70                     | 1,91  | 1,00   | 0,23  | 30,22                    | 14,39 | 13,73  | 23,65  |
| 65            | 10    | B             | 0,18                     | 0,84  | 0,77   | 0,51  | 7,12                     | 9,84  | 8,11   | 2,50  | 116,28                   | 77,90 | 89,83  | 163,17 |
| 66            | 10    | C             | 1,30                     | 0,26  | 0,64   | 0,18  | 2,59                     | 0,99  | 0,98   | 0,31  | 36,21                    | 12,53 | 10,31  | 26,77  |
| 67            | 10    | D             | 1,22                     | 0,49  | 0,57   | 0,17  | 3,24                     | 3,13  | 2,19   | 0,11  | 39,71                    | 23,03 | 32,34  | 23,29  |
| 68            | 10    | E             | 0,71                     | 0,33  | 0,38   | 0,31  | 3,23                     | 2,04  | 2,41   | 0,13  | 15,76                    | 10,72 | 27,47  | 18,02  |
| 69            | 10    | F             | 0,55                     | 0,30  | 0,57   | 0,24  | 1,56                     | 1,69  | 0,93   | 0,11  | 22,37                    | 15,14 | 18,97  | 9,40   |
| 70            | 10    | G             | 1,20                     | 0,26  | 0,45   | 0,43  | 4,24                     | 3,03  | 1,72   | 0,21  | 40,94                    | 26,41 | 20,64  | 49,32  |
| 71            | 11    | A             | 0,72                     | 0,16  | 0,36   | 0,19  | 2,70                     | 1,91  | 1,00   | 0,23  | 30,22                    | 14,39 | 13,73  | 23,65  |
| 72            | 11    | B             | 0,53                     | 0,17  | 0,56   | 0,49  | 70,80                    | 35,57 | 9,97   | 5,46  | 135,62                   | 86,97 | 47,94  | 16,32  |
| 73            | 11    | C             | 2,02                     | 0,45  | 0,45   | 0,28  | 5,57                     | 3,42  | 2,13   | 2,69  | 26,65                    | 20,75 | 26,73  | 47,40  |
| 74            | 11    | D             | 0,38                     | 0,15  | 0,43   | 0,27  | 3,25                     | 1,42  | 1,44   | 0,20  | 19,23                    | 19,00 | 17,30  | 28,43  |
| 75            | 11    | E             | 1,06                     | 0,11  | 1,43   | 0,29  | 1,71                     | 0,81  | 1,16   | 0,18  | 20,96                    | 6,79  | 11,34  | 18,90  |
| 76            | 11    | F             | 1,84                     | 0,29  | 0,89   | 0,25  | 7,29                     | 3,98  | 2,87   | 0,11  | 20,36                    | 14,54 | 13,54  | 24,19  |
| 77            | 11    | G             | 1,20                     | 0,26  | 0,45   | 0,43  | 4,24                     | 3,03  | 1,72   | 0,21  | 40,94                    | 26,41 | 20,64  | 49,32  |
| 78            | 12    | A             | 0,59                     | 0,25  | 0,44   | 0,66  | 1,92                     | 1,60  | 0,72   | 0,23  | 25,23                    | 5,00  | 24,38  | 25,62  |
| 79            | 12    | B             | 1,36                     | 0,62  | 0,77   | 0,28  | 12,49                    | 11,68 | 8,69   | 0,94  | 50,30                    | 4,84  | 75,45  | 8,51   |
| 80            | 12    | C             | 3,11                     | 0,24  | 0,55   | 0,37  | 4,55                     | 3,45  | 1,45   | 0,23  | 5,34                     | 6,52  | 4,10   | 7,00   |
| 81            | 12    | D             | 0,73                     | 2,87  | 1,19   | 0,28  | 13,98                    | 11,43 | 7,06   | 0,97  | 20,82                    | 18,70 | 5,87   | 2,69   |
| 82            | 12    | E             | 0,79                     | 0,12  | 0,21   | 0,22  | 2,12                     | 2,38  | 1,09   | 0,13  | 8,11                     | 5,91  | 11,26  | 11,04  |
| 83            | 12    | F             | 0,93                     | 0,65  | 0,28   | 0,18  | 2,18                     | 1,97  | 0,39   | 0,35  | 10,78                    | 3,95  | 4,71   | 3,10   |
| 84            | 12    | G             | 0,79                     | 0,15  | 0,39   | 0,30  | 1,54                     | 1,07  | 0,58   | 0,11  | 11,52                    | 10,56 | 15,11  | 14,17  |
| 85            | 13    | A             | 0,59                     | 0,25  | 0,44   | 0,66  | 1,92                     | 1,60  | 0,72   | 0,23  | 25,23                    | 5,00  | 24,38  | 25,62  |
| 86            | 13    | B             | 1,23                     | 0,13  | 0,67   | 0,26  | 2,71                     | 1,42  | 0,28   | 0,22  | 12,04                    | 6,31  | 19,47  | 14,60  |
| 87            | 13    | C             | 1,08                     | 0,30  | 0,42   | 0,42  | 3,72                     | 2,61  | 1,59   | 0,82  | 24,41                    | 12,54 | 19,98  | 42,69  |
| 88            | 13    | D             | 1,77                     | 0,18  | 0,59   | 0,27  | 6,63                     | 6,51  | 1,53   | 0,11  | 12,20                    | 3,23  | 8,63   | 10,12  |
| 89            | 13    | E             | 1,06                     | 0,21  | 0,50   | 0,24  | 2,23                     | 2,07  | 0,34   | 0,11  | 8,91                     | 6,03  | 17,07  | 43,15  |
| 90            | 13    | F             | 1,15                     | 0,20  | 1,09   | 0,27  | 3,61                     | 3,66  | 0,85   | 0,11  | 14,91                    | 8,94  | 23,57  | 18,44  |
| 91            | 13    | G             | 0,79                     | 0,15  | 0,39   | 0,30  | 1,54                     | 1,07  | 0,58   | 0,11  | 11,52                    | 10,56 | 15,11  | 14,17  |
| 92            | 14    | A             | 0,34                     | 0,09  | 0,23   | 0,45  | 1,41                     | 0,76  | 0,54   | 0,22  | 22,50                    | 20,39 | 42,04  | 31,29  |
| 93            | 14    | B             | 4,68                     | 0,26  | 2,52   | 0,71  | 4,30                     | 2,37  | 0,97   | 0,54  | 41,68                    | 30,07 | 21,67  | 40,83  |
| 94            | 14    | C             | 1,40                     | 0,16  | 0,49   | 0,21  | 2,13                     | 1,70  | 0,44   | 0,12  | 4,87                     | 3,56  | 1,54   | 31,05  |
| 95            | 14    | D             | 0,58                     | 0,57  | 2,43   | 0,25  | 12,51                    | 13,79 | 10,96  | 1,17  | 56,27                    | 19,85 | 86,31  | 38,27  |
| 96            | 14    | E             | 0,81                     | 0,20  | 0,48   | 0,24  | 3,11                     | 2,95  | 2,76   | 0,32  | 26,64                    | 12,85 | 16,45  | 24,93  |
| 97            | 14    | F             | 1,51                     | 0,02  | 0,82   | 0,34  | 0,45                     | 0,38  | 0,53   | 0,36  | 32,44                    | 36,52 | 46,51  | 52,77  |
| 98            | 14    | G             | 2,10                     | 0,73  | 0,72   | 0,28  | 1,44                     | 1,29  | 1,06   | 0,19  | 21,67                    | 20,04 | 23,39  | 23,86  |
| 99            | 15    | A             | 0,34                     | 0,09  | 0,23   | 0,45  | 1,41                     | 0,76  | 0,54   | 0,22  | 22,50                    | 20,39 | 42,04  | 31,29  |
| 100           | 15    | B             | 0,53                     | 0,16  | 0,46   | 0,20  | 2,44                     | 1,27  | 1,51   | 0,12  | 26,87                    | 20,24 | 27,27  | 23,84  |
| 101           | 15    | C             | 1,04                     | 0,50  | 0,46   | 0,28  | 3,00                     | 3,01  | 3,07   | 0,11  | 30,37                    | 32,55 | 14,99  | 32,92  |
| 102           | 15    | D             | 1,24                     | 0,22  | 0,50   | 0,23  | 0,06                     | 0,11  | 0,19   | 0,52  | 22,43                    | 16,86 | 34,52  | 52,09  |
| 103           | 15    | E             | 0,35                     | 0,14  | 0,65   | 0,38  | 0,17                     | 0,95  | 0,95   | 0,26  | 31,05                    | 35,19 | 32,12  | 30,98  |
| 104           | 15    | F             | 0,39                     | 0,17  | 1,46   | 0,17  | 0,06                     | 0,11  | 0,11   | 0,12  | 19,01                    | 14,38 | 15,13  | 26,90  |
| 105           | 15    | G             | 2,10                     | 0,73  | 0,72   | 0,28  | 1,44                     | 1,29  | 1,06   | 0,19  | 21,67                    | 20,04 | 23,39  | 23,86  |
| 106           | 16    | A             | 0,53                     | 0,20  | 0,32   | 0,35  | 3,38                     | 3,04  | 1,94   | 0,86  | 72,08                    | 34,15 | 91,49  | 71,36  |
| 107           | 16    | B             | 1,57                     | 0,57  | 0,92   | 0,22  | 6,92                     | 5,26  | 5,10   | 0,35  | 59,29                    | 19,69 | 42,13  | 24,04  |
| 108           | 16    | C             | 0,67                     | 0,28  | 0,77   | 0,21  | 1,06                     | 1,03  | 1,17   | 0,36  | 38,46                    | 8,15  | 16,53  | 33,24  |
| 109           | 16    | D             | 0,80                     | 0,46  | 0,48   | 0,37  | 2,07                     | 1,18  | 1,43   | 0,12  | 16,27                    | 19,01 | 7,12   | 29,68  |
| 110           | 16    | E             | 4,03                     | 2,41  | 1,66   | 0,63  | 10,46                    | 8,55  | 7,17   | 0,33  | 37,56                    | 23,02 | 26,72  | 35,29  |
| 111           | 16    | F             | 0,92                     | 0,19  | 0,57   | 0,26  | 1,57                     | 0,81  | 0,52   | 0,24  | 13,15                    | 16,59 | 11,36  | 23,05  |
| 112           | 16    | G             | 0,28                     | 0,20  | 0,94   | 0,29  | 2,54                     | 1,79  | 1,29   | 0,51  | 16,89                    | 12,12 | 20,34  | 19,23  |

## VARIABILIDADE VERTICAL DO Zn POR SETOR AMOSTRADO

### Teores totais de Zn em profundidade

No que concerne aos teores de Zn dos perfis de solo, apesar de não terem sido realizadas análises estatísticas para se comparar diferenças entre suas camadas (profundidades), nota-se haver uma grande variabilidade vertical para os perfis de algumas estações de amostragem possivelmente em razão de existirem na área estudada incrustações de solos (unidades) originados de materiais mais ou menos ricos em zinco (Tabela 11). No entanto, após o tratamento dos dados e utilizando-se de suas médias por setor (direção), observa-se dos Gráficos 01 a 16 que para os teores totais de Zn houve certa uniformidade no perfil quando da comparação das quatro profundidades amostradas (0-5; 5-10; 10-15; e 45-50 cm), à exceção de certos setores que demonstraram um decréscimo nos teores totais de Zn logo abaixo da superfície do solo (5-10 cm), como é o caso mais nítido dos setores 12, 13, 14 e 16. Os valores médios totais de Zn para os setores variaram de 2,69 a 184,98 mg kg<sup>-1</sup> (Tabela 11).

A tendência a um maior teor de Zn para a camada mais superficial (Tabela 11) de solo (0-5 cm) pode talvez ser atribuída ao fato deste, em sendo um micronutriente vegetal essencial, de ter sido, no decorrer de anos acumulado na superfície pelo efeito de reciclagem, via deposição e decomposição dos resíduos vegetais. Já, por outro lado, a uniformidade visualmente observada nos perfis (Gráficos 1-16) primeiro se dá pelo fato de se ter utilizado de escala logarítmica para a construção dos gráficos e segundo em razão possivelmente do próprio efeito das

médias aritméticas. Outro aspecto que não deve ser esquecido é o do grande potencial extrator do método utilizado o qual permite que nos resultados haja grande contribuição de teores de Zn presentes em todas as frações texturais (argila, silte e areia) da fase sólida do solo, uma vez que apenas as frações mais recalcitrantes não eram dissolvidas por ocasião da digestão, o que confere uma certa uniformidade ao perfil quando as médias são efetuadas.

### **Teores de Zn extraídos por Mehlich 1 em profundidade**

O Extrator de Mehlich 1 é citado por alguns autores (RAIJ, 1987; SILVA, 1999) como passível de sofrer correlação e de ser calibrado para simular, com bons coeficientes de determinação, a biodisponibilidade de Zn para várias situações, ou seja, para avaliar a capacidade dos vegetais em extraí-lo e respostas destes a teores daquele no solo. Nota-se pois dos Gráficos 01 a 16 haver uma nítida tendência de decréscimo nos teores de Zn com as profundidades avaliadas no solo por este extrator, ainda que não se tenha efetuado análise estatística para tal. Isto pode, em parte em razão do já comentado no item anterior, ou seja, pelo papel de reciclagem do nutriente Zn pelas plantas. Ou seja, após a absorção radicular é transportado às partes aéreas dos vegetais e então depositado na superfície do solo em detritos e restos vegetais que após decomposição liberam este elemento ocorrendo adsorção às camadas mais superficiais do solo. Como este elemento é pouco móvel em solos intemperizados como os encontrados na região estudada, observa-se o acúmulo na sua superfície como

visto, inclusive de maneira geral, nos perfis quando observados por estação de amostragem (Tabela 11). Os valores médios de Zn extraídos por Mehlich 1 para os perfis de solo apresentados por setor variaram de 0,06 a 70,80 mg kg<sup>-1</sup> (Tabela 11).

### **Teores de Zn extraídos por DTPA em profundidade**

O mesmo raciocínio apresentado para o extrator de Mehlich 1 pode ser considerado neste item para o DTPA, uma vez que para este extrator vários autores como SILVA (1999) também têm observado boas correlações entre os teores de Zn no solo e aqueles obtidos por extrações vegetais. Para este caso observa-se também uma nítida tendência ao decréscimo dos teores de Zn extraídos com DTPA à medida que a profundidade do solo aumenta (Gráficos 01 a 16). Nota-se também nas mencionadas figuras haver uma nítida redução dos teores extraíveis por DTPA ao nível da profundidade 5-10 cm, particularmente para os setores 1, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 13, 15 e 14, para o quê não se tem subsídios suficientes para seu esclarecimento, a exceção da conjectura de estar havendo certa deposição de origem não identificada, talvez da própria reciclagem pelas plantas como já citado para o Extrator de Mehlich 1, ou mais remotamente de erro sistemático no laboratório (improvável, mas possível), podendo ainda existir nesta profundidade certas formas de Zn no solo incapazes de serem extraídas por este, mas passíveis de o sê-lo pelo Mehlich 1, já que SILVA (1999) e WESTERMANN (1990) mencionaram serem muitos os fatores que influenciam a quantidade extraída de Zn por estes métodos. Interessantemente, observe-se que, tal

redução (pico negativo) ocorreu simultaneamente a picos (mais ou menos nítidos) observados também para o método total.

Nota-se ainda a partir dos Gráficos 1 a 16 serem os valores obtidos para Zn pelo DTPA para todas as profundidades e setores analisados consistentemente menores que aqueles obtidos por Mehlich 1 salvo os setores 8, 13 e 15 (para a maior profundidade). Estes (Zn Mehlich 1) por sua vez foram consistentemente menores na ordem de 10 vezes ou mais que os teores totais do elemento. Isto se deve ao potencial de extração diferenciado entre estes métodos compostos por diferentes soluções e extraído em intensidade que também diferem frente ao maior ou menor caráter ácido ou agente quelante das mesmas.

GRÁFICO 01– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 1 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ.

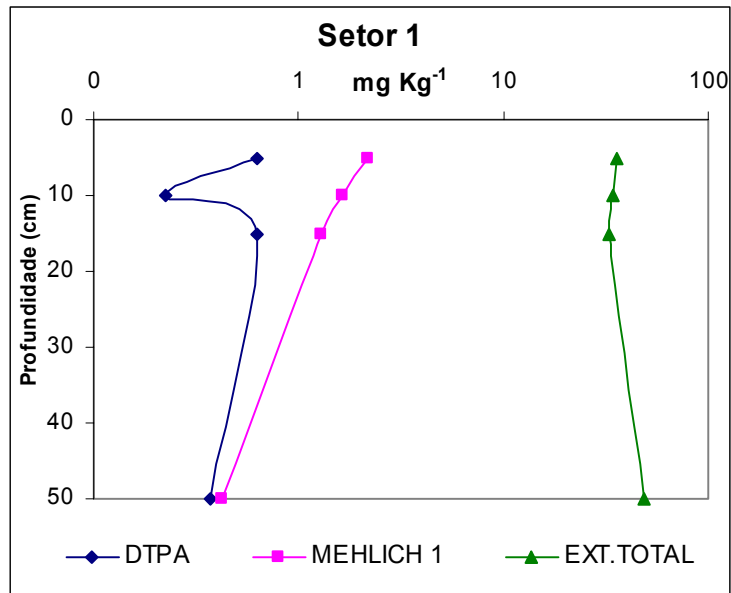


GRÁFICO 02– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 2 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ.

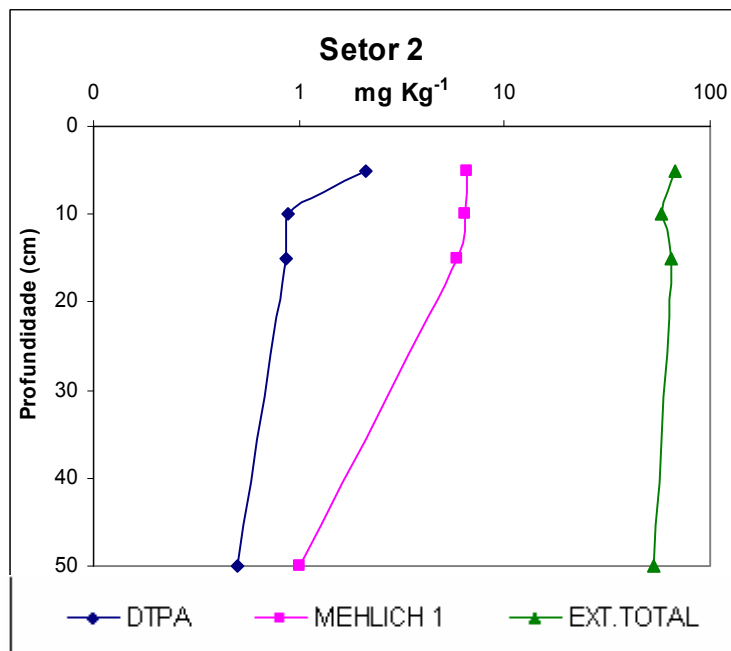


GRÁFICO 03– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 3 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ.

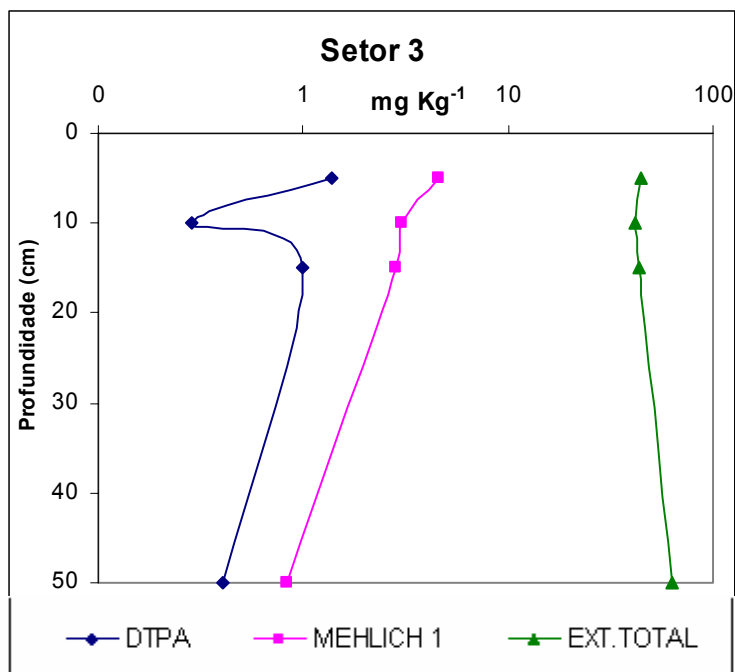


GRÁFICO 04– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE ZN EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 4 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ.

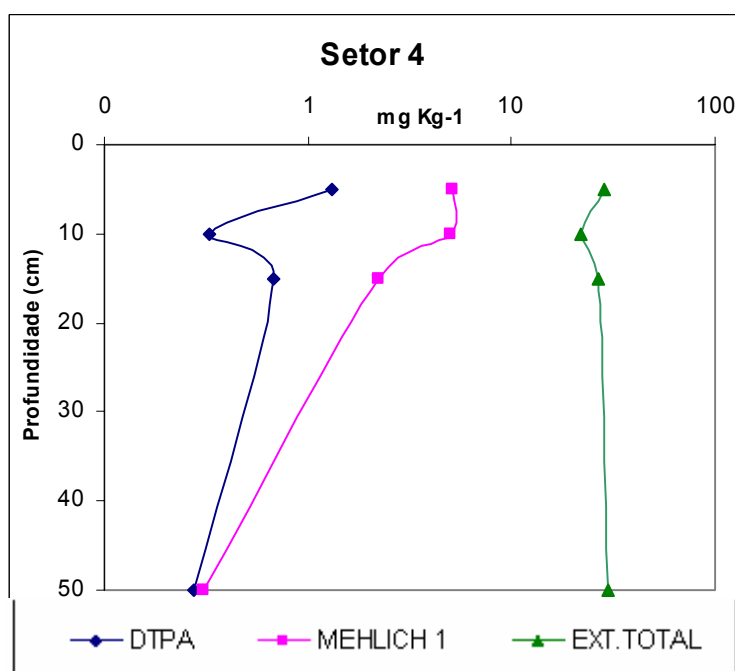


GRÁFICO 05– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 5 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ.

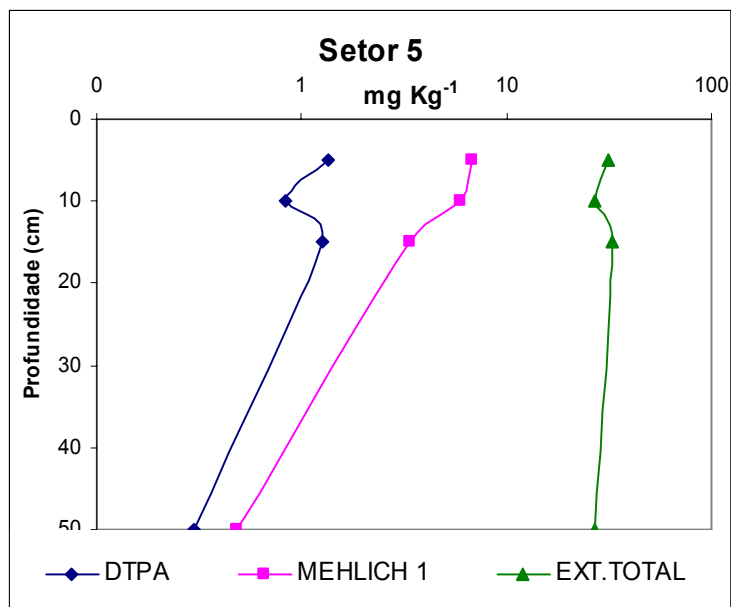


GRÁFICO 06– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 6 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ.

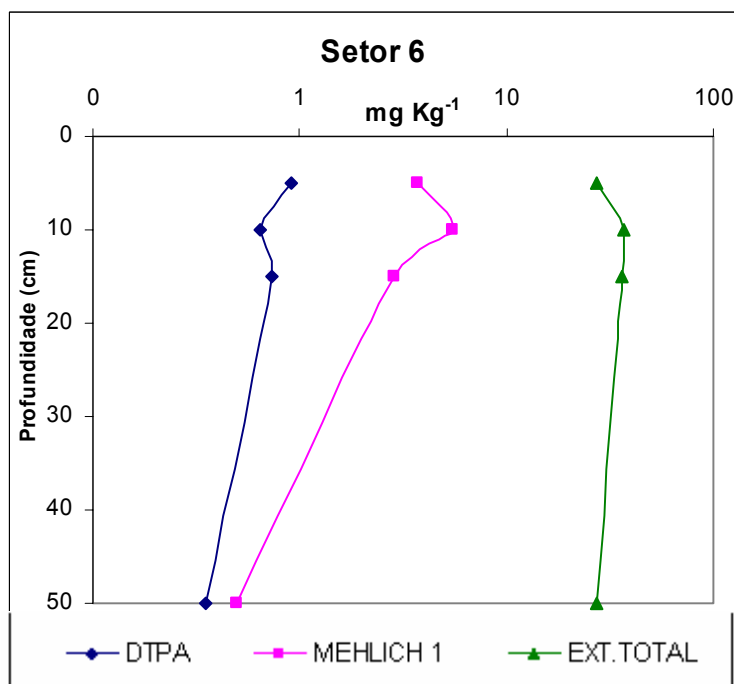


GRÁFICO 07– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 7 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ.

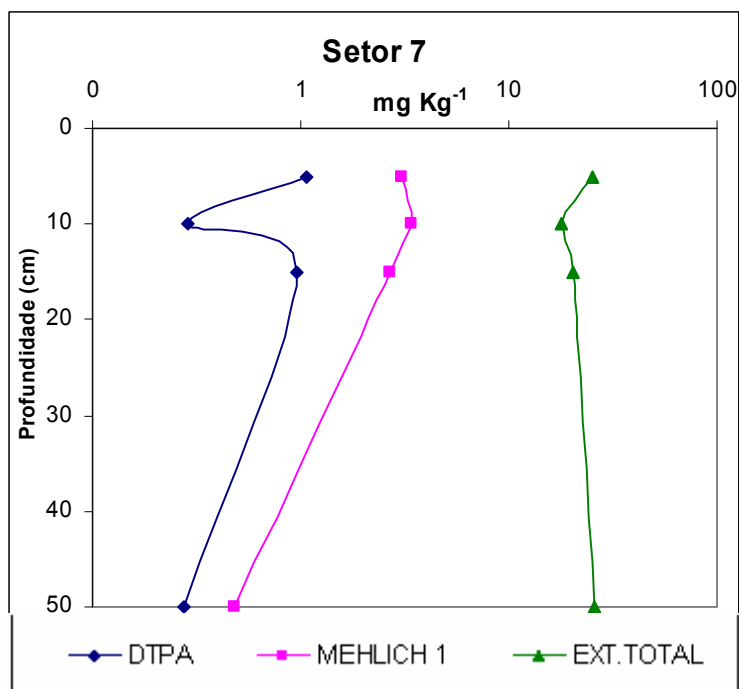


GRÁFICO 08– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 8 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ.

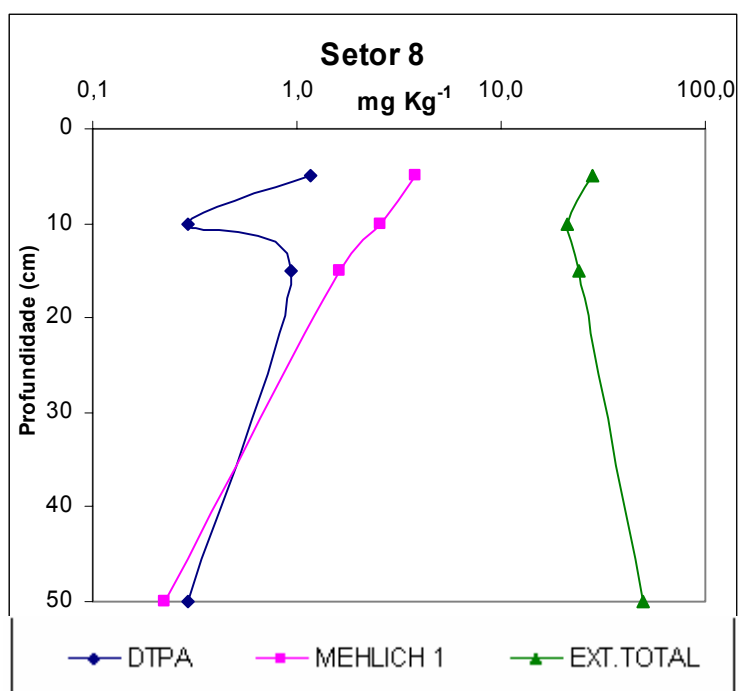


GRÁFICO 09– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 9 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ.

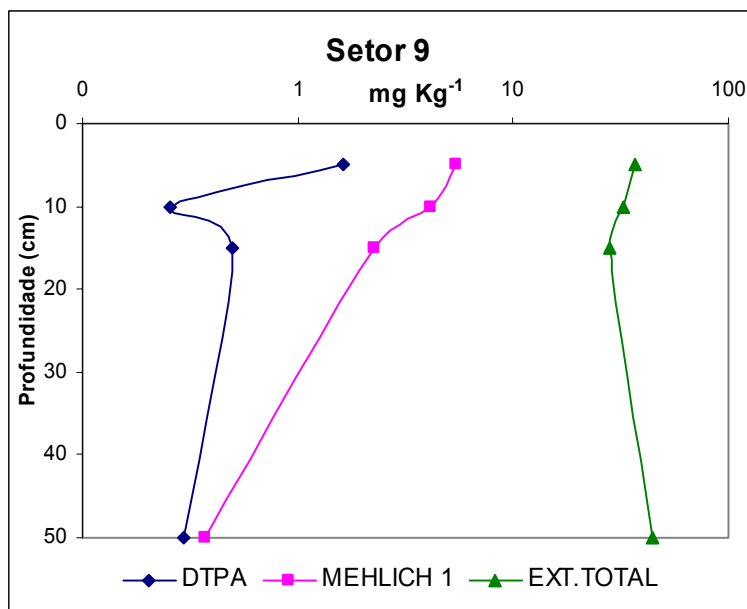


GRÁFICO 10– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 10 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ.

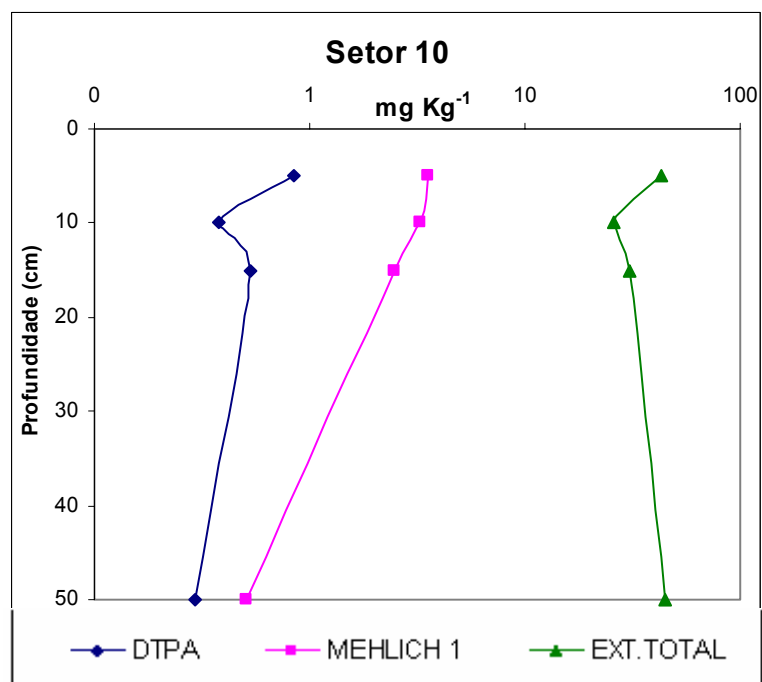


GRÁFICO 11– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 11 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ.

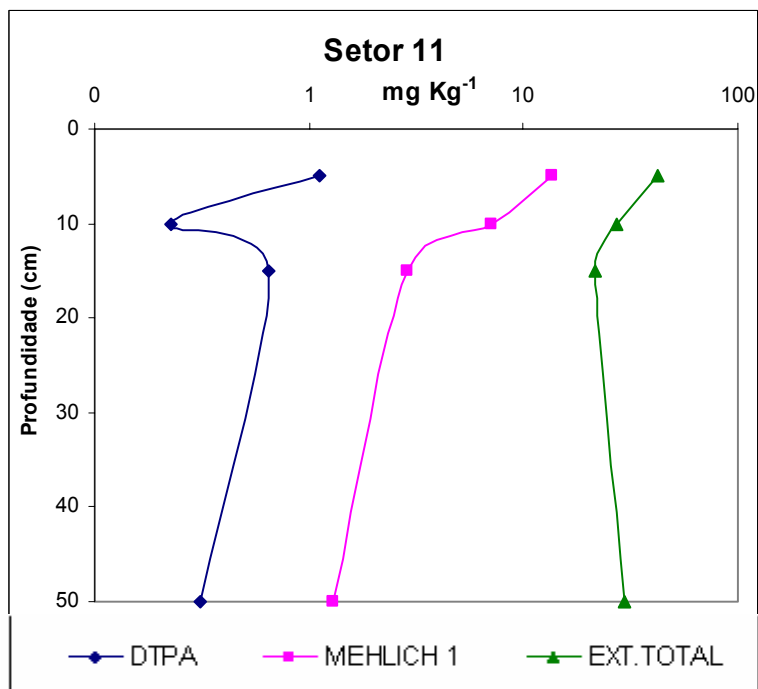


GRÁFICO 12– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 12 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ.

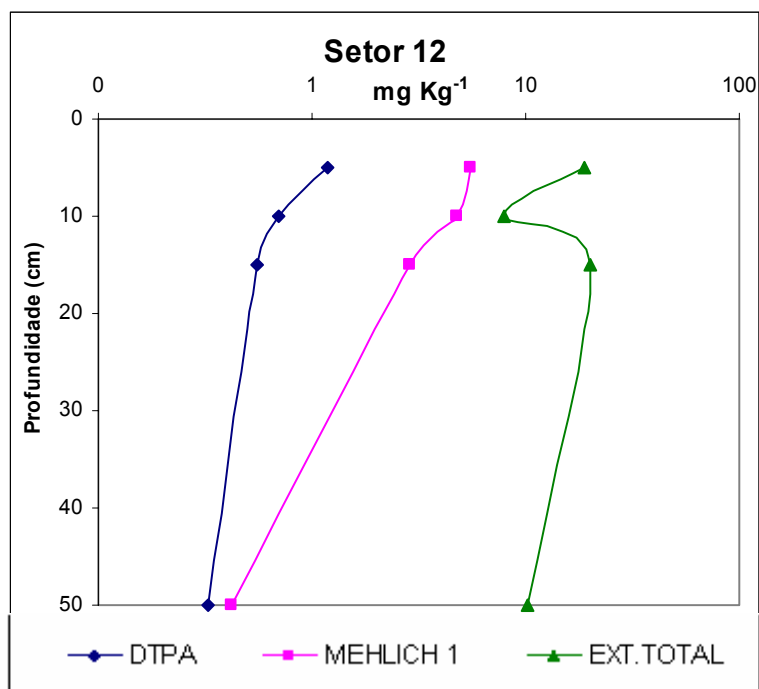


GRÁFICO 13– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 13 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ.

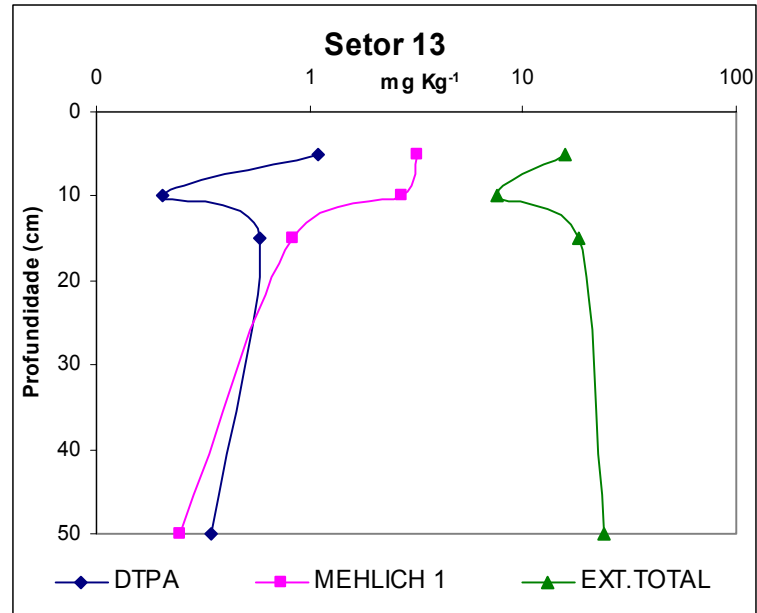


GRÁFICO 14– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 14 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ.

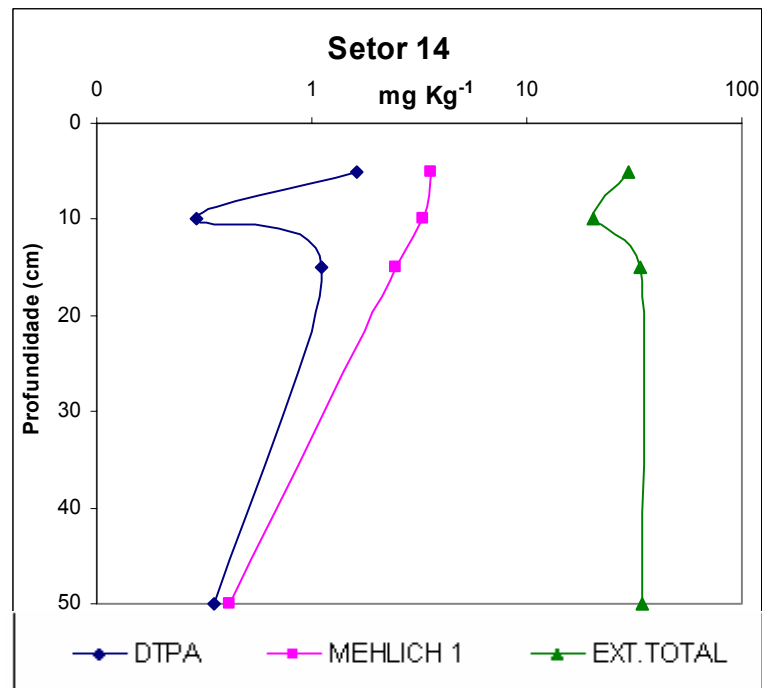


GRÁFICO 15– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 15 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ.

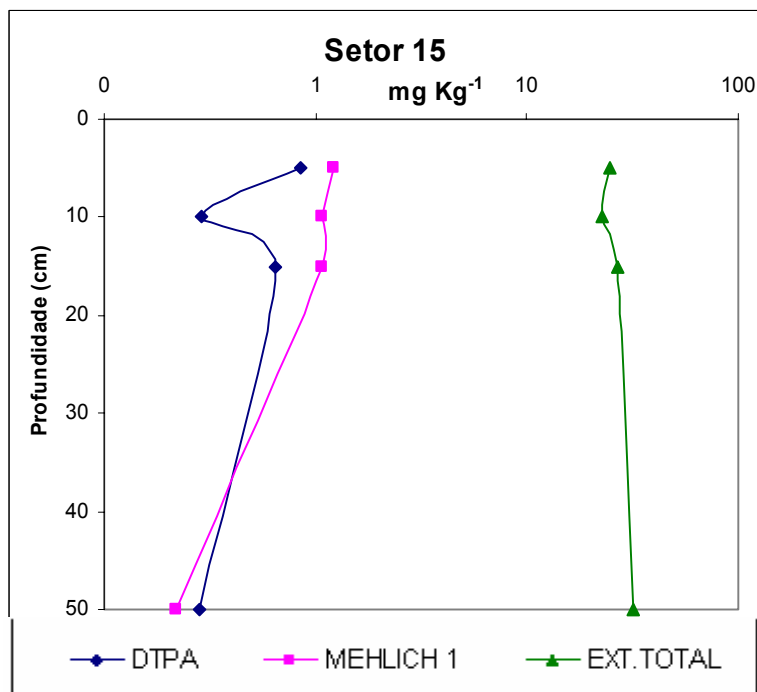
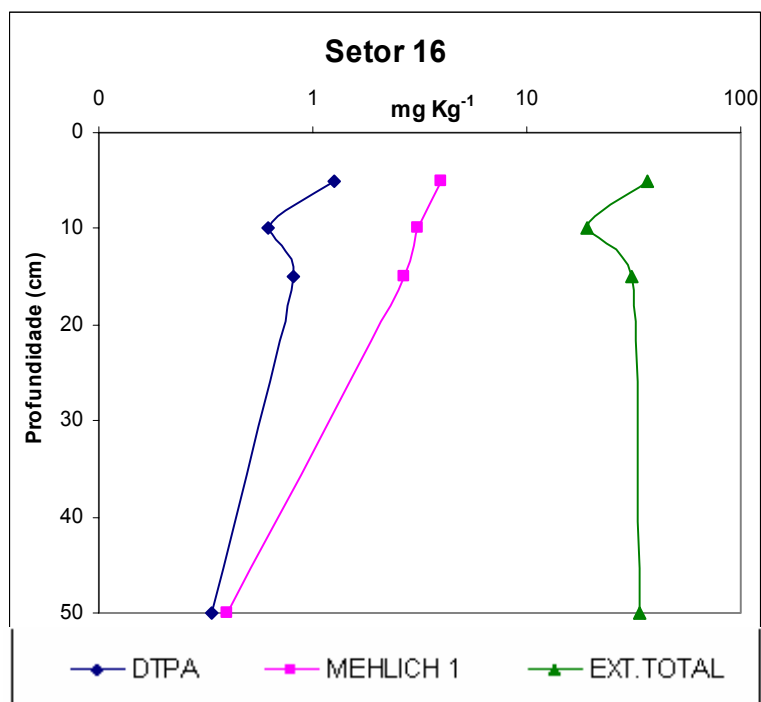


GRÁFICO 16– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn EXTRAÍDOS TOTAL E PARCIALMENTE DE DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SOLOS DO SETOR CIRCULAR 16 DA ÁREA DO ENTORNO DA COMPANHIA DE CIMENTO ITAMBÉ.



## **VARIABILIDADE HORIZONTAL DOS TEORES DE Zn PARA DIFERENTES PROFUNDIDADES**

De forma a se permitir uma melhor visualização integrada da variabilidade horizontal dos teores de Zn extraídos para cada uma das profundidades consideradas, pelos 3 distintos métodos de extração, construiu-se os Gráficos 17 a 28, do tipo coluna que permitiram a visualização das diferenças estatísticas obtidas por Tukey ( $p=0,05$ ) entre os diferentes setores.

### **Teores de Zn totais, extraíveis por Mehlich 1 e por DTPA e sua distribuição setorial em profundidades**

Nota-se para esta profundidade haver diferenças estatísticas significativas entre os teores de Zn dos diferentes setores, para os diferentes métodos de extração (Gráficos 17,18 e 19). Observa-se que o teor médio total de Zn do setor 2 tendeu a ser o maior, e os dos setores 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 14 e 15 os menores. Para o extrator de Mehlich I, o setor 11 tende a ser o maior e os setores 1 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15 e 16 os menores. Já para o DTPA, o setor 2 foi mais expressivo que o setor 1. Observou-se assim existir uma mesma tendência entre a distribuição dos teores de Zn extraído por DTPA, com picos de maiores concentrações em alguns setores quando extraídos por método de Extração Total.

Para a profundidade 45-50 na extração por DTPA e Mehlich 1 observa-se nos Gráfico 27 e 28 que os valores das concentrações médias de Zn nessa profundidade

não tiveram grande variabilidade, sendo mais visível para o DTPA. Nesta camada existe uma uniformização de concentração de Zn no solo amostrado, o que indica que os teores deste elemento no solo não sofreram alterações significativas, porém, nota-se uma leve tendência de acréscimo nas concentrações de Zn em direção ao setor 2. Isto se repete nas profundidades menores até atingir um valor máximo na profundidade 0-5. Observando os Gráficos 18 e 27 nota-se que esta tendência se repete quando foram feitas as extrações de Zn por Mehlich 1, método que pode representar a capacidade de extração de Zn por vegetais. Estes valores podem Ter ocorrido devido ao material constituinte do solo desse setor ter elevados teores de Zn, o que não pode ser correlacionado com a indústria de cimento já que a profundidade 45-50 cm retrata o histórico desse solo e dá uma noção de sua formação geológica. No entanto, o Gráfico 18 mostra um acréscimo de Zn no setor 5. Isto provavelmente deve-se a contaminações ou deposições de materiais ricos em Zn nesses solos, pois esse setor está localizado na área urbana da cidade de Campo Largo e algumas estações de amostragem de solo foram locadas em terrenos baldios e praças da cidade, como descrito na Tabela 09. Estando portanto muito sujeito a aterros, deposição de lixo por moradores locais, deposição de material particulado de diversas fontes geradoras diferentes da fábrica de cimento. Porém, nota-se que o Gráfico 18 exhibe ainda uma altíssima concentração de Zn no setor 11. Estes valores podem estar associados a possível contaminação do solo das estações de amostragem que estão localizadas às margens da BR 277 que liga Ponta Grossa a Curitiba, na meia encosta da Escarpa de São Luiz do Purunã. Outra hipótese para este fenômeno seria devido ao material constituinte desse solo, já que trata-se de estações de amostragem situadas na encosta da escarpa e portanto

mais sujeitas a influências do relevo e geologia local. Está descartada a contaminação das amostras em laboratório, pois ocorreu a mesma tendência de altos valores de Zn em todas as profundidades analisadas.

Na extração por DTPA observa-se no Gráfico 28 que os valores das concentrações médias de Zn na profundidade de 45-50 cm não tiveram grande variabilidade e são estatisticamente homogêneas, ou seja, mantêm o mesmo padrão de concentração em todos os setores amostrados. Nesta profundidade existe uma uniformização de concentração de Zn no solo amostrado, o que indica que os teores deste elemento no solo não sofreram alterações significativas, porém, nota-se uma leve tendência de acréscimo nas concentrações de Zn em direção ao setor 2 confirmado com as comparações analíticas feito pelo teste de Tukey 5 %. Isto se repete nas profundidades menores até atingir um valor máximo na profundidade 0-5. Observando os Gráficos 18 e 19, nota-se ainda que esta tendência se repete quando foram feitas as extrações de Zn por Mehlich e por Extração Total Nitro-perclórica (Gráfico 17), a exceção do setor 11 no Gráfico 18, que pode Ter seus teores resultantes de outras fontes como já discutido anteriormente.

Os teores de Zn, de 0 a 5 cm de profundidade, obtidos tanto por DTPA quanto por Mehlich 1 se mostraram altos no setor 9 (Gráficos 18 e 19), ao sul da fábrica. Este fato pode sugerir um acréscimo de Zn nestes solos devido a uma fonte geradora qualquer, até mesmo a própria fábrica. Porém, não se pode afirmar esta hipótese já que o mesmo ocorreu com a Extração Total não só no setor 9 como também nos setores 8 e 10 e ainda para todas as profundidades coletadas e determinadas por este método de extração, mesmo que a direção dos ventos seja predominante para

esses setores (Gráfico 29), o que daria maiores possibilidades à hipótese de deposição de material particulado de origem da fábrica.

GRÁFICO 17– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn NOS SETORES CIRCULARES POR EXTRAÇÃO TOTAL, REPRESENTANDO A VARIABILIDADE HORIZONTAL DOS TEORES DE Zn PARA A PROFUNDIDADES 0 A 5 CM PROFUNDIDADES E COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA POR TUKEY A 0,05.

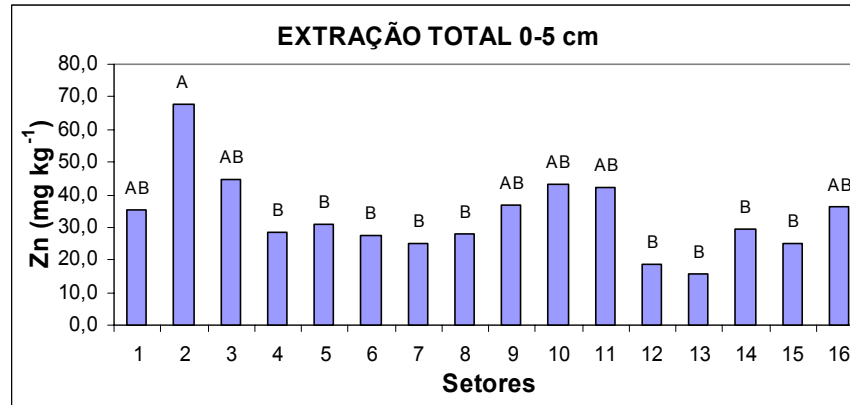


GRÁFICO 18– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn NOS SETORES CIRCULARES EXTRAÍDO POR MEHLICH 1, REPRESENTANDO A VARIABILIDADE HORIZONTAL DOS TEORES DE Zn PARA A PROFUNDIDADES 0 A 5 CM E COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA POR TUKEY A 0,05.

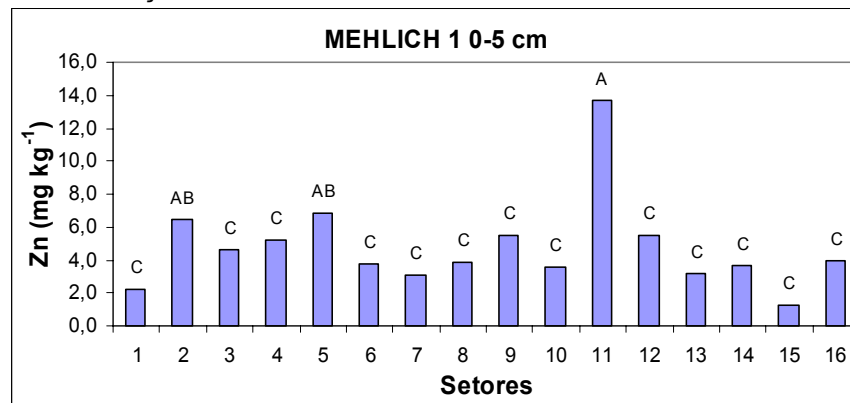


GRÁFICO 19– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn NOS SETORES CIRCULARES EXTRAÍDO POR DTPA, REPRESENTANDO A VARIABILIDADE HORIZONTAL DOS TEORES DE Zn PARA A PROFUNDIDADES 0 A 5 CM E COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA POR TUKEY A 0,05.

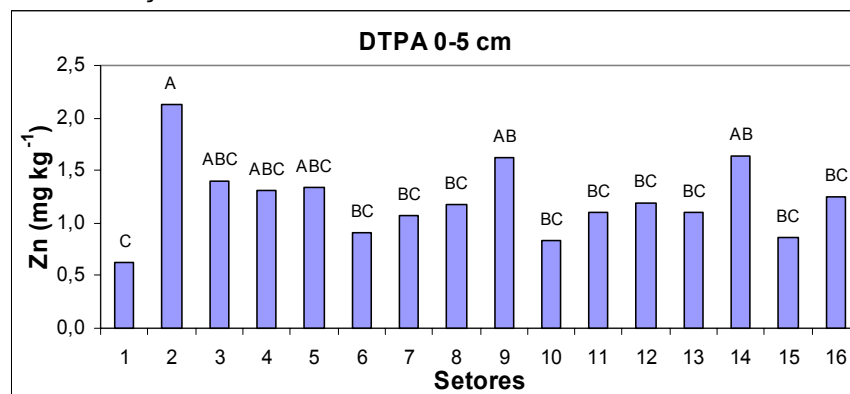


GRÁFICO 20– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn NOS SETORES CIRCULARES POR EXTRAÇÃO TOTAL, REPRESENTANDO A VARIABILIDADE HORIZONTAL DOS TEORES DE Zn PARA A PROFUNDIDADES 5 A 10 CM.

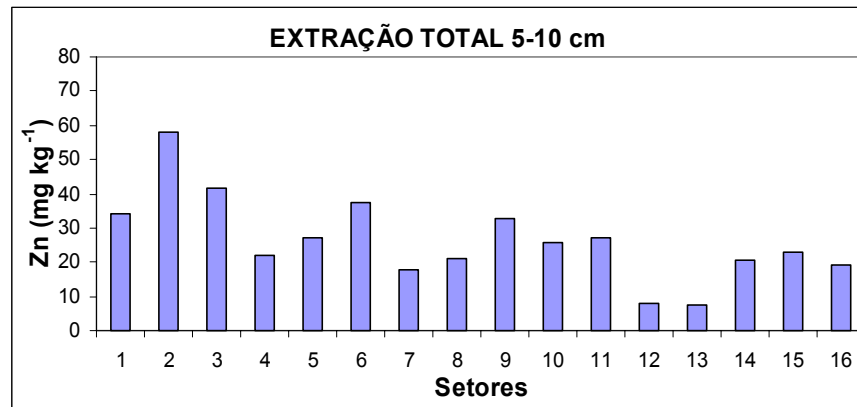


GRÁFICO 21– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn NOS SETORES CIRCULARES EXTRAÍDO POR MEHLICH 1, REPRESENTANDO A VARIABILIDADE HORIZONTAL DOS TEORES DE Zn PARA A PROFUNDIDADES 5 A 10 CM.

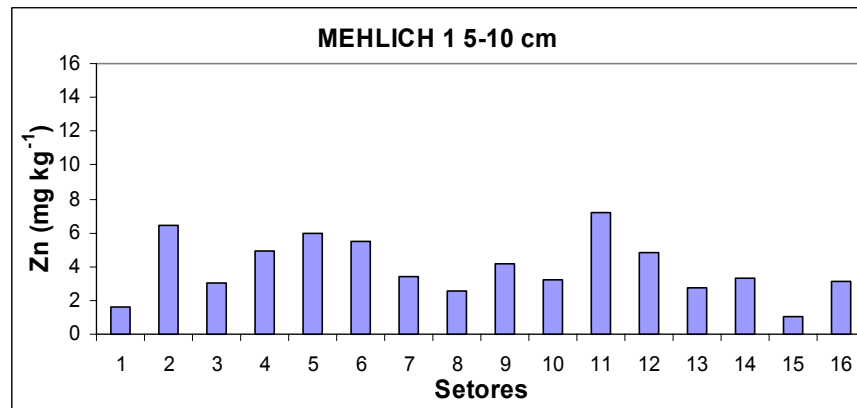


GRÁFICO 22– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn NOS SETORES CIRCULARES EXTRAÍDO POR DTPA, REPRESENTANDO A VARIABILIDADE HORIZONTAL DOS TEORES DE Zn PARA A PROFUNDIDADES 5 A 10 CM.

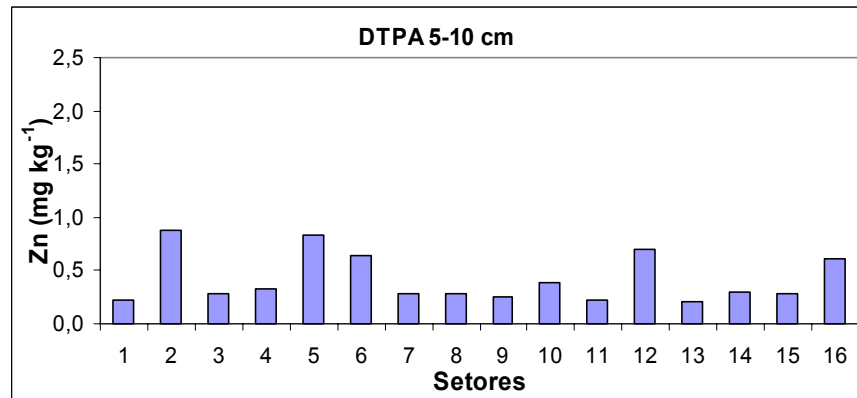


GRÁFICO 23– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn NOS SETORES CIRCULARES POR EXTRAÇÃO TOTAL, REPRESENTANDO A VARIABILIDADE HORIZONTAL DOS TEORES DE Zn PARA A PROFUNDIDADES 10 A 15 CM.

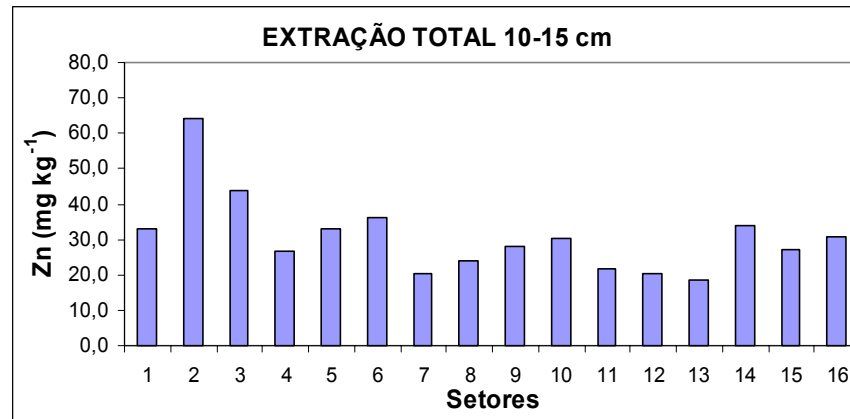


GRÁFICO 24– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn NOS SETORES CIRCULARES EXTRAÍDO POR MEHLICH 1, REPRESENTANDO A VARIABILIDADE HORIZONTAL DOS TEORES DE Zn PARA A PROFUNDIDADES 10 A 15 CM.

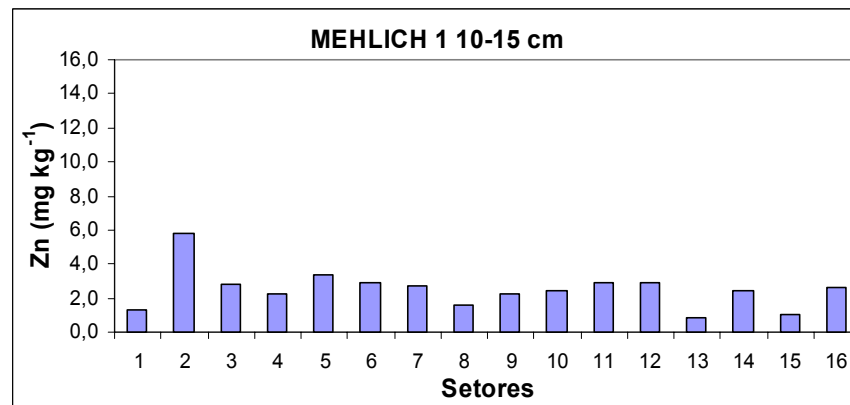


GRÁFICO 25– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn NOS SETORES CIRCULARES EXTRAÍDO POR DTPA, REPRESENTANDO A VARIABILIDADE HORIZONTAL DOS TEORES DE Zn PARA A PROFUNDIDADES 10 A 15 CM.

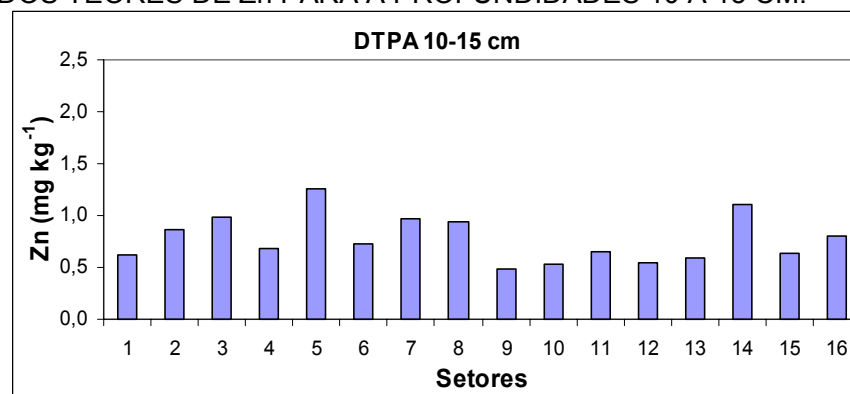


GRÁFICO 26– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn NOS SETORES CIRCULARES POR EXTRAÇÃO TOTAL, REPRESENTANDO A VARIABILIDADE HORIZONTAL DOS TEORES DE Zn PARA A PROFUNDIDADES 45 A 50 CM.

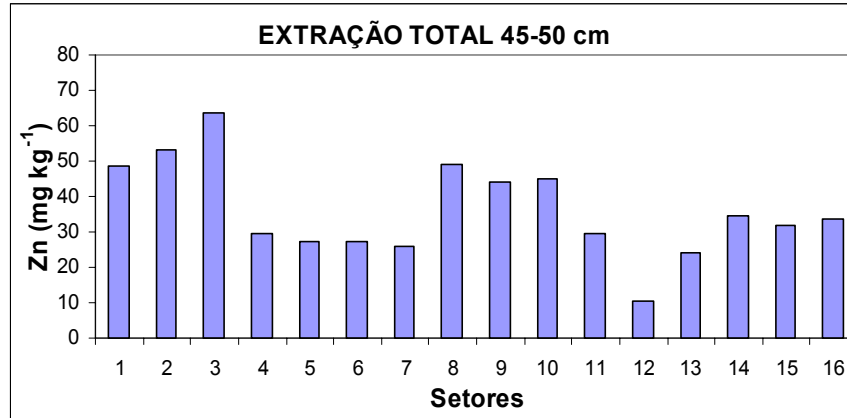


GRÁFICO 27– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn NOS SETORES CIRCULARES EXTRAÍDO POR MEHLICH 1, REPRESENTANDO A VARIABILIDADE HORIZONTAL DOS TEORES DE Zn PARA A PROFUNDIDADES 45 A 50 CM.

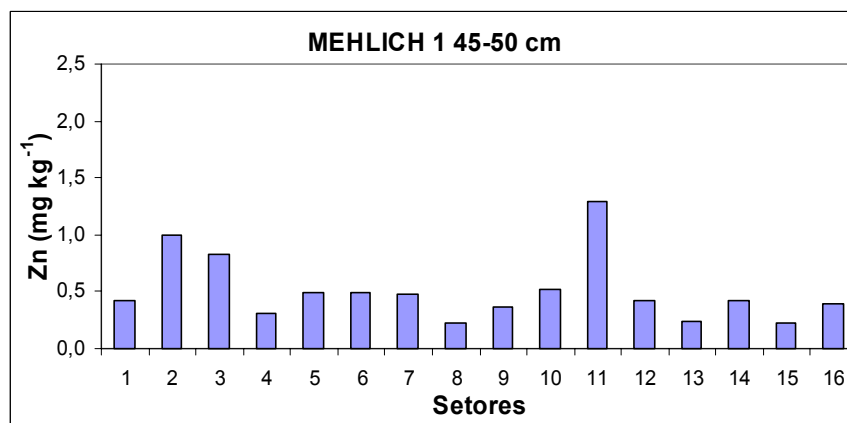
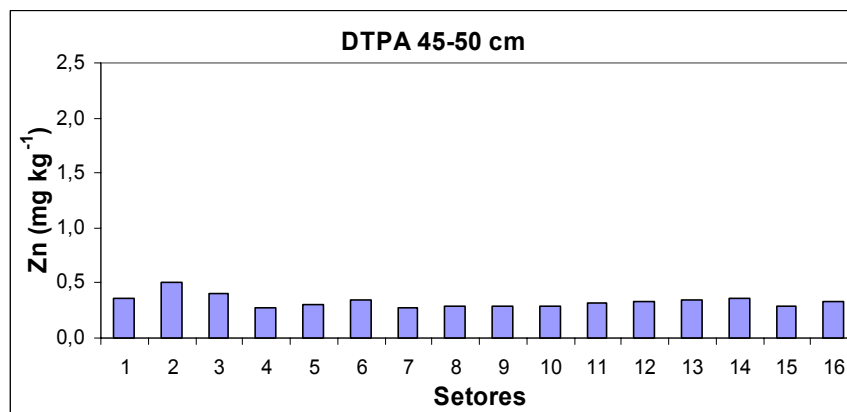


GRÁFICO 28– CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE Zn NOS SETORES CIRCULARES EXTRAÍDO POR DTPA, REPRESENTANDO A VARIABILIDADE HORIZONTAL DOS TEORES DE Zn PARA A PROFUNDIDADES 45 A 50 CM.



**Variabilidade horizontal dos teores de Zn relativa à dominância do fluxo de massas de ar.**

Por meio do uso de escala compatível e radialmente disposta, foram concebidos os Gráficos 30 a 32 com o intuito de permitir a visualização, ao mesmo tempo, da variabilidade espacial (horizontal e vertical) dos teores extraíveis de Zn com a direção predominante dos fluxos de massas de ar (Gráfico 29). Conjectura-se assim que os teores de Zn do setor 9 e do setor 10 para diferentes profundidades e extratores deveriam estar relacionados ao fluxo de ventos nessa direção, no entanto, conforme o que já foi dito anteriormente, existe uma consistência entre esses valores e os extraídos totalmente do solo desses setores, indicando assim que estes teores não estão relacionados com aquela fonte geradora. De acordo com os parâmetros já citados no item que trata da constituição geomorfológica da região do entorno da Companhia de Cimento Itambé, segundo MAACK (1968), essa porção de área que abriga o primeiro planalto paranaense, é composta por uma geologia constituída por filitos, calcários, quartzitos, plutoritos e granitos e que segundo MELLO (1983) o Zn pode estar presente no solo em minerais primários, e secundários como carbonatos e ainda retido na fração oxídica do solo. Deste modo, conjectura-se novamente que estes altos teores estão provavelmente relacionados à constituição primária desses solos e pouco provavelmente sejam o resultado de uma deposição de uma fonte geradora externa que poderia ser a Companhia de Cimentos Itambé em Balsa Nova, PR ou trazidos de locais remotos pelo fluxo de ventos que transpassam essa região.

GRÁFICO 29 – DIREÇÃO PREDOMINANTE DOS VENTOS QUE TRANSPASSAM PELA UNIDADE INDUSTRIAL EM Balsa Nova PR.

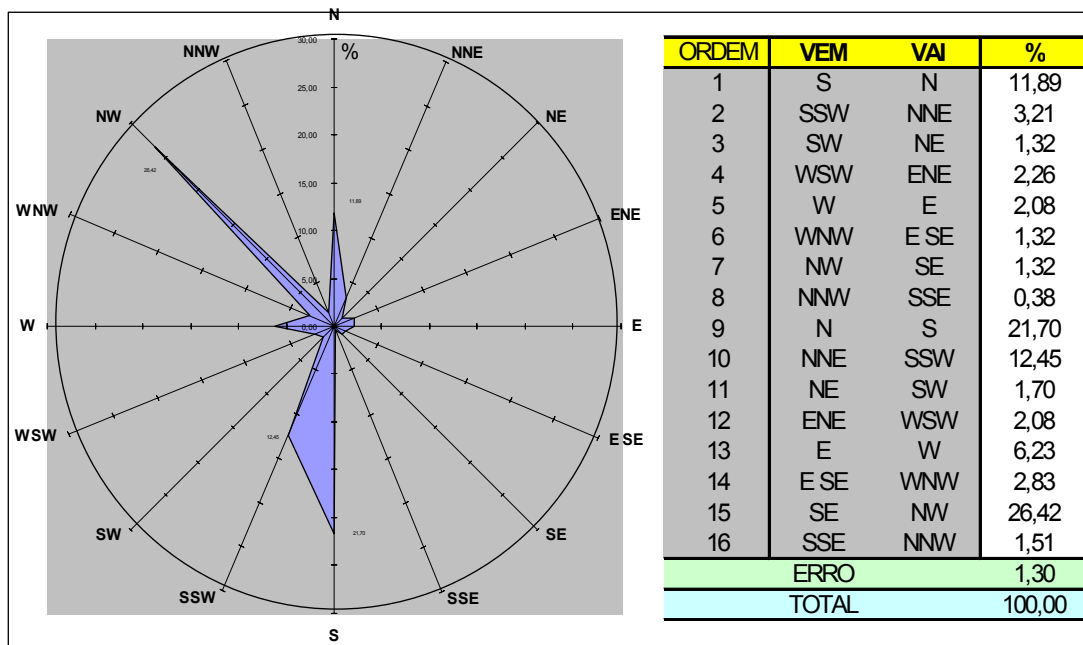


GRÁFICO 30 – COMPARAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE Zn NOS 16 SETORES CIRCULARES COM A DIREÇÃO PREDOMINANTE DOS VENTOS, POR EXTRAÇÃO TOTAL NITROPERCLÓRICA.

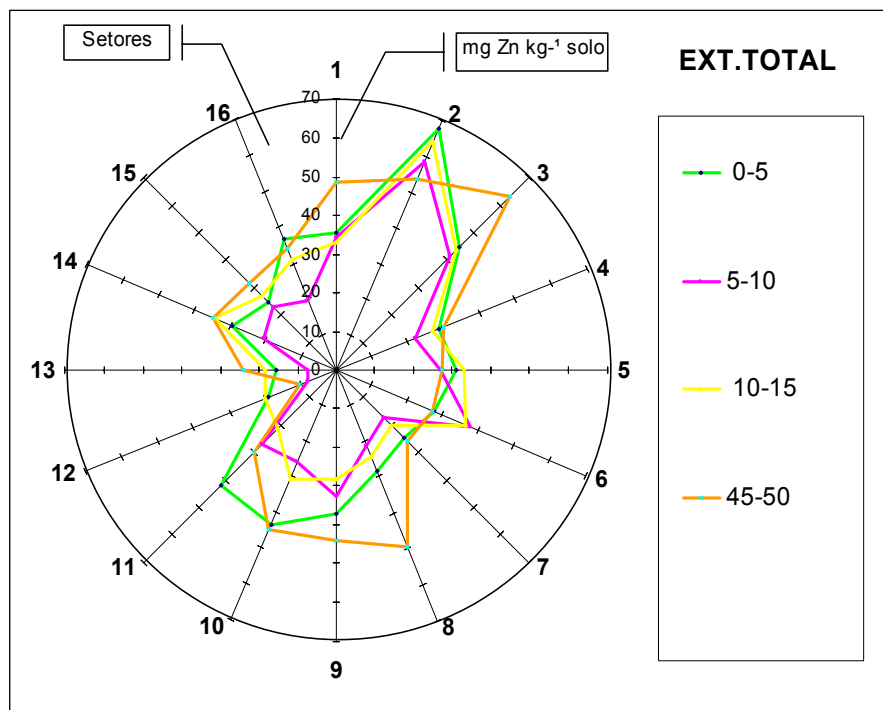


GRÁFICO 31– COMPARAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE Zn NOS 16 SETORES CIRCULARES COM A DIREÇÃO PREDOMINANTE DOS VENTOS, EXTRAÍDO POR MEHLICH 1.

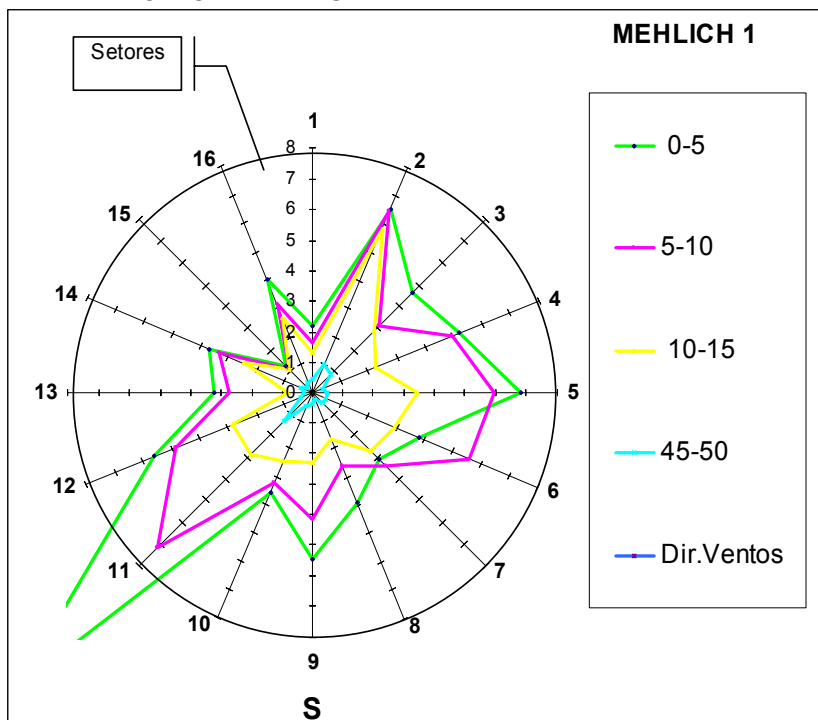
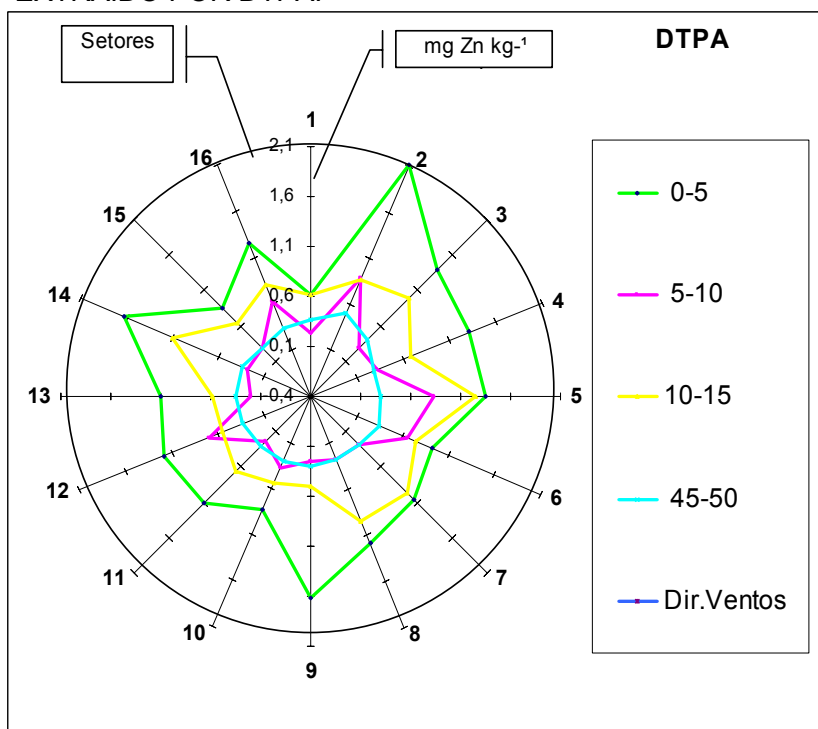


GRÁFICO 32– COMPARAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DOS TEORES DE Zn NOS 16 SETORES CIRCULARES COM A DIREÇÃO PREDOMINANTE DOS VENTOS, EXTRAÍDO POR DTPA.



## **DISTRIBUIÇÃO DIAMETRAL DOS TEORES DE Zn RELATIVOS À PLANTA INDUSTRIAL**

Com os dados obtidos referentes aos teores totais e parciais de Zn foram gerados cortes longitudinais aqui denominados “Transect” indicando a distribuição dos teores de Zn em profundidade comparados com as faixas circulares (Gráficos 33 a 40).

No Gráfico 33, está o Transect do setor 1 para setor 9 e mostra elevação dos teores de Zn entre 3 e 4 km da fábrica nos três métodos de extração, coincidentes com a direção sul (setor 9) de maior predominância dos ventos, para a profundidade 0 a 5 cm. Porém, esta tendência se repete em todas as profundidades estudadas, reforçando a tendência de relação com Zn do material de origem do solo, o que se repete no Transect do setor 2 para o setor 10 (Gráfico 34). Contudo nota-se neste um alto teor de Zn entre 2 e 3 km da fábrica no setor 2 por extração total, relacionando estes com o material de origem.

O Transect do setor 3 para o 11 (Gráfico 35) mostra Zn elevado no setor 11 a 2 km da fábrica. Estes valores permanecem elevados em todas as profundidades e métodos de extração. O setor 11 segue em direção à Escarpa a 2 km da fábrica e algumas estações de amostragens situam-se às margens da Rodovia BR 277 e portanto isto sugere que o solo está sujeito a influências que podem elevar o teor de Zn, mesmo em extração parcial, ou devido à sua formação geológica. Isto é confirmado pelos teores de Zn extraídos totalmente do solo. Não existe predominância de ventos

para esse setor, portanto é pouco provável a existência de carreamento de material particulado.

No Transect 4-12 (Gráfico 36) há elevação de Zn no setor 4, a menos de 1 km da fábrica por Extração Total e Mehlich 1, não ocorrendo por extração pelo DTPA. Isto pode ter ocorrido devido à menor capacidade de extração do DTPA frente aos diferentes valores possíveis de pH dos solos desse setor, normalmente de pH baixo. O setor 4 possui uma das menores incidências de predominância de ventos (Gráfico 29), o que sugere que se deve a outras fontes de Zn do solo. Há altos teores de Zn no setor 12 a 2 km da fábrica, na base da encosta. A partir desse ponto o teor de Zn é uniforme e já no segundo planalto paranaense.

O setores 5 e 6, (Gráficos 37 e 38), mostram elevação de Zn a 1 km da fábrica, local onde não há predominância do vento (Gráfico 29), portanto o Zn encontrado pode ser de outras fontes que não a planta industrial. Os níveis de Zn se mantêm elevados até o limite da área estudada, e suas localizações em áreas urbanas sugerem possíveis influências de diversas fontes geradoras da cidade de Campo Largo.

Para o setor 14 (Gráfico 37), observa-se distribuição semelhante ao Gráfico 36 no setor 12. Isto pode ser devido a seu alinhamento às margens da escarpa, reforçado pela baixa influência dos ventos neste setor.

Nos setores 15 e 16 nota-se nos Transects dos Gráficos 39 e 40 que estes exibem uma grande variabilidade nos teores de Zn ao longo dos 10 km de raio estudados. De acordo com a Tabela 10, é uma região com predominância de capoeiras e pequenas áreas agrícolas. Possui um relevo muito acidentado, com grandes variações de declividade e portanto muito susceptível à erosão freqüente e

deposições em fundo de vales. Isto pode ter influência direta nos teores de Zn encontrado e explica os picos indicados nos Gráficos 39 e 40.

Há uma maior influência nas concentrações de Zn a oeste da fábrica onde existe a encosta da Escarpa de São Luiz do Purunã e a BR 277 em seus dois sentidos e também a leste da fábrica onde está a cidade de Campo Largo.

GRÁFICO 33 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE Zn EXTRAÍDO DE FORMA TOTAL E PARCIAL DO SETOR 1 E SEU SETOR OPOSTO 9, PARA TODAS AS PROFUNDIDADES DA ÁREA CIRCULAR SOB INFLUÊNCIA DA PLANTA INDUSTRIAL (TRANSECT).

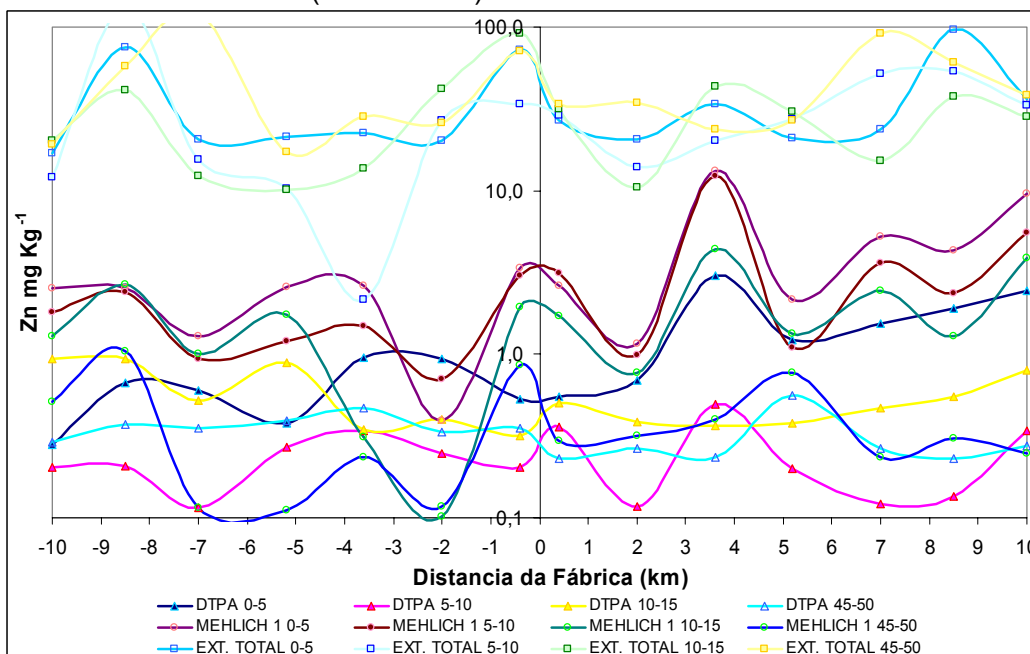


GRÁFICO 34 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE Zn EXTRAÍDO DE FORMA TOTAL E PARCIAL DO SETOR 2 E SEU SETOR OPOSTO 10, PARA TODAS AS PROFUNDIDADES DA ÁREA CIRCULAR SOB INFLUÊNCIA DA PLANTA INDUSTRIAL (TRANSECT).

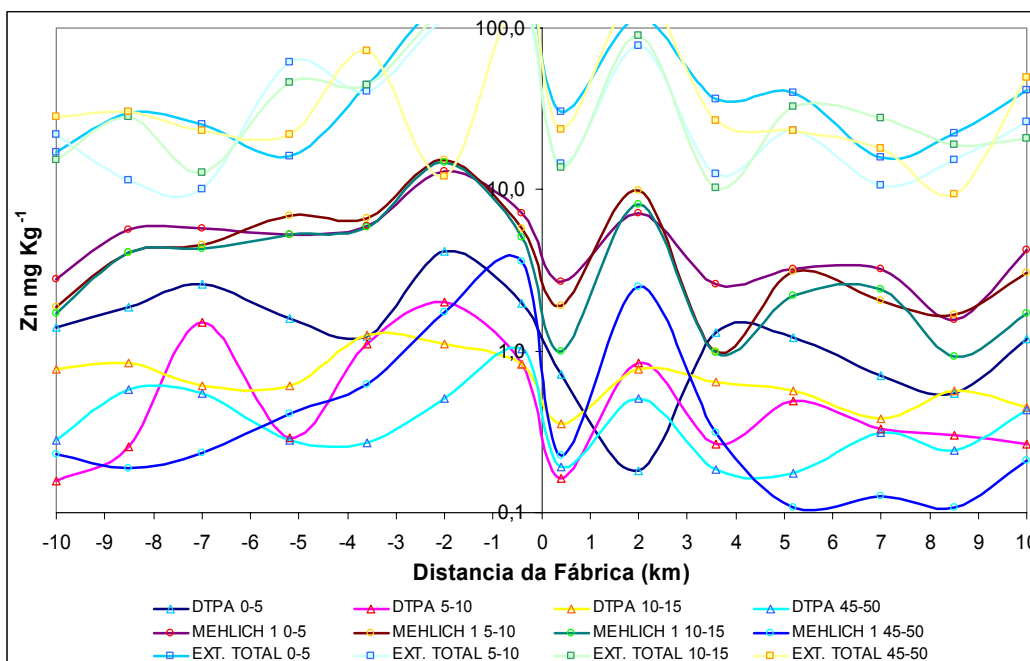


GRÁFICO 35 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE Zn EXTRAÍDO DE FORMA TOTAL E PARCIAL DO SETOR 3 E SEU SETOR OPOSTO 11, PARA TODAS AS PROFUNDIDADES DA ÁREA CIRCULAR SOB INFLUÊNCIA DA PLANTA INDUSTRIAL (TRANSECT).

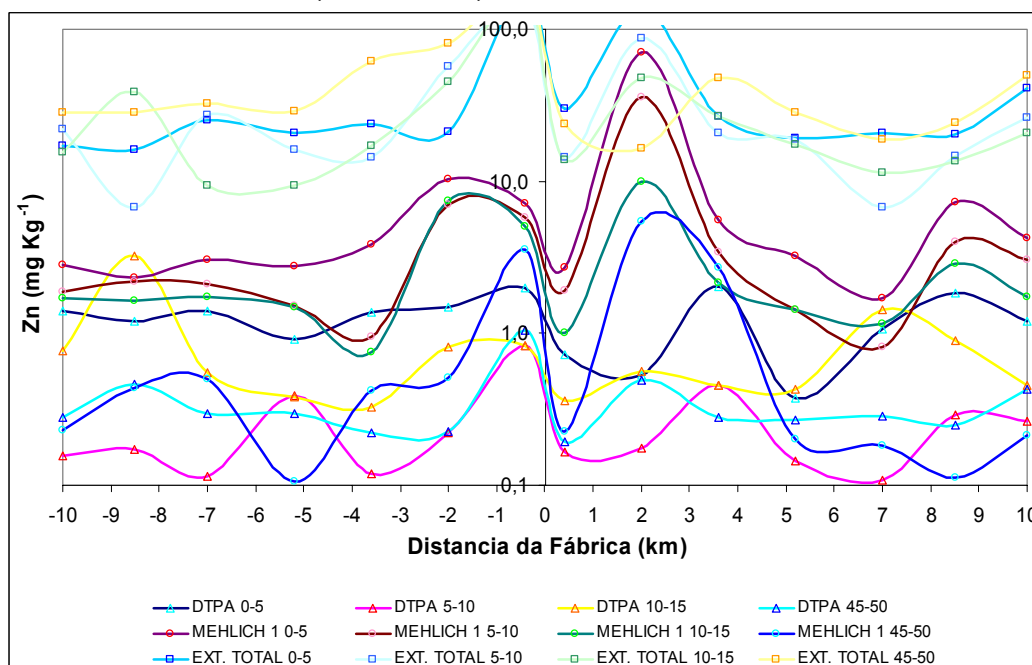


GRÁFICO 36 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE Zn EXTRAÍDO DE FORMA TOTAL E PARCIAL DO SETOR 4 E SEU SETOR OPOSTO 12, PARA TODAS AS PROFUNDIDADES DA ÁREA CIRCULAR SOB INFLUÊNCIA DA PLANTA INDUSTRIAL (TRANSECT).

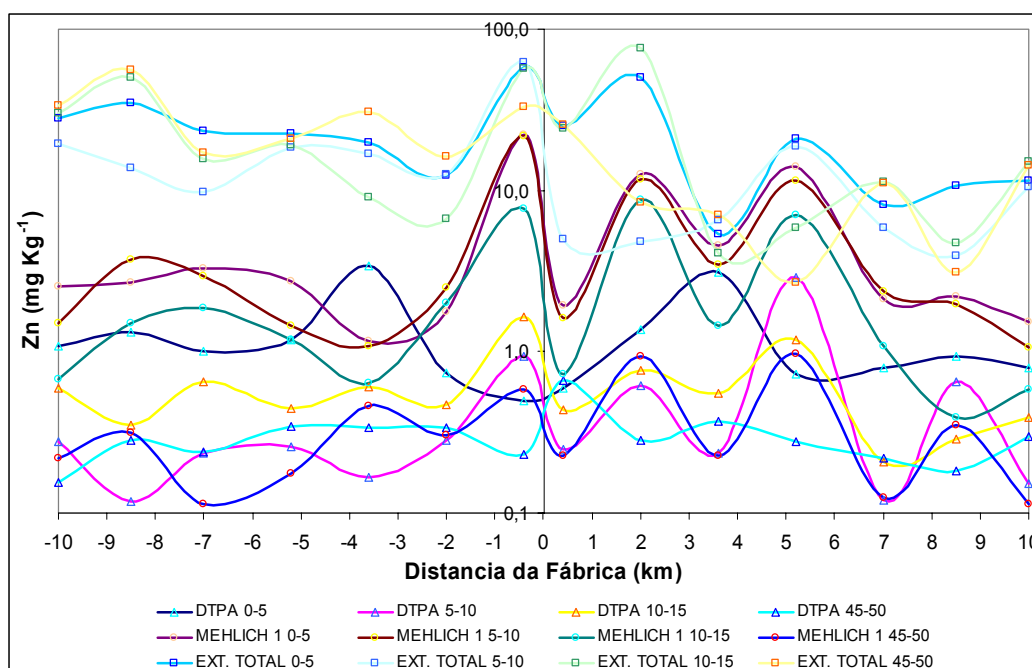


GRÁFICO 37 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE Zn EXTRAÍDO DE FORMA TOTAL E PARCIAL DO SETOR 5 E SEU SETOR OPOSTO 13, PARA TODAS AS PROFUNDIDADES DA ÁREA CIRCULAR SOB INFLUÊNCIA DA PLANTA INDUSTRIAL (TRANSECT).

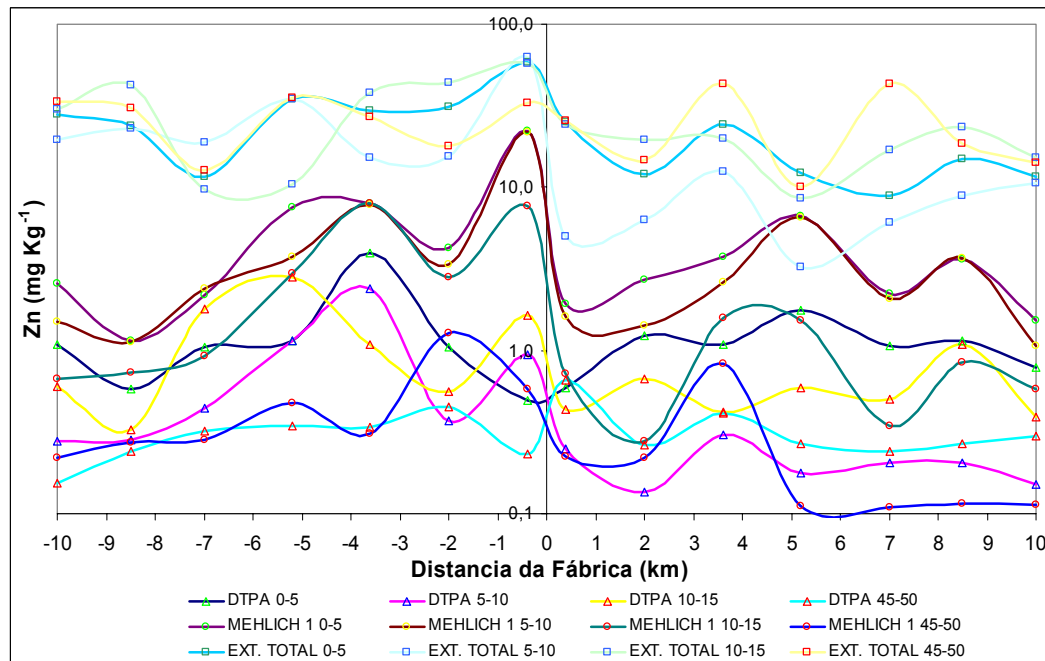


GRÁFICO 38 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE Zn EXTRAÍDO DE FORMA TOTAL E PARCIAL DO SETOR 6 E SEU SETOR OPOSTO 14, PARA TODAS AS PROFUNDIDADES DA ÁREA CIRCULAR SOB INFLUÊNCIA DA PLANTA INDUSTRIAL (TRANSECT).

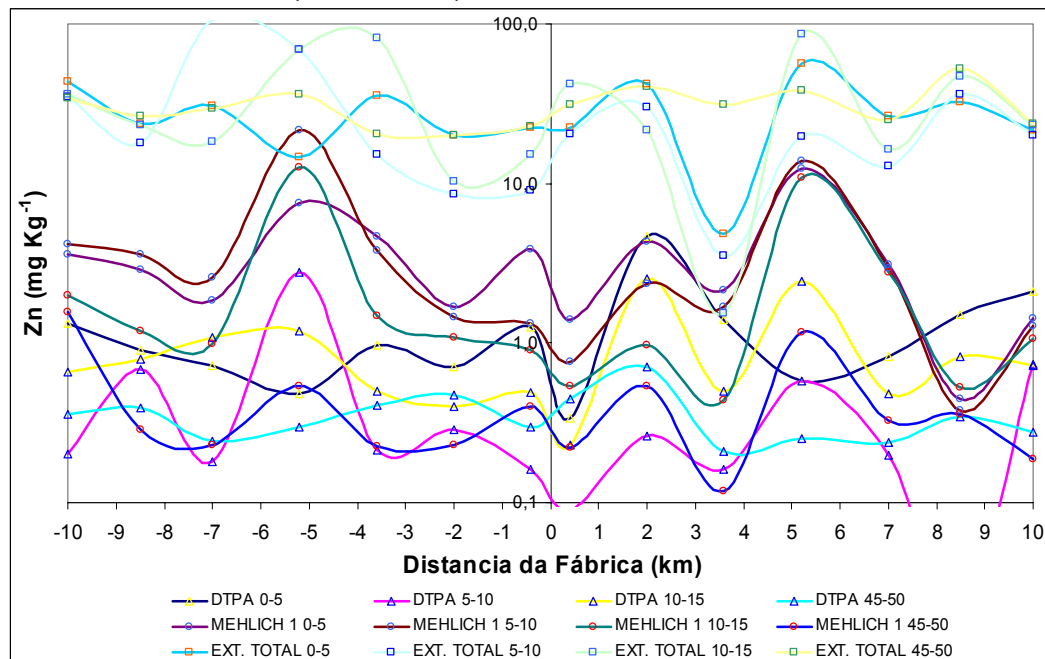


GRÁFICO 39 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE Zn EXTRAÍDO DE FORMA TOTAL E PARCIAL DO SETOR 7 E SEU SETOR OPOSTO 15, PARA TODAS AS PROFUNDIDADES DA ÁREA CIRCULAR SOB INFLUÊNCIA DA PLANTA INDUSTRIAL (TRANSECT).

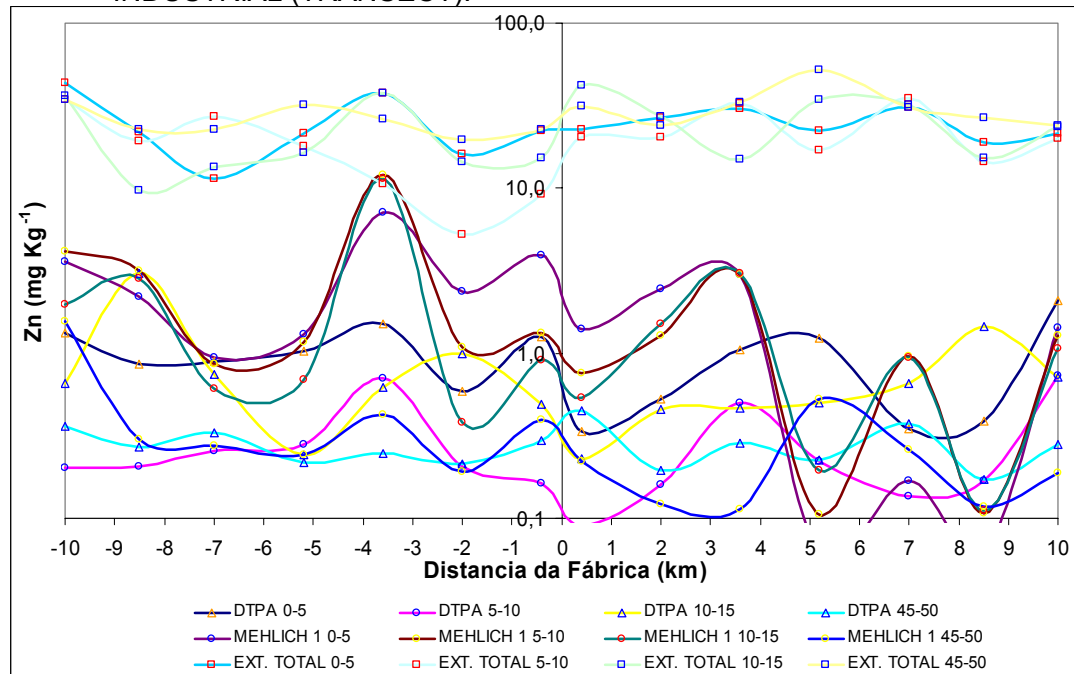
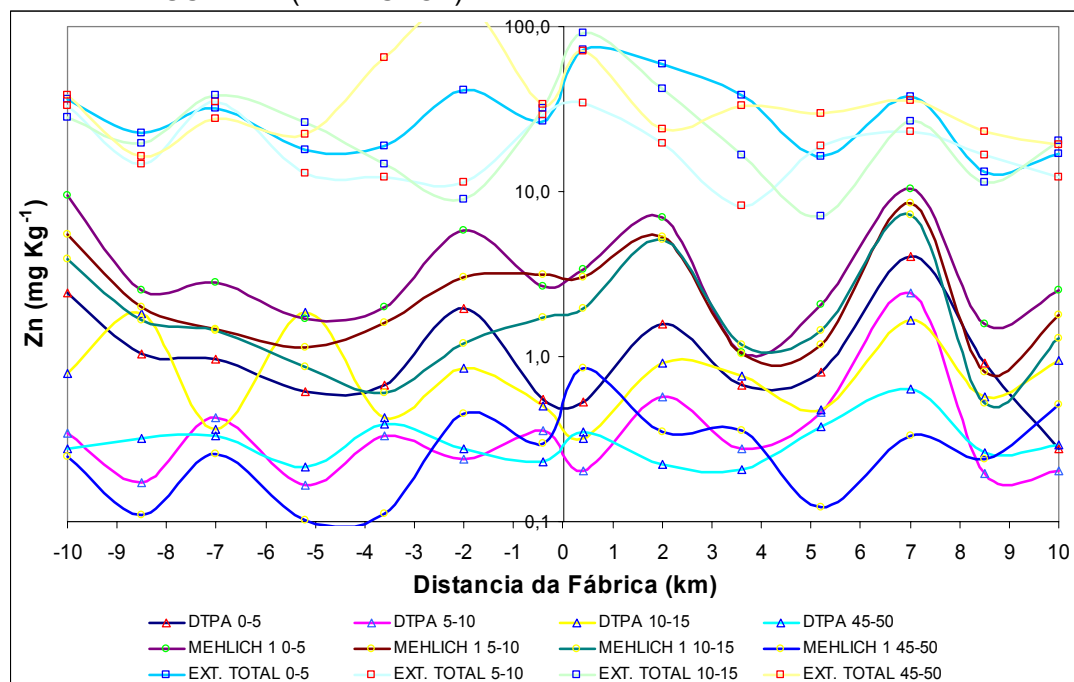


GRÁFICO 40 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE Zn EXTRAÍDO DE FORMA TOTAL E PARCIAL DO SETOR 8 E SEU SETOR OPOSTO 16, PARA TODAS AS PROFUNDIDADES DA ÁREA CIRCULAR SOB INFLUÊNCIA DA PLANTA INDUSTRIAL (TRANSECT).



## CONCLUSÕES

Apesar de não se ter conseguido relacionar os teores de Zn da área estudada à suas fontes, em razão da variabilidade geomorfológica, geológica, pedológica, vegetacional, demográfica e de uso (humano ou natural), conclui-se que este elemento traço pode se constituir em um importante instrumento para ser utilizado como indicador dos padrões de distribuição de contaminantes emitidos por plantas de cimento (e outras unidades industriais correlatas) quando estes a eles estiverem associados, e quando sua massa total emitida causar significativa elevação dos teores normalmente encontrados no ambiente, particularmente daqueles da superfície dos solos parcialmente extraíveis e portanto passíveis de virem a se tornar biodisponíveis.

Portanto, quando do uso do solo para se avaliar o efeito integrado temporal da emissão de poluentes, a partir de uma origem, associados a “metais pesados” tais como o zinco, à atmosfera com subsequente sedimentação e acúmulo na superfície dos solos deve-se utilizar para seu monitoramento de diferentes métodos de extração de modo a possibilitar a compreensão de como as frações de determinada espécie química estaria contribuindo para a alteração daquela e de outras dos solos de seu entorno.

Também, ainda que hajam muitas imperfeições na metodologia concebida neste trabalho, para se avaliar os efeitos da atividade de produção de cimento e de co-processamento de resíduos industriais perigosos sobre o ambiente de seu entorno, para por meio do monitoramento de seus solos, estabelecer critérios para a qualidade

do ar, conclui-se que tal metodologia pode-se constituir em importante instrumento para a compreensão dos efeitos que determinada atividade vem exercendo sobre a atmosfera (efeito de curtíssimo prazo), sobre o solo (efeito cumulativo de longo prazo) e sobre a água (decorrente dos efeitos sobre a atmosfera e solo). Para seu uso no entanto esta deverá ser ajustada e refinada de forma a considerar para cada situação enfrentada, o balanço de massa, o histórico do empreendimento e os dados sobre o meio físico e atividades humanas de seu entorno.

## REFERÊNCIAS

- ABDEL-SABOUR, M.F. MORTVEDT, J.J. e KELSOE, J.J. **Cadmium-zinc interactions in plants and extractable cadmium and zinc fractions in soil.** *Soil Sci.*, [S.I.,S.N.], 1988 p. 145-146, p. 424-431.
- ANDRADE, [S.I.] **Relatório de impacto ambiental** – RIMA Companhia de Cimento Itambé, não publicado, Curitiba PR, 1999, p. 153
- BAKER,D.E. AMACHER, M.C. **Nickel, Copper, Zinc and Cadmium. Methods of Soil Analysis.** Part 2, , Madison, Wisconsin, EUA. Soil Science of America, American Society of Agronomy, Chemical and Microbiological Properties, Series: 9, p. 323-327
- BARELLA Jr., S. **Co-processamento de resíduos industriais em fornos de cimento** Revista Brasileira de Engenharia Química. São Paulo SP, ABEQ, 1993: v. 8 nº 02 p. 22-25.
- BERNOIT, M.R. **Tratamento e destruição de resíduos perigosos em fornos de cimento Portland** Revista Brasileira de Engenharia Química, São Paulo/SP, ABEQ, 1993: v. 8, nº 02 p.10-16.
- BRASIL, CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, dezembro/2001 [www.mma.gov.br/port/conama/](http://www.mma.gov.br/port/conama/) ,
- BRASIL, CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução nº 264, Brasília, 1999; [www.mma.gov.br/port/conama/](http://www.mma.gov.br/port/conama/) ,
- COX, F. R. e KONPRATH, E. J. **Micronutrient soil test.** In: MORTVETD, J.J., GIORDANO, P. M. and LINDSAY, W. L. (ed). **Micronutrient in Agriculture.** SSSA. Amer. Madison. WI., EUA [S.N.], 1972.
- EMBRAPA. 1979 **Manual de métodos de análise de solo.** Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro, Brasil, [S.I.,S.N.], [199-]
- FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. da. **Micronutrientes na Agricultura**, Associação Brasileira para e Pesquisa da Potassa e do Fosfato., Piracicaba, SP ABPPF, 1991: p. 734
- GOMES, P.C. **Extração fracionada de metais pesados em Latossolo Vermelho-Amarelo.**, Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, SP SBCS,1997: v. 21 nº 04 p. 543-551.

HITCKEY, M.G. & KITTRICK, J. A. **Chemical partitioning of cadmium, copper, nickel and zinc in soils and sediments containing high levels of heavy metals.** J. Environ. Qual., Madison, [S.N.] 1984: p. 17-20: 239-246.

KOEHLER, H. S., et al., **Experimentação Agrícola**, Não Publicado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba PR, 1992, p. 65.

LARACH, J. O. I. et al. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Paraná**, Curitiba, EMBRAPA, 1984: p. 791.

LINDSAY, W.L. AND H.A. AJWA.. **Use of MINTEQA2-A for teaching soil chemistry.** In. R.H. Loeppert, A.P. Schawaba, and S. Goldberg (ed.). Chemical equilibrium and reaction models. SSSA. ASA. Madison, WI. 1995 PP 219-239.

LINDSAY, W.L. AND W.A. NORVELL. **Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper.** Soil Sci. Soc. Am. J. 1978 42:421-428.

LUCCHESI, L.A.C. **The Effects of Two Processed Sewage Sludges on the Characteristics of Three Soils from Paraná, Brazil and the Behavior of Sludge Zinc** Tese de Doutorado, The Ohio State University, , Columbus/Ohio, USA, [S.N.] 1997.

LUCCHESI, L.A.C. **The effects of two processed sewage sludges ( N-Viro and compost ) on the characteristics of three soils from Paraná, Brazil and the behavior of zinc. A proposal.** Ohio State University, Columbus/ Ohio, EUA, [S.N.], 1994: p. 32-33.

LUND, L. J., BETTY, E. E., Page, A. L. and ELLIOTT, R. A. **Occurrence of naturally high cadmium levels in soils and its accumulation by vegetation.** Journal of Environmental Quality. [S.I.,S.N.], 1981.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná.** BADEP. Banco de Desenvolvimento do Paraná. UFPR. Universidade Federal do Paraná. IBPT. Instituto de Biologia e Pesquisas Tecnológicas. Curitiba PR 1968, Brazil. 350p.

MATOS, A.T. et al. **Mobilidade e formas de retenção de metais pesados em Latossolo Vermelho-Amarelo.**, Revista Brasileira de ciência do Solo, Campinas, SP SBCS, 1996: v.20 nº 03 p.379-386.

MELLO, F. de A. F. de. **Fertilidade no solo**, São Paulo, Nobel, 1983: p. 400.

MORAES, S. **Utilização de fornos de cimento para destruição térmica de resíduos industriais**, Revista Brasileira de Engenharia Química. São Paulo SP, ABEQ, 1993: v. 8 nº 02 p. 34 :19-21

PALMA, L., DIAS, N. L. C., **Determinação da direção predominante dos fluxos das massas de ar que traspassam a planta industrial da Cia. de Cimento Itambé**; Não Publicado, Curitiba PR, 2000.

PARANÁ, COMEC – Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba, Dezembro/2001 [www.pr.gov.br/comec/dircomec.html](http://www.pr.gov.br/comec/dircomec.html)

PARANÁ.. **Atlas do Estado do Paraná**. SEAB. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. ITCF. Instituto de Terras e Cartografia e Florestas. UFPR. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR Brazil 1987. 73 p.

PAVAN, M. A. et al. **Manual de Análise química do solo e controle de qualidade**.. Londrina, IAPAR 1992: p. 40.

RAIJ, B. van. **Análise química do solo para fins de fertilidade**, Campinas, SP Fundação Cargill, 1987: p. 170.

REED, S.T. MARTENS, D.C. **Methods of Soil Analysis**, Number 3, , Madison, Wisconsin, USA. Soil Science of America, American Society of Agronomy, 1996, p. 703-722

ROBSON. Zinc in soils and plants. **Developments in plant and soil sciences**, Kluwer, [S.I.,S.N.], 1993.

SILVA, F.C., **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**, Brasília DF, EMBRAPA, 1999.

SOMMERS, L. E., NELSON, D. W. and YOST, K. J. **Variable nature of chemical composition of sewage sludges**. J. Environ, [S.I.,S.N.], 1976.

SPSS 10,0 Versão Demo, Outubro/2001, [www.spss.com.br/](http://www.spss.com.br/)

VIEIRA, B.M. & LUCCHESI, L.A.C. **Estabelecimento de critérios para avaliação da qualidade do ar no entorno de uma fábrica de cimento que co-processa resíduos industriais**, não publicado, Relatório técnico, Projeto PADCT III, Processo nº 03-CIAMB—01/97-03/02-41, Curitiba PR, 2000 p. 110

VIEIRA, B.M., et al., **Relatório Técnico da Cia de Cimento Itambé**, Não Publicado, Curitiba PR, 2000 p. 9

VIETS JR, F. G. and LINDSAY, W. L. **Testing soils for zinc, cooper, manganese and iron**. In: Beaton, J. D.. Soil Sci. Soc. of Am., Madison Wi, EUA, ed. Soil testing and plant analysis, 1973.

WESTERMAN, R.L. **Soil Testing and Plant Analysis**, Third Edition, , Madison, Wisconsin, USA, SSSA Book, 1990: Series: 3, p. 96-99.

WRIGHT, R. J. and STUCZYNSKI, T. **Methods of Soil Analysis**, Number 5, , Madison, WI, EUA. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, 1996.

ZOTELI, A. & DIAS, N.L. **Modelagem e monitoramento de atmosfera no entorno de uma fábrica que co-processa resíduos industriais**. Projeto de dissertação de mestrado UFPR, Pós-graduação em agronomia na Área de Concentração Ciência do Solo , não publicada, Curitiba PR, 2000, p. 32

## ANEXOS

ANEXO 1: Teores de Zn em 3 repetições determinado por extração total e parcial do solo.

| Nº<br>TUBO | Extração Total Nitro-perclórica |       |                     |        |        | Extrator de Mehlich 1 |                     |       |       |       | Extrator DTPA       |      |      |       |  |
|------------|---------------------------------|-------|---------------------|--------|--------|-----------------------|---------------------|-------|-------|-------|---------------------|------|------|-------|--|
|            |                                 |       | Zn no Solo          |        |        |                       | Zn no Solo          |       |       |       | Zn no Solo          |      |      |       |  |
|            | Setor                           | Faixa | R 1                 | R 2    | R 3    | MÉDIA                 | R 1                 | R 2   | R 3   | MÉDIA | R 1                 | R 2  | R 3  | MÉDIA |  |
|            |                                 |       | mg kg <sup>-1</sup> |        |        |                       | mg kg <sup>-1</sup> |       |       |       | mg kg <sup>-1</sup> |      |      |       |  |
| 1          | 1                               | B     | 20,91               | 17,45  | 21,99  | 20,12                 | 0,39                | 0,39  | 0,40  | 0,39  | 0,93                | 0,96 | 0,93 | 0,94  |  |
| 2          | 16                              | D     | 15,53               | 16,56  | 16,72  | 16,27                 | 1,91                | 2,10  | 2,20  | 2,07  | 0,86                | 0,77 | 0,78 | 0,80  |  |
| 3          | 1                               | G     | 17,40               | 15,15  | 18,12  | 16,89                 | 2,33                | 2,63  | 2,65  | 2,54  | 0,28                | 0,31 | 0,24 | 0,28  |  |
| 4          | 3                               | A     | 186,50              | 186,82 | 193,81 | 189,05                | 7,56                | 7,03  | 6,88  | 7,16  | 1,96                | 2,05 | 1,94 | 1,98  |  |
| 5          | 3                               | D     | 21,43               | 22,61  | 18,68  | 20,91                 | 2,58                | 2,85  | 2,86  | 2,76  | 1,00                | 0,89 | 0,87 | 0,92  |  |
| 6          | 3                               | G     | 19,03               | 15,60  | 16,52  | 17,05                 | 2,79                | 2,48  | 3,11  | 2,79  | 1,47                | 1,31 | 1,42 | 1,40  |  |
| 7          | 5                               | A     | 65,44               | 53,56  | 56,42  | 58,47                 | 22,96               | 21,39 | 21,70 | 22,01 | 0,49                | 0,54 | 0,47 | 0,50  |  |
| 8          | 4                               | D     | 21,50               | 23,12  | 23,16  | 22,59                 | 2,66                | 3,06  | 2,49  | 2,74  | 1,19                | 1,25 | 1,14 | 1,19  |  |
| 9          | 5                               | G     | 28,65               | 24,04  | 31,45  | 28,04                 | 2,70                | 2,52  | 2,46  | 2,56  | 1,12                | 1,10 | 1,03 | 1,08  |  |
| 10         | 7                               | A     | 23,90               | 19,46  | 24,07  | 22,47                 | 3,88                | 4,40  | 3,44  | 3,91  | 1,28                | 1,28 | 1,22 | 1,26  |  |
| 11         | 6                               | D     | 0,00                | 13,35  | 15,74  | 14,55                 | 7,51                | 6,91  | 8,37  | 7,60  | 0,52                | 0,44 | 0,47 | 0,48  |  |
| 12         | 7                               | G     | 42,27               | 43,47  | 45,93  | 43,89                 | 3,83                | 3,51  | 3,40  | 3,58  | 1,24                | 1,39 | 1,32 | 1,32  |  |
| 13         | 9                               | A     | 29,71               | 24,35  | 26,10  | 26,72                 | 2,57                | 2,45  | 2,92  | 2,65  | 0,54                | 0,56 | 0,56 | 0,55  |  |
| 14         | 8                               | D     | 17,06               | 17,87  | 18,50  | 17,81                 | 1,65                | 1,89  | 1,55  | 1,70  | 0,60                | 0,64 | 0,60 | 0,61  |  |
| 15         | 9                               | G     | 37,52               | 37,59  | 33,83  | 36,31                 | 8,76                | 9,96  | 9,81  | 9,51  | 2,48                | 2,49 | 2,32 | 2,43  |  |
| 16         | 11                              | A     | 29,30               | 30,70  | 30,66  | 30,22                 | 2,89                | 2,59  | 2,63  | 2,70  | 0,72                | 0,75 | 0,68 | 0,72  |  |
| 17         | 10                              | D     | 40,13               | 43,09  | 35,92  | 39,71                 | 3,20                | 2,90  | 3,62  | 3,24  | 1,27                | 1,26 | 1,14 | 1,22  |  |
| 18         | 11                              | G     | 42,26               | 44,41  | 36,14  | 40,94                 | 4,16                | 3,92  | 4,64  | 4,24  | 1,26                | 1,22 | 1,12 | 1,20  |  |
| 19         | 13                              | A     | 27,62               | 24,06  | 24,01  | 25,23                 | 1,80                | 1,97  | 2,00  | 1,92  | 0,54                | 0,64 | 0,60 | 0,59  |  |
| 20         | 12                              | D     | 20,83               | 22,96  | 18,68  | 20,82                 | 13,81               | 12,70 | 15,44 | 13,98 | 0,72                | 0,76 | 0,72 | 0,73  |  |
| 21         | 13                              | G     | 12,38               | 11,17  | 11,02  | 11,52                 | 1,44                | 1,58  | 1,60  | 1,54  | 0,80                | 0,79 | 0,78 | 0,79  |  |
| 22         | 15                              | A     | 21,49               | 24,07  | 21,94  | 22,50                 | 1,35                | 1,57  | 1,31  | 1,41  | 0,33                | 0,33 | 0,36 | 0,34  |  |
| 23         | 14                              | D     | 62,20               | 53,42  | 53,20  | 56,27                 | 12,44               | 11,36 | 13,73 | 12,51 | 0,57                | 0,58 | 0,58 | 0,58  |  |
| 24         | 15                              | G     | 24,14               | 19,98  | 20,88  | 21,67                 | 1,49                | 1,39  | 1,44  | 1,44  | 2,11                | 2,18 | 2,02 | 2,10  |  |
| 25         | 1                               | C     | 21,03               | 22,98  | 23,08  | 22,36                 | 2,54                | 2,34  | 2,93  | 2,60  | 1,03                | 0,93 | 0,92 | 0,96  |  |
| 26         | 16                              | E     | 38,85               | 41,40  | 32,45  | 37,56                 | 10,27               | 9,37  | 11,73 | 10,46 | 4,22                | 3,97 | 3,92 | 4,03  |  |
| 27         | 1                               | F     | 77,93               | 66,33  | 82,21  | 75,49                 | 2,36                | 2,70  | 2,60  | 2,55  | 0,69                | 0,68 | 0,65 | 0,67  |  |
| 28         | 3                               | B     | 0,00                | 21,87  | 20,46  | 21,16                 | 9,46                | 10,84 | 10,61 | 10,30 | 1,54                | 1,48 | 1,47 | 1,50  |  |
| 29         | 3                               | E     | 24,07               | 26,21  | 25,73  | 25,34                 | 2,96                | 2,81  | 3,32  | 3,03  | 1,48                | 1,36 | 1,33 | 1,39  |  |
| 30         | 2                               | F     | 28,76               | 32,01  | 29,35  | 30,04                 | 5,95                | 5,50  | 5,45  | 5,63  | 1,97                | 1,82 | 1,83 | 1,88  |  |
| 31         | 4                               | B     | 12,52               | 13,59  | 10,78  | 12,30                 | 1,86                | 1,72  | 1,75  | 1,77  | 0,71                | 0,76 | 0,75 | 0,74  |  |
| 32         | 4                               | E     | 25,02               | 22,43  | 22,48  | 23,31                 | 3,06                | 3,39  | 3,41  | 3,28  | 1,03                | 1,01 | 0,96 | 1,00  |  |
| 33         | 5                               | F     | 25,23               | 20,88  | 25,66  | 23,92                 | 1,06                | 1,18  | 1,19  | 1,15  | 0,57                | 0,63 | 0,53 | 0,58  |  |
| 34         | 6                               | B     | 20,73               | 17,81  | 21,76  | 20,10                 | 1,68                | 1,82  | 1,55  | 1,69  | 0,68                | 0,74 | 0,73 | 0,71  |  |
| 35         | 6                               | E     | 30,16               | 30,22  | 31,47  | 30,62                 | 1,95                | 1,78  | 1,78  | 1,84  | 0,75                | 0,72 | 0,72 | 0,73  |  |
| 36         | 7                               | F     | 22,32               | 24,10  | 19,57  | 22,00                 | 2,25                | 2,16  | 2,17  | 2,19  | 0,88                | 0,86 | 0,84 | 0,86  |  |
| 37         | 8                               | B     | 40,13               | 41,33  | 42,58  | 41,34                 | 6,12                | 5,77  | 5,51  | 5,80  | 1,94                | 1,98 | 1,97 | 1,96  |  |
| 38         | 8                               | E     | 31,69               | 31,74  | 32,41  | 31,95                 | 2,55                | 2,92  | 2,95  | 2,81  | 0,92                | 1,06 | 0,91 | 0,96  |  |
| 39         | 9                               | F     | 98,05               | 105,27 | 86,48  | 96,60                 | 4,60                | 4,24  | 4,20  | 4,35  | 1,89                | 1,94 | 1,88 | 1,90  |  |
| 40         | 10                              | B     | 114,78              | 116,62 | 117,44 | 116,28                | 7,45                | 6,91  | 7,01  | 7,12  | 0,18                | 0,18 | 0,18 | 0,18  |  |
| 41         | 10                              | E     | 14,74               | 16,51  | 16,03  | 15,76                 | 2,96                | 3,33  | 3,40  | 3,23  | 0,69                | 0,72 | 0,72 | 0,71  |  |
| 42         | 11                              | F     | 22,42               | 18,71  | 19,94  | 20,36                 | 7,15                | 6,68  | 8,04  | 7,29  | 1,81                | 1,84 | 1,88 | 1,84  |  |

CONTINUA

| Nº<br>TUBO | Extração Total Nitro-perclórica |       |                     |        |        | Extrator de Mehlich 1 |                     |       |       | Extrator DTPA |                     |      |      |       |
|------------|---------------------------------|-------|---------------------|--------|--------|-----------------------|---------------------|-------|-------|---------------|---------------------|------|------|-------|
|            |                                 |       | Zn no Solo          |        |        |                       | Zn no Solo          |       |       |               | Zn no Solo          |      |      |       |
|            | Setor                           | Faixa | R 1                 | R 2    | R 3    | MÉDIA                 | R 1                 | R 2   | R 3   | MÉDIA         | R 1                 | R 2  | R 3  | MÉDIA |
|            |                                 |       | mg kg <sup>-1</sup> |        |        |                       | mg kg <sup>-1</sup> |       |       |               | mg kg <sup>-1</sup> |      |      |       |
| 43         | 12                              | B     | 51,78               | 43,98  | 55,15  | 50,30                 | 12,27               | 14,02 | 11,18 | 12,49         | 1,39                | 1,35 | 1,34 | 1,36  |
| 44         | 12                              | E     | 8,38                | 6,52   | 9,44   | 8,11                  | 2,25                | 2,05  | 2,07  | 2,12          | 0,84                | 0,78 | 0,75 | 0,79  |
| 45         | 13                              | F     | 15,44               | 13,53  | 15,76  | 14,91                 | 3,55                | 3,33  | 3,95  | 3,61          | 1,16                | 1,15 | 1,14 | 1,15  |
| 46         | 14                              | B     | 45,71               | 38,81  | 40,52  | 41,68                 | 4,46                | 4,15  | 4,28  | 4,30          | 4,96                | 4,74 | 4,34 | 4,68  |
| 47         | 14                              | E     | 29,86               | 24,39  | 25,66  | 26,64                 | 3,08                | 2,81  | 3,44  | 3,11          | 0,81                | 0,82 | 0,81 | 0,81  |
| 48         | 15                              | F     | 20,07               | 16,56  | 20,39  | 19,01                 | 0,19                | 0,00  | 0,00  | 0,06          | 0,39                | 0,42 | 0,36 | 0,39  |
| 49         | 1                               | A     | 74,93               | 79,61  | 61,71  | 72,08                 | 3,57                | 3,31  | 3,27  | 3,38          | 0,53                | 0,51 | 0,55 | 0,53  |
| 50         | 1                               | D     | 21,58               | 19,23  | 22,67  | 21,16                 | 2,54                | 2,30  | 2,89  | 2,58          | 0,37                | 0,40 | 0,36 | 0,38  |
| 51         | 16                              | F     | 13,79               | 11,51  | 14,16  | 13,15                 | 1,61                | 1,58  | 1,52  | 1,57          | 0,92                | 0,94 | 0,89 | 0,92  |
| 52         | 3                               | C     | 23,16               | 23,19  | 24,83  | 23,73                 | 4,05                | 3,83  | 3,70  | 3,86          | 1,35                | 1,35 | 1,38 | 1,36  |
| 53         | 2                               | D     | 0,00                | 11,69  | 20,38  | 16,03                 | 5,61                | 5,09  | 5,18  | 5,29          | 1,65                | 1,51 | 1,64 | 1,60  |
| 54         | 3                               | F     | 16,85               | 17,77  | 13,52  | 16,05                 | 2,45                | 2,21  | 2,27  | 2,31          | 1,20                | 1,26 | 1,13 | 1,20  |
| 55         | 4                               | C     | 21,73               | 18,51  | 19,00  | 19,74                 | 1,08                | 1,24  | 1,16  | 1,16          | 3,44                | 3,31 | 3,37 | 3,37  |
| 56         | 5                               | D     | 36,36               | 30,05  | 38,28  | 34,89                 | 6,92                | 7,93  | 7,91  | 7,59          | 1,20                | 1,12 | 1,14 | 1,15  |
| 57         | 4                               | F     | 39,08               | 31,74  | 33,29  | 34,71                 | 2,67                | 2,95  | 2,44  | 2,68          | 1,36                | 1,35 | 1,26 | 1,32  |
| 58         | 6                               | C     | 34,85               | 35,90  | 35,56  | 35,44                 | 4,63                | 5,11  | 4,26  | 4,67          | 1,02                | 0,96 | 0,92 | 0,97  |
| 59         | 7                               | D     | 20,56               | 21,53  | 21,86  | 21,32                 | 1,27                | 1,43  | 1,19  | 1,30          | 1,03                | 1,07 | 0,98 | 1,03  |
| 60         | 6                               | F     | 22,56               | 24,15  | 24,40  | 23,70                 | 2,82                | 3,22  | 2,55  | 2,87          | 0,90                | 0,93 | 0,88 | 0,90  |
| 61         | 8                               | C     | 18,27               | 19,72  | 18,81  | 18,93                 | 1,95                | 1,79  | 2,20  | 1,98          | 0,64                | 0,71 | 0,64 | 0,67  |
| 62         | 9                               | D     | 19,99               | 22,03  | 20,76  | 20,93                 | 2,14                | 2,43  | 1,93  | 2,17          | 1,26                | 1,18 | 1,24 | 1,23  |
| 63         | 8                               | F     | 22,95               | 24,21  | 20,13  | 22,43                 | 2,66                | 2,53  | 2,39  | 2,53          | 1,09                | 1,00 | 1,05 | 1,05  |
| 64         | 10                              | C     | 35,30               | 36,99  | 36,35  | 36,21                 | 2,52                | 2,82  | 2,42  | 2,59          | 1,29                | 1,34 | 1,27 | 1,30  |
| 65         | 11                              | D     | 19,10               | 19,13  | 19,46  | 19,23                 | 3,47                | 3,14  | 3,12  | 3,25          | 0,34                | 0,41 | 0,38 | 0,38  |
| 66         | 10                              | F     | 21,48               | 23,19  | 22,43  | 22,37                 | 1,44                | 1,59  | 1,64  | 1,56          | 0,57                | 0,57 | 0,52 | 0,55  |
| 67         | 12                              | C     | 5,64                | 5,65   | 4,73   | 5,34                  | 4,50                | 4,17  | 4,98  | 4,55          | 3,17                | 3,09 | 3,06 | 3,11  |
| 68         | 13                              | D     | 12,88               | 12,90  | 10,81  | 12,20                 | 6,44                | 6,06  | 7,38  | 6,63          | 1,77                | 1,82 | 1,71 | 1,77  |
| 69         | 12                              | F     | 10,37               | 11,43  | 10,54  | 10,78                 | 2,16                | 2,44  | 1,93  | 2,18          | 0,88                | 0,95 | 0,97 | 0,93  |
| 70         | 14                              | C     | 4,41                | 5,31   | 4,90   | 4,87                  | 2,27                | 2,05  | 2,08  | 2,13          | 1,49                | 1,43 | 1,28 | 1,40  |
| 71         | 15                              | D     | 22,80               | 19,59  | 24,90  | 22,43                 | 0,19                | 0,00  | 0,00  | 0,06          | 1,25                | 1,20 | 1,26 | 1,24  |
| 72         | 14                              | F     | 32,78               | 36,12  | 28,43  | 32,44                 | 0,38                | 0,48  | 0,48  | 0,45          | 1,48                | 1,54 | 1,52 | 1,51  |
| 73         | 16                              | B     | 57,14               | 59,15  | 61,59  | 59,29                 | 6,79                | 7,57  | 6,40  | 6,92          | 1,57                | 1,52 | 1,61 | 1,57  |
| 74         | 1                               | E     | 20,63               | 21,70  | 19,19  | 20,51                 | 1,19                | 1,39  | 1,28  | 1,29          | 0,61                | 0,56 | 0,62 | 0,60  |
| 75         | 2                               | B     | 158,07              | 134,41 | 162,64 | 151,70                | 13,61               | 12,63 | 12,70 | 12,98         | 4,07                | 4,32 | 4,09 | 4,16  |
| 76         | 2                               | E     | 27,39               | 23,54  | 24,61  | 25,18                 | 5,66                | 5,15  | 6,47  | 5,76          | 2,68                | 2,73 | 2,43 | 2,61  |
| 77         | 5                               | B     | 30,48               | 32,25  | 30,82  | 31,18                 | 4,49                | 4,20  | 4,17  | 4,29          | 1,04                | 1,11 | 0,99 | 1,05  |
| 78         | 5                               | E     | 13,14               | 10,19  | 11,23  | 11,52                 | 2,13                | 1,98  | 2,42  | 2,17          | 1,06                | 1,06 | 1,01 | 1,05  |
| 79         | 7                               | B     | 16,77               | 16,80  | 14,83  | 16,13                 | 2,33                | 2,56  | 2,19  | 2,36          | 0,60                | 0,54 | 0,61 | 0,58  |
| 80         | 7                               | E     | 12,35               | 11,14  | 10,80  | 11,43                 | 0,89                | 0,99  | 0,96  | 0,95          | 0,91                | 0,91 | 0,87 | 0,90  |
| 81         | 9                               | B     | 23,05               | 19,40  | 19,74  | 20,73                 | 1,19                | 1,27  | 1,02  | 1,16          | 0,68                | 0,70 | 0,69 | 0,69  |
| 82         | 9                               | E     | 22,66               | 25,38  | 23,44  | 23,83                 | 5,46                | 5,14  | 5,07  | 5,22          | 1,45                | 1,58 | 1,62 | 1,55  |
| 83         | 11                              | B     | 138,03              | 151,65 | 117,18 | 135,62                | 69,88               | 78,66 | 63,86 | 70,80         | 0,58                | 0,50 | 0,52 | 0,53  |
| 84         | 11                              | E     | 20,17               | 21,40  | 21,32  | 20,96                 | 1,69                | 1,54  | 1,89  | 1,71          | 0,98                | 1,20 | 1,01 | 1,06  |
| 85         | 13                              | B     | 13,70               | 11,90  | 10,52  | 12,04                 | 2,50                | 2,78  | 2,83  | 2,71          | 1,39                | 1,17 | 1,14 | 1,23  |
| 86         | 13                              | E     | 9,51                | 9,53   | 7,70   | 8,91                  | 2,18                | 1,97  | 2,55  | 2,23          | 1,05                | 1,11 | 1,02 | 1,06  |
| 87         | 15                              | B     | 28,20               | 23,80  | 28,63  | 26,87                 | 2,42                | 2,72  | 2,16  | 2,44          | 0,51                | 0,56 | 0,52 | 0,53  |
| 88         | 15                              | E     | 33,90               | 30,33  | 28,91  | 31,05                 | 0,18                | 0,20  | 0,12  | 0,17          | 0,36                | 0,35 | 0,34 | 0,35  |
| 89         | 16                              | C     | 36,55               | 39,37  | 39,45  | 38,46                 | 1,09                | 1,03  | 1,05  | 1,06          | 0,67                | 0,68 | 0,65 | 0,67  |
| 90         | 2                               | C     | 42,59               | 44,15  | 46,29  | 44,34                 | 5,49                | 6,18  | 6,10  | 5,93          | 1,28                | 1,22 | 1,19 | 1,23  |
| 91         | 5                               | C     | 28,17               | 31,77  | 28,79  | 29,58                 | 8,40                | 7,69  | 7,69  | 7,93          | 4,28                | 3,58 | 4,12 | 3,99  |
| 92         | 7                               | C     | 36,47               | 37,55  | 39,65  | 37,89                 | 6,65                | 7,37  | 7,34  | 7,12          | 1,54                | 1,49 | 1,49 | 1,51  |
| 93         | 9                               | C     | 34,45               | 36,16  | 31,21  | 33,94                 | 12,27               | 13,60 | 13,80 | 13,22         | 3,25                | 2,69 | 3,14 | 3,03  |
| 94         | 11                              | C     | 27,60               | 28,24  | 24,10  | 26,65                 | 5,51                | 5,04  | 6,18  | 5,57          | 1,97                | 2,16 | 1,93 | 2,02  |
| 95         | 13                              | C     | 27,15               | 23,80  | 22,29  | 24,41                 | 3,60                | 3,45  | 4,12  | 3,72          | 1,06                | 1,11 | 1,06 | 1,08  |
| 96         | 15                              | C     | 28,81               | 30,79  | 31,50  | 30,37                 | 2,97                | 3,26  | 2,76  | 3,00          | 1,11                | 1,04 | 0,98 | 1,04  |

ANEXO 2: TESTE TUKEY A 0,05 DE SIGNIFICÂNCIA ENTRE DIREÇÕES DE AMOSTRAGEM DE SOLO PARA A PROFUNDIDADE 0-5 cm COM EXTRAÇÃO POR DTPA. VALORES DAS MÉDIAS EXPRESSOS EM  $\text{mg.kg}^{-1}$

| PARCELA     | N        | p.=0,05      |              |              |
|-------------|----------|--------------|--------------|--------------|
| Direção     | Amostras | 1            | 2            | 3            |
| 1           | 21       | 0,6222       |              |              |
| 10          | 21       | 0,8402       | 0,8402       |              |
| 15          | 21       | 0,856        | 0,856        |              |
| 6           | 21       | 0,9095       | 0,9095       |              |
| 7           | 21       | 1,0643       | 1,0643       |              |
| 13          | 21       | 1,0954       | 1,0954       |              |
| 11          | 21       | 1,1082       | 1,1082       |              |
| 8           | 21       | 1,1757       | 1,1757       |              |
| 12          | 21       | 1,1866       | 1,1866       |              |
| 16          | 21       | 1,2561       | 1,2561       |              |
| 4           | 21       | 1,3163       | 1,3163       | 1,3163       |
| 5           | 21       | 1,3421       | 1,3421       | 1,3421       |
| 3           | 21       | 1,3926       | 1,3926       | 1,3926       |
| 9           | 21       |              | 1,6245       | 1,6245       |
| 14          | 21       |              | 1,6324       | 1,6324       |
| 2           | 21       |              |              | 2,1231       |
| <b>Sig.</b> |          | <b>0,102</b> | <b>0,078</b> | <b>0,065</b> |

NOTA: Software utilizado para cálculos estatísticos disponível em [www.spss.com](http://www.spss.com) – SPSS 10.0 VERSÃO DEMO

ANEXO 3: TESTE TUKEY A 0,05 DE SIGNIFICÂNCIA ENTRE DIREÇÕES DE AMOSTRAGEM DE SOLO PARA A PROFUNDIDADE 5-10 cm COM EXTRAÇÃO POR DTPA. VALORES DAS MÉDIAS EXPRESSOS EM mg.kg<sup>-1</sup>

| PARCELA     | N  | p.=0 .05     |              |
|-------------|----|--------------|--------------|
|             |    | 1            | 2            |
| 13          | 21 | 0,2034       |              |
| 1           | 21 | 0,2259       |              |
| 11          | 21 | 0,2283       |              |
| 9           | 21 | 0,2527       |              |
| 3           | 21 | 0,286        |              |
| 15          | 21 | 0,2872       |              |
| 7           | 21 | 0,288        |              |
| 8           | 21 | 0,29         |              |
| 14          | 21 | 0,2911       |              |
| 4           | 21 | 0,3247       |              |
| 10          | 21 | 0,3795       | 0,3795       |
| 16          | 21 | 0,6165       | 0,6165       |
| 6           | 21 | 0,6471       | 0,6471       |
| 12          | 21 | 0,6985       | 0,6985       |
| 5           | 21 |              | 0,8349       |
| 2           | 21 |              | 0,881        |
| <b>Sig.</b> |    | <b>0,061</b> | <b>0,053</b> |

NOTA: Software utilizado para cálculos estatísticos disponível em [www.spss.com](http://www.spss.com) – SPSS 10.0 VERSÃO DEMO

ANEXO 4: TESTE TUKEY A 0,05 DE SIGNIFICÂNCIA ENTRE DIREÇÕES DE AMOSTRAGEM DE SOLO PARA A PROFUNDIDADE 10-15 cm COM EXTRAÇÃO POR DTPA. VALORES DAS MÉDIAS EXPRESSOS EM  $\text{mg.kg}^{-1}$

| PARCELA     | N  | p =0 .05     |
|-------------|----|--------------|
|             |    | <b>1</b>     |
| 9           | 21 | 0,492        |
| 10          | 21 | 0,5336       |
| 12          | 21 | 0,5478       |
| 13          | 21 | 0,5851       |
| 1           | 21 | 0,6239       |
| 15          | 21 | 0,6396       |
| 11          | 21 | 0,6525       |
| 4           | 21 | 0,6783       |
| 6           | 21 | 0,7302       |
| 16          | 21 | 0,8074       |
| 2           | 21 | 0,8595       |
| 8           | 21 | 0,9426       |
| 7           | 21 | 0,9678       |
| 3           | 21 | 0,9908       |
| 14          | 21 | 1,0989       |
| 5           | 21 | 1,2561       |
| <b>Sig.</b> |    | <b>0,086</b> |

NOTA: Software utilizado para cálculos estatísticos disponível em [www.spss.com](http://www.spss.com) – SPSS 10.0 VERSÃO DEMO

ANEXO 5: TESTE TUKEY A 0,05 DE SIGNIFICÂNCIA ENTRE DIREÇÕES DE AMOSTRAGEM DE SOLO PARA A PROFUNDIDADE 45-5 0cm COM EXTRAÇÃO POR DTPA. VALORES DAS MÉDIAS EXPRESSOS EM mg.kg<sup>-1</sup>

| PARCELA     | N  | p =0 .05     |              |
|-------------|----|--------------|--------------|
|             |    | 1            | 2            |
| 4           | 21 | 0,2758       |              |
| 7           | 21 | 0,2771       |              |
| 15          | 21 | 0,2835       |              |
| 8           | 21 | 0,2912       |              |
| 10          | 21 | 0,2922       |              |
| 9           | 21 | 0,2944       |              |
| 5           | 21 | 0,298        |              |
| 11          | 21 | 0,3135       |              |
| 12          | 21 | .3268        |              |
| 16          | 21 | 0,3341       | 0,3341       |
| 13          | 21 | 0,3453       | 0,3453       |
| 6           | 21 | 0,3529       | 0,3529       |
| 14          | 21 | 0,3544       | 0,3544       |
| 1           | 21 | 0,3673       | 0,3673       |
| 3           | 21 | 0,4028       | 0,4028       |
| 2           | 21 |              | 0,5017       |
| <b>Sig.</b> |    | <b>0,477</b> | <b>0,077</b> |

NOTA: Software utilizado para cálculos estatísticos disponível em [www.spss.com](http://www.spss.com) – SPSS 10.0 VERSÃO DEMO

ANEXO 6: TESTE TUKEY A 0,05 DE SIGNIFICÂNCIA ENTRE DIREÇÕES DE AMOSTRAGEM DE SOLO PARA A PROFUNDIDADE 0-50 cm COM EXTRAÇÃO POR MEHLCH 1. VALORES DAS MÉDIAS EXPRESSOS EM  $\text{mg.kg}^{-1}$

| PARCELA     | N  | p=0 .05      |              |
|-------------|----|--------------|--------------|
|             |    | 1            | 2            |
| 15          | 21 | 1,2252       |              |
| 1           | 21 | 2,1897       |              |
| 7           | 21 | 3,058        |              |
| 13          | 21 | 3,1954       |              |
| 10          | 21 | 3,5263       |              |
| 14          | 21 | 3,6207       |              |
| 6           | 21 | 3,7339       |              |
| 8           | 21 | 3,852        |              |
| 16          | 21 | 3,9985       |              |
| 3           | 21 | 4,6031       |              |
| 4           | 21 | 5,1738       |              |
| 9           | 21 | 5,4682       |              |
| 12          | 21 | 5,5418       |              |
| 2           | 21 | 6,5059       | 6,5059       |
| 5           | 21 | 6,8139       | 6,8139       |
| 11          | 21 |              | 13,6517      |
| <b>Sig.</b> |    | <b>0,412</b> | <b>0,074</b> |

NOTA: Software utilizado para cálculos estatísticos disponível em [www.spss.com](http://www.spss.com) – SPSS 10.0 VERSÃO DEMO

ANEXO 7: TESTE TUKEY A 0,05 DE SIGNIFICÂNCIA ENTRE DIREÇÕES DE AMOSTRAGEM DE SOLO PARA A PROFUNDIDADE 5-10 cm COM EXTRAÇÃO POR MEHLCH 1. VALORES DAS MÉDIAS EXPRESSOS EM mg.kg<sup>-1</sup>

| PARCELA     | N  | p =0 .05     |             |              |
|-------------|----|--------------|-------------|--------------|
|             |    | 1            | 2           | 3            |
| 15          | 21 | 1,0718       |             |              |
| 1           | 21 | 1,651        | 1,651       |              |
| 8           | 21 | 2,5623       | 2,5623      | 2,5623       |
| 13          | 21 | 2,7059       | 2,7059      | 2,7059       |
| 3           | 21 | 3,06         | 3,06        | 3,06         |
| 16          | 21 | 3,0943       | 3,0943      | 3,0943       |
| 10          | 21 | 3,2328       | 3,2328      | 3,2328       |
| 14          | 21 | 3,3178       | 3,3178      | 3,3178       |
| 7           | 21 | 3,4013       | 3,4013      | 3,4013       |
| 9           | 21 | 4,1419       | 4,1419      | 4,1419       |
| 12          | 21 | 4,7982       | 4,7982      | 4,7982       |
| 4           | 21 | 4,9694       | 4,9694      | 4,9694       |
| 6           | 21 | 5,5292       | 5,5292      | 5,5292       |
| 5           | 21 | 5,9561       | 5,9561      | 5,9561       |
| 2           | 21 |              | 6,4424      | 6,4424       |
| 11          | 21 |              |             | 7,1615       |
| <b>Sig.</b> |    | <b>0,119</b> | <b>0,14</b> | <b>0,191</b> |

NOTA: Software utilizado para cálculos estatísticos disponível em [www.spss.com](http://www.spss.com) – SPSS 10.0 VERSÃO DEMO

ANEXO 8: TESTE TUKEY A 0,05 DE SIGNIFICÂNCIA ENTRE DIREÇÕES DE AMOSTRAGEM DE SOLO PARA A PROFUNDIDADE 10-15 cm COM EXTRAÇÃO POR MEHLCH 1. VALORES DAS MÉDIAS EXPRESSOS EM  $\text{mg.kg}^{-1}$

| PARCELA     | N  | p =0 .05     |              |
|-------------|----|--------------|--------------|
|             |    | 1            | 2            |
| 13          | 21 | 0,8414       |              |
| 15          | 21 | 1,0626       |              |
| 1           | 21 | 1,2916       |              |
| 8           | 21 | 1,6287       |              |
| 4           | 21 | 2,2285       |              |
| 9           | 21 | 2,2659       |              |
| 14          | 21 | 2,466        |              |
| 10          | 21 | 2,4751       |              |
| 16          | 21 | 2,6598       |              |
| 7           | 21 | 2,6825       |              |
| 3           | 21 | 2,8316       |              |
| 12          | 21 | 2,8549       |              |
| 6           | 21 | 2,8813       |              |
| 11          | 21 | 2,8977       | 2,8977       |
| 5           | 21 | 3,4089       | 3.4089       |
| 2           | 21 |              | 5,845        |
| <b>Sig.</b> |    | <b>0,179</b> | <b>0,052</b> |

NOTA: Software utilizado para cálculos estatísticos disponível em [www.spss.com](http://www.spss.com) – SPSS 10.0 VERSÃO DEMO

ANEXO 9: TESTE TUKEY A 0,05 DE SIGNIFICÂNCIA ENTRE DIREÇÕES DE AMOSTRAGEM DE SOLO PARA A PROFUNDIDADE 45-50 cm COM EXTRAÇÃO POR MEHLCH 1. VALORES DAS MÉDIAS EXPRESSOS EM  $\text{mg.kg}^{-1}$

| PARCELA     | N  | p =0 .05     |              |
|-------------|----|--------------|--------------|
|             |    | 1            | 2            |
| 15          | 21 | 0,2209       |              |
| 8           | 21 | 0,2243       |              |
| 13          | 21 | 0,2456       |              |
| 4           | 21 | 0,3096       |              |
| 9           | 21 | 0,3674       |              |
| 16          | 21 | 0,3953       |              |
| 14          | 21 | 0,4168       |              |
| 12          | 21 | .4214        |              |
| 1           | 21 | 0,4266       |              |
| 7           | 21 | 0,4838       |              |
| 5           | 21 | 0,4864       |              |
| 6           | 21 | 0,4945       |              |
| 10          | 21 | 0,5134       | 0,5134       |
| 3           | 21 | 0,826        | 0,826        |
| 2           | 21 | 1            | 1            |
| 11          | 21 |              | 1,2979       |
| <b>Sig.</b> |    | <b>0,061</b> | <b>0,057</b> |

NOTA: Software utilizado para cálculos estatísticos disponível em [www.spss.com](http://www.spss.com) – SPSS 10.0 VERSÃO DEMO

ANEXO 10: TESTE TUKEY A 0,05 DE SIGNIFICÂNCIA ENTRE DIREÇÕES DE AMOSTRAGEM DE SOLO PARA A PROFUNDIDADE 0-5 cm COM EXTRAÇÃO TOTAL. VALORES DAS MÉDIAS EXPRESSOS EM  $\text{mg.kg}^{-1}$

| PARCELA     | N  | p =0 .05     |              |
|-------------|----|--------------|--------------|
|             |    | 1            | 2            |
| 13          | 21 | 15,6037      |              |
| 12          | 21 | 18,8734      |              |
| 15          | 21 | 24,842       |              |
| 7           | 21 | 25,019       |              |
| 6           | 21 | 26,56        |              |
| 8           | 21 | 27,9284      |              |
| 4           | 21 | 28,4528      |              |
| 14          | 21 | 29,4392      |              |
| 5           | 21 | 31,0885      |              |
| 1           | 21 | 35,5152      | 35,5152      |
| 16          | 21 | 36,2436      | 36,2436      |
| 9           | 21 | 37,0077      | 37,0077      |
| 11          | 21 | 41,996       | 41,996       |
| 10          | 21 | 43,0701      | 43,0701      |
| 3           | 21 | 43,7464      | 43,7464      |
| 2           | 21 |              | 66.8648      |
| <b>Sig.</b> |    | <b>0,142</b> | <b>0,051</b> |

NOTA: Software utilizado para cálculos estatísticos disponível em [www.spss.com](http://www.spss.com) – SPSS 10.0 VERSÃO DEMO

ANEXO 11: TESTE TUKEY A 0,05 DE SIGNIFICÂNCIA ENTRE DIREÇÕES DE AMOSTRAGEM DE SOLO PARA A PROFUNDIDADE 5-10 cm COM EXTRAÇÃO TOTAL. VALORES DAS MÉDIAS EXPRESSOS EM  $\text{mg.kg}^{-1}$

| PARCELA     | N  | p =0 .05     |              |              |
|-------------|----|--------------|--------------|--------------|
|             |    | 1            | 2            | 3            |
| 13          | 21 | 7,5162       |              |              |
| 12          | 21 | 7,9251       |              |              |
| 7           | 21 | 17,6887      | 17,6887      |              |
| 16          | 21 | 18,9594      | 18,9594      |              |
| 14          | 21 | 20,4667      | 20,4667      |              |
| 8           | 21 | 21,1597      | 21,1597      |              |
| 4           | 21 | 21,2602      | 21,2602      |              |
| 15          | 21 | 22,806       | 22,806       |              |
| 10          | 21 | 25,0464      | 25,0464      |              |
| 11          | 21 | 26,2927      | 26,2927      |              |
| 5           | 21 | 26,9729      | 26,9729      |              |
| 9           | 21 | 32,6066      | 32,6066      | 32,6066      |
| 1           | 21 | 34,1656      | 34,1656      | 34,1656      |
| 6           | 21 |              | 37,3278      | 37,3278      |
| 3           | 21 |              | 41,7011      | 41,7011      |
| 2           | 21 |              |              | 58,152       |
| <b>Sig.</b> |    | <b>0,065</b> | <b>0,163</b> | <b>0,097</b> |

NOTA: Software utilizado para cálculos estatísticos disponível em [www.spss.com](http://www.spss.com) – SPSS 10.0 VERSÃO DEMO

ANEXO 12: TESTE TUKEY A 0,05 DE SIGNIFICÂNCIA ENTRE DIREÇÕES DE AMOSTRAGEM DE SOLO PARA A PROFUNDIDADE 10-15 cm COM EXTRAÇÃO TOTAL. VALORES DAS MÉDIAS EXPRESSOS EM  $\text{mg.kg}^{-1}$

| PARCELA     | N  | p =0 .05     |              |
|-------------|----|--------------|--------------|
|             |    | 1            | 2            |
| 13          | 21 | 18,3133      |              |
| 12          | 21 | 20,1264      |              |
| 7           | 21 | 20,4938      |              |
| 11          | 21 | 21,6021      |              |
| 8           | 21 | 23,9538      |              |
| 4           | 21 | 26,781       |              |
| 15          | 21 | 27,0666      |              |
| 9           | 21 | 28,1669      |              |
| 10          | 21 | 30,4706      |              |
| 16          | 21 | 30,8118      |              |
| 5           | 21 | 33,0364      |              |
| 1           | 21 | 33,0872      |              |
| 14          | 21 | 33,9874      |              |
| 6           | 21 | 36,2465      | 36,2465      |
| 3           | 21 | 43,8381      | 43,8381      |
| 2           | 21 |              | 63,9944      |
| <b>Sig.</b> |    | <b>0,162</b> | <b>0,078</b> |

NOTA: Software utilizado para cálculos estatísticos disponível em [www.spss.com](http://www.spss.com) – SPSS 10.0 VERSÃO DEMO

ANEXO 13: TESTE TUKEY A 0,05 DE SIGNIFICÂNCIA ENTRE DIREÇÕES DE AMOSTRAGEM DE SOLO PARA A PROFUNDIDADE 45-50 cm COM EXTRAÇÃO TOTAL. VALORES DAS MÉDIAS EXPRESSOS EM mg.kg<sup>-1</sup>

| PARCELA     | N  | p =0 .05     |              |              |
|-------------|----|--------------|--------------|--------------|
|             |    | 1            | 2            | 3            |
| 12          | 21 | 10,3043      |              |              |
| 13          | 21 | 24,1132      | 24,1132      |              |
| 7           | 21 | 25,7944      | 25,7944      |              |
| 6           | 21 | 27,0556      | 27,0556      |              |
| 5           | 21 | 27,1518      | 27,1518      |              |
| 4           | 21 | 29,59        | 29,59        |              |
| 11          | 21 | 29,7433      | 29,7433      |              |
| 15          | 21 | 31,698       | 31,698       |              |
| 16          | 21 | 33,6997      | 33,6997      | 33,6997      |
| 14          | 21 | 34,7137      | 34,7137      | 34,7137      |
| 9           | 21 |              | 44,1526      | 44,1526      |
| 10          | 21 |              | 44,805       | 44,805       |
| 1           | 21 |              | 48,5593      | 48,5593      |
| 8           | 21 |              | 49,2804      | 49,2804      |
| 2           | 21 |              | 53,3698      | 53,3698      |
| 3           | 21 |              |              | 63,5952      |
| <b>Sig.</b> |    | <b>0,374</b> | <b>0,111</b> | <b>0,091</b> |

NOTA: Software utilizado para cálculos estatísticos disponível em [www.spss.com](http://www.spss.com) – SPSS 10.0 VERSÃO DEMO

ANEXO 14: TESTE TUKEY A 0,05 DE SIGNIFICÂNCIA ENTRE DISTÂNCIAS DE AMOSTRAGEM DE SOLO PARA A PROFUNDIDADE 0-5 cm COM EXTRAÇÃO POR DTPA. VALORES DAS MÉDIAS EXPRESSOS EM  $\text{mg.kg}^{-1}$

| SUB.PARCELA | N  | p =0 .05     |              |              |
|-------------|----|--------------|--------------|--------------|
|             |    | 1            | 2            | 3            |
| 1           | 48 | 0,8084       |              |              |
| 4           | 48 | 0,9569       | 0,9569       |              |
| 6           | 48 | 1,1037       | 1,1037       |              |
| 5           | 48 | 1,2247       | 1,2247       |              |
| 7           | 48 |              | 1,325        | 1,325        |
| 2           | 48 |              | 1,4010       | 1,401        |
| 3           | 48 |              |              | 1,7313       |
| <b>Sig.</b> |    | <b>0,143</b> | <b>0,094</b> | <b>0,165</b> |

NOTA: Software utilizado para cálculos estatísticos disponível em [www.spss.com](http://www.spss.com) – SPSS 10.0 VERSÃO DEMO

ANEXO 15: TESTE TUKEY A 0,05 DE SIGNIFICÂNCIA ENTRE DISTÂNCIAS DE AMOSTRAGEM DE SOLO PARA A PROFUNDIDADE 5-10 cm COM EXTRAÇÃO POR DTPA. VALORES DAS MÉDIAS EXPRESSOS EM  $\text{mg.kg}^{-1}$

| SUB.PARCELA | N  | p =0 .05     |             |
|-------------|----|--------------|-------------|
|             |    | 1            | 2           |
| 6           | 48 | 0,254        |             |
| 7           | 48 | 0,2909       |             |
| 1           | 48 | 0,3735       | 0,3735      |
| 2           | 48 | 0,421        | 0,421       |
| 5           | 48 | 0,4323       | 0,4323      |
| 3           | 48 | 0,5038       | 0,5038      |
| 4           | 48 |              | .6710       |
| <b>Sig.</b> |    | <b>0,189</b> | <b>0,06</b> |

NOTA: Software utilizado para cálculos estatísticos disponível em [www.spss.com](http://www.spss.com) – SPSS 10.0 VERSÃO DEMO

ANEXO 16: TESTE TUKEY A 0,05 DE SIGNIFICÂNCIA ENTRE DISTÂNCIAS DE AMOSTRAGEM DE SOLO PARA A PROFUNDIDADE 10-15 cm COM EXTRAÇÃO POR DTPA. VALORES DAS MÉDIAS EXPRESSOS EM  $\text{mg.kg}^{-1}$

| SUB.PARCELA | N  | p =0 .05     |              |
|-------------|----|--------------|--------------|
|             |    | 1            | 2            |
| 3           | 48 | 0,583        |              |
| 1           | 48 | 0,5995       |              |
| 7           | 48 | 0,666        | 0,666        |
| 5           | 48 | 0,7557       | 0,7557       |
| 2           | 48 | 0,7889       | 0,7889       |
| 4           | 48 | 0,9348       | 0,9348       |
| 6           | 48 |              | 1,0997       |
| <b>Sig.</b> |    | <b>0,264</b> | <b>0,079</b> |

NOTA: Software utilizado para cálculos estatísticos disponível em [www.spss.com](http://www.spss.com) – SPSS 10.0 VERSÃO DEMO

ANEXO 17: TESTE TUKEY A 0,05 DE SIGNIFICÂNCIA ENTRE DISTÂNCIAS DE AMOSTRAGEM DE SOLO PARA A PROFUNDIDADE 45-50 cm COM EXTRAÇÃO POR DTPA. VALORES DAS MÉDIAS EXPRESSOS EM  $\text{mg.kg}^{-1}$

| SUB.PARCELA | N  | p =0 .05     |              |
|-------------|----|--------------|--------------|
|             |    | 1            | 2            |
| 7           | 48 | 0,2965       |              |
| 4           | 48 | 0,2996       |              |
| 6           | 48 | 0,3033       |              |
| 3           | 48 | 0,3045       |              |
| 5           | 48 | 0,3276       |              |
| 2           | 48 | 0,3605       | 0,3605       |
| 1           | 48 |              | 0,4316       |
| <b>Sig.</b> |    | <b>0,488</b> | <b>0,356</b> |

NOTA: Software utilizado para cálculos estatísticos disponível em [www.spss.com](http://www.spss.com) – SPSS 10.0 VERSÃO DEMO

ANEXO 18: TESTE TUKEY A 0,05 DE SIGNIFICÂNCIA ENTRE DISTÂNCIAS DE AMOSTRAGEM DE SOLO PARA A PROFUNDIDADE 0-5 cm COM EXTRAÇÃO POR MEHLICH 1. VALORES DAS MÉDIAS EXPRESSOS EM  $\text{mg.kg}^{-1}$

| SUB.PARCELA | N  | p =0 .05     |              |
|-------------|----|--------------|--------------|
|             |    | 1            | 2            |
| 6           | 48 | 2,6859       |              |
| 5           | 48 | 3,0864       |              |
| 7           | 48 | 3,525        |              |
| 3           | 48 | 4,4432       |              |
| 4           | 48 | 4,7166       |              |
| 1           | 48 | 5,6425       | 5,6425       |
| 2           | 48 |              | 9,2196       |
| <b>Sig.</b> |    | <b>0,397</b> | <b>0,177</b> |

NOTA: Software utilizado para cálculos estatísticos disponível em [www.spss.com](http://www.spss.com) – SPSS 10.0 VERSÃO DEMO

ANEXO 19: TESTE TUKEY A 0,05 DE SIGNIFICÂNCIA ENTRE DISTÂNCIAS DE AMOSTRAGEM DE SOLO PARA A PROFUNDIDADE 5-10 cm COM EXTRAÇÃO POR MEHLICH 1. VALORES DAS MÉDIAS EXPRESSOS EM  $\text{mg.kg}^{-1}$

| SUB.PARCELA | N  | p =0 .05     |              |
|-------------|----|--------------|--------------|
|             |    | 1            | 2            |
| 6           | 48 | 2,3285       |              |
| 7           | 48 | 2,5349       |              |
| 5           | 48 | 2,5761       |              |
| 3           | 48 | 3,9964       | 3,9964       |
| 4           | 48 | 4,8425       | 4,8425       |
| 1           | 48 | 4,8974       | 4,8974       |
| 2           | 48 |              | 6,4286       |
| <b>Sig.</b> |    | <b>0,163</b> | <b>0,217</b> |

NOTA: Software utilizado para cálculos estatísticos disponível em [www.spss.com](http://www.spss.com) – SPSS 10.0 VERSÃO DEMO

ANEXO 20: TESTE TUKEY A 0,05 DE SIGNIFICÂNCIA ENTRE DISTÂNCIAS DE AMOSTRAGEM DE SOLO PARA A PROFUNDIDADE 10-15 cm COM EXTRAÇÃO POR MEHLICH 1. VALORES DAS MÉDIAS EXPRESSOS EM mg.kg<sup>-1</sup>

| SUB.PARCELA | N  | p =0 .05     |              |              |
|-------------|----|--------------|--------------|--------------|
|             |    | 1            | 2            | 3            |
| 6           | 48 | 1,4855       |              |              |
| 7           | 48 | 1,6154       | 1,6154       |              |
| 5           | 48 | 1,9502       | 1,9502       |              |
| 1           | 48 | 2,4532       | 2,4532       | 2,4532       |
| 3           | 48 | 2,7673       | 2,7673       | 2,7673       |
| 4           | 48 |              | 3,3036       | 3,3036       |
| 2           | 48 |              |              | 4,0654       |
| <b>Sig.</b> |    | <b>0,291</b> | <b>0,056</b> | <b>0,081</b> |

NOTA: Software utilizado para cálculos estatísticos disponível em [www.spss.com](http://www.spss.com) – SPSS 10.0 VERSÃO DEMO

ANEXO 21: TESTE TUKEY A 0,05 DE SIGNIFICÂNCIA ENTRE DISTÂNCIAS DE AMOSTRAGEM DE SOLO PARA A PROFUNDIDADE 45-50 cm COM EXTRAÇÃO POR MEHLICH 1. VALORES DAS MÉDIAS EXPRESSOS EM mg.kg<sup>-1</sup>

| SUB.PARCELA | N  | p =0 .05     |              |              |
|-------------|----|--------------|--------------|--------------|
|             |    | 1            | 2            | 3            |
| 5           | 48 | 0,2312       |              |              |
| 6           | 48 | 0,2909       |              |              |
| 4           | 48 | 0,383        | 0,383        |              |
| 7           | 48 | 0,4099       | 0,4099       |              |
| 3           | 48 | 0,4902       | 0,4902       |              |
| 1           | 48 |              | 0,7979       | 0,7979       |
| 2           | 48 |              |              | 0,9537       |
| <b>Sig.</b> |    | <b>0,627</b> | <b>0,099</b> | <b>0,951</b> |

NOTA: Software utilizado para cálculos estatísticos disponível em [www.spss.com](http://www.spss.com) – SPSS 10.0 VERSÃO DEMO

ANEXO 22: TESTE TUKEY A 0,05 DE SIGNIFICÂNCIA ENTRE DISTÂNCIAS DE AMOSTRAGEM DE SOLO PARA A PROFUNDIDADE 0-5 cm COM EXTRAÇÃO TOTAL. VALORES DAS MÉDIAS EXPRESSOS EM mg.kg<sup>-1</sup>

| SUB.PARCELA | N  | p =0 .05     |              |
|-------------|----|--------------|--------------|
|             |    | 1            | 2            |
| 5           | 48 | 22,042       |              |
| 4           | 48 | 22,9334      |              |
| 3           | 48 | 27,0164      |              |
| 7           | 48 | 27,0389      |              |
| 6           | 48 | 29,8722      |              |
| 2           | 48 |              | 48,1134      |
| 1           | 48 |              | 55,8434      |
| <b>Sig.</b> |    | <b>0,844</b> | <b>0,852</b> |

NOTA: Software utilizado para cálculos estatísticos disponível em [www.spss.com](http://www.spss.com) – SPSS 10.0 VERSÃO DEMO

ANEXO 23: TESTE TUKEY A 0,05 DE SIGNIFICÂNCIA ENTRE DISTÂNCIAS DE AMOSTRAGEM DE SOLO PARA A PROFUNDIDADE 5-10 cm COM EXTRAÇÃO TOTAL. VALORES DAS MÉDIAS EXPRESSOS EM mg.kg<sup>-1</sup>

| SUB.PARCELA | N  | p =0 .05     |              |              |
|-------------|----|--------------|--------------|--------------|
|             |    | 1            | 2            | 3            |
| 3           | 48 | 15,2399      |              |              |
| 7           | 48 | 22,3142      | 22,3142      |              |
| 4           | 48 | 24,2391      | 24,2391      | 24,2391      |
| 5           | 48 | 25,1155      | 25,1155      | 25,1155      |
| 6           | 48 | 25,1934      | 25,1934      | 25,1934      |
| 2           | 48 |              | 31,9546      | 31,9546      |
| 1           | 48 |              |              | 39,7139      |
| <b>Sig.</b> |    | <b>0,561</b> | <b>0,599</b> | <b>0,082</b> |

NOTA: Software utilizado para cálculos estatísticos disponível em [www.spss.com](http://www.spss.com) – SPSS 10.0 VERSÃO DEMO

ANEXO 24: TESTE TUKEY A 0,05 DE SIGNIFICÂNCIA ENTRE DISTÂNCIAS DE AMOSTRAGEM DE SOLO PARA A PROFUNDIDADE 10-15 cm COM EXTRAÇÃO TOTAL. VALORES DAS MÉDIAS EXPRESSOS EM  $\text{mg.kg}^{-1}$

| SUB.PARCELA | N  | p =0 .05 |         |         |
|-------------|----|----------|---------|---------|
|             |    | 1        | 2       | 3       |
| 5           | 48 | 17,9665  |         |         |
| 7           | 48 | 23,6221  |         |         |
| 3           | 48 | 24,6714  | 24,6714 |         |
| 6           | 48 | 26,4959  | 26,4959 |         |
| 4           | 48 | 26,8415  | 26,8415 |         |
| 2           | 48 |          | 39,7188 |         |
| 1           | 48 |          |         | 55,9234 |
| Sig.        |    | 0,657    | 0,08    | 1       |

NOTA: Software utilizado para cálculos estatísticos disponível em [www.spss.com](http://www.spss.com) – SPSS 10.0 VERSÃO DEMO

ANEXO 25: TESTE TUKEY A 0,05 DE SIGNIFICÂNCIA ENTRE DISTÂNCIAS DE AMOSTRAGEM DE SOLO PARA A PROFUNDIDADE 45-50 cm COM EXTRAÇÃO TOTAL. VALORES DAS MÉDIAS EXPRESSOS EM  $\text{mg.kg}^{-1}$

| SUB.PARCELA | N  | p =0 .05 |         |
|-------------|----|----------|---------|
|             |    | 1        | 2       |
| 4           | 48 | 26,6541  |         |
| 7           | 40 | 30,0646  |         |
| 6           | 48 | 30,4265  |         |
| 5           | 48 | 34,9597  | 34,9597 |
| 3           | 48 | 36,0142  | 36,0142 |
| 2           | 48 | 41,3021  | 41,3021 |
| 1           | 48 |          | 53,2902 |
| Sig.        |    | 0,247    | 0,062   |

NOTA: Software utilizado para cálculos estatísticos disponível em [www.spss.com](http://www.spss.com) – SPSS 10.0 VERSÃO DEMO

ANEXO 26: VISTA DA FACE NORTE DA FÁBRICA DE CIMENTO.



ANEXO 27: VISTA DA FACE SUL DA FÁBRICA DE CIMENTO.



ANEXO 28: VISTA DA FACE NOROESTE DA FÁBRICA DE CIMENTO.



ANEXO 29: VISTA DA FACE SUDOESTE DA FÁBRICA DE CIMENTO.



ANEXO 30: ESTAÇÃO DE AMOSTRAGEM NA DIREÇÃO SUDOESTE A 4 KM DA PLANTA INDUSTRIAL.



ANEXO 31: ESTAÇÃO DE AMOSTRAGEM NA DIREÇÃO SUDOESTE A 2 KM DA PLANTA INDUSTRIAL.



ANEXO 32: ESTAÇÃO DE AMOSTRAGEM NA DIREÇÃO SUDOESTE A 4 KM DA PLANTA INDUSTRIAL.



ANEXO 33: PROCEDIMENTO DE PESAGEM E PREPARO DO SOLO.



**ANEXO 34: AMOSTRAS DE SOLO SOB DIGESTÃO TOTAL NITRO-PERCLÓRICA EM BLOCO DIGESTOR A 203°C PARA EXTRAÇÃO TOTAL.**



**ANEXO 35: PROCESSO DE FILTRAGEM DO EXTRATO DO SOLO PARA ANÁLISE EM ESPECTROFOTÔMETRO DE ABSORÇÃO ATÔMICA.**

