

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**MÉTODO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO
SOLO: QUANTIFICAÇÃO E BIODISPONIBILIDADE
DE METAIS NO EFLUENTE, PERCOLADO, SOLO E
PLANTA.**

Edmar Santos de Souza

**Campinas, SP.
2003**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**MÉTODO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO
SOLO: QUANTIFICAÇÃO E BIODISPONIBILIDADE
DE METAIS NO EFLUENTE, PERCOLADO, SOLO E
PLANTA.**

Edmar Santos de Souza

Orientador: Prof. Dr. Edson Aparecido Abdul Nour

**Dissertação apresentada à Comissão de
pós-graduação da Faculdade de
Engenharia Civil da Universidade Estadual
de Campinas, como parte dos requisitos
para obtenção do título de mestre no
Programa de Mestrado em Engenharia
Civil, na área de concentração de
Saneamento e Ambiente.**

**Campinas, SP.
2003**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

So89m	Souza, Edmar Santos de Método de escoamento superficial no solo: quantificação e biodisponibilidade de metais no efluente, percolado, solo e planta. / Edmar Santos de Souza.--Campinas, SP: [s.n.], 2003. Orientador: Edson Aparecido Abdul Nour. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil. 1. Águas residuais no solo. 2. Esgotos. 3. Metais pesados. 4. Solos – Teor de metal pesado. 5. Plantas – Efeito dos metais pesado. I. Nour, Edson Aparecido Abdul. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. III. Título.
-------	---

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE SANEAMENTO E AMBIENTE

**MÉTODO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO SOLO:
QUANTIFICAÇÃO E BIODISPONIBILIDADE DE METAIS NO
EFLUENTE, PERCOLADO, SOLO E PLANTA**

Eng^o Edmar Santos de Souza

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

Prof. Dr. Edson Aparecido Abdul Nour
Presidente e Orientador / FEC - UNICAMP

Prof. Dr. Ronaldo Severiano Berton
Instituto Agrônomo de Campinas - IAC

Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho
FEC - UNICAMP

Dra. Angela dos Santos Barretto
Pesquisadora

Campinas, 27 de Fevereiro de 2003

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Cícero e Estelita, aos meus avós João e Clotilde (in memoriam) se não tivesse seus exemplos de vida, apoio e incentivo jamais realizaria mais uma etapa de minha vida.

"Aquele que se encontra na condição de viajante e é, portanto, um estrangeiro, deve evitar a arrogância e buscar lugares apropriados, onde se encontram boas pessoas. Assim terá sorte e seguirá adiante sem problema".

I CHING "O livro das mutações"

"Se queres investigar a ti mesmo, olha como procedem os outros; se queres entender os outros, olha em teu próprio coração"

(Confúcio)

AGRADECIMENTO

*Agradeço a Deus, por me dar
coragem e saúde para suportar
as adversidades da vida.*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof.Dr. Edson Aparecido Abdul Nour, pela orientação, pela amizade e pelo auxílio prestado para que este trabalho fosse concluído.

Ao Prof.Dr. Bruno Coraucci Filho, pela amizade, pela obtenção de auxílio financeiro na forma de bolsa junto ao PROSAB.

A Prof^a.Dra. Mônica de Abreu, que permitiu que fosse usada a instalação do IAC – Instituto Agrônomo de Campinas, para que as análises químicas analíticas instrumentais fossem executadas.

Ao Prof.DR. Ronaldo Berton, pelo auxílios prestados quando foi solicitado.

Ao Prof.DR. José Roberto Guimarães pela amizade e incentivos.

À Faculdade de Engenharia Civil – FEC e seus funcionários, ao Departamento de Hidráulica e Saneamento, pelas instalações e recursos colocados à disposição para a realização dos experimentos, ao CESET (laboratório de Saneamento).

A Paula, Carlinhos e Lucinere, funcionários da secretária de pós-graduação da FEC.

À Noemia secretária de Saneamento da FEC.

À bibliotecária Rose, da BAE pelo auxílio durante a fase de levantamento bibliográfico.

Ao Instituto Agrônomo de Campinas-IAC e seus funcionários, em particular a Carina do laboratório de análise química instrumental.

À CAPES pela concessão de bolsa de estudo .

A FAPESP pelo apoio financeiro no projeto de auxílio à pesquisa.

Ao PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – Apoiado pelo CNPQ/FINEP/Caixa Econômica Federal.

A Águas de Limeira S.A., pelo apoio na execução e operação da área física do projeto.

Aos amigos Alexandre Pansani, Osvaldo Natalin, Gustavo Henrique, Luiz Klusener, Fernando Coelho, Elias Nicolas, Fábio Bonadia, Patrícia Mazzante, Carolina Farah, Rosilea França, Angela Barretto, Renata Martins, Renata Noqueira, Sérgio Henrique, Marta e Marcos, Obadias Pereira, Marcelo Baubino, Ronaldo Stefanutti, Regina Matsui, Lais Ywashima, Jucinei Gomes, Fábio Mello, Eduardo Andreoli (Dudu) e Jenny Ferreira.

A todos amigos adquiridos nesta etapa da minha vida, os quais, de alguma forma contribuíram para que tudo fosse possível e jamais serão esquecidos.

SUMÁRIO.....	páginas
LISTA DE FIGURAS	XIII
LISTA DE TABELAS	XXII
LISTA DE SÍMBOLOS	XXIV
RESUMO.....	XXV
1- INTRODUÇÃO	1
2- OBJETIVOS.....	3
2.1 OBJETIVOS GERAIS.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 METAIS PESADOS	4
3.1.1 <i>Cádmio</i>	6
3.1.2 <i>Chumbo</i>	9
3.1.3 <i>Cobre</i>	11
3.1.4 <i>Cromo</i>	14
3.1.5 <i>Manganês</i>	16
3.1.6 <i>Níquel</i>	17
3.1.7 <i>Zinco</i>	19
3.2 METAIS PESADOS EM LODO DE ESGOTO	21
3.2.1 <i>Especiação de Metais Pesados em Lodo de Esgoto</i>	22
3.2.2 <i>Biodisponibilidade de Metais Pesados</i>	23
3.3 TÉCNICAS INSTRUMENTAIS	25
3.3.1 <i>Espectrofotometria de Absorção Molecular no UV– Visível</i>	26
3.3.2 <i>Espectrofotometria de Absorção Atômica</i>	26
3.3.3 <i>Espectrofotometria de Absorção Atômica em Chama</i>	27
3.3.4 <i>Espectrofotometria de Absorção Atômica em Forno de Grafite</i>	28
3.3.5 <i>Espectrofotometria de emissão atômica</i>	28
3.3.6 <i>A Espectrofotometria de Emissão em Chama (FES)</i>	29
3.3.7 <i>Plasma</i>	29
3.3.8 <i>Potenciometria</i>	30
3.3.9 <i>Cromatografia de Íons</i>	31
3.3.10 <i>Cuidados para Garantir a Qualidade dos Resultados</i>	31
3.4 TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO	32
3.5 METAIS NOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS	33
3.6 PROCESSOS ANAERÓBIOS.....	34
3.6.1 <i>Sistemas Anaeróbios de Tratamento</i>	37
3.6.2 <i>Filtro Anaeróbio</i>	39
3.7 DISPOSIÇÃO DE EFLUENTES NO SOLO.....	42
3.7.1 <i>INFILTRAÇÃO RÁPIDA</i>	44
3.7.2 <i>INFILTRAÇÃO LENTA</i>	44

3.8	ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO SOLO	46
3.9	PARÂMETROS DE PROJETO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL:	49
3.10	COBERTURA VEGETAL.....	52
3.11	EVAPORAÇÃO	53
3.12	TRANSPIRAÇÃO.....	53
3.13	PERDAS LÍQUIDAS NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL	54
3.14	PARTIDA NOS SISTEMAS DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL	55
3.15	SOLO.....	55
4-	METODOLOGIA.....	62
4.1	- DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO.....	62
4.2	- VARIÁVEIS AVALIADAS.....	66
4.3	- COLETAS DE AMOSTRAS	67
4.4	- METODOLOGIA DE AMOSTRAGEM NO EFLUENTE, NO SOLO E DA BIOMASSA	69
4.5	- FREQUÊNCIA DE AMOSTRAGEM	70
4.6	- ANÁLISE DOS RESULTADOS	70
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	71
5.1	- DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO – DQO	71
5.2	- ALCALINIDADE	74
5.3	- PH E TEMPERATURA	76
5.4	- SÓLIDOS SUSPENSOS	79
5.5	- ÍNDICES PLUVIOMÉTRICOS.....	82
5.6	- METAIS PESADOS	83
5.6.1	- <i>Comportamento de metais pesados ao longo da rampa e lisímetros</i>	84
5.6.1.1	- Cádmio.....	85
5.6.1.2	- Chumbo.....	90
5.6.1.3	- Cobre.....	95
5.6.1.4	- Cromo.....	100
5.6.1.5	- Níquel	105
5.6.1.6	- Zinco.....	110
5.6.1.7	- Ferro.....	115
5.6.2	- <i>Metal biodisponível e total no solo</i>	120
5.6.2.1	- Zinco.....	120
5.6.2.2	- Chumbo.....	121
5.6.2.3	- Cádmio.....	127
5.6.2.4	- Níquel	127
5.6.2.5	- Ferro.....	128
5.6.2.6	- Cromo.....	133
5.6.2.7	- Cobre.....	133
5.6.3	- <i>Metal na gramínea</i>	134
5.6.3.1	- Zinco.....	134
5.6.3.2	- Chumbo.....	134
5.6.3.3	- Cádmio.....	139
5.6.3.4	- Níquel	139
5.6.3.5	- Ferro.....	139
5.6.3.6	- Cromo.....	139
5.6.3.7	- Cobre.....	140
6	CONCLUSÕES	145
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	148
ANEXOS		149

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	162
ABSTRACT	171
APÊNDICE	172

LISTAS DE FIGURAS

PÁGINAS

Figura 1: Esquema geral de sistema de tratamento no solo	63
Figura 2: Vista geral da rampa – detalhe da “zona seca” antes de regularização.	63
Figura 3: Lisímetro de Sucção usado para coletar água da zona não saturada.	64
Figura 4: Vista de Frente da Seção Transversal do Corte AB, conforme Figura 1.	65
Figura 5: Caixa coletora e lisímetros de sucção usado para coletar de amostras do efluente percolado.	65
Figura 6: Teores de DQO nas amostras do sistema, na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$	72
Figura 7: Teores de DQO nas amostras do sistema, na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$	73
Figura 8: Precipitação mensal de chuvas, quando o sistema estava operando, nas taxas de aplicação de $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$ e $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$	73
Figura 9(a): Teores encontrados nas amostras para alcalinidade do sistema, na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$	75
Figura 9(b): Teores encontrados nas amostras para alcalinidade do sistema, na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$	75
Figura 10: Valores de pH e temperatura na entrada do sistema com taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$	77
Figura 11: Valores de pH e temperatura na saída do sistema com taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$	77
Figura 12: Valores de pH e temperatura na entrada do sistema com taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$	78
Figura 13: Valores de pH e temperatura na saída do sistema com taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$	78
Figura 14: Sólidos Suspensos na tomada de esgoto afluente(entrada), na rampa de escoamento superficial com taxa de aplicação de $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$	80
Figura 15: Sólidos Suspensos na tomada de esgoto afluente(saída), na rampa de escoamento superficial com taxa de aplicação de $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$	80
Figura 16: Sólidos Suspensos na tomada de esgoto afluente(entrada), na rampa de escoamento superficial com taxa de aplicação de $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$	81
Figura 17: Sólidos Suspensos na tomada de esgoto afluente(saída), na rampa de escoamento superficial com taxa de aplicação de $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$	81
Figura 18: Volume total mensal de precipitação ocorrida na fase de experimentos	83
Figura 19: Teores de Cádmio, determinados no afluente e efluente da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de Cd = $0,2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$	86
Figura 20: Teores de Cádmio, determinados no afluente e efluente da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de cd = $0,2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$	86
Figura 21: Teores de Cádmio, determinados na superfície da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de Cd = $0,2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$	87

	0,20 m ³ .h ⁻¹ .L ⁻¹ , conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Pb = 0,5 mg.L ⁻¹ .	93
Figura 41:	Teores de Chumbo determinados a 20m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação 0,30 m ³ .h ⁻¹ .L ⁻¹ , conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Pb = 0,5 mg.L ⁻¹ .	93
Figura 42:	Teores de Chumbo determinados a 20m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação 0,20 m ³ .h ⁻¹ .L ⁻¹ , conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Pb = 0,5 mg.L ⁻¹ .	93
Figura 43:	Teores de Chumbo determinados a 30m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação 0,30 m ³ .h ⁻¹ .L ⁻¹ , conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Pb = 0,5 mg.L ⁻¹ .	94
Figura 44:	Teores de Chumbo determinados a 30m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação 0,20 m ³ .h ⁻¹ .L ⁻¹ , conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Pb = 0,5 mg.L ⁻¹ .	94
Figura 45:	Teores de Chumbo determinados a 40m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação 0,30 m ³ .h ⁻¹ .L ⁻¹ , conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Pb = 0,5 mg.L ⁻¹ .	94
Figura 46:	Teores de Chumbo determinados a 40m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação 0,20 m ³ .h ⁻¹ .L ⁻¹ , conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Pb = 0,5 mg.L ⁻¹ .	94
Figura 47:	Teores de Cobre, determinados no afluente e efluente da rampa de escoamento na taxa de aplicação 0,30 m ³ .h ⁻¹ .L ⁻¹ , conforme resolução CONAMA 20 art. onde o valor permitido de Cu = 1,0 mg.L ⁻¹ .	96
Figura 48:	Teores de Cobre, determinados no afluente e efluente da rampa de escoamento na taxa de aplicação 0,20 m ³ .h ⁻¹ .L ⁻¹ , conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de Cu = 1,0 mg.L ⁻¹ .	96
Figura 49:	Teores de Cobre, determinados na superfície da rampa escoamento na taxa de aplicação 0,30 m ³ .h ⁻¹ .L ⁻¹ , conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de Cu = 1,0 mg.L ⁻¹ .	97
Figura 50:	Teores de Cobre, determinados na superfície da rampa de escoamento na taxa de aplicação 0,20 m ³ .h ⁻¹ .L ⁻¹ conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de Cu = 1,0 mg.L ⁻¹ .	97
Figura 51:	Teores de Cobre determinados a 0m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação 0,30 m ³ .h ⁻¹ .L ⁻¹ , conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Cu = 1,0 mg.L ⁻¹ .	97
Figura 52:	Teores de Cobre determinados a 0m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação 0,20 m ³ .h ⁻¹ .L ⁻¹ , conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Cu = 1,0 mg.L ⁻¹ .	97
Figura 53:	Teores de Cobre determinados a 10m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação 0,30 m ³ .h ⁻¹ .L ⁻¹ , conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Cu = 1,0 mg.L ⁻¹ .	98
Figura 54:	Teores de Cobre determinados a 10m de comprimento profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação 0,20 m ³ .h ⁻¹ .L ⁻¹ , conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Cu = 1,0 mg.L ⁻¹ .	98
Figura 55:	Teores de Cobre determinados a 20m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação 0,20 m ³ .h ⁻¹ .L ⁻¹ , conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Cu = 1,0 mg.L ⁻¹ .	98
Figura 56:	Teores de Cobre determinados a 20m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação 0,30 m ³ .h ⁻¹ .L ⁻¹ , conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Cu = 1,0 mg.L ⁻¹ .	98
Figura 57:	Teores de Cobre determinados a 30m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação 0,30 m ³ .h ⁻¹ .L ⁻¹ , conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Cu = 1,0 mg.L ⁻¹ .	99
Figura 58:	Teores de Cobre determinados a 30m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação 0,20 m ³ .h ⁻¹ .L ⁻¹ , conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Cu = 1,0 mg.L ⁻¹ .	99

Figura 116: Teores de Ferro determinados a 40m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Ferro = $15,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$	119
Figura 117: Teores de Zinco determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 10m.....	123
Figura 118: Teores de zinco determinado na gramínea, na distância de 10m.....	123
Figura 119: Teores de Metal total de Zinco determinado no solo, na distância de 10m	123
Figura 120: Teores de Chumbo determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 10m	123
Figura 121: Teores de Chumbo determinado na gramínea, na distância de 10m	123
Figura 122: Teores de Metal total de Chumbo determinado no solo, na distância de 10m	123
Figura 123: Teores de Cádmio determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 10m	124
Figura 124: Teores de Cádmio determinado na gramínea, na distância de 10m.....	124
Figura 125: Teores de Metal total de Cádmio determinado no solo, na distância de 10m	124
Figura 126: Teores de Níquel determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 10m	124
Figura 127: Teores de Níquel determinado na gramínea, na distância de 10m.....	124
Figura 128: Teores de Metal total de Níquel determinado no solo, na distância de 10m.....	124
Figura 129: Teores de Ferro determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 10m	125
Figura 130: Teores de Ferro determinado na gramínea, na distância de 10m	125
Figura 131: Teores de Metal total de Ferro determinado no solo, na distância de 10m	125
Figura 132: Teores de Cromo determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 10m	125
Figura 133: Teores de Cromo determinado na gramínea, na distância de 10m	125
Figura 134: Teores de Metal total de Cromo determinado no solo, na distância de 10m	125
Figura 135: Teores de Cobre determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 10m	126
Figura 136: Teores de Cobre determinado na gramínea, na distância de 10m	126
Figura 137: Teores de Metal total de Cobre determinado no solo, na distância de 10m	126
Figura 138: Teores de Zinco determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 20m	129
Figura 139: Teores de zinco determinado na gramínea, na distância de 20m.....	129
Figura 140: Teores de Metal total de Zinco determinado no solo, na distância de 20m	129
Figura 141: Teores de Chumbo determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 20m	129
Figura 142: Teores de Chumbo determinado na gramínea, na distância de 20m	129
Figura 143: Teores de Metal total de Chumbo determinado no solo, na distância de 20m	129
Figura 144: Teores de Cádmio determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 20m	130
Figura 145: Teores de Cádmio determinado na gramínea, na distância de 20m.....	130
Figura 146: Teores de Metal total de Cádmio determinado no solo, na distância de 20m	130
Figura 147: Teores de Níquel determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 20m	130
Figura 148: Teores de Níquel determinado na gramínea, na distância de 20m.....	130
Figura 149: Teores de Metal total de Níquel determinado no solo, na distância de 20m.....	130
Figura 150: Teores de Ferro determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 20m	131
Figura 151: Teores de Ferro determinado na gramínea, na distância de 20m	131
Figura 152: Teores de Metal total de Ferro determinado no solo, na distância de 20m	131
Figura 153: Teores de Cromo determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 20m	131
Figura 154: Teores de Cromo determinado na gramínea, na distância de 20m	131
Figura 155: Teores de Metal total de Cromo determinado no solo, na distância de 20m	131

Figura 156: Teores de Cobre determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 20m	132
Figura 157: Teores de Cobre determinado na gramínea, na distância de 20m	132
Figura 158: Teores de Metal total de Cobre determinado no solo, na distância de 20m	132
Figura 159: Teores de Zinco determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 30m	135
Figura 160: Teores de zinco determinado na gramínea, na distância de 30m.....	135
Figura 161: Teores de Metal total de zinco determinado no solo, na distância de 30m.....	135
Figura 162: Teores de Chumbo determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 30m.....	135
Figura 163: Teores de Chumbo determinado na gramínea, na distância de 30m	135
Figura 164: Teores de Metal total de Chumbo determinado no solo, na distância de 30m.....	135
Figura 165: Teores de Cádmio determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 30m	136
Figura 166: Teores de Cádmio determinado na gramínea, na distância de 30m.....	136
Figura 167: Teores de Metal total de Cádmio determinado no solo, na distância de 30m	136
Figura 168: Teores de Níquel determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 30m	136
Figura 169: Teores de Níquel determinado na gramínea, na distância de 30m.....	136
Figura 170: Teores de Metal total de Níquel determinado no solo, na distância de 30m.....	136
Figura 171: Teores de Ferro determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 30m	137
Figura 172: Teores de Ferro determinado na gramínea, na distância de 30m	137
Figura 173: Teores de Metal total de Ferro determinado no solo, na distância de 30m	137
Figura 174: Teores de Cromo determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 30m	137
Figura 175: Teores de Cromo determinado na gramínea, na distância de 30m	137
Figura 176: Teores de Metal total de Cromo determinado no solo, na distância de 30m	137
Figura 177: Teores de Cobre determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 30m	138
Figura 178: Teores de Cobre determinado na gramínea, na distância de 30m	138
Figura 179: Teores de Metal total de Cobre determinado no solo, na distância de 30m	138
Figura 180: Teores de Zinco determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 40m	141
Figura 181: Teores de zinco determinado na gramínea, na distância de 40m.....	141
Figura 182: Teores de Metal total de Zinco determinado no solo, na distância de 40m	141
Figura 183: Teores de Chumbo determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 40m	141
Figura 184: Teores de Chumbo determinado na gramínea, na distância de 40m	141
Figura 185: Teores de Metal total de Chumbo determinado no solo, na distância de 40m	141
Figura 186: Teores de Cádmio determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 40m	142
Figura 187: Teores de Cádmio determinado na gramínea, na distância de 40m.....	142
Figura 188: Teores de Metal total de Cádmio determinado no solo, na distância de 40m	142
Figura 189: Teores de Níquel determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 40m	142
Figura 190: Teores de Níquel determinado na gramínea, na distância de 40m.....	142
Figura 191: Teores de Metal total de Níquel determinado no solo, na distância de 40m.....	142
Figura 192: Teores de Ferro determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 40m	143
Figura 193: Teores de Ferro determinado na gramínea, na distância de 40m	143
Figura 194: Teores de Metal total de Ferro determinado no solo, na distância de 40m	143
Figura 195: Teores de Cromo determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 40m	143
Figura 196: Teores de Cromo determinado na gramínea, na distância de 40m	143
Figura 197: Teores de Metal total de Cromo determinado no solo, na distância de 40m	143

Figura 198: Teores de Cobre determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 40m	144
Figura 199: Teores de Cobre determinado na graminha, na distância de 40m	144
Figura 200: Teores de Metal total de Cobre determinado no solo, na distância de 40m	144
Figura 201: Curva característica da água do solo na rampa de escoamento superficial no solo. Afluente proveniente dos filtros anaeróbios – Local ETE Graminha – Limeira –S.P.....	150
Figura 202: Curva característica da água do solo na rampa de escoamento superficial no solo. Afluente proveniente dos filtros anaeróbios – Local ETE Graminha – Limeira –S.P.....	150
Figura 203: Curva característica da água do solo na rampa de escoamento superficial no solo. Afluente proveniente dos filtros anaeróbios – Local ETE Graminha – Limeira –S.P.....	151
Figura 204: Curva característica da água do solo na rampa de escoamento superficial no solo. Afluente proveniente dos filtros anaeróbios – Local ETE Graminha – Limeira –S.P.....	151
Figura 205: Curva característica da água do solo na rampa de escoamento superficial no solo Afluente proveniente dos filtros anaeróbios – Local ETE Graminha – Limeira –S.P.	152
Figura 206: Curva característica da água do solo na rampa de escoamento superficial no solo. Afluente proveniente dos filtros anaeróbios – Local ETE Graminha – Limeira –S.P.....	152
Figura 207: Curva característica da água do solo na rampa de escoamento superficial no solo Afluente proveniente dos filtros anaeróbios – Local ETE Graminha – Limeira –S.P.....	153
Figura 208: Curva característica da água do solo na rampa de escoamento superficial no solo Afluente proveniente dos filtros anaeróbios – Local ETE Graminha – Limeira –S.P.....	153
Figura 209: Vista em corte de um forno de microondas	154

Lista de Tabelas

Páginas

Tabela 1: Métodos Instrumentais mais comuns utilizados para determinação de metais.....	25
Tabela 2: Temperaturas aproximadas das chamas de algumas misturas combustível/oxidantes	27
Tabela 3: Sistemas Anaeróbios de Tratamento de Esgotos.....	38
Tabela 4: Panorama geral de unidades de tratamento de esgoto doméstico pelo método do escoamento superficial.	43
Tabela 5: Comparação qualitativa das águas residuais dos sistemas de disposição no solo	45
Tabela 6: Condições de aplicabilidade dos métodos de disposição no solo	48
Tabela 7: Substâncias em estudo neste trabalho potencialmente prejudiciais	58
Tabela 8: Padrão de aceitação de consumo para os seguintes metais,	59
Tabela 9: Comparação entre CONAMA 20 e Estados para o padrão de lançamento de metais pesados em estudo:.....	59
Tabela 10: Concentração de metais considerada normal e fitotóxica em folhas de plantas	61
Tabela 11: Concentração máxima permitida de metais em solos agrícolas, tratados com lodo de esgoto em diversos países	61
Tabela 12: Parâmetros, local e pontos de coletas que foram estudados durante o período experimental.....	69
Tabela 13: Frequência de coleta de amostras, em função do local de coleta.....	70
Tabela 14: Série de peneiras da Bureau of Standard.....	160
Tabela 15: Valores de Cádmio no líquido nas taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ e $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ de escoamento superficial no solo ao longo da rampa de escoamento.....	173
Tabela 16: Valores de Chumbo no líquido nas taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ e $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ de escoamento superficial no solo ao longo da rampa de escoamento.....	174
Tabela 17: Valores de Cobre no líquido nas taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ e $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ de escoamento superficial no solo ao longo da rampa de escoamento durante o período	175
Tabela 18: Valores de Cromo no líquido nas taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ e $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ de escoamento superficial no solo ao longo da rampa de escoamento.....	176
Tabela 19: Valores de Níquel no líquido nas taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ e $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ de escoamento superficial no solo ao longo da rampa.....	177
Tabela 20: Valores de Zinco no líquido nas taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ e $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ de escoamento superficial no solo durante o período de coletas.....	178
Tabela 21: Valores de Ferro no líquido nas taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ e $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ de escoamento superficial no solo durante o período.....	179
Tabela 22: Teores do metal Zinco na distância de 10m na graminha, no solo e metal total no solo.....	180
Tabela 23: Teores do metal Chumbo na distância de 10m na graminha, no solo e metal total no solo.....	180
Tabela 24: Teores do metal Cádmio na distância de 10m na graminha, no solo e metal total no solo.....	180
Tabela 25: Teores do metal Níquel na distância de 10m na graminha, no solo e metal total no solo.....	180
Tabela 26: Teores do metal Ferro na distância de 10m na graminha, no solo e metal total no solo.....	181
Tabela 27: Teores do metal Cromo na distância de 10m na graminha, no solo e metal total no solo.....	181
Tabela 28: Teores do metal Cobre na distância de 10m na graminha, no solo e metal total no solo.....	181
Tabela 29: Teores do metal Zinco na distância de 20m na graminha, no solo e metal total no solo.....	182
Tabela 30: Teores do metal Chumbo na distância de 20m na graminha, no solo e metal total no solo.....	182

Tabela 31: Teores do metal Cádmio na distância de 20m na gramínea, no solo e metal total no solo.....	182
Tabela 32: Teores do metal Níquel na distância de 20m na gramínea, no solo e metal total no solo	182
Tabela 33: Teores do metal Ferro na distância de 20m na gramínea, no solo e metal total no solo	183
Tabela 34: Teores do metal Cromo na distância de 20m na gramínea, no solo e metal total no solo.....	183
Tabela 35: Teores do metal Cobre na distância de 20m na gramínea, no solo e metal total no solo.....	183
Tabela 36: Teores do metal Zinco na distância de 30m na gramínea, no solo e metal total no solo.....	184
Tabela 37: Teores do metal Chumbo na distância de 30m na gramínea, no solo e metal total no solo..	184
Tabela 38: Teores do metal Cádmio na distância de 30m na gramínea, no solo e metal total no solo.....	184
Tabela 39: Teores do metal Níquel na distância de 30m na gramínea, no solo e metal total no solo	184
Tabela 40: Teores do metal Ferro na distância de 30m na gramínea, no solo e metal total no solo	185
Tabela 41: Teores do metal Cromo na distância de 30m na gramínea, no solo e metal total no solo.....	185
Tabela 42: Teores do metal Cobre na distância de 30m na gramínea, no solo e metal total no solo.....	185
Tabela 43: Teores do metal Zinco na distância de 40m na gramínea, no solo e metal total no solo.....	186
Tabela 44: Teores do metal Chumbo na distância de 40m na gramínea, no solo e metal total no solo..	186
Tabela 45: Teores do metal Cádmio na distância de 40m na gramínea, no solo e metal total no solo.....	186
Tabela 46: Teores do metal Níquel na distância de 40m na gramínea, no solo e metal total no solo	186
Tabela 47: Teores do metal Ferro na distância de 40m na gramínea, no solo e metal total no solo	187
Tabela 48: Teores do metal Cromo na distância de 40m na gramínea, no solo e metal total no solo.....	187
Tabela 49: Teores do metal Cobre na distância de 40m na gramínea, no solo e metal total no solo.....	187
Tabela 50: Valores de SST, SSF e SSV nas taxas de aplicação $0,20\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ (1) e $0,30 \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ (2) no escoamento superficial no solo, durante os dias de monitoramento	188
Tabela 51: Valores de Alcalinidade (entrada) e (saída) nas taxas de aplicação $0,20\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ (1) e $0,30 \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ (2) no escoamento superficial no solo, durante os dias de monitoramento.....	189
Tabela 52: Valores de pH nas taxas de aplicação $0,20\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ (1) e $0,30 \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ (2) no escoamento superficial no solo, durante os dias de monitoramento	190
Tabela 53: Valores de DQO nas taxas de aplicação $0,20\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$ (1) e $0,30 \text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$ (2) no escoamento superficial no solo, durante os dias de monitoramento	191
Tabela 54: Valores da Temperatura nas taxas de aplicação $0,20\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$ (1) e $0,30 \text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$ (2) de escoamento superficial no solo, durante os dias de monitoramento	192
Tabela 55: Valores de eficiência total nas taxas de aplicação $0,20\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ e $0,30 \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ no escoamento superficial no solo, durante os dias de monitoramento	192
Tabela 56: Índice pluviométricos do ano de 2001 em totais diários de precipitação (mm)	193
Tabela 57: Índice pluviométricos do ano de 2002 em totais diários de precipitação (mm)	194

LISTA DE SÍMBOLOS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
°C	Grau centígrado
Cd	Cádmio
CETESB	Companhia de Tecnologia em Saneamento Ambiental de São Paulo
CO ₂	Gás carbônico
Cr	Cromo
Cu	Cobre
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DQO	Demanda química de oxigênio
ETE	Estação de tratamento de esgotos
Fe	Ferro
h.	Hora
kg	Quilograma
L	Litro
m	Metro
M-3	Mehlich-3
MO	Matéria orgânica
mg	Miligramas
mm	Milímetros
NBR	Norma brasileira regulamentar
N/cm ²	Unidade de força – Newton força por centímetro quadrado
Ni	Níquel
Obs.	Observação
Pb	Chumbo
SS	Sólidos suspensos
SSF	Sólidos suspensos fixos
SSV	Sólidos suspensos voláteis
T	Temperatura
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
USEPA	U.S. Environmental Protection Agency.
Zn	Zinco

RESUMO

Souza, Edmar Santos de. Método de Escoamento Superficial no Solo: Remoção e Biodisponibilidade de Metais Pesados em Esgoto Sanitário. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2003. 219 folhas. Dissertação de Mestrado. O presente estudo avaliou a eficiência de remoção de metais pesados de esgoto sanitário utilizando o método de escoamento superficial no solo; tendo como objetivos determinar a taxa de aplicação de efluente mais adequada, visando a remoção de metais pesados e sua biodisponibilidade nos afluentes e efluentes do sistema, o sistema solo-planta-água e de água de percolação no solo. A determinação qual teor de metais pesados Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, e Zn, em vários compartimentos: afluente e efluente ao sistema, o sistema solo-planta-água e água de percolação no solo. Para avaliação da biodisponibilidade foram utilizadas soluções extratoras, como solução de MEHLICH-3 e DTPA-TEA. O grau de remoção de matéria orgânica foi bastante similar nas duas taxas de aplicações. Onde apresentou na taxa de aplicação de $0,30\text{m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-1}$ uma média de $\text{DQO}_{(\text{entrada})} = 655,52 \pm 59,86 \text{ mgO}_2.\text{L}^{-1}$ e média de $\text{DQO}_{(\text{saída})} = 93,94 \pm 12,35 \text{ mgO}_2.\text{L}^{-1}$. Na taxa de aplicação de $0,20\text{m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-1}$ apresentou uma média de $\text{DQO}_{(\text{entrada})} = 776,03 \pm 69,60 \text{ mgO}_2.\text{L}^{-1}$ e $\text{DQO}_{(\text{saída})} = 119,36 \pm 25,49 \text{ mgO}_2.\text{L}^{-1}$. O sistema teve uma eficiência total de remoção de sólidos em suspensão de: 60,89% SST, 37,08% SSF e 64,93% SSV. O resultado obtido para a concentração de metal no Afluente e Efluente e em todas profundidades nas devidas distâncias encontra-se dentro dos limites estabelecidos pelo CONAMA 20.

Palavras Chave: escoamento superficial, metais pesados, biodisponibilidade.

1- INTRODUÇÃO

Desde o início de nossa civilização, o solo e os cursos d'água foram usados como forma natural de descarte de resíduos gerados pela atividade humana. Tem-se observado nos últimos anos o aumento da quantidade de resíduos descartados no ambiente, dificultando ainda mais a reciclagem natural. O ambiente tem capacidade limitada de depuração. O descarte de resíduos urbanos, industriais e agrícolas tem levado a situações críticas de deterioração do ambiente em certas regiões. A consequência indesejável e perigosa disto é a poluição das reservas hídricas e do solo.

O crescimento populacional, sua concentração nos centros urbanos e as facilidades proporcionadas pela chamada “vida moderna”, têm imposto novos padrões de consumo de alimentos e de produtos industrializados. Em consequência, crescem cada vez mais as quantidades geradas de resíduos, a uma taxa de produção maior do que aquela que exprime a capacidade do ambiente degradar, ocasionando os inúmeros problemas circunstanciados ao seu acúmulo. Entre os resíduos gerados, o esgoto e o lixo urbano são os que mais se destacam, seja pelas grandes quantidades produzidas, seja pelo potencial poluidor (OLIVEIRA, 2000).

No que concerne ao esgoto, atualmente a maior parte é lançada “in natura” nos cursos d'água, o que compromete a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos. O lixo urbano é depositado na maioria das cidades brasileiras, a céu aberto ou em aterros sanitários.

Sem tratamento e disposição final adequado, esses resíduos urbanos são responsáveis por sérios problemas de ordem sanitárias e ambientais, ocasionados por meio da proliferação de vetores biológicos transmissores de doenças (insetos, aves e ratos), da contaminação do solo e das águas de superfície e subsuperfície ou até mesmo do ar, pela liberação de odores desagradáveis e gases tóxicos. Nos últimos anos, esses problemas vêm causando grandes preocupações aos órgãos públicos competentes, que aliados às pressões sociais ocasionadas por uma nova consciência política e ambiental, vem procurando soluções técnicas e economicamente viáveis.

As alternativas atualmente utilizadas para o tratamento de efluentes líquidos não resolvem totalmente o problema, uma vez que é gerado novos resíduos. Assim, no final do tratamento dos esgotos é gerado, em grande escala, um outro resíduo: o lodo de esgoto. Dentre as alternativas para sua destinação final podem ser citadas: disposição em oceanos, aterro misto com lixo urbano, incineração, produção de agregado leve para a construção civil e utilização e ou disposição em solos agrícolas. No caso do lixo, dentre as alternativas para a redução do volume a ser descartado, destacam-se: incineração, reciclagem de materiais reprocessáveis e compostagem da fração orgânica com destinação para agricultura. Entretanto, dependendo das suas origens, esses resíduos podem apresentar características que venham limitar seu emprego na agricultura. Dentre estas, destacam-se: presença de patógenos, compostos orgânicos persistentes e tóxicos, compostos nitrogenados e metais pesados.

Diante do exposto, são de extrema importância as pesquisas sobre a ocorrência e a severidade em estudo, optou-se em avaliar a eficiência de remoção de metais pesados em efluentes líquidos no solo pelo método de escoamento superficial, pôr ser um sistema alternativo, de baixo custo, com grande potencial para aplicação no tratamento de esgoto sanitário e vir complementar assim os trabalhos de pesquisa já iniciados pelos pesquisadores da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas do departamento de Saneamento e Ambiente.

2- OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

Este projeto tem como objetivo a quantificação de alguns metais utilizando o método de escoamento superficial.

2.2 Objetivos Específicos

Determinar a taxa de aplicação de efluente mais adequada, visando a remoção de metais.

E por fim quantificar os metais onde terão maior concentração no sistema solo-planta-água e de água de percolação no solo e sua biodisponibilidade nos afluentes e efluentes do sistema.

3- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma abordagem sobre a importância sanitária dos metais pesados, técnicas instrumentais de determinação destes metais e tratamento de esgoto sanitário pelo método de escoamento superficial.

3.1 Metais Pesados

São chamados de metais pesados aqueles elementos que têm densidade maior do que 5g cm^{-3} : Cd, Ni, Pb, Sb, Ti, Sn, Hg, Zn, Mo, Cr, Fe, Ru, Co, entre outros (ALLOWAY, 1990). Entre os ecotoxicologistas, o termo metal pesado é usado para os metais capazes de causar danos ao ambiente; a divergência no que se refere aos metais pesados não reside apenas na definição, a escolha dos elementos que farão parte deste grupo também é controversa (DEPLEDGE et al. 1994). Metais também são definidos como os elementos químicos que apresentam uma condução de eletricidade e cuja resistência elétrica é diretamente proporcional à temperatura absoluta (FORSTNER & WITTMANN, 1983). Em adição a esta característica de distinção, vários metais apresentam também outras propriedades físicas, comuns, tais como: boa condução de calor, alta densidade, maleabilidade e ductilidade. No entanto, o termo “metais pesados” é normalmente adotado para referir-se aos metais e metalóides, os quais estão associados com poluição e toxicidade, por este motivo muitas vezes recebe também a denominação de “metais tóxicos”. Entretanto, alguns destes elementos são biologicamente essenciais tais como o Co, Cu, Mn, Se e Zn

(LESTER, 1987). Atualmente um termo que tem sido muito utilizado quando se refere aos metais pesados é o termo “metais traço” (ALLOWAY, 1990).

Os metais pesados, embora de um modo geral podem vir a ser tóxico às plantas e aos animais, nas concentrações sobremaneira reduzidas em que habitualmente aparecem nos esgotos municipais, não se tem notícias de problemas de toxidez crônica na disposição dos mesmos. Por outro lado, não se pode afirmar semelhança disposição dos esgotos industriais e, principalmente da bioacumulação, dos lodo, pois são as principais fontes dos metais pesados.

Na infiltração e na percolação, os metais pesados são retidos pela maioria dos solos, principalmente quando ricos em matéria orgânica e com pH >7,0. Entretanto, quando o solo possui características redutoras. Este não tem capacidade de retê-los e, por lixiviação, acabam sendo encaminhados ao lençol freático e aos corpos d'água, provocando uma elevação em sua toxicidade. Isto acontece, como dito anteriormente, quando os esgotos são de origem industrial ou agrícola, origem esta que pode proporcionar concentrações muitas elevadas para a disposição no solo, com riscos de contaminação.

A importância da presença de metais pesados nos esgotos a serem dispostos, deve-se à potencialidade de sua acumulação no perfil do solo, à possibilidade de ocorrer a fototoxicidade, bem como ao risco de que os elementos venham a introduzir-se na cadeia alimentar humana, seja por meio do consumo de culturas ou animais com níveis elevados de metais pesados, ou mesmo pelo uso de aquíferos contaminados.

Na disposição de esgotos por escoamento superficial, a grande proporção da acumulação dos metais pesados dá-se juntamente com matéria orgânica da superfície do solo, e próxima do ponto de aplicação dos esgotos (PAGANINI, 1995).

Os metais pesados não podem ser destruídos e são altamente reativos, sob o ponto de vista químico o que explica a dificuldade de encontrá-los em estado puro na natureza. Em geral são encontrados em concentrações muito pequenas, associados a outros elementos químicos, formando minerais em rochas (GREENPEACE, 2002).

O homem, só tem necessidade de alguns poucos metais e em doses

pequenas, que são chamados de micronutrientes, como o caso do zinco, magnésio, cobalto e ferro (constitui a hemoglobina), caso suas concentrações ultrapassem a chamada concentração limite eles se tornam tóxicos e com riscos para a saúde.

A seguir encontram-se descritas as principais características de alguns metais, tais como fontes, usos, ocorrência no ambiente e efeitos na saúde humana.

3.1.1 Cádmio

Fontes:

O cádmio (Cd) é o segundo elemento do grupo IIB da tabela periódica, encontrando-se ao lado do Zn e Hg nesse grupo. O estado estável do cádmio na natureza é Cd^{2+} . Segundo a WORLD HEALTH ORGANIZATION-WHO (1984), os minerais que contêm Cd são encontrados em partes específicas do mundo, mas no entanto, esse metal é uniformemente distribuído em pequenas somas na crosta terrestre. O principal mineral fonte de Cd é a greenockita. A concentração de Cd na crosta terrestre varia de 0,15 a 0,20 mg.kg^{-1} , o que o coloca como o 67º metal em ordem de abundância, sendo obtido normalmente como sub-produto da extração de Zn.

Usos:

O uso de Cd na indústria tem sido significativo somente neste século o que é diferente para o Pb, Cu e Hg que vêm sendo utilizados há séculos. Mais da metade do Cd utilizado na indústria foi produzido nos últimos 20 anos (ALLOWAY, 1990).

O cádmio é utilizado principalmente em indústrias de galvanoplastia em que o metal é depositado sobre os objetos proporcionando-lhes brilho e resistência à corrosão, na fabricação de baterias, em tubos de televisão, lâmpada: fluorescentes, utilizado também como pigmento e estabilizador de plásticos polivinílicos (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984).

Cádmio no ambiente:

HIATT & JUFF, apud WHO (1984), comentam que as águas não poluídas contêm menos do que $1\mu\text{g.L}^{-1}$ de Cd. No caso de contaminação das águas superficiais, esta normalmente se dá por descarga de resíduos industriais e lixiviação de áreas de aterro sanitário, ou de solos que recebem lodos de esgoto.

A solubilidade do Cd na água é influenciada pela natureza da fonte de Cd e pelo pH da água (WHO, 1984). Segundo FLORENCE (1982), em geral o Cd requer um pH significativamente alto para se adsorver a partículas orgânicas ou inorgânicas, maior do que o pH requerido para o Cu e Hg, por exemplo. A partir do pH 9,0 o Cd apresenta tendência a se ligar com os grupos hidroxilas, formando espécies $\text{Cd}(\text{OH})^+$.

Nas águas naturais a maior parte do Cd se encontra na forma de Cd^{2+} podendo aparecer também em outras formas; tais como:

- a) associado a ligantes inorgânicos: o Cd pode se ligar aos ânions precipitantes tais como sulfetos, fosfato, carbonato e cloreto, apresentando grande afinidade a este último.
- b) associado a ligantes orgânicos: o Cd forma complexos moderadamente estáveis com uma variedade de compostos orgânicos tais como aminoácidos, polissacarídeos, substâncias húmicas, etc.

A contaminação dos solos por Cd, se dá principalmente pela mineração, poluição atmosférica de indústrias metalúrgicas, disposição de resíduos contendo Cd, bem como a incineração de baterias, aplicação de lodo de esgoto no solo e queima de combustíveis fósseis. ALLOWAY (1990) comenta que antes mesmo do Cd ser usado comercialmente, a contaminação pôr este metal já vinha ocorrendo pelo fato de estar presente, como impureza, em diversos materiais. Um exemplo importante disso são os fertilizantes fosfatados, os quais contém variáveis concentrações de Cd, que se acumulam nos solos agrícolas aumentando muito o seu teor. A deposição de partículas da atmosfera de áreas urbanas e industriais, tem afetado os solos de muitos países industrializados.

No Brasil o teor de cádmio total nos solos se situa entre valores menores do que 0,1 a 0,4 mg.kg⁻¹ (MATTIAZZO-PREZOTTO, 1994).

Cádmio na saúde humana:

As principais vias de exposição ao Cd são os alimentos, a água para o consumo humano, ar, cigarros e exposição industrial. Os alimentos se constituem na maior via pela qual o Cd entra no corpo humano, no entanto, estando o tabaco considerado também, como uma importante fonte desse metal.

Segundo informações fornecidas pela COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, apud WHO (1984), como o Cd é volátil a elevadas temperaturas, uma porção do metal presente no tabaco será inalada na forma de CdO, pelo fumante e pelas pessoas que se encontram próximas a este, acumulando aproximadamente 50% dessa quantidade nos pulmões.

Têm sido demonstrados efeitos na saúde de trabalhadores industriais expostos intensivamente a fumaças de óxido de cádmio e poeiras contendo Cd. Ao lado do Hg, o Cd é considerado o metal mais tóxico para o ser humano.

Os efeitos de intoxicação aguda pôr cádmio são muito sérios, estando entre eles, principalmente a hipertensão, problemas nos rins, destruição dos tecidos dos testículos e destruição dos glóbulos vermelhos do sangue. A intoxicação pôr Cd pode causar a doença conhecida no Japão como “itai-itai”, manifestada pela fratura dos ossos, que causa intensas dores, e disfunção renal. Os habitantes de Toyama Japão, se mostraram afetados por “itai-itai”, onde a fonte de poluição foi a água do rio, contaminada pôr operações de mineração. O Cd foi ingerido com a água utilizada para beber e com o arroz irrigado com essa água contaminada (MANAHAN, 1990).

Acredita-se que grande parte da ação fisiológica do Cd é devida a sua similaridade ao Zn. O Cd pode substituir o Zn em algumas enzimas, causando alterações e impedindo a atividade catalítica de tais enzimas (MANAHAN, 1990).

A Organização Mundial da Saúde recomenda que a ingestão máxima não deve

ultrapassar a concentração de 400 a 500 $\mu\text{g}.\text{semana}^{-1}$, o que é equivalente a, aproximadamente, 70 $\mu\text{g}.\text{dia}^{-1}$. Pessoas que fumam podem acrescentar de 20 a 35 μg de Cd na sua ingestão diária (ALLOWAY, 1990).

3.1.2 Chumbo

Fontes:

O chumbo (Pb) pertence ao grupo IV da tabela periódica, juntamente com o C, Si, Ge e Sn. Apresenta dois estados de oxidação (Pb(II) e Pb(IV)) estáveis, mas a química ambiental do elemento é dominada pelo íon Pb^{2+} . O chumbo é um metal denso, de coloração azul-cinza, com ponto de fusão de 327 $^{\circ}\text{C}$ e ponto de ebulição a 1 744 $^{\circ}\text{C}$ (DAVIES, 1990).

De acordo com a GUIDELINES FOR CANADIAN DRINKING WATER QUALITY, apud WHO (1984), o chumbo é um constituinte natural da crosta terrestre, com concentração média de 16 $\text{mg}.\text{kg}^{-1}$. Está presente em inúmeros minerais, o que faz com que a maioria dos países possuam depósitos de Pb. O mineral fonte de Pb mais importante é o galena (sulfeto de chumbo).

Usos:

O chumbo vem sendo utilizado pelo homem há muitos séculos, havendo relatos da sua utilização desde os tempos medievais.

O principal uso do Pb é na fabricação de baterias, sendo usado também na gasolina, em pigmentos, munição e soldas.

Chumbo no ambiente:

O teor médio de Pb em rios e lagos encontra-se na faixa de 1 a 10 $\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$. No entanto valores maiores têm sido registrados onde a contaminação tem ocorrido, principalmente, como resultado de atividades industriais. Mas, felizmente tais situações

são relativamente raras.

O comportamento do Pb em águas naturais é uma combinação de precipitação e complexação aos ligantes orgânicos e inorgânicos, sendo o grau de mobilidade do Pb dependente do estado físico-químico dos complexos formados:

- associação a ligantes inorgânicos e orgânicos: a hidrólise dos precipitados (fosfato de chumbo e sulfeto de chumbo) em valores de pH próximos a 6 solubiliza o Pb como $\text{Pb}(\text{OH})^+$. O $\text{Pb}(\text{OH})_2$ insolúvel não é formado até pH igual a 10. A pH igual a 6 os íons Pb^{2+} e $\text{Pb}(\text{OH})^+$ estão presentes em concentrações aproximadamente iguais, já a pH igual a 8 predomina $\text{Pb}(\text{OH})^+$. O chumbo forma quelatos moderadamente fortes com os ligantes orgânicos que contém S, N e O.
- associação a particulados: o chumbo mostra variáveis níveis de ligação (15 a 83% aos sólidos suspensos. Na água para consumo humano a especiação físico-química do Pb indica que pouco ou nada desse metal é encontrado na forma de íon livre).

Nos solos os teores de Pb aumentam como resultado de diversas atividades do homem, tais como mineração e fundição, uso de lodo de esgoto na agricultura e contaminação pela fumaça dos veículos (DAVIES, 1990).

Chumbo na saúde humana:

Segundo a WORLD HEALTH ORGANIZATION, apud LESTER (1987), a ocorrência de Pb na água para consumo humano pode ser resultante da contaminação da fonte de água ou corrosão do sistema de distribuição, onde o Pb nas tubulações não apresenta função fisiológica conhecida. A absorção de Pb no trato gastrointestinal é menor do que a absorção pela inalação, estando em função idade e sendo afetada pelas diferentes espécies químicas de Pb e presença ou ausência de alimentos. Uma vez absorvido, o Pb entra na corrente sanguínea, onde aproximadamente 95% se liga aos eritrócitos, causando aumento da fragilidade e redução do tempo de vida das células.

Entre as principais vias de exposição ao Pb as seguintes:

-água para consumo humano: normalmente os níveis de Pb são baixos, próximos de 10 a 20 $\mu\text{g.L}^{-1}$, embora níveis mais elevados já tenham sido determinados. Baseando-se num consumo de 2 litros de água por dia, a ingestão diária de Pb varia de 20 μg a 1 mg ou mais.

-alimentos: a concentração de Pb nos alimentos é muito variada. A ingestão média para adultos é estimada em 200 $\mu\text{g.dia}^{-1}$.

-ar: a concentração de Pb no ar varia muito entre as regiões industrializadas e não industrializadas. Considerando-se um volume diário inspirado de 15 a 22,8 m^3 , a uma concentração típica que é de 1 $\mu\text{g.m}^{-3}$ e com uma retenção no sistema respiratório de 40%, a contribuição diária de Pb pelo ar é de aproximadamente 6 a 9 μg .

-cigarros: geralmente pequenas quantidades de Pb são encontradas no tabaco.

A toxicidade aguda causada pelo Pb provoca várias disfunções nos rins, no sistema reprodutivo, fígado, no cérebro e sistema nervoso central, resultando em doenças ou mortes. Já doses suaves de Pb podem causar anemia. A vítima pode ter dores de cabeça e dores musculares, sentindo-se facilmente cansada e irritada. Em crianças o chumbo mostrou causar retardamento mental.

3.1.3 Cobre

Fontes:

O cobre (Cu) pertence ao grupo IB da tabela periódica, juntamente a prata (Ag) e ouro (Au) apresenta coloração avermelhada, aceita polimento, é maleável, dúctil, é bom condutor do calor e eletricidade, sendo ultrapassado somente pelo zinco em termos de condução de eletricidade (BAKER, 1990). O cobre é um elemento essencial para plantas e animais, estando presente em diversas proteínas identificadas em sistemas biológicos, tais como a tirosinase, lactase citocromo oxidase.

Em termos de abundância na crosta terrestre, o cobre ocupa o 26º lugar, atrás do zinco, com uma concentração média de 55 mg.kg^{-1} . Na natureza o Cu forma

compostos com sulfetos, sulfatos, carbonatos e outros. Em ambientes reduzidos ocorrem também como cobre nativo. Complexos de Cu de estados de oxidação (+1), (+2) e (+3) são conhecidos, mas, no entanto o estado de oxidação (+2) é o mais comum. Entre os minerais que contém Cu pode-se citar: calcita - Cu - contendo 100% de cobre; cuprita - Cu_2O - que contém 89% de Cu; bornita - Cu_5FeS_4 - contendo 63% de Cu; malaquita - $\text{Cu}_2(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$ contendo 57% de Cu e azurita - $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$ - contendo 55% de Cu.

Segundo JACINTHO, A.O.; CATANI, R.A.; PIZZINATO, (1969) no estado de São Paulo a variação do teor de Cu total nos solos situa-se entre 23 e 126 mg.kg^{-1} .

Usos:

O cobre é muito utilizado em aparelhos eletrônicos, chapas, latão e outras ligas. As ligas de Cu-Ni, muito resistentes à corrosão, são utilizadas em moedas e projéteis para armas de fogo. Ligas contendo 24% de Cu e 76% de Hg são empregadas em odontologia. O cobre é usado também na fabricação de fertilizantes e fungicidas, utilizados na agricultura (LESTER, 1987).

Cobre no ambiente:

Em ambientes aquáticos o Cu pode existir dentro de três categorias particulado, coloidal e solúvel:

- a fase dissolvida pode conter o Cu tanto na forma de íon livre como complexado aos ligantes orgânicos e inorgânicos
- ligação do Cu a ligantes inorgânicos e orgânicos: o cobre forma complexos com bases fortes tais como carbonato, sulfato, nitrato, cloreto e hidróxido. Ligantes neutros como amônia e piridina formam complexos fortes com o Cu. O cobre reage fortemente com o enxofre formando sulfetos insolúveis relativamente estáveis. Em águas naturais, os materiais húmicos ligam mais de 90% do Cu total presente.

- ligação do Cu a particulados: boa parte do Cu presente nos rios encontra-se ligado a particulados.

Nos solos, a concentração de Cu varia muito em função do material de origem. No entanto, muitas fontes colaboram para que esse teor seja aumentado pelo fato de contribuírem com doses de Cu. Na agricultura, pôr exemplo, alguns fertilizantes possuem concentrações variáveis de Cu em sua constituição. A atmosfera contribui com uma significativa porção de Cu para o solo pôr meio da chuva ou pela deposição seca, principalmente em locais próximos a indústrias que emitem fumos contendo Cu. A aplicação de lodo de esgoto nos solos, em certos casos pode aumentar substancialmente os níveis de Cu neste compartimento.

Cobre na saúde humana:

O cobre é um elemento essencial usado em processos de formação do sangue e utilização do ferro, com um requerimento humano diário de $0,03 \text{ mg.kg}^{-1}$ para adultos. Segundo BAKER (1990), num adulto a quantidade de Cu é de 100 a 150 mg, as dietas normais contribuem com 1 a 5 mg de Cu por dia, sendo difícil administrar uma dieta com menos de 1 mg.dia^{-1} . A principal entrada de Cu no organismo se dá através da dieta. O limite de concentração de Cu na água de abastecimento doméstico, recomendada pela Environmental Protection Agency(EPA) é de 1 mg.L^{-1} .

O cobre é absorvido através do trato intestinal (40 a 70%), entretanto, como o zinco, a absorção varia com o tipo de entrada. Uma vez absorvido, o cobre é transportado pelo sangue e estocado nos músculos, fígado e tecidos do cérebro. Em casos de toxicidade aguda, o Cu é encontrado no cérebro, fígado, estômago e urina. Alguns dos sintomas de toxicidade aguda são úlceras gástricas, necroses no fígado e problemas renais.

3.1.4 Cromo

Fontes:

O cromo (Cr) é um elemento químico de transição do grupo VIB da tabela periódica. Em termos de quantidade é considerado o 21º metal mais abundante da crosta terrestre, com uma concentração média de 100 mg.kg^{-1} . Possui coloração cinza brilhante, é resistente, facilmente polido, com ponto de fusão de 1860°C . É resistente ao ataque por oxidação, o que leva a sua utilização em ligas metálicas. Ocorre no ambiente nos estados de oxidação (+3) e (+6), sendo o Cr^{3+} considerado o mais estável (McGRATH & SMITH, 1990).

Muitas rochas e solos contêm pequenas quantidades de Cr. A principal fonte é o mineral cromita, em que o metal encontra-se na forma trivalente. A composição de vários minérios fontes de Cr varia entre 42 e 56% de Cr_2O_3 , 10 e 20% de FeO , juntamente com somas variadas de MgO , Al_2O_3 e SiO_2 , sendo estes minérios reconhecidos em três grupos, de acordo com o seu uso:

- a- minérios para uso metalúrgico; teor de Cr_2O_3 de 48% e relação Cr:Fe de 3:1;
- b- minérios para uso em indústrias de refratários: teor de Fe deve ser baixo e deve conter altos teores de Cr_2O_3 e Al_2O_3 ;
- c- minérios para as indústrias químicas: altos teores de Cr_2O_3 , mas baixos de SiO_2 e Al_2O_3 .

O cromo hexavalente também existe naturalmente, mas não freqüentemente. Cromo em seu estado natural de ocorrência apresenta-se numa forma altamente insolúvel, entretanto, fatores do tempo, oxidação e ação de bactérias podem convertê-lo em uma forma levemente solúvel.

Usos:

Os primeiros usos do Cr foram na fabricação de pigmentos, em 1880, na França, Alemanha e Inglaterra. Posteriormente passou a ser utilizado como corante na indústria têxtil, na fabricação de material refratário e na indústria metalúrgica.

Atualmente o Cr é usado na fabricação de ligas metálicas empregadas na indústria de transporte, construções e fabricação de maquinários, na fabricação de tijolos refratários utilizados em fornos industriais devido as suas propriedades refratárias, como seu alto ponto de fusão e moderada expansão térmica. O Cr também é utilizado na indústria têxtil, fotográfica e de vidros.

Cromo no ambiente:

Devido à baixa solubilidade do Cr, geralmente os níveis desse metal na água são baixos $9,7 \mu\text{g.L}^{-1}$, embora níveis maiores já tenham sido relatados como consequência do lançamento nos rios de resíduos contendo Cr.

O Cr^{3+} é o estado de oxidação mais estável e mais importante. Em condições de pH neutro é convertido em hidróxidos insolúveis. A valência da forma química em águas naturais é influenciada pela acidez da água.

Em relação aos teores de Cr nos solos, alguns fatores colaboram para o seu aumento, como por exemplo, os fertilizantes fosfatados que contém Cr na sua constituição, deposição atmosférica resultante de emissões de indústrias metalúrgicas, combustão de carvão, produção de tijolos refratários e produção de aço, aplicação de lodos de esgoto no solo e disposição de cinzas contendo Cr.

Cromo na saúde humana:

O cromo é um elemento essencial, que se mostra necessário para o metabolismo da glicose, lipídeo e para a utilização de aminoácidos em vários sistemas. Parece ser necessário também para a prevenção de diabetes e arteriosclerose em humanos. Tal metal é absorvido através dos tratores gastrointestinal e respiratório, seu efeito tóxico depende de sua forma química, sendo o Cr^{3+} uma forma essencial do elemento para o ser humano, e o Cr^{6+} a forma tóxica.

Entre as principais vias de exposição ao Cr podem citar as seguintes:

- água para consumo humano: contém normalmente concentrações muito baixas, próximas de $5 \mu\text{g.L}^{-1}$ ou menor. Considerando-se um consumo diário de água de 2 L, a

exposição ao Cr via água é de aproximadamente $10 \mu\text{g}.\text{dia}^{-1}$.

- alimentos: a concentração nos alimentos é muito variada. A contribuição média de uma dieta normal é de aproximadamente 100 a $300 \mu\text{g}.\text{dia}^{-1}$.

- ar: o ar apresenta normalmente uma concentração de $0,02 \mu\text{g}.\text{m}^{-3}$, embora em áreas densamente industrializadas essa concentração pode ser até 20 vezes maior.

Considerando-se um volume inspirado diariamente de $22,8 \text{ m}^3$ e 50% de retenção nos alvéolos pulmonares, a quantidade depositada nos pulmões será próxima de $0,2 \mu\text{g}$.

- cigarros: cada cigarro contém aproximadamente $1,4 \mu\text{g}$ de Cr, sendo uma pequena fração inalada.

A forma hexavalente do Cr é reconhecida como carcinogênica, causando câncer no trato digestivo e nos pulmões, podendo causar também dermatites e úlceras na pele e nas narinas. Segundo a WHO (1984), níveis de Cr^{6+} de $10 \text{ mg}.\text{kg}^{-1}$ de peso corporal podem causar necroses no fígado, nefrites e morte; a níveis inferiores podem ocorrer irritações na mucosa gastrintestinal.

3.1.5 Manganês

Fontes:

O manganês (Mn) é um elemento químico da família VIIB da tabela periódica. As mais altas concentrações de Mn são encontradas em rochas ígneas, tais como o basalto e o gabro. O manganês pode existir nos estados de oxidação Mn(II) a Mn(VII), dos quais os estados (II), (III) e (IV) ocorrem nos minerais em combinação com o oxigênio, carbonato e sílica.

É considerado um elemento biologicamente essencial. Os problemas de poluição ambiental causado pelo Mn são relativamente insignificantes em comparação com os problemas associados aos demais metais pesados, sendo os efeitos biológicos tóxicos mais comuns encontrados em plantas expostas a doses naturais excessivas de manganês em solos sob algumas condições, particularmente inundação.

Usos:

MATTHEWS , apud LESTER (1987), comenta que a maior parte do Mn é usada na produção de ligas, principalmente em combinação com alumínio e aço, sendo os compostos deste metal usados também em formulações de pinturas, baterias, vidros, óleos, desinfetantes e alguns aditivos de petróleo.

3.1.6 Níquel**Fontes:**

O níquel (Ni) apresenta-se como um elemento de transição do grupo VIII da tabela periódica. Possui coloração branco-prateada, aceita polimento, é maleável e bom condutor de calor e eletricidade. Pode atingir níveis de oxidação de (-1) a (+4), sendo o estado (+2) o mais comum.

O níquel é o 24º metal em abundância na crosta terrestre, sendo aproximadamente duas vezes mais abundante que o cobre, e sua concentração média é de 75 mg.kg⁻¹. As mais importantes fontes de Ni são os minérios na forma de sulfeto de níquel. O processamento de minerais, assim como a produção e o uso do Ni tem causado contaminação ambiental pôr este metal.

Usos:

O níquel vem sendo utilizado pelo homem há muitos séculos, havendo relatos sobre o uso de Ni em ligas metálicas desde o ano 3500 A.C. Em moedas, o uso de ligas de Ni é relatado desde o ano 327 A.C.

O principal uso de Ni é na produção de ligas metálicas. Outros usos importantes são na indústria de galvanoplastia, fabricação de baterias juntamente com o Cd (baterias Ni-Cd), componentes eletrônicos, produtos de petróleo, pigmentos e como catalisadores para a hidrogenação de gorduras.

Níquel no ambiente:

De acordo com a COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, apud WHO (1984), muitos sais de Ni são solúveis em água, facilitando assim a contaminação da água pôr esse metal. Problemas significantes de contaminação com Ni estão associados com a descarga de efluentes industriais contendo altos níveis desse metal, para os rios. Normalmente os níveis de Ni nas águas superficiais variam entre 5 a $20\mu\text{g.L}^{-1}$, embora níveis elevados, próximos de 1 mg.L^{-1} já tenham sido reportados.

Nas águas naturais o Ni se apresenta na forma Ni^{2+} , formando complexo estáveis com ligantes orgânicos e inorgânicos. Os complexos inorgânicos incluem os haletos, sulfatos, fosfatos, carbonatos e carbonilas. Os ligantes orgânicos com oxigênio, nitrogênio e especialmente enxofre formam fortes complexos com o Ni. Os ácidos húmicos e fúlvicos formam complexos moderadamente fortes com o Ni. Razões de ácido fúlvico: níqueis maiores que 2 favorecem a formação de complexo níquel-ácido fúlvico solúveis e a razões menores o Ni tende a formar complexos insolúveis entre pH 8 e 9.

As concentrações de Ni nos solos do mundo são muito variáveis, sendo dependente principalmente do material de origem. Entre as fontes que contribuem para a elevação do nível de Ni nos solos estão os materiais agrícolas como os fertilizantes fosfatados que possuem uma pequena porção de Ni, a deposição atmosférica resultante da queima de combustíveis e óleos, combustão de carvão, fundição, mineração e aplicação de lodo de esgoto no solo.

Níquel na saúde humana:

Muitas são as fontes que proporcionam a exposição do homem ao Ni, entre elas pode-se citar as seguintes:

- água para consumo humano: normalmente apresenta concentração de 2 a $5\mu\text{g.L}^{-1}$, embora níveis elevados já tenham sido determinados. Assumindo um consumo diário de água de 2 L, a ingestão diária para um homem adulto é de 10 a $20\mu\text{g.dia}^{-1}$;
- alimentos: o níquel encontra-se presente em muitos alimentos, mas em níveis abaixo

- de 1 mg.kg^{-1} . Uma dieta típica deve contribuir para $400 \text{ } \mu\text{g.dia}^{-1}$;
- ar: normalmente no ar os níveis são menores que $0,5 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$;
 - exposição industrial: em algumas indústrias já foram reportados níveis maiores que $400 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$, no entanto os níveis de exposição nas indústrias são freqüentemente bem menores;
 - cigarros: ao redor de 10 a 20% do Ni presente nos cigarros (normalmente $3 \text{ } \mu\text{g.cigarro}^{-1}$) pode ser inalado, na forma principalmente de carbonila que é volátil. Uma ingestão típica para um fumante que consome 20 cigarros por dia é de 40 a $80 \text{ } \mu\text{g.semana}^{-1}$.

O níquel, relativamente, não é um metal tóxico e as concentrações a que, normalmente, o homem encontra-se exposto são aceitáveis. Há poucas evidências de acumulação de Ni nos tecidos do organismo, sendo excretado pelas fezes, suor e urina. As concentrações tóxicas de Ni podem causar muitos efeitos, entre eles, o aumento da interação competitiva com cinco elementos essenciais, Ca, Co, Cu, Fe e Zn, provocar efeitos mutagênicos pela ligação do Ni aos ácidos nucleicos, indução de câncer nasal, pulmonar e na laringe, indução ao aparecimento de tumores malignos nos rins e, também, apresenta efeito teratogênico.

3.1.7 Zinco

Fontes:

O zinco (Zn) é um elemento químico do grupo IIB da tabela periódica, juntamente com o cádmio (Cd) e o mercúrio (Hg). Não exibe valência múltipla. Apresenta coloração branco-azulada, é duro e quebradiço à temperatura ambiente, porém maleável entre 100 e $150 \text{ }^{\circ}\text{C}$. É considerado o 25º elemento mais abundante na crosta terrestre, com teor médio de 70 mg.kg^{-1} (KIEKENS, 1990). Ocorre em vários minerais e em diferentes formas, como: ZnS , ZnCO_3 , Zn_2SiO_4 , ZnO e outros. Os minerais de importância comercial são principalmente os que estão na forma de carbonato e sulfeto.

O zinco metálico pode ser obtido por aquecimento de seus minerais, com entradas de ar para formar os óxidos correspondentes e posterior redução do óxido com carvão ou carbono com subsequente destilação do metal.

Usos:

O zinco é intensamente utilizado na indústria devido as suas propriedades químicas e metalúrgicas. O maior uso de Zn é na galvanização de produtos de Fe, proporcionando uma cobertura resistente à corrosão. É utilizado em baterias, fertilizante, lâmpadas, componentes de televisores a cores e aros de rodas. Compostos de Zn são usados também em tintas, plásticos, borrachas, em alguns cosméticos e produtos farmacêuticos.

MATTIAZZO-PREZOTTO (1994) comenta que em termos de utilização industrial o Zn ocupa o 4º lugar, estando atrás do Fe, Al e Cu.

Zinco no ambiente:

Nas águas naturais o Zn pode apresentar-se sob as seguintes formas:

- associado a ligantes inorgânicos: o zinco começa a hidrolisar-se a pH entre 7 e 7,5, formando $\text{Zn}(\text{OH})_2$ relativamente estável em pH superior a 8. A pH próximo a 6,7 onde o zinco apresenta-se como Zn^{2+} sendo disponível para a adsorção aos colóides minerais suspensos e complexação com a matéria orgânica;
- associado a ligantes orgânicos: a estabilidade dos complexos zinco-orgânico é aumentada pela presença de N e S no ligante;
- associado a particulados: o zinco mostra um comportamento variável na ligação a particulados, dependendo das características físico-químicas do sistema aquático.

As concentrações de Zn em alguns solos têm demonstrado um aumento gradual. Juntamente com o Cu, Ni e Cr, o zinco se mostra fitotóxico quando a elevadas concentrações. As principais fontes poluidoras de Zn nos solos são as atividades de mineração, uso agrícola de lodo de esgoto e materiais compostados, e o uso de agroquímicos, tais como fertilizantes e pesticidas que contém Zn (KIEKENS, 1990).

Zinco na saúde humana:

O zinco é um elemento essencial, com uma média diária necessária de 10 a 20mg.Kg⁻¹. A maior parte do Zn que entra no organismo está relacionada à dieta, sendo a colaboração da água de abastecimento geralmente muito baixa. É absorvido no duodeno (20 a 30%), estando essa proporção em função da quantidade de proteína e cálcio na dieta e da idade do organismo. O zinco tem uma função na síntese e metabolismo de proteínas e ácidos nucleicos e na divisão mitótica das células. Esse metal tende a ser menos tóxico do que outros metais pesados, e a diferença entre os níveis essencial e tóxico são grandes. Sintomas de toxicidade por Zn são vômitos, desidratação, dores de estômago, náusea, desmaios e descoordenação dos músculos.

O Zn mostra uma relação fortemente positiva sobre o Cd, a hipertensão induzida pelo Cd pode ser reduzida pelo Zn. Em estudos com animais, a toxicidade do Cd mostrou-se menor a uma razão Cd/Zn de 1:4 do que 1:1.

3.2 Metais Pesados em Lodo de Esgoto

Segundo (MATTIAZZO-PREZOTTO, 1992), uma das grandes preocupações quando se utiliza o tratamento de resíduos no solo é o seu teor de metais pesados. A quantidade (dose) de resíduos a ser aplicada ao solo, além do teor de metal pesado, depende de uma série de propriedades do solo, tais como: pH, capacidade de troca de cátions (CTC), teor de argila, óxido de ferro, Al, Mn, carbono total e sólido solúveis. A preocupação com o nível de metais pesados no solo advém da capacidade de retenção dos mesmos, sua movimentação no perfil, da possibilidade de atingir o lençol freático e da biodisponibilidade para os diferentes vegetais.

Segundo ANDREOLI et al. (1998), a concentração de metais no lodo é maior que no solo, razão pela qual se conclui que seu controle é requisito básico a um sistema de valorização agrícola. A aplicação do lodo no solo deve-se levar em conta as concentrações de metais pesados presentes nos resíduos, níveis cumulativos máximos

permitidos no solo, a quantidade de acumulação, as condições do solo regionalmente, as condições climáticas e a topografia.

Muitos países, e mesmo em alguns estados do Brasil, a presença de metais pesados é um dos entraves mais fortes à reciclagem de lodo. Neste sentido, é importante o aprofundamento dos estudos relativos à dinâmica destes elementos nos solos e dos diferentes teores segundo os materiais de origem. Há de se acrescentar ainda, que o equacionamento deste fator depende do controle das descargas industriais nas redes coletoras do esgoto sanitário.

3.2.1 Especificação de Metais Pesados em Lodo de Esgoto

Em vários trabalhos têm sido demonstrado que a absorção de nutrientes pela planta e a toxicidade de muitos metais apresentam uma grande dependência na especificação aquosa do metal, e que as respostas na maioria dos casos, correlacionam-se melhor com a atividade do metal livre em solução (PARKER et al., 1995). Isto se deve ao fato de que apenas o metal livre na forma de Cd^{2+} por exemplo, pode atravessar o plasmalema e entrar no citoplasma da célula. Íons metálicos quelados com ligantes orgânicos ou complexados com ligantes inorgânicos na solução do solo não podem ser absorvidos diretamente, mas precisam ser separados dos ligantes por processo de troca.

O termo especificação em geral é empregado para indicar a distribuição dos elementos entre suas várias formas químicas e físicas e possíveis estados de oxidação. Essa distribuição, portanto, inclui íons livres, complexos, pares iônicos e quelatos em solução e em suas fases sólidas amorfas ou cristalinas, as quais influenciam a reatividade, mobilidade e disponibilidade dos elementos. Para uma abordagem mais completa sobre esse assunto, sugere-se as revisões realizadas por MATIAZZO-PREZOTTO et al. (1999), PARKER et al. (1995) e CAMPBELL (1995).

A preferência das plantas em absorver cátions livres em solução dá-se pelo fato de as células das raízes possuírem um potencial negativo ao longo da membrana celular que favorece a absorção de espécies catiônicas. Por outro lado, cátions complexados têm suas cargas positivas reduzidas, ou mesmo podem apresentar carga

negativa. Os complexos formados apresentam tamanho maior e as ligações formadas tendem a impedir os cátions de participar de outras reações, como as suas ligações em sítios reativos da superfície das membranas.

Programas para computador como o GEOCHEM - PC (PARKER,1995), têm sido muito empregados na especiação iônica, tanto de soluções nutritivas, como de solo, como caso dos solos que receberam lodo de esgoto, entretanto, neste caso os ligantes orgânicos precisam ser identificados e terem suas concentrações determinadas para entrarem também no cálculo da especiação (BERTON,2000). As medidas quantitativas das espécies componentes do extrato aquoso dependem principalmente da quantidade do componente presente, para a escolha da técnica mais apropriada.

A contaminação causada pôr metais pesados, em solos tratados com resíduos urbanos é avaliada, freqüentemente, pelos teores totais desses elementos no solo. Por outro lado, para avaliar a extensão dessa contaminação, no que se refere aos efeitos causados sobre as plantas e a cadeia alimentar, são necessários conhecimentos acerca das concentrações disponíveis às plantas (LESCHBER et al., 1985)

3.2.2 Biodisponibilidade de Metais Pesados

Para avaliação dessa biodisponibilidade, vem sendo estudados diversos extratores químicos cuja eficiência é atribuída de acordo com o grau de correlação estabelecido entre quantidades extraídas do solo e quantidades absorvidas pelas plantas (KIEKENS & COTTENIE, 1985). Nesse sentido, os extratores químicos que mais tem se destacados são as soluções de ácidos, de substâncias quelantes e suas combinações (SINGH & NARWAL, 1984; DANG et al., 1990; KING & HAJJAR, 1990).

Os extratores ácidos apresentam maior capacidade de extração que os demais, principalmente devido ao seu potencial em dissolver, mesmo que parcialmente, as estruturas que retém metais pesados. Porém, deve-se ressaltar que isto não implica, necessariamente, em eficiência para predizer a biodisponibilidade. São exemplos deste grupo de soluções de Mehlich-1, Mehlich-3 , HCl $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ e HNO_3 $0,1 \text{ mol L}^{-1}$. A solução de Mehlich-3 (CH_3COOH $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ + NH_4NO_3 $0,25 \text{ mol L}^{-1}$ + NH_4F $0,015 \text{ mol L}^{-1}$ + HNO_3 $0,013 \text{ mol L}^{-1}$ + EDTA $0,001 \text{ mol L}^{-1}$), proposta por MEHLICH (1984), foi

desenvolvida, inicialmente, para avaliação de disponibilidade de macro e micronutrientes em solos do sudeste dos EUA.

Esta solução inclui também, o EDTA (ácido etileno diamino tetraacético), um agente quelante que extrai , preferencialmente, os metais complexados (REED & MARTENS, 1996). A solução de HCl $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, foi proposta originalmente por WEAR & SOMMER (1948), passando posteriormente por diversas modificações. Extratores mais enérgicos, como por exemplo a “água régia” (HCl + HNO_3 3:1) proposta em VAN-LOON (1985), podem ser utilizados para quantificação dos teores totais de metais no solo porém, é pouco comum sua inclusão em estudos de biodisponibilidade (SINGH & NARWAL, 1984; ROCA & POMARES, 1991).

O emprego de substâncias complexantes como extratores químicos decorre basicamente da sua capacidade em extrair metais pesados complexados à matéria orgânica. Entre estes ligantes, o EDTA e o DTPA (ácido dietileno triamino pentaacético) tem sido os mais utilizados em trabalhos de pesquisa com diferentes elementos e tipos de solos (LATTERELL et al., 1978; RIBEIRO & TUCUNANGO-SARAIBA, 1984; BATAGLIA & RAIJ, 1989; ROCA & POMARES, 1991). Destaca-se aqui, o extrator DTPA-TEA (DTPA $0,005 \text{ mol L}^{-1}$ + trietanolamina $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ + CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$) desenvolvido por LINDSAY & NORVEL (1978) para extração de Cu, Fe, Mn e Zn em solos calcários.

O princípio desse método é fundamentado na capacidade do DTPA formar complexos estáveis e hidrosolúveis com metais, diminuindo a atividade iônica dos mesmos no extrato. Em resposta, metais são desorvidos das superfícies das partículas do solo (metais trocáveis) no sentido de restabelecer o equilíbrio solo-solução sendo assim, complexados sucessivamente. Considera-se dessa forma, o princípio de que a absorção desses elementos pelas plantas é tão maior quanto for às quantidades de metais em solução que por sua vez, variam diretamente em função da capacidade da fase sólida do solo em repor esses elementos.

3.3 Técnicas Instrumentais

As técnicas instrumentais utilizadas para determinação de metais, são as mais facilmente disponíveis na maioria dos laboratórios de análise química quantitativa. Essas técnicas são baseadas nas medidas das propriedades físicas da amostra. Os métodos instrumentais de análise mais comuns estão listados na Tabela 3. Fatores como seletividade, sensibilidade, precisão, exatidão e rapidez analítica devem ser sempre considerados para a escolha da técnica a ser utilizada.

Os métodos que envolvem a emissão de radiação e a absorção de radiação têm sido os mais empregados para metais e para alguns não metais (Tabela 1)

Tabela 1: Métodos Instrumentais mais comuns utilizados para determinação de metais

Fenômeno Envolvido	Métodos Instrumentais Associados
- Emissão de radiação	Espectroscopia de emissão, atômica ou molecular (raios-X, UV, visível, etc.); fluorescência; fosforescência; luminescência.
- Absorção de radiação	Espectroscopia de absorção, atômica ou molecular (raios -X, UV, visível, IV, etc.); espectroscopia fotoacústica; ressonância magnética nuclear
- Espalhamento de radiação	Turbidimetria; nefelometria
- Refração de radiação	Refratometria; interferometria.
- Difração de radiação	Difração de raios - X
- Rotação de radiação	Polarimetria; dispersão óptica rotatória; dicroísmo circular.
-Potencial elétrico	Potenciometria; cronopotenciometria
- Carga elétrica	Coulometria
- Corrente elétrica	Polarografia; amperometria
- Resistência elétrica	Condutometria
- Razão carga - massa	Espectrometria de massa
- Velocidade de reação	Métodos cinéticos
- Propriedades térmicas	Condutividade térmica; métodos entálpimétricos

Fonte Adaptada de Skoog and Leary, (1992)

A seguir serão descritos os métodos mais comumente utilizados para a determinação dos componentes em extratos aquosos de solo ou em soluções nutritivas, segundo (ABREU, 2000).

3.3.1 Espectrofotometria de Absorção Molecular no UV– Visível

A espectrofotometria de absorção molecular no UV-VIS, normalmente denominada de método espectrofotométrico ou colorimetria, é uma das técnicas mais empregadas e possui equipamentos no mercado bastante sofisticados, acoplados a computadores e também equipamentos mais simples com todos os ajustes manuais.

3.3.2 Espectrofotometria de Absorção Atômica

O fundamento da técnica de absorção atômica é a medida da intensidade da radiação absorvida por átomos de um elemento no estado fundamental em altas temperaturas, no comprimento de onda da linha de ressonância. Esta é uma técnica que obedece a Lei de Beer, sendo comprovadamente aceita para a determinação direta de metais e indireta de ânions. A seletividade é uma das suas principais vantagens (ABREU, 2000). As duas leis na forma combinada que governam a absorção da radiação são, usualmente, conhecidas como Lei de Beer-Lambert.

Este é, indubitavelmente, o método mais exato para a determinação, entre outras, da concentração de substâncias em solução, mas os instrumentos são, necessariamente, mais dispendiosos. Um espectrofotômetro pode ser considerado como um fotômetro fotoelétrico de filtro refinado que permite o uso de faixas de luz aproximadamente monocromáticas continuamente variável.

As partes essenciais de um espectrofotômetro (VOGEL, 1981) são :

- a) uma fonte de energia radiante;

- b) um monocromador, *i.e.*, um dispositivo para o isolamento de luz monocromática, mais exatamente, faixas estreitas de energia radiante da fonte de luz;
- c) células de vidro ou de sílica para o solvente e para a solução à analisar e;
- d) um dispositivo para receber ou medir o feixe ou feixes de energia radiante que passam através do solvente ou da solução.

3.3.3 Espectrofotometria de Absorção Atômica em Chama

O absorvedor na espectrofotometria de absorção atômica é a região da chama, onde ocorre a atomização. A temperatura da chama, um dos fatores que determina o grau de atomização de cada elemento, depende da composição entre combustível e comburente (Tabela 2).

Tabela 2: Temperaturas aproximadas das chamas de algumas misturas combustível/oxidantes.

Gás combustível	Gás oxidante	Temperatura (K)	Temperatura (°C)
C ₃ H ₈ (propano)	Ar	2000 - 2200	1727 - 1927
H ₂ (hidrogênio)	Ar	2200 - 2300	1927 - 2027
C ₂ H ₂ (acetileno)	Ar	2400 - 2500	2127 - 2227
H ₂ (hidrogênio)	N ₂ O (óxido nitroso)	2800 - 2900	2527 - 2627
C ₂ H ₂ (acetileno)	N ₂ O (óxido nitroso)	2900 - 3100	2627 - 2827

Fonte adaptado: Abreu ,(2000)

Se uma solução contendo um sal de um metal (ou outro composto do metal) for aspirada numa chama de acetileno queimando em ar, pode-se formar um vapor que contém átomos do metal. Alguns destes átomos metálicos gasosos podem ser promovidos a um nível energético que seja suficientemente elevado para permitir a emissão de radiação característica do metal em questão; por exemplo, os compostos de sódio transmitem uma cor amarela às chamas. Esta é a base da espectroscopia de emissão de chama EEC.

Segundo VOGEL (1981), um número muito maior de átomos permanecerá normalmente no estado não-exitado ou, em outras palavras, no estado fundamental. Estes átomos de estado fundamental são capazes de absorver a energia radiante dos seus comprimentos de onda de ressonância específicos, que é, em geral, o comprimento de onda da radiação que os átomos emitiriam se fossem excitados do estado fundamental a um estado excitado. Portanto, se a luz do comprimento de onda de ressonância for passada através de uma chama que contenha os átomos em questão, uma parte da luz será absorvida e a extensão da absorção será proporcional ao número de átomos no estado fundamental presente na chama. O processo pelo qual os átomos gasosos dos metais são produzidos na chama pode ser resumido do seguinte modo (quando uma solução, contendo composto adequado do metal a ser investigado, e aspirada numa chama, ocorre o seguinte, em rápida sucessão):

1. Evaporação do solvente, deixando um resíduo sólido;
2. Vaporização do sólido, com dissociação em seus átomos componentes que, inicialmente, estarão no estados fundamentais;
3. Alguns átomos podem ser excitados pela energia térmica da chama a níveis de energia mais elevados, atingindo uma condição em que a energia irradia.

3.3.4 Espectrofotometria de Absorção Atômica em Forno de Grafite

A técnica do forno de grafite é especialmente útil para amostras muito pequenas e para determinação de concentrações muito baixas. A maior desvantagem no uso deste tipo de atomizador está no custo operacional, principalmente ao que se refere aos tubos de grafite e na necessidade do uso de corretores de fundo mais sofisticados, como o baseado no efeito Zeeman.

3.3.5 Espectrofotometria de emissão atômica

A espectrofotometria de emissão atômica está baseada na emissão da radiação eletromagnética por átomos livres no estado excitado. Os comprimentos de onda

emitidos são característicos para cada elemento e suas intensidades são proporcionais à concentração do elemento da amostra, de modo que determinações quantitativas usando este fenômeno são perfeitamente possíveis. Pode-se dizer que há três espécies de espectros de emissão: espectros contínuos, espectros de faixas e espectros de raias.

3.3.6 A Espectrofotometria de Emissão em Chama (FES)

Um dos métodos clássicos de detecção ou de determinação de elementos tem sido a observação de emissões radiativas de átomos em uma chama. Quando os processos de atomização, excitação e emissão ocorrem em uma chama, o método de análise é conhecido como espectrofotometria de emissão em chama, ou simplesmente fotometria de chama. Em princípio, exceto pela lâmpada de cátodo oco, o mesmo equipamento pode ser usado tanto para absorção atômica como para emissão atômica (ABREU, 2000).

3.3.7 Plasma

O plasma é, por definição, a parte de uma descarga gasosa onde o gás se apresenta parcialmente ionizado, mas em um estado eletricamente neutro. Assim um plasma é qualquer sistema em alta temperatura (ex. chama, tocha de alta frequência, forno aquecido eletricamente, etc.) caracterizado pelo seu grau de ionização. As chamas produzidas por combustão situam-se no limite inferior do intervalo de temperatura e, portanto constitui-se em plasmas com baixo grau de ionização. O termo plasma vem do grego, significando moldar, dar forma. Foi sugerido por Langmuir em 1928, pela maneira na qual a coluna positiva de uma descarga tendia a se moldar dentro de um tubo. Algumas vezes o plasma é considerado por muitos como o quarto estado da matéria. Dos vários tipos de fontes de plasma o mais comum é o ICP (plasma indutivamente acoplado)

A maior aplicação comercial do ICP foi como fonte de luz para espectroscopia de emissão atômica ICP-AES (espectrômetro de emissão atômica com plasma induzido). A radiação emitida pelo plasma necessita de um sistema óptico para a dispersão da luz, um espectrômetro, além de um sistema para a detecção do sinal proveniente do espectrômetro (ABREU, 2000).

3.3.8 Potenciometria

Medida do potencial de uma solução. Essas medidas são feitas por eletrodos de vários tipos e propriedades dependendo do elemento em questão. Pode ser utilizado um potenciômetro, que faz medidas em circuitos de baixa resistência e pHmetros, medidas em alta resistência.

Segundo VOGEL (1981), o processo de se utilizar uma única medida do potencial de eletrodo para determinar a concentração de uma espécie iônica em solução designa-se como potenciometria direta. O eletrodo cujo potencial é dependente da concentração do íon a ser determinado é chamado de eletrodo indicador. Quando um metal M é imerso numa solução que contém os seus próprios íons M^{n+} , estabelece-se um potencial de eletrodo, cujo o valor é dado pela equação de Nernst:

$$E = E^{\theta} + (RT/nF) \ln a_M^{n+},$$

onde:

E = potencial do eletrodo

E^{θ} = é uma constante, o potencial do eletrodo padrão do metal;

RT/nF = envolve constantes conhecidas, introduzindo-se, o fator para converter logaritmos naturais em logaritmos de base 10, o termo tem, à temperatura de 25°C, o valor de 0,0591 V e n igual à 1;

a_M^{n+} = atividade do íon metálico na solução.

Vários tipos de eletrodos de membranas tem sido desenvolvido, no qual as membranas apresentam potencial seletivo para determinados íon ou íons. Esses eletrodos permitem determinar baixas concentrações, no entanto não são específicos para um dado íon. Normalmente são denominados ISE: “ion selective electrodes” (ABREU, 2000). É preciso ter algum cuidado no uso de um eletrodo de íon-seletivo para

garantir que não ocorram interferências de outros íons, e é necessário, garantir-se que o íons cuja concentração se quer medir não tenha formado complexo com algum dos reagentes que tenham sido adicionados à solução; ao contrário, pode ser possível reduzir a interferência de um dado íon adicionando-se um reagente que o complexo (VOGEL, 1981).

3.3.9 Cromatografia de Íons

A cromatografia de íons utiliza resinas de troca iônica para fazer a separação dos íons e emprega a detecção por meio da condutividade elétrica. Dependendo da coluna utilizada pode-se determinar cátions e ânions em soluções de solo e aquosas, e com os novos equipamentos as aplicações dessa técnica têm se estendido a praticamente todos os elementos de interesse, principalmente dos ânions que podem ser determinados simultaneamente. A técnica é rápida e sensível, mas apresenta alto custo dos equipamentos (ABREU, op cit). O processo de remover íons absorvidos é conhecido como eluição, a solução empregada para eluição é chamada de eluente e a solução resultante da eluição é chamada de eluato. O líquido que entra na coluna trocadora de íons pode ser chamado de influente e o que sai da coluna de efluente. Se curvas de eluição forem suficientemente afastadas entre si, será possível fazer uma separação quantitativa, se as curvas se sobreporem, ocorrerá uma separação incompleta. O ideal é que as curvas deverão se aproximar de uma distribuição gaussiana (normal), de modo que o afastamento excessivo desta distribuição poderá indicar uma técnica errada e/ou condições operacionais da coluna defeituosas (VOGEL,1981).

3.3.10 Cuidados para Garantir a Qualidade dos Resultados

Independente da técnica empregada, o controle de qualidade dos resultados deverá fazer parte do procedimento e ser checado continuamente. Para isto deve-se

fazer: amostras em duplicatas, trabalhar com amostras controles e materiais de referência, testar a recuperação de elementos adicionados, cuidado com a limpeza das vidrarias e materiais de coletas e comparação entre laboratórios.

Como a maioria dos equipamentos para análise requer calibração, a qualidade dos reagentes e das amostras padrões utilizados para o preparo das curvas de calibração devem ser avaliadas.

A checagem e a manutenção periódica dos equipamentos são imprescindíveis, isso se aplica tanto aos sofisticados instrumentos de leitura, como também a balanças, pipetadores automáticos e vidraria usada para medidas volumétricas. Muitas vezes, esses aparatos mais simples são fontes de insuspeitos e persistentes erros no laboratório (ABREU, 2000).

3.4 Tratamento de Esgoto Sanitário

Uma Estação de Tratamento de Esgoto Sanitários, abreviadamente E.T.E., é um conjunto de unidades de tratamento, equipamentos, órgãos auxiliares, acessórios e sistemas de utilidades, cuja finalidade é a redução das cargas poluidoras do esgoto sanitário e condicionamento da matéria residual resultante do tratamento (ABNT, 1990).

A principal finalidade do tratamento dos esgotos antes de seu lançamento nos corpo receptores é a proteção do meio ambiente.

O tratamento de esgoto é realizado por meios físicos, químicos e biológicos. Os métodos individuais são normalmente classificados como unidades de operação física, processos unitários químicos e processos unitários biológicos. Embora, muitas vezes, estas operações e processos ocorram em uma variedade de combinações nos sistemas de tratamento, vantagens têm sido encontradas para estudar suas bases científicas separadamente.

METCALF e EDDY (1991) classificam as unidades de tratamento em:

- unidades de operação física: métodos de tratamento nos quais a aplicação de forças físicas predomina. Foram estes os primeiros métodos utilizados em resposta à observação da natureza pelo homem. Grades, floculação, sedimentação, flotação e

filtração são exemplos típicos destas unidades de operação;

- unidades de operação química: métodos de tratamento onde é utilizada a adição de produtos químicos ou reações químicas para tratamento dos esgotos. Precipitação, transferência de gás, adsorção e desinfecção são os exemplos mais comuns utilizados no tratamento de esgotos;

- unidades de processos biológicos: o tratamento biológico é usado primariamente para remover substâncias orgânicas biodegradáveis (coloidal ou dissolvida) contidas no esgoto. Basicamente, estas substâncias são convertidas em gases e em massa biológica, para que possam ser posteriormente removidas por meio da sedimentação.

O tratamento biológico pode também ser utilizado para remoção de nitrogênio do esgoto.

Com um controle adequado, o esgoto pode ser biologicamente tratado, na maioria dos casos, CHERNICHARO et al., 1999 classifica os processos de tratamento biológico dos esgotos em:

- processos biológicos anaeróbios: lagoa anaeróbia, decanto-digestor (fossa séptica), filtro anaeróbio, UASB e leito expandido ou fluidificado.
- processos biológicos aeróbios: filtração biológica e lodos ativados variações econômicas: lagoas de estabilização aeróbias, lagoas aeradas e valos de oxidação.

3.5 Metais nos Sistemas de Tratamento de Esgotos

Nos anos mais recentes tem sido grande o interesse nos metais pesados com relação à sua química, efeitos biológicos, destino no ambiente e seu controle. Este interesse foi desenvolvido como resultado do conhecimento dos efeitos à saúde e ao impacto ambiental causado pelos metais associados com os lançamentos de águas residuárias industriais e domésticas. Os metais pesados presentes nas águas residuárias são originados de uma série de atividades industriais, comerciais, domésticas e das águas de enxurrada. São preocupantes principalmente em áreas

densamente habitadas e industrializadas, onde o reuso da água muitas vezes é praticado.

Descargas de metais diretamente das indústrias têm sido controladas por meio de padrões de emissão que determinam a qualidade exigida para o lançamento. Tais medidas reduzem as quantidades de metais descarregadas pelas indústrias na rede de esgoto municipal, porém não eliminam e também não possuem efeitos sobre as contribuições das fontes domésticas, enxurradas (urbana e rural) ou deposição atmosférica. Portanto é inevitável que os metais sempre estejam presentes nas águas residuárias.

A contaminação do esgoto com metais pesados pode, potencialmente, causar os seguintes problemas (LESTER, 1983):

- a- efeitos tóxicos no processo de tratamento biológico;
- b- descarga de efluente final contendo excessivas concentrações de metais pesados, e
- c- dificuldades no tratamento e disposição de lodo.

3.6 Processos Anaeróbios

Os Processos anaeróbios são sistemas biológicos naturais fundamentados na estabilização da matéria orgânica biodegradável por meio de diversos grupos de bactérias atuando conjuntamente na ausência de oxigênio dissolvido.

A estabilização da matéria orgânica pelos processos anaeróbios tem como principais produtos: o biogás, formado principalmente por metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2); e uma pequena parcela é convertida em biomassa, resultando numa baixa produção de lodo. O material não estabilizado deixa o reator junto com o efluente, estando numa faixa de 10% a 30% da matéria orgânica presente no afluente (CHERNICHARO, 1997).

A digestão anaeróbia da matéria orgânica segue uma sequência mais complexa do que processo aeróbio. A ocorrência desse processo é muito comum em vários tipos

de ecossistemas naturais como áreas pantanosas, órgãos digestivos dos ruminantes e nos sedimentos de rios, lagos e mares (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994).

Atualmente, o tratamento anaeróbio de efluentes e de lodo tem sido largamente empregado devido principalmente às seguintes razões:

- conversão da matéria orgânica indesejável em biogás com baixo custo de tratamento e economia de energia devido a eliminação de sistemas de aeração; e,
- baixa produção de sólidos aliada ao fato de que esses já saem dos sistemas estabilizados

De maneira simplificada podemos dividir o processo de digestão anaeróbia em quatro estágios: Hidrólise, Acidogênese, Acetogênese e Metanogênese.

Hidrólise: é a fase onde ocorre a conversão dos biopolímeros (materiais particulados complexos) em materiais dissolvidos, mais simples, através de exoenzimas excretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas.

Vários fatores podem afetar o grau e a taxa com que o substrato é hidrolisado (LETTINGA et al., 1996 citado por CHERNICHARO, 1997):

- Temperatura do reator;
- Tempo de residência do substrato no reator;
- Composição do substrato;
- Tamanho das partículas;
- pH do meio;
- Concentração de NH_4^+ -N; e,
- Concentração de produtos da hidrólise (ácidos voláteis, por exemplo).

Essa fase pode ser uma base limitante no processo como um todo, pois alguns polímeros, como celulose, amido e algumas proteínas podem ser de difícil hidrólise, retardando ou impedindo as etapas subseqüentes.

Acidogênese: Com a presença de substâncias dissolvidas no interior da célula bacteriana, inicia-se a produção de ácidos. O principal ácido produzido nesta fase é o ácido acético, pois a reação de formação deste ácido gera uma maior quantidade de energia para a célula. Quando a concentração de íon H^+ torna-se alta (pH baixo), ocorre a formação dos ácidos butírico e propiônico, consumindo este excesso.

Acetogênese: É caracterizado pela formação de acetato, carbonato e hidrogênio a partir dos ácidos graxos voláteis e dos demais produtos da acidogênese. Tais compostos formados servirão como substrato para a formação de metano. Esta fase é realizada pelas bactérias acetogênicas. É importante notar que não ocorre qualquer estabilização do resíduo durante os três primeiros estágios da digestão anaeróbia. Entretanto, esses três primeiros estágios têm um caráter fundamental, pois convertem a matéria orgânica em uma forma mais apropriada para a utilização na quarta fase da digestão anaeróbia.

Metanogênese: é a etapa de maior interesse e normalmente limitante nos processos de digestão anaeróbia, já que as bactérias metanogênicas tem um tempo de duplicação mais lento que as acidogênicas. Consiste na formação de metano através de um número limitado de compostos como: ácido acético, hidrogênio/dióxido de carbono, ácido fórmico, metanol, metilaminas e monóxido de carbono (CHERNICHARO, 1997). Essas reações são realizadas por dois grupos principais de bactérias:

- **Metanogênicas Acetoclásticas:** são as bactérias de acetato. São as predominantes no processo de digestão anaeróbio, responsáveis por cerca de 60 a 70% da produção de metano (CHERNICHARO, 1997).
- **Metanogênicas Hidrogenotróficas :** produzem metano a partir de hidrogênio e dióxido de carbono.

A metanogênese em geral é o estágio que limita a velocidade do processo de digestão anaeróbia como um todo. Por este motivo o estudo das bactérias formadoras de metano é de grande importância. Esses organismos encontram-se entre os seres anaeróbios mais exigentes que se conhece (CASSEB,1996).

3.6.1 Sistemas Anaeróbios de Tratamento

Os sistemas anaeróbios utilizados para o tratamento de esgotos podem ser divididos em dois grandes grupos: os sistemas convencionais e os sistemas de alta taxa.

Os sistemas convencionais têm como características básica a ausência de mecanismos de retenção de sólidos, o que dificulta a retenção de grandes quantidades de biomassa no sistema de tratamento. Em virtude disto, os sistemas convencionais são projetados e operados com tempos de detenção hidráulica elevados, que gera grandes volumes de reator, de modo a garantir a permanência da biomassa no sistema por tempo suficiente para o seu crescimento (CHERNICHARO, 1997).

Os sistemas de alta taxa tem a capacidade de reter grandes quantidades de biomassa de elevada atividade, mesmo com a utilização de baixos tempos de detenção hidráulica. Desta forma consegue-se um elevado tempo de retenção dos sólidos no sistema e, conseqüentemente, os reatores tornam-se mais compactos e com elevado grau de estabilização do lodo.

A grande vantagem dos sistemas de alta taxa é justamente o fato do tempo de retenção celular (tempo de permanência da unidade celular dentro do reator) ser independente do tempo de detenção hidráulica dos reatores.

Os sistemas de alta taxa podem ser subdivididos em dois grandes grupos, de acordo com o mecanismo de retenção e crescimento da biomassa:

- Sistemas de crescimento aderido: a biomassa cresce aderida a um meio suporte, formando um biofilme. O biofilme pode estar aderido a um material estacionário ou móvel. O meio suporte pode ser constituído de materiais sólidos naturais(pedras, areias) ou artificiais (MACHADO. 1997); e,
- Sistemas de crescimento disperso: a biomassa cresce dispersa no meio líquido, sendo retida no sistema devido a formação de flocos e grânulos.

A Tabela 3 mostra os principais tipos de sistemas anaeróbios. Uma maior atenção será dada aos filtros anaeróbios, por este ser um dos objetos do presente trabalho

Tabela 3 – Sistemas Anaeróbios de Tratamento de Esgotos

SISTEMAS CONVENCIONAS	SISTEMAS DE ALTA TAXA
Tanques Sépticos	Filtro Anaeróbio - Crescimento Aderido
Lagoas Anaeróbias	Biodisco Anaeróbio - Crescimento Aderido
	Reator Anaeróbio de Leito Expandido - Crescimento Aderido
	Reator Anaeróbio de Leito Fluidificado - Crescimento Aderido
	Reator Anaeróbio de dois Estágios - Crescimento Aderido
	Reator Anaeróbio de Chincanas - Crescimento Aderido
	Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) - Crescimento Aderido

Fonte - adaptado de ARAÚJO(1998)

3.6.2 Filtro Anaeróbio

No Brasil, o filtro anaeróbio começou a ser aplicado na década de 1970, apresentando bons resultados no tratamento de despejos industriais. Para tratamento de esgotos sanitários, tornou-se mais popular a partir de 1982, quando a ABNT(Associação Brasileira de Normas Técnicas) incorporou diretrizes básicas para projeto e construção de filtros anaeróbios, incentivando o seu uso associado as tanques sépticos como unidade de pós-tratamento de efluentes (NBR 7229/82) (CAMPOS,1999).

O filtro anaeróbio ascendente é basicamente uma unidade de contato, na qual os esgotos passam através de uma massa de sólidos biológicos contidas dentro do reator. A biomassa retida no reator pode apresentar em três formas distintas (CHERNICHARO, 1997):

- Na forma de uma fina camada de biofilme aderido às superfícies do material suporte;
- Na forma de biomassa dispersa retida nos interstícios do material suporte; e,
- Na forma de flocos ou grânulos retido no fundo falso, abaixo do material suporte.

Os compostos orgânicos solúveis contidos no esgoto afluente entram em contato com a biomassa, se difundido através das do biofilme ou do lodo granular, sendo então convertidos em produtos intermediários e finais, especificamente metano e gás carbônico (CHERNICHARO, 1997).

O material suporte pode ser de vários tipos. Sendo mais usualmente utilizados a pedra britada e anéis de plásticos tubulares, elementos de madeira, bambu (ROZON, 2000), esferas perfuradas, etc. Sempre ponderando o seu uso em função da sua eficiência e o seu custo.

A forma física do filtro em geral é definida observando-se aspectos estruturais e econômicos, entretanto deve-se sempre obter um fluxo bem distribuído por meio do leito filtrante, e uma altura do mesmo que acarrete na eficiência desejada.

O processo anaeróbio gera gases de odores fortes. Pôr isto, geralmente os filtros são cobertos para evitar a propagação dos mesmos, porém, a construção da cobertura pode representar uma parcela significativa no orçamento final devido as dificuldades estruturais que a mesma apresenta.

A nova norma da ABNT (NBR 13969) define que o filtro anaeróbio (“filtro anaeróbio de leito fixo com fluxo ascendente”) “consiste em um reator biológico no qual o esgoto é depurado por meio de microorganismos não aeróbios, dispersos tanto no espaço vazio do reator quanto nas superfícies do meio filtrante”, e apresenta desenhos de quatro modelos: tipo retangular totalmente enchido de brita; tipo circular totalmente enchido de brita; tipo circular com entrada única de esgoto; e tipo circular com múltiplas entradas de esgoto(CAMPOS,1999).

Em comparação a outros reatores anaeróbios, as principais desvantagens dos filtros anaeróbios são: risco de obstrução dos interstícios, sendo portando o mais indicado para trabalhar com esgotos com contaminantes predominantemente solúveis (baixa concentração de sólidos suspensos), a fim de evitar a colmatação do meio; volume relativamente grande devido ao espaço ocupado pelo meio filtrante, e custo do mesmo(CAMPOS,1999).

CAMPOS (1999) define o efluente do filtro anaeróbio: “De forma geral, o efluente do filtro anaeróbio é bastante clarificado e tem relativamente baixa concentração de matéria orgânica, inclusive dissolvida, porém é rico em sais minerais. Presta-se muito bem para a disposição no solo, não somente por infiltração, mas, também para irrigação (revitalização do solo com fins de produção vegetal). Evidentemente, pode receber tratamento complementar para remoção de nutrientes eutrofizantes por meio de variados processos, quando necessário ou conveniente. Contém ainda grande quantidade de microorganismos patogênicos e, quando

necessário, deve sofrer desinfecção, para a qual podem ser aplicados quaisquer dos processos usuais.”

Uma das principais vantagens apresentadas pelos filtros anaeróbios é a sua capacidade de tamponamento, resistindo às variações de vazão afluente e proporcionando uma boa estabilidade ao efluente, com baixa perda dos sólidos biológicos retidos no leito fixo. Dentre outras vantagens encontram-se a remoção de parte significativa da matéria orgânica dissolvida; baixa produção de lodo; não consome energia; e, proporcionam enorme liberdade de projeto em termos de configurações e dimensões.

Quanto à eficiência na remoção de cargas orgânicas, pesquisas em escala piloto de unidades de filtros anaeróbios precedidas de tratamento preliminar (gradeamento ou caixa de areia), indicaram eficiências médias de remoção de DBO e DQO variando entre 68 e 79%, em filtros operando com tempos de detenção hidráulica na faixa de 6 a 8 horas (PINTO & CHERNICHARO, 1995).

Apesar das vantagens oferecidas pelo sistema anaeróbio de tratamento, os mesmos não podem ser encarados como forma completa de tratamento, uma vez que estes sistemas apresentam dificuldades para produzir efluentes que atendam aos padrões estabelecidos pela legislação ambiental.

A solução para este problema aparenta ser a utilização de sistemas combinados de tratamento, visando assim cumprir metas estabelecidas. ARAÚJO(1998), após pesquisas em escala piloto utilizando o método de disposição no solo, mais especificamente o método de escoamento superficial no solo, como pós-tratamento do efluente de um reator anaeróbio do tipo UASB, alcançou resultados bastantes satisfatórios, inclusive quanto a níveis de remoção de nutrientes e coliformes fecais.

3.7 Disposição de efluentes no solo

Ao entender o solo como um elemento depurador, e o sistema solo-planta como um reator renovável, reator este regido pelas leis da natureza, pode-se entender também, neste contexto, os esgotos como fonte de energia, e não como um grande problema ambiental.

O que se faz nos tratamentos convencionais dos esgotos, é dissipar a energia contida nos mesmos, mineralizando a matéria orgânica, e lançando-se os macro e micronutrientes nos corpos receptores. No tratamento por disposição no solo, esta energia é canalizada e utilizada para a produção de alimentos recarga de aquíferos, irrigação de parques e áreas de lazer, etc.

Diversos exemplos são verificados no mundo e, com sucesso, como é o caso da Fazenda de Werribee na Austrália, completando seus 105 anos de disposição no solo sem grandes problemas, como é o caso do México na recarga do lençol e, principalmente como é o caso de Israel, com o reuso na delicada tarefa de produzir alimentos, dentre muitos outros exemplos.

No Brasil, existem poucos registros de tratamento de esgoto pôr disposição no solo, pelo método de escoamento superficial e da utilização de águas residuárias na fertirrigação de culturas. Na Tabela 4, são apresentados alguns projetos implantados e monitorados por empresas de saneamento e universidades.

Tabela 4 - Panorama geral de unidades de tratamento de esgoto doméstico pelo método do escoamento superficial.

Empreendimento	Tratamento	Forragem	Características do sistema	Eficiência do sistema	Referências
Populina-SP (SABESP)	Preliminar + Disposição no solo do esgoto bruto	Brachiaria humidicola	12 L.s ⁻¹ , 3 faixas de 70m de comp. e 25 m de largura, 2% de declividade	DBO (86,4%)	TERADA et al. (1985)
Batatais-SP (USP)	Preliminar + Disposição no solo do esgoto bruto	Brachiaria humidicola	Taxas de aplicação 0,15, 0,25 e 0,30 m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹ , faixas de 20m de comp. e 3,7 m de largura, 2% declividade	Sólidos sedimentáveis e DBO (>80%), NTK (65%) e C.fecais (1 unidade logarítmica)	COURACCI FILHO (1991)
Vila Varejão-DF CAESB/UNB (1996)	RAFA + disposição no solo	Taboa (Typha latifolia)	Atende 4000 hab, 3 faixas de 30, 40 e 45m de comp. e 3,5 m de largura, 1% declividade, tempo de detenção 65h	Sólidos suspensão totais (95,9%), DQO (87,6%), NTK (61,9%) e fósforo (57,1%)	BERNARDES E SOUZA
Itabira-MG SAAE/UFMG	UASB + disposição no solo	Brachiaria humidicola	Taxas de aplicação 0,20, 0,40 e 0,60 m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹ , 3 faixas de 25m de comp. e 3,0 m de largura, 2 % declividade	DBO (48 a 53%), DQO (48 a 53%) e C.fecais (2 a 3 unidade logarítmica)	ARAUJO et al. (1999) e ZERBINI (1999)
Roças Nova-MG COPASA	Preliminar + disposição no solo do esgoto bruto	Brachiaria arrecta Stent.	Taxa de aplicação 0,14 m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹ , Vazão de 1,5 L.s ⁻¹ , 3 faixa de 33m de comp. e 30 m de largura, 1 % declividade	DBO (82,5%), NTK (5%) e C.fecais (1 unidade logarítmica)	FREIRE (1997)
Cana Brava-MG COPASA	Preliminar + disposição no solo do esgoto bruto	Brachiaria humidicola	Taxa de aplicação 0,16 m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹ , Vazão de 3,0 L.s ⁻¹ , 3 faixas de 40m de comp. e 80 m de largura, 2 % declividade	DBO (83,3%), NTK (22%) e C.fecais (1 unidade logarítmica)	FREIRE (1997)
Limeira – SP (CITROSUCO S. A.)	Preliminar + disposição no solo do esgoto bruto	Brachiaria humidicola	Taxa de aplicação 0,10, 0,20 e 0,30 m ³ .h ⁻¹ .m ⁻¹ , -3 faixas de 6x60m. -período de aplicação 8-12-16h.dia ⁻¹	PH=7, SS (aprox.100%), SST(74,3–97,8%) DQO e DBO (acima de 70%), Fósforo (77,1-88,8%).	NOUR (1990)

Fonte: adaptado de Fonseca et al. (2000)

No Estado do Rio Grande do Norte são utilizados efluentes de lagoas de estabilização para a fertirrigação. Na cidade de Santa Cruz, têm sido usadas para fertirrigação de milho, melancia, abóbora e forrageiras e, na cidade de Campo Redondo, para a fertirrigação de milho. Em Currais Novos, o esgoto tem sido lançado “in natura” em talvegues secos para fertirrigação de capim (ANDRADE NETO, 1991).

Houve um grande avanço na utilização deste tratamento nos EUA, desde a implantação da Federal Water Pollution Control Amendments de 1972 (PL-92.500), onde aborda o reuso da água. Atualmente a disposição de esgotos no solo esta muito difundida junto com novas pesquisas e aplicação em conjunto com outros sistemas de tratamento.

Os processos de tratamento de esgoto por meio de disposição no solo incluem basicamente os seguintes métodos (KRUZIC, 1997):

3.7.1 Infiltração rápida: apresenta uma alta velocidade de infiltração de esgoto no perfil do terreno, possibilitando assim uma alta taxa de aplicação de efluente no solo. Devido a esta alta velocidade de percolação, a vegetação existente na superfície não consegue absorver uma parcela significativa de esgoto, sendo, portanto, dispensável uma vez que não interfere na depuração do mesmo. A aplicação dos esgotos é feita por inundação, em terrenos que apresentem declividades suaves (4 a 6%); permeabilidade (permitir a rápida infiltração); e, espessas camadas superficiais de solo, a fim de proteger o lençol subterrâneo da contaminação. Torna-se necessário o estabelecimento de rodízios de aplicação através da divisão do terreno em módulos, a fim de que, as condições aeróbias do solo possam ser restabelecidas. Um pré-tratamento do efluente por decantação primária também evita a rápida colmatação da superfície do solo (PAGANINI, 1995 e USEPA, 1981).

3.7.2 Infiltração lenta (Irrigação): é a descarga controlada do efluente sobre o solo com a finalidade de suportar o crescimento de plantações (objetivos agrícolas). Tem por objetivo a depuração do esgoto, onde o este é aplicado sobre o solo à uma baixa taxa e apresenta uma pequena velocidade de infiltração deste no perfil do terreno (ARAÚJO, 1998 e PAGANINI, 1995). O método de infiltração lenta é aplicável aos solos

que apresentem uma camada superficial suficientemente permeável e espessa acima do lençol freático, evitando assim a contaminação. O método de infiltração lenta atinge alto grau de tratamento, abrangendo vários tópicos relativos à depuração de esgotos (USEPA,1981) A irrigação ou infiltração lenta pode ser executada fundamentalmente por meio de cinco maneiras distintas de aplicação: Aspersão, Irrigação em Sulcos e Canais, Inundação, Gotejamento e Infiltração Subsuperficial (ARAÚJO,1998 e PAGANINI,1995).

Escoamento superficial este sistema será descrito em item isolado a seguir pôr tratar-se do objeto de estudo. A Tabela 5 contém um resumo comparativo da qualidade esperada para o efluente final dos métodos de tratamento pôr disposição no solo, e a Tabela 6 apresenta uma relação das condições limites de aplicabilidade destes sistemas.

Tabela 5: Comparação qualitativa das águas residuais dos sistemas de disposição no solo

Parâmetro	Infiltração Lenta (após 1,5m de solo)	Infiltração Rápida (após 4,5m de solo)	Escoamento Superficial (após 45m de escoamento)
DBO (mg/L)	<5	<5	<15
SST (mg/L)	<5	<5	<20
N-NH ₄ ⁻² (mg/L)	<2	<2	<2
N-TOTAL (mg/L)	<8	<20	<5
P-TOTAL (mg/L)	<0,30	<5	<6

Fonte: adaptado de METCALF & EDDY(1991).

3.8 Escoamento Superficial no Solo

Uma das técnicas para a aplicação de esgotos utilizada é o Método do Escoamento Superficial (“Overland Flow”). Pesquisas realizadas aplicando-se este método, tanto para o tratamento de esgotos domésticos quanto industriais, revelaram-se bastante promissoras. O método proporciona uma boa eficiência de remoções da demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo, nitrogênio, sólidos sedimentáveis e suspensos e metais pesados. É um sistema de tratamento simples e de baixo custo, porém, ainda necessita de pesquisas complementares para um maior conhecimento do seu comportamento e seus riscos ambientais (CORAUCCI FILHO, 1992; NOUR, 1990). A obtenção de resultados e parâmetros mais confiáveis permitirá aos órgãos de fiscalização apreciarem e aprovarem projetos desta natureza com mais segurança.

Neste sistema, o efluente líquido é distribuído na parte superior de uma rampa e, após escoar sobre a superfície da mesma, é recolhido na parte inferior através de uma calha que o conduz a ponto de lançamento. A descarga deste efluente é controlada, geralmente usando sistemas de aspersões ou tubulações perfuradas. O efluente a ser tratado pode ser utilizado na forma bruta, ou depois de sofrer algum tipo de tratamento preliminar, primário ou até secundário. O sistema de escoamento superficial deve ser empregado em solos que possuem baixa permeabilidade. Parte do líquido distribuído se perde por evapotranspiração, parte se infiltra no solo, e o restante escoar até o final da rampa, onde é coletado (CORAUCCI FILHO, 1991).

Segundo NOUR (1990), ao escoar pela superfície do solo, o efluente é tratado, por meio, de processos físicos, químicos e biológicos. Devido à pequena espessura da lâmina líquida, o que favorecem as trocas gasosas com a atmosfera, o processo de tratamento é principalmente aeróbio e, portanto não apresenta os odores desagradáveis da degradação anaeróbia. A população microbiana que vive aderida à vegetação e ao solo é responsável pela degradação biológica dos sólidos solúveis e sólidos suspensos

no esgoto. Também se deve considerar as reações físicas de filtração e sedimentação dos resíduos ocasionados pela vegetação, e que ocorrem na parte inicial da rampa.

O método do escoamento superficial também sendo um processo biológico de tratamento de esgotos sanitários, pois, reproduz, de certa maneira, processos naturais que ocorrem em corpos d'água após o lançamento de despejos. Neste tipo de situação, a matéria orgânica é convertida em produtos mineralizados inertes por meio de mecanismos naturais – autodepuração. Numa estação de tratamento de esgotos o processo ocorre com o aporte tecnológico. Isto permite que o processo ocorra em condições controladas e em taxas mais elevadas (PAGANINI, 1995). Como resultado, o esgoto aplicado é degradado, transformado e imobilizado.

A diferença reside no fato de, neste tipo de tratamento, todos os processos ocorrerem em um único reator, não confinado, preenchido com partículas de solo. Enquanto, nos sistemas convencionais, os processos ocorrem em tanques separados, preenchidos com um líquido ou mistura

O tratamento e disposição de águas residuárias no solo se tornou um componente fundamental na formulação de políticas públicas devido ao entrosamento da população em assuntos ligados à qualidade ambiental. As considerações para a tomada de decisões políticas incluem fatores como o nível de purificação do esgoto, a localização da atividade agrícola e o tipo de cultura. A dimensão regional do assunto é refletida na decisão do “onde transportar” influencia na escolha da cultura a ser desenvolvida, no destino do aquífero e nos custos relacionados (PAGANINI, op cit).

Tabela 6 : Condições de aplicabilidade dos métodos de disposição no solo

Fator Interveniente	Infiltração Lenta	Infiltração Rápida	Escoamento Superficial
Chuvas	Podem obrigar a reduzir a taxa de aplicação de forma intensa e continua	Podem obrigar a reduzir a taxa de aplicação de forma intensa e continua	Podem obrigar a reduzir a taxa de aplicação de forma intensa e continua
Temperatura	A eficiência é maior nos climas mais quentes	A eficiência é maior nos climas mais quentes	A eficiência é maior nos climas mais quentes
Evaporação	As grandes evaporações favorecem o aumento das taxas de aplicação	As grandes evaporações favorecem o aumento das taxas de aplicação	As grandes evaporações favorecem o aumento das taxas de aplicação
Ventos	Os predominantes preferencialmente devem soprar da área urbana para a área de tratamento quando este for próximo	Os predominantes preferencialmente devem soprar da área urbana para a área de tratamento quando este for próximo	Os predominantes preferencialmente devem soprar da área urbana para a área de tratamento quando este for próximo
Topografia	Terrenos preferencialmente planos (na aspersão, declividades de até 20%)	Terrenos planos ou pouco ondulados, providos de cobertura resistente à erosão.	Terrenos planos ou pouco ondulados, declividades entre 2 e 8%
Área	23 – 280 ha.	3 – 23 ha.	6.5 – 45 ha.
Textura do Solo	Média à Grossa	Grossa	Fina
Infiltrabilidade do solo	Média a moderadamente alta (1 - 4 cm/h)	Alta (mais de 5cm/h)	Baixa (menos de 0,5cm/h)
Profundidade da Camada de Solo	Mais de 1,50m	Mais de 3,9m	Mais de 0,50m
Drenagem do Solo	Moderadamente bem drenado	Bem drenado	Pobremamente drenado
Relação de Adsorção de Sódio (RAS)	Preferencialmente menor do que 10 cm em solos argilosos. Valores maiores dependem de estudo prévio.	Preferencialmente menor do que 10 cm em solos argilosos. Valores maiores dependem de estudo prévio.	Preferencialmente menor do que 10 cm em solos argilosos. Valores maiores dependem de estudo prévio.
Vegetação	Necessária	Necessária	Necessária
Profundidade do Lençol Subterrâneo	Mais de 1,50m	Mais de 4,5 a 6,0m	Mais de 0,90m
Pré-Tratamento Conveniente	Decantação Primária	Decantação Primária	Desarenação

Fonte: adaptado de ARAÚJO (1998)

3.9 Parâmetros de Projeto de Escoamento Superficial:

Técnicas de aplicação: os sistemas de distribuição exercem uma influência considerável no desempenho do tratamento. Quanto maior a uniformidade na lâmina de escoamento, melhor será o efluente final. Dentre os métodos de distribuição de efluente, podemos citar segundo CORAUCCI FILHO,(1991) e ARAÚJO, (1998):

- Tubulações com aberturas reguláveis: tubulações com orifícios laterais reguláveis;
- Tubulações recortadas ou perfuradas: tubulações com furos ou recortes laterais. Os tubos devem ser cuidadosamente nivelados para uniformizar o escoamento;
- Orifício borbulhante: pequenas luvas de 1` a 2` de diâmetro conectadas à tubulações enterradas;
- Canais de distribuição: pequenos canais, geralmente em alvenaria, com comportas laterais do tipo stop-log que distribuem o esgoto;
- Aspersores de baixa pressão: semelhantes aos orifícios borbulhantes, porém utilizando aspersores trabalhando sob pressão (10 a 15N.cm⁻²);
- Aspersores de alta pressão: aspersores trabalhando com pressão variando de 35 a 55 N.cm⁻².

Declividade das rampas: é a declividade apresentada pela superfície do terreno, devendo ser constante ao longo de todo o seu comprimento. A declividade recomendada para a rampa esta situada na faixa de 2 a 8% . Declividades menores que 2% podem causar empossamento do efluente ao longo da rampa, o que além de prejudicar a eficiência do sistema e causar a deposição de sedimentos, também favorece a proliferação de mosquitos e outros vetores. Entretanto, o uso de declividades superior a 8% pode causar o processo de erosão, favorecendo a formação de caminhos preferenciais.

Comprimento do tabuleiro: De maneira geral, observa-se que a eficiência do processo é diretamente relacionada com o comprimento da rampa. Portanto, o comprimento da rampa varia de acordo com o pré-tratamento pelo qual o esgoto passa

antes de atingir as rampas. Quanto maior o grau de depuração em que se encontra o efluente do pré-tratamento, menor será o comprimento da rampa. Dependendo do comprimento da rampa, esta pode ser dividida em três partes, sendo que em cada uma predomina um processo de tratamento. Logo no início da rampa (primeiro terço) predomina o processo anaeróbio de tratamento, devido a alta carga orgânica e baixo índice de oxigênio dissolvido no efluente. No terço médio, após a diminuição da carga orgânica, predomina o processo aeróbio de tratamento, ocorrendo uma degradação a nível secundário. Finalmente, no trecho final da rampa, com a taxa de remoção de matéria carbonácea diminuindo, predomina a remoção de nutrientes, ocorrendo desta forma um tratamento a nível terciário (NOUR, 1990)

Período de aplicação: refere-se ao tempo de aplicação do esgoto sobre o tabuleiro no espaço de um dia (h.dia^{-1}). O sistema pode ser operado de forma contínua ou intermitente, no primeiro caso ele opera 24 h.dia^{-1} , como no caso de grandes sistemas, visando assim minimizar os requisitos de área. Em sistemas menores, torna-se mais conveniente operar de forma intermitente, em períodos que variam de 6 a $12 \text{ horas.dia}^{-1}$, e no restante do tempo o esgoto seria armazenado (CORAUCCI FILHO, 1991).

Frequência de aplicação: refere-se ao numero de dias que ocorreu o escoamento no intervalo de uma semana (dias/semana). A falta de aplicação por períodos muito longos ocasiona a desidratação do biofilme que atua no processo de tratamento. Frequências de aplicação mais altas, em torno de 7 dias/semana diminuem a necessidade de reserva do efluente, e a área de terreno utilizada no sistema (PAGANINI,1995).

Taxa de aplicação: é o volume de efluente aplicado no tabuleiro, durante um determinado tempo, dividido pela largura da rampa ($\text{m}^3/\text{h.m}$). A taxa de aplicação exerce influência na eficiência do tratamento, pois atua no tempo no qual o esgoto permanece na rampa (CORAUCCI FILHO et al.(1997), variando a taxa de aplicação entre $0,15$ a $0,30 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-1}$ em rampas com 20m de comprimento, demonstrou que os diferentes volumes aplicados apresentam desempenhos semelhantes no tratamento, na investigação de DQO, DBO, sólidos dissolvidos e voláteis).

Carga hidráulica: corresponde ao volume aplicado sobre uma unidade de área do tabuleiro. É mais representativa que a taxa de aplicação, pois não indica apenas uma vazão específica do sistema, sendo por isto o parâmetro mais utilizado de dimensionamento e operação. A relação entre a taxa de aplicação hidráulica, taxa de aplicação linear, período de aplicação e comprimento da rampa é dado por:

Onde: Ch = carga hidráulica, $m^3.m^{-1}.dia^{-1}$ ou $m.dia^{-1}$

q = taxa de aplicação, $m^3.h^{-1}.m^{-1}$.

P = período de aplicação, $h.dia^{-1}$.

L = comprimento do tabuleiro, m .

Quanto maior for o nível de pré-tratamento do efluente aplicado, maior a carga hidráulica que pode ser utilizada, uma vez que o risco de causar saturação no solo diminui (KLÜSENER FILHO, 2001).

Dimensionamento: SMITH & SCHROEDER (1985), obtiveram uma equação matemática para descrever a DBO do efluente aplicado ao longo do comprimento da rampa. A relação proposta é:

$$\frac{C - C_{min}}{C_o} = A \times \exp\left(\frac{-kxL}{q}\right)$$

onde: C = concentração da DBO no ponto L ($mg.L^{-1}$);

C_o = concentração inicial da DBO do efluente ($mg.L^{-1}$);

C_{min} = concentração mínima factível da DBO efluente ($5 mg.L^{-1}$);

k = taxa constante ($m.h^{-1}$);

L = distância do ponto de aplicação (m);

q = taxa de aplicação linear ($m^3.h^{-1}.m^{-1}$); e,

A = constante determinada empiricamente.

3.10 Cobertura Vegetal

As gramíneas cultivadas no solo da rampa devem ter raízes que apresentem crescimento altamente intrincado, a fim de proporcionar uma maior área superficial de contato, para a formação de biofilme. Dentre as funções de cobertura vegetal destacam-se segundo ZUCCOLO et al. (1985):

- Proteção do solo contra erosão, proporcionando uma maior rigidez ao mesmo e reduzindo a formação de caminhos preferenciais;
- Meio suporte para a população microbiana, o biofilme responsável pela degradação da matéria carbonácea; e,
- Absorção de nutrientes em seu metabolismo, principalmente o fósforo e o nitrogênio.

A espécie de gramínea utilizada deve apresentar alta absorção de nutrientes, alta resistência à umidade constante, alta resistência à toxidade do efluente, tempo de crescimento longo a fim de evitar cortes freqüentes na camada vegetal e adaptação ao clima do local e o solo utilizado (ARAÚJO, 1998), à teores elevados de matéria orgânica, e possíveis efeitos tóxicos do efluente (CORAUCCI FILHO, 1992; FIGUEIREDO, 1985; TERADA et al, 1985.). A *Cynodon* sp atende a essas exigências, apresentando boa produção de biomassa, podendo ser utilizada na alimentação animal.

Esta vegetação, devido à presença dos nutrientes aplicados e ao excesso de água terá seu metabolismo acelerado. Isto promoverá seu rápido crescimento e exigirá uma maior freqüência de poda (CORAUCCI FILHO, 1992).

3.11 Evaporação

A evaporação é a transformação de um líquido em vapor, efetuada a qualquer temperatura e na qual a tensão de vapor do líquido é superior à pressão exercida sobre este.

A evaporação da água de superfície depende diretamente da temperatura, umidade, velocidade do vento e da turbulência do ar.

A temperatura da superfície é determinada pela intensidade da radiação solar, coloração, turbidez e reflectividade da mesma. Numa situação onde não existe água livre na superfície, como nos solos úmidos, a taxa de evaporação depende também do grau de saturação do solo.

Todos estes fatores variam de local para local, mas como números de comparação, uma intensidade solar em torno de $550 \text{ cal/cm}^2/\text{dia}$ deverá resultar, teoricamente, numa taxa de evaporação da ordem de 10mm/dia. Na prática, parte de energia incidente é refletida ou absorvida como calor e então remetida, reduzindo potencialmente a taxa de evaporação.

3.12 Transpiração

Este fenômeno vem a ser a perda de água das plantas através de suas partes aéreas, sob forma de vapor, como resultado da atividade respiratória e de metabolismo. A transpiração é uma consequência da arquitetura da folha e da parte aérea das plantas.

Assim, durante um dia típico, em condições de bom suprimento de água, a transpiração aumenta ao nascer do sol, até um máximo por volta do meio-dia, passando por um período de declínio e chegando finalmente, a valores desprezíveis após o pôr-do-sol. Ao meio-dia pode, eventualmente, ocorrer um declínio temporário da transpiração, caso o fluxo d'água do solo para a planta não atenda à demanda atmosférica. Nestas condições, as plantas perdem turgescência e os estômagos fecham-se, controlando a transpiração.

Em condições de déficit de água no solo, o mecanismo estomático funciona como uma proteção para a planta. As perdas pela cutícula persistem; porém se não houver fornecimento de água, a planta entra em processo de murchamento, podendo até chegar a perder suas funções vitais.

3.13 Perdas Líquidas no Escoamento Superficial

Podem-se considerar as perdas líquidas em 2 grupos distintos, o grupo de parcelas afluentes, é constituído pelos esgotos a serem tratados e pela precipitação natural, e o grupo de parcelas efluentes, composto pelos volumes infiltrados/percolados, e o efluente, captado nos canais de coleta e disposição final.

No escoamento superficial, a parcela efluente captada pelos canais de coleta é mais significativa, já que a opção por este sistema de disposição é feita na ocorrência de solos poucos permeáveis, sejam pela ocorrência natural dos mesmos, ou pela necessidade de que o lençol freático venha a ser protegido. A forma de distribuição pode incrementar a parcela evapotranspirada, como é o caso da distribuição por aspersão com alta pressão, mas, mesmo assim, esta parte dificilmente irá exceder àquela do efluente líquido captado superficialmente.

Considerando-se a necessidade de que o equilíbrio no sistema seja mantido, é importante também, levar-se em conta o controle operacional das parcelas afluentes. No caso da precipitação natural ser acentuada por longos períodos, isto pode de alguma forma restringir os volumes de esgotos a serem aplicados, pois, se de um lado as águas de chuvas podem proporcionar a retirada do material não ativo no tratamento (lavagem), o que é bom, podem também estar impedindo o tempo mínimo de contato dos esgotos com o solo e com a vegetação e, se este volume perceber acréscimo superior ao aceitável hidráulicamente, isto poderá ser razão suficiente para proporcionar caminhos preferenciais (curto-circuito) e até condições de erosão.

3.14 Partida nos Sistemas de Escoamento Superficial

Durante um período de tempo, ocorre a aclimação do sistema, constituído o estabelecimento da cobertura vegetal, a formação do biofilme sobre a cobertura do solo e das plantas e o aumento da população microbiana. Este período pode durar de 3 a 4 meses (CHERNICHARO, 1997).

Uma característica importante do sistema é o seu tempo de restauração do equilíbrio e OVERMAN & WOLFE (1986) observaram que em um sistema estudado, eram necessárias 24 horas, após ficar 3 semanas sem receber efluente, para que o processo atingisse o equilíbrio, ou seja, o sistema retorna em pouco tempo aos níveis anteriores de eficiência.

3.15 Solo

A ação do solo na redução da matéria orgânica é mais efetiva na camada superficial de 10 a 15cm. A Matéria orgânica particulada que é filtrada pelo solo, bem como a dissolvida que percola pelo mesmo, são parcialmente degradada por microrganismos.

O solo contém uma grande quantidade de microrganismos heterotróficos que conferem ao sistema, como um todo, a habilidade de utilizar e degradar a maior parte dos compostos orgânicos sob as mais diversas condições. O tempo requerido para esta degradação pode ir desde poucos minutos, como é o caso da glicose, até cem anos, como é o caso dos compostos de agregados complexos.

Sob condições aeróbias, a matéria orgânica é sintetizada, convertida em matéria celular, CO₂ (gás carbônico) e água pela ação de bactérias na presença de oxigênio dissolvido. Parte do carbono serve como fonte de energia para os organismos, e parte é utilizada, juntamente com fósforo, nitrogênio e outros elementos pelas plantas. Paralelamente, as plantas utilizam o CO₂ liberado na fotossíntese para metabolizar

energia. Se a camada ativa do solo estiver funcionando anaerobiamente, ocorre um mecanismo de degradação anaeróbia, que envolve a atividade de microrganismos facultativos na digestão, seguida da atividade de bactérias fornecedoras do metano.

Na fase anaeróbia, além da digestão ser mais lenta, pode ser incompleta, resultando em compostos estabilizados parcialmente que não serão utilizados pela planta, podendo ser lixiviados para o lençol freático ou permanecer no solo de forma cumulativa.

Em condições aeróbias, o solo tem grande capacidade de estabilizar a matéria orgânica nele infiltrada, assegurando sempre eficiências bastante elevadas. A fim de mantê-las é preciso que, a cada regra, faça-se suceder um período suficientemente longo, no qual restabeleçam-se as condições de umidade do solo que possibilitam a penetração do ar, dando lugar a aerobiose. O aumento da superfície na interface solo-ar, como o que é consequência da vegetação, elevada a eficiência de remoção da matéria orgânica.

Alterações nas características químicas ou físicas, dadas pela disposição de esgotos e seus componentes de forma repentina em pequeno espaço de tempo podem levar a uma sobrecarga do sistema do solo. Esta sobrecarga pode ser em função do líquido que limitava os níveis de oxigênio requeridos, até uma aplicação brusca de produto químico, que pode retardar as funções biológicas na redução da matéria orgânica ou, até mesmo anulá-las, mantendo a atividade biológica aquém dos níveis necessários.

Todo empreendimento, cidade, indústria ou qualquer estabelecimento que despeje efluentes nos rios deverão estar enquadrados dentro do padrão de qualidade do rio atingido e do padrão de emissão do órgão poluidor

No Brasil, o nível de metais nas águas natural e definido pela Resolução CONAMA n. 20, de 18 de junho de 1986 (BRASIL, 1986).

Simplificando, quem não estiver enquadrado no CONAMA 20 será atuado e responderá por processos criminais, já quem estiver enquadrado no CONAMA 20 pagará somente pela poluição remanescente da Estação de tratamento de Esgoto.

ART 19° Nas águas de Classe 1 a 8 serão tolerados lançamentos de despejos, desde que, além de atenderem ao disposto no artigo 21 desta Resolução, não venham a fazer com que os limites estabelecidos para as respectivas classes sejam ultrapassados.

ART 21° - Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos d'água desde que obedeça às seguintes condições:

- a) pH entre 5 a 9;
- b) Temperatura: inferior a 40 °C, sendo que a elevação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C;
- c) Materiais sedimentáveis: Até 1 mL.L⁻¹ em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;
- d) Regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor;
- e) Óleos e Graxas: óleos minerais até 20 mg/l e óleos vegetais e gorduras animais até 50 mg/l;
- f) Ausência de materiais flutuantes;
- g) Valores máximos admissíveis das seguintes substâncias deste trabalho:

Cádmio: 0,2 mg.L⁻¹ Cd

Chumbo: 0,5 mg.L⁻¹ Pb

Cobre: 1,0 mg.L⁻¹ Cu

Cromo Hexavalente: 0,5 mg.L⁻¹ Cr

Cromo Trivalente: 2,0 mg.L⁻¹ Cr

Ferro Solúvel: 15,0 mg.L⁻¹ Fe

Níquel: 2,0 mg.L⁻¹ Ni

Zinco: 5,0 mg.L⁻¹ Zn

- h) Tratamentos especiais se provierem de hospitais e outros estabelecimentos nos quais haja despejos infectados com microorganismos patogênicos.

Classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional, como exemplo na Tabela 7, onde está apresentada a classe 3 – destinadas:

- a) ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional;
- b) á irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- c) á desdentação de animais.

A escolha desta classe se baseia no fato de que a partir dela a água de um manancial não apresenta mais condições físico-químicas para sua potabilização, ou seja, a aplicação do manancial poderá ter outras finalidades mas não o abastecimento público.

No que se refere à água potável, segundo a Tabela 8, as concentrações dos metais são definidas pela Portaria nº1469, de 29 de dezembro de 2000 (BRASIL,2001), do Ministério da Saúde, que estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Tabela 7 – Substâncias em estudo neste trabalho potencialmente prejudiciais (teores máximos), para classe 3, segundo Resolução CONAMA nº 20.

METAIS	CONCENTRAÇÃO
Cádmio	0,001mg.L ⁻¹ Cd
Chumbo	0,05mg.L ⁻¹ Pb
Cobre	0,02mg.L ⁻¹ Cu
Cromo Trivalente	0,5mg.L ⁻¹ Cr
Cromo Hexavalente	0,05mg.L ⁻¹ Cr
Ferro Solúvel	5,0mg.L ⁻¹ Fe
Níquel	0,025mg.L ⁻¹ Ni
Zinco	0,5mg.L ⁻¹ Zn

Fonte: adaptado de BRASIL,1986

Tabela 8 – Padrão de aceitação de consumo para os seguintes metais, segundo Portaria nº 1469, Ministério da Saúde.

METAL	CONCENTRAÇÃO	VPM⁻¹
Cádmio	mg.L ⁻¹	0,005
Chumbo	mg.L ⁻¹	0,01
Cobre	mg.L ⁻¹	2
Cromo	mg.L ⁻¹	0,05
Ferro	mg.L ⁻¹	0,03

Fonte: adaptado de Brasil,2000

(1) VMP: valores máximos permitidos

Conforme Tabela 9, os estados também têm leis de enquadramento, sendo que as leis estaduais devem ser iguais ou mais rigorosas que as leis federais. Caso o padrão máximo de lançamento de um determinado parâmetro seja 60, os estados terão obrigatoriamente que legislar com valores menores ou iguais que 60, ou seja, mais restritivo.

Tabela 9 - Comparação entre CONAMA 20 e Estados para o padrão de lançamento de metais pesados em estudo:

Parâmetro	Unidade	Brasil CONAM A	Goiás	Rio Grande Do Sul	Rio de Janeiro	São Paulo	Minas Gerais
Cádmio	mg Cd.L ⁻¹	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1
Chumbo	mg Pb.L ⁻¹	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,1
Cobre	mg Cu.L ⁻¹	1,0	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5
Cromo VI	mg Cr.L ⁻¹	0,5	0,1	0,1	-	0,1	0,5
Cromo III	mg CrL ⁻¹	2,0	-	-	-	-	1,0
Ferro Solúvel	mg Fe.L ⁻¹	15,0	15	10	15	15	10
Níquel	mg Ni.L ⁻¹	2,0	2,0	1,0	1,0	2,0	1,0
Zinco	mg Zn.L ⁻¹	5,0	5,0	1,0	1,0	5,0	5,0

**Fonte: Adaptado de Fortes e Cunha (1994); CETESB (1978);
CONAMA 20 (1986).**

Os metais estão presentes naturalmente nos solos, em concentrações variáveis de acordo com sua gênese. No entanto, estas concentrações podem sofrer incremento devido aos processos antrópicos, principalmente por fontes difusas. A maioria das informações disponíveis na literatura brasileira refere-se à fertilidade do solo e pouco se referem à questão ambiental .

Trabalhos sobre o comportamento de metais pesados em solos, sua fitodisponibilidade com conseqüente passagem para a cadeia alimentar tem sido objeto de estudos bastante intensivos na literatura mundial. Entretanto, no Brasil, esses estudos têm-se limitado a fornecer dados sobre Cu e Zn tendo em vista as limitações dos métodos analíticos utilizados para detectar concentrações traços de Cd, Hg e Pb.

Segundo Berton (2000), as espécies vegetais variam grandemente quanto a sua sensibilidade aos metais. A tolerância ou sensibilidade também pode variar dentro da espécie vegetal. A fitodisponibilidade de um metal pode variar com a presença no solo de constituintes orgânicos e inorgânicos como óxidos de Fe e Al, silicatos, fosfatos e carbonatos, além da presença de outros metais.

Dependendo das condições microambientais, as plantas podem absorver metais em quantidade suficiente para causar danos aos tecidos ou ao seu desenvolvimento e reprodução. A capacidade de um metal causar dano às plantas é chamada de fitotoxicidade. A Tabela 10 apresenta as concentrações consideradas normais e fitotóxica em folhas de plantas.

Tabela 10 – Concentração de metais considerada normal e fitotóxica em folhas de plantas

METAIS	Conc. Normal (mg.Kg⁻¹)	Conc. Tóxica (mg.Kg⁻¹)
Cádmio	0,1 – 2,4	5 - 30
Chumbo	5 - 10	30 - 300
Cobre	5 - 20	20 - 100
Cromo	0,03 - 14	5 - 30
Níquel	0,02 - 5	10 - 100
Zinco	1 - 400	100 - 400

Fonte: Adaptado de MATO,2001; ALLOWAY, AYRES,1993

A concentração máxima permitida de metais em solos agrícolas tratados com lodo de esgoto, em diversos países, é apresentada na Tabela 11., segundo a SANEPAR (1999).

Tabela 11 - Concentração máxima permitida de metais em solos agrícolas, tratados com lodo de esgoto em diversos países.

País	Elementos (mg.Kg⁻¹)					
	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn
CEU	1-3	50-140	100-150	30-75	50-300	150-300
França	2	100	150	50	100	300
Alemanha (a)	1,5	60	100	50	100	200
Itália	3	100	150	50	100	300
Espanha	1	50	100	30	50	150
Reino Unido (b)	3	135	400	75	300	300
Dinamarca	0,5	100	200	60	60	150
Finlândia	0,5	100	200	60	60	150
Noruega	1	50	100	30	50	150
Suécia	0,5	40	30	15	40	100
Est. Unidos	20	750	1500	210	150	1400
Nova Zelândia	3	140	600	35	550	280
Canadá (Ontário)	1,6	100	120	32	60	220

(a) pH>6. Para pH<6, Cd= 1mg/Kg e Zn= 150mg/Kg (b) pH entre 6 e 7

Fonte: Adaptado da SANEPAR (1999)

4- METODOLOGIA

Para realizar o estudo proposto, foram utilizados os procedimentos metodológicos descritos a seguir.

4.1 Descrição do Sistema de Tratamento

O sistema de tratamento que foi utilizado para este estudo, localiza-se no bairro da Graminha no município de Limeira, SP, latitude sul $22^{\circ}33'53''$ e longitude oeste $47^{\circ}24'17''$, área pertencente à empresa Águas de Limeira S.A., concessionária do serviço de águas daquele município. O esgoto sanitário, conforme mostra a Figura 1, depois de coletado em um interceptor, passa por uma peneira estática e o efluente é bombeado para uma caixa de equalização, situada no sistema de aplicação no solo. A rampa de escoamento superficial, segundo a Figura 2 detalha, tem dimensões de: 4,25m de largura por 45m de comprimento, declividade média de 3,5% e cultivada com gramínea Tifton 85 (*Cynodon* sp). O efluente é aplicado na cabeceira da rampa, no seu ponto de cota mais elevada, por meio de tubulação em PVC DN 100 perfurado a cada 10 cm com orifícios de 10 mm de diâmetro. As taxas hidráulicas de aplicação foram de 0,20 e 0,30 $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$. O período de aplicação foi de 12 horas por dia e a frequência de aplicação de 5 dias por semana. A cada 5m de rampa, existe um anteparo em concreto, com aproximadamente 2 cm de altura, 2,5 cm de largura e comprimento igual a largura da rampa, os quais visam uniformizar o escoamento no sentido longitudinal.

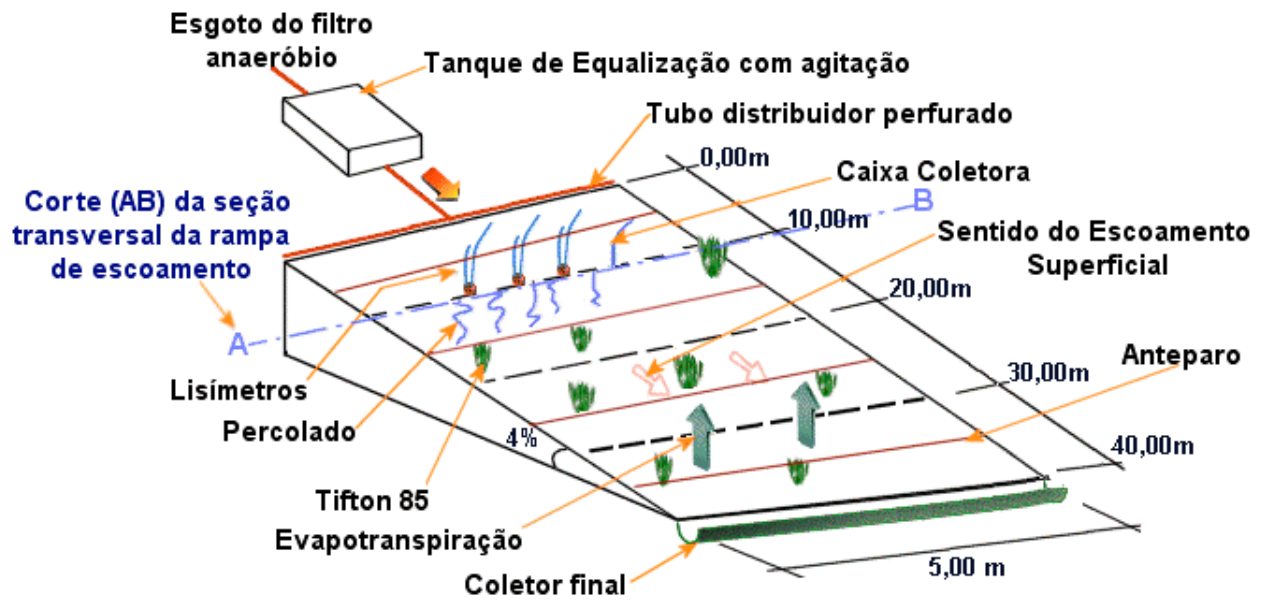


Fig. 1 – Esquema Geral do Sistema de Tratamento no Solo.



Fig. 2 - Vista geral da rampa – detalhe da “zona seca” antes da regularização

Montagem dos lisímetros de sucção :

Após a confecção das cápsulas porosas, elas foram coladas à extremidade inferior de um tubo de PVC rígido, sendo que este tubo é fechado em sua extremidade superior por um “Cap” de PVC, no qual são feitos dois furos para a passagem das mangueiras de nylon. Um deles parte da extremidade inferior da cápsula porosa até o recipiente coletor de amostra, enquanto que o outro penetra poucos centímetros aproximadamente no tubo de PVC, e é ligado a uma bomba de vácuo, conforme esquema Figura 3, Figura 4 e Figura 5 PARIZEK & LANE (1970) desenvolveram o lisímetro de sucção baseado em um protótipo descrito por WAGNER (1962).

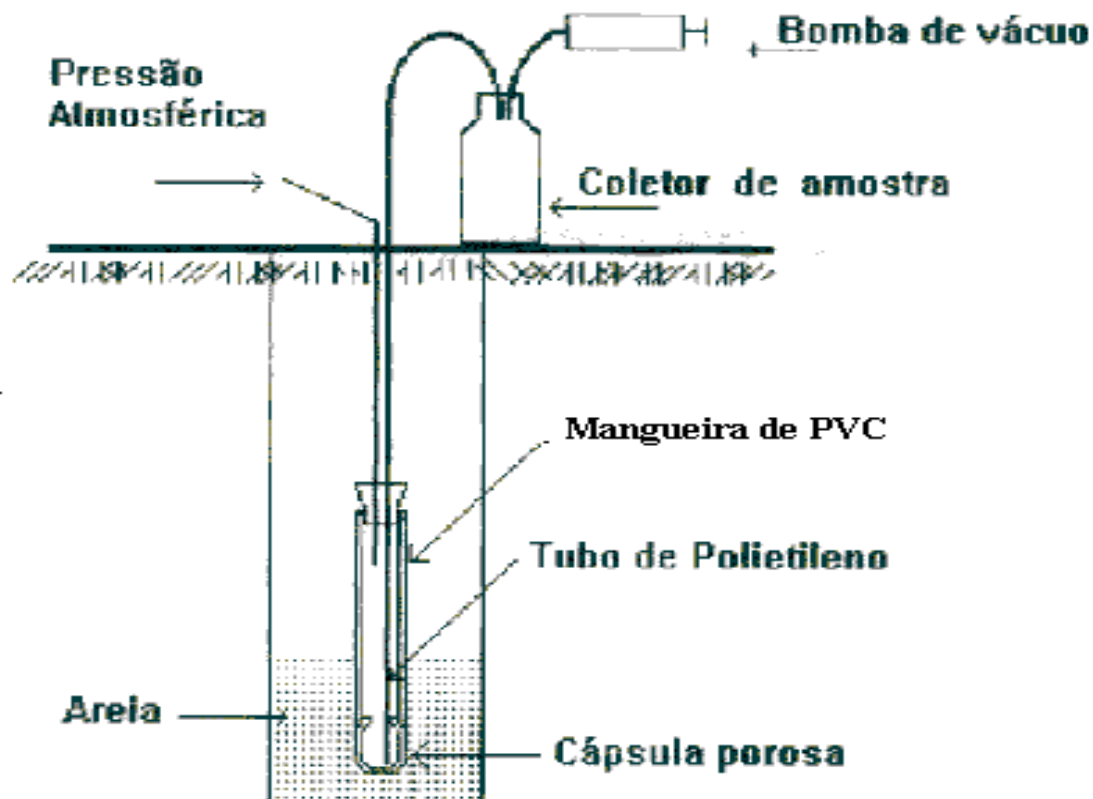


Fig. 3 - Lisímetro de Sucção usado para coletar água da zona não saturada PANSANI (2001).

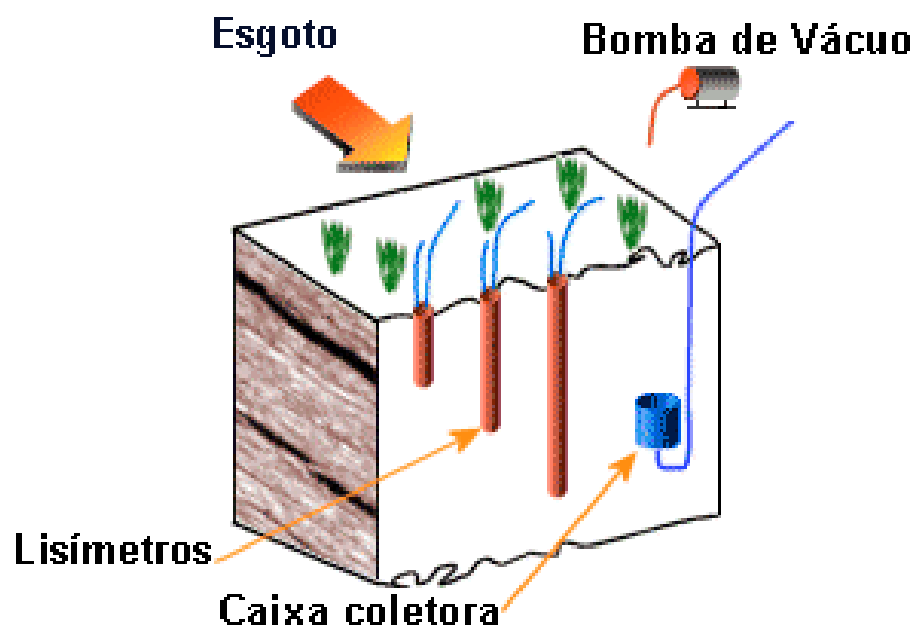


Fig. 4 – Vista de Frente da Seção Transversal do Corte AB, conforme Fig. 1



Fig. 5 - Caixa coletora e lisímetros de sucção usado para coletar de amostras do efluente percolado.

4.2 Variáveis Avaliadas

No presente trabalho foi avaliada a eficiência de remoção de metais pesados presentes no esgoto sanitário utilizando o método de escoamento superficial no solo (“overland flow”). Esta possível determinação de metais no solo, planta e esgotos foram obtidos pelos seguintes métodos de análises de rotina do IAC:

No solo foram utilizados o método de LINDSAY e NORVELL, (1978) em solução de DTPA em pH 7,3 e a solução extratora Mehlich-3 segundo MEHLICH. A., (1984).

Na biomassa foi usado o método de decomposição de matérias de plantas com ácido nítrico e perclórico em blocos digestores, utilizado em análises de rotinas da Seção de Química Analítica do CENA desde 1976 e recomendado por (F.J. KRUG. et al, 1977).

Na parte líquida (esgoto) foi utilizado o método de análise descrito no AWWA/APHA/WEF, 19th. ed, 1995. Onde foi avaliado o pH, DQO, alcalinidade total, índice pluviométrico, granulometria e a série de sólidos.

Para a coletar o líquido intersticial, segundo as Figuras 3 e 4, onde foram “adaptados” lisímetros de sucção (tipo uma sonda constituída de: tubos de PVC, acoplados a uma ponteira porosa). Este constou com um sistema para possibilitar a criação de vácuo no interior das estações de monitoramento de líquido intersticial instaladas a 0,25, 0,50, 1,00m de profundidade e caixa coletora 50cm de profundidade a cada 10 m ao longo da rampa.

A cada poda da biomassa após 50 dias, foram coletadas as amostra de solo, onde se utilizou um trado de 0,05m para a retirada de solo junto aos lisímetros à 10m, 20m, 30m e 40m , com profundidade de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m e posteriormente levado ao laboratório para análises.

Na biomassa a retirada da grama sempre foi junto aos lisímetros e também as análises foram demoradas, porque tem que deixar pelo menos 24 horas no ácido nítrico para evitar o excesso de espumas no tubo digestor e perdas de analitos.

As análises de metais pesados no solo, planta e esgoto foram realizadas no laboratório do IAC – Instituto Agrônomo de Campinas em Campinas SP, e no laboratório do CESET – Centro Superior de Tecnologia em Limeira – SP, pertencente a UNICAMP foi analisado DQO, pH e alcalinidade total, e no laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP, em Campinas, SP foram realizadas as análises de granulometria e série de sólidos. A escolha dos locais onde realizou os experimentos levou em consideração os seguintes aspectos: segurança do local, infraestrutura completa de laboratórios, biblioteca, etc.

As amostras de metal total no líquido e no solo foram digeridas pelo sistema de microondas para o preparo de amostras, conforme, figura na pág. 151 no Anexo.

Foi utilizado este sistema por causa da rapidez de digestão de amostras, ao invés do uso de forno de placa que ocorreria em aproximadamente 2 horas sua digestão, e também evitar a perda de analíticos.

Foi feita análise granulométrica conjunta somente para classificar o tipo de solo da rampa de escoamento superficial, onde foi coletado o solo no início da rampa entre 0-10m e no final da rampa entre 30-40m nas respectivas profundidades de 0,00 - 0,25cm ; 0,25 – 0,50cm ; 0,50 – 0,75cm e 0,75 – 1,00m, conforme, figuras na pág. 147 a 150 no Anexo, o qual foi classificado segundo a CLASSE USDA de Franco Arenoso.

4.3 Coletas de Amostras

Foram realizadas coletas das amostras nos seguintes pontos:

- 1) pontos de coletas de amostras de líquidos:

afluente (proveniente do tanque de equalização)

efluente a 0, 10, 20, 30, 40 m (canal de coleta)

líquido percolado: a amostra é recolhida por meio de lisímetros sucção.

- 2) pontos de coletas de amostras do solo: as amostras foram coletadas por um amostrador de solo de nome trado com diâmetro 5,0 cm, ao longo da rampa à cada 10m, com profundidade de 0,25m, 0,50m e 1,00m
- 3) pontos de coleta de amostras da biomassa: toda vez que houve corte da Tifton 85 (*Cynodon sp*), no período de 40 a 50 dias, a coleta da gramínea foram duas amostras compostas ao longo da rampa na faixa de 10m, 20m, 30m, 30, 40m, junto ao lisímetros

Os pontos de amostragem do efluente bruto foram nos orifícios de saída da tubulação de alimentação, localizada no início da rampa. As amostras de efluentes tratados foram coletadas na tubulação de saída na canaleta coletora de efluentes escoados pela rampa.

As coletas foram realizadas ao longo do comprimento da rampa quando na obtenção de um estado de equilíbrio dinâmico no desempenho do sistema de tratamento de esgoto, estas coletas sempre foram iniciadas na saída da rampa e progredindo no sentido contrário ao do escoamento, a fim de evitar que os sólidos movimentados pelo caminhar ao longo da rampa interfiram nas amostras.

Foram estabelecidos pontos de coletas a cada 10m no sentido do comprimento da rampa onde foram instalados os lisímetros de sucção com profundidade de 0,25m, 0,50m, 1,00m e caixa coletora de 50cm de profundidade, para análises de metais pesados.

No período inicial do projeto, procedeu-se com a irrigação da rampa com taxa de aplicação de $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, como previsto no projeto, seguindo da aplicação da taxa de $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. Os parâmetros analisados, em cada caso, são apresentados na Tabela 12.

As datas de coletas para a taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ foi de setembro de 2001 à março de 2002 e para a taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ foi de abril de 2002 à novembro de 2002.

Tabela 12 Parâmetros, local e pontos de coletas que foram estudados durante o período experimental.

Parâmetros						
	pH	Alcalinidade	DQO	Metais	Granulometria	Série de Sólidos
Efluente	x	x	x	x	-	x
Líquido Percolado	x	x	x	x	-	x
Solo	x	-	-	x	x	-
Biomassa	-	-	-	x	-	-
Afluente	x	x	x	x	-	x

4.4 Metodologia de amostragem no efluente, no solo e da biomassa

1) **Líquidos:** pelo método AWWA/APHS/WEF, 19th. ed, 1995.

2) **Solo:** secagem, moagem em almofariz e pesagem, pelo método da EPA – SW-846,(1996), EMBRAPA (1999) e TEDESCO(1995).

3) **Planta:** secagem, moagem em almofariz e pesagem, pelo método da EPA – SW-846,(1996), EMBRAPA (1999) e TEDESCO (1995).

4) A **biodisponibilidade dos metais** foram utilizadas como soluções extratoras:

a) Extração com solução de Mehlich 3, na proporção de 50ml para 5,00g de solo, agitando-se 5 minutos, filtrar em papel de filtro de porosidade média (quantitativo ou qualitativo, mas lavado com AlCl_3 (MEHLICH, 1984));

Solução de Mehlich 3 (CH_3COOH $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ + NH_4NO_3 $0,25 \text{ mol L}^{-1}$ + NH_4F $0,015 \text{ mol L}^{-1}$ + HNO_3 $0,013 \text{ mol L}^{-1}$ + EDTA $0,001 \text{ mol L}^{-1}$);

b) Extração com solução DTPA – TEA, 25,00g de solo com 50ml da solução extratora, e agitar por 2 horas a 220 rpm, filtrar a suspensão por, no máximo 1 hora (LINDSAY & NORVELL, 1978).

Extrator DTPA - TEA (DTPA $0,005 \text{ mol L}^{-1}$ + trietanolamina $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ + CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$).

4.5 Frequência de Amostragem

A tabela 13 é apresentado a frequência de coleta de amostras de efluente, de líquido percolado, de solo e de biomassa, para as análises apresentadas na tabela 12.

Tabela 13: Frequência de coleta de amostras, em função do local de coleta.

Local	Frequência de Coleta
Efluente	Semanal
Líquido Percolado	Quinzenal
Solo	Na mudança da taxa de aplicação
Biomassa	Coincidente com o corte da gramínea

4.6 Análise dos Resultados

Os resultados encontrados foram avaliados estatisticamente, conforme descrito por GOMES (1987) por meio de calculo da Média e Desvio Padrão.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentro do escopo deste trabalho, os resultados dos parâmetros estudados foram expostos; por meio de gráficos e tabelas.

Ao longo de todo período de desenvolvimento experimental do trabalho, foram elaborados gráficos onde nos eixo das ordenadas estão mostrados os resultados obtidos durante os experimentos e nos eixos das abscissas estão as datas das coletas efetuadas.

No escoamento superficial, as variáveis de controle de operação do sistema analisadas neste trabalho foram: DQO, Alcalinidade Total, pH, Temperatura, Série de Sólidos.

5.1- Demanda Química de Oxigênio – DQO

É a quantidade de oxigênio necessário para a oxidação da matéria orgânica por meio de um agente químico. Parâmetro utilizado no monitoramento de sistema de tratamento de efluentes e na caracterização de efluentes industriais.

O afluente que entra no sistema em estudo é proveniente dos filtros anaeróbios numa vazão de 20 L.min^{-1} , sendo que as coletas foram realizadas na entrada e saída da rampa.

O comportamento da rampa em relação ao teor de DQO de entrada e saída de efluentes está apresentado na forma de gráficos nas Figuras 6 e 7, conforme a tabela 53 no Apêndice. Na Figura 8 está demonstrado o volume de precipitação mensal de

chuvas ocorridas, segundo as tabelas 56 e 57 no Apêndice, quando o sistema estava operando, nas taxas de aplicação de $0.30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$ e $0.20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$.

Observou-se que os valores de DQO na entrada da rampa nas duas taxas de aplicação foram praticamente constantes, apesar de ter ocorrido variações no sistema, principalmente no período de chuvas acarretando diluição dos despejos.

..

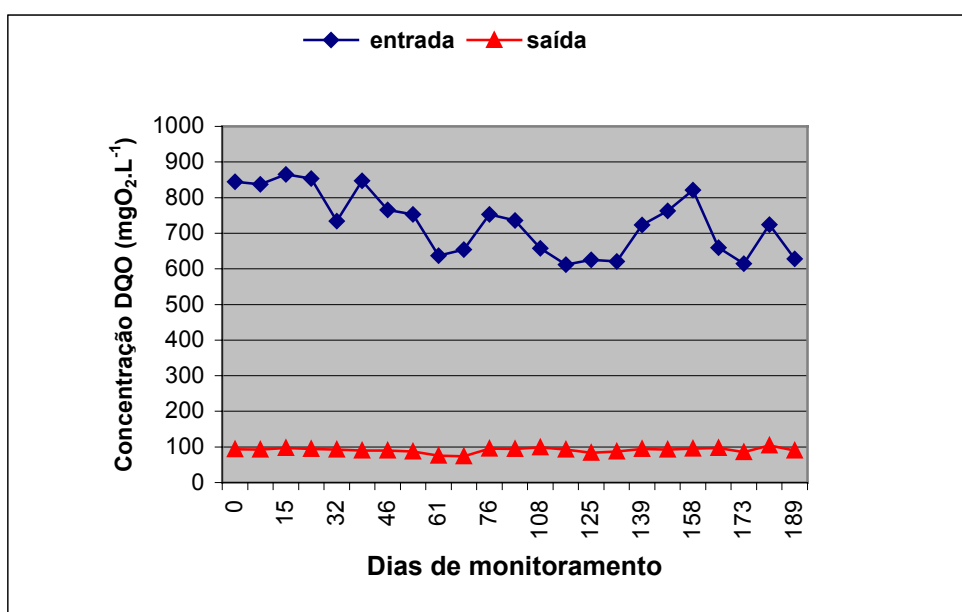


Fig. 6 - Teores de DQO nas amostras do sistema, na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$

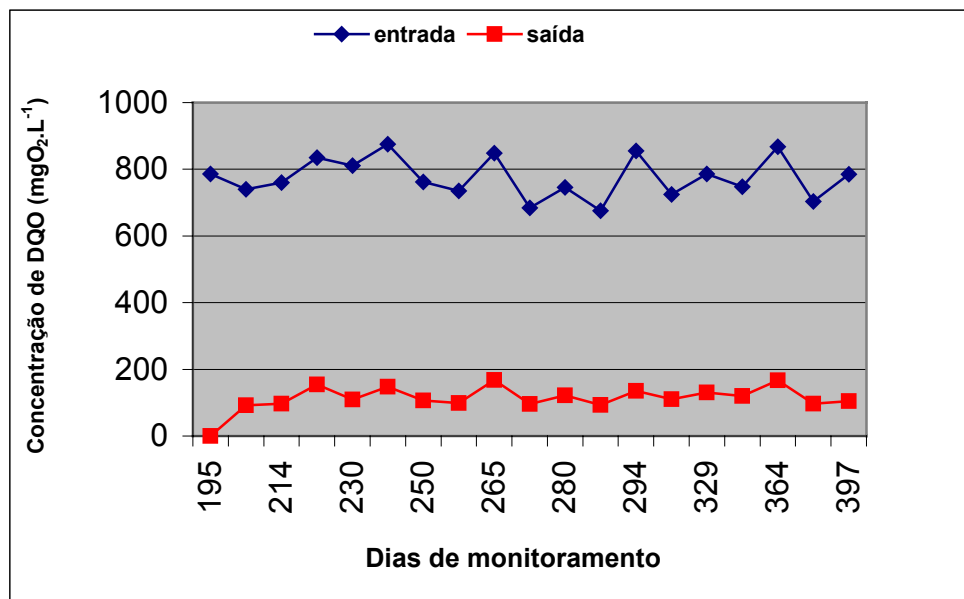


Fig. 7 -Teores de DQO nas amostras do sistema, na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$

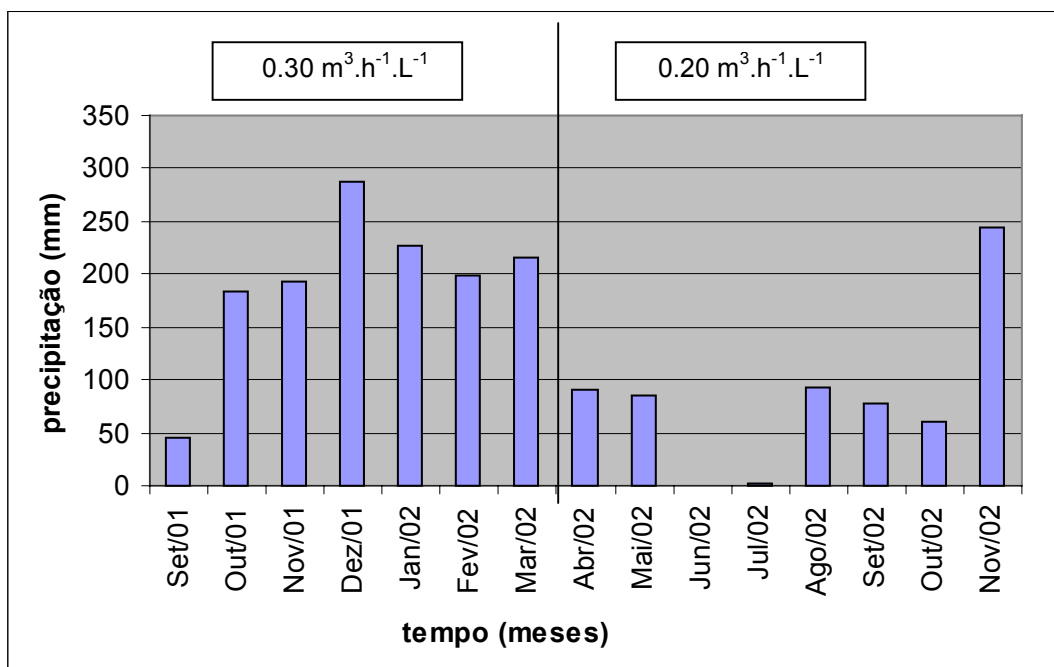


Fig. 8 - Precipitação mensal de chuvas, quando o sistema estava operando, nas taxas de aplicação de $0.30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$ e $0.20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$

O grau de remoção de matéria orgânica foi bastante similar nas duas taxas de aplicações.

Onde apresentou na taxa de aplicação de $0,30\text{m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-1}$ uma média de:

$\text{DQO}_{(\text{entrada})} = 655,52 \pm 59,86 \text{ mgO}_2.\text{L}^{-1}$ e média $\text{DQO}_{(\text{saída})} = 93,94 \pm 12,35 \text{ mgO}_2.\text{L}^{-1}$.

Na taxa de aplicação de $0,20\text{m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-1}$ apresentou uma média de:

$\text{DQO}_{(\text{entrada})} = 776,03 \pm 69,60 \text{ mgO}_2.\text{L}^{-1}$ e $\text{DQO}_{(\text{saída})} = 119,36 \pm 25,49 \text{ mgO}_2.\text{L}^{-1}$

5.2 – Alcalinidade

É a capacidade de que o sistema tem de tamponamento, onde acarreta um certo equilíbrio nos valores de pH. Decorrem da presença de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, quase sempre de alcalinos ou alcalinos terrosos (sódio, potássio, cálcio, magnésio, etc.), amônia e ácidos orgânicos voláteis. Grandes teores de alcalinidade provêm de despejos de indústrias têxteis, químicas, lavanderias e curtumes, onde pode inibir a ação de microorganismos presentes nos processos biológicos de sistemas de tratamento e interferir com a autodepuração dos cursos d'água.

Os resultados contidos nas Figura. 9.1 e Figura. 9.2, segundo a tabela, mostra os valores encontrados para alcalinidade total. As concentrações encontradas demonstram boa capacidade de tamponamento do sistema, mantendo a não acidificação do meio em qualquer uma das taxas de aplicação $0,30 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-1}$ e $0,20 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-1}$.

A diminuição dos valores de alcalinidade total entre a entrada e saída pode ser uma consequência da redução da concentração de ácidos orgânicos voláteis, metabolizados no sistema de tratamento.

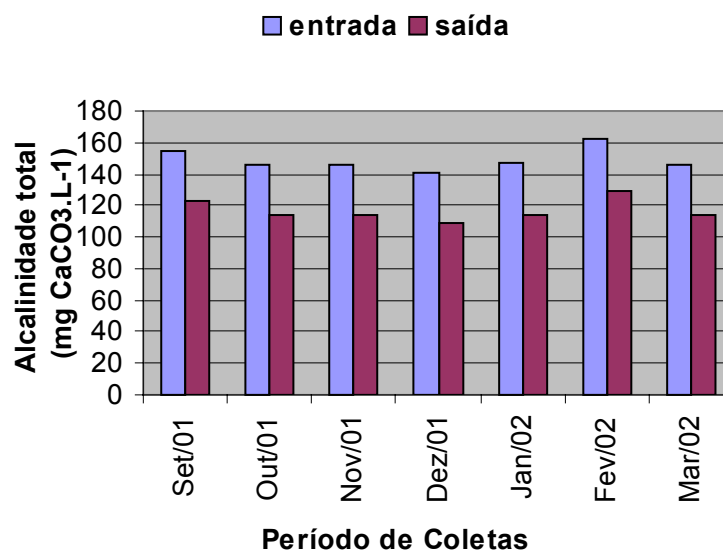


Fig. 9.1 - Teores encontrados nas amostras para alcalinidade do sistema, na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-1}$ (2).

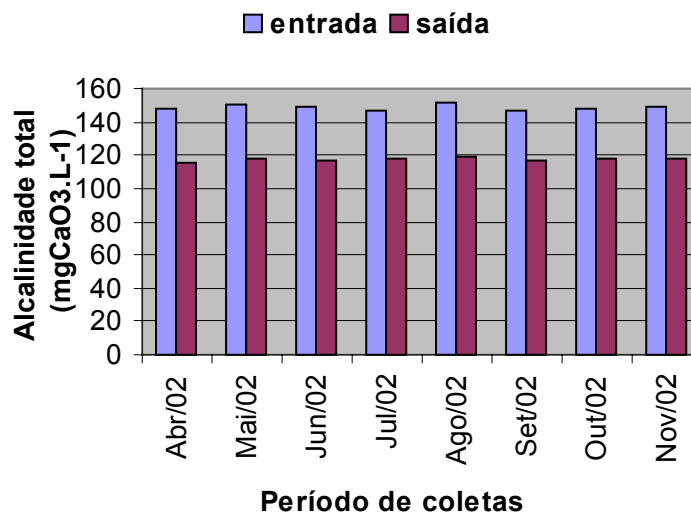


Fig. 9.2 - Teores encontrados nas amostras para alcalinidade do sistema, na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-1}$ (1).

5.3 - pH e Temperatura

Os despejos que possuem pH entre 6 e 9,5 geralmente tem boa aceitação para aplicação no terreno. Devem ser evitados valores fora dessa faixa ou ter seu valor corrigido. O pH ótimo para o solo receber efluentes está compreendido na faixa entre 6 e 7. Se os despejos possuírem pH próximo do neutro, o pH no interior do solo não sofrerá flutuações consideráveis. Entretanto, se essas flutuações ocorrerem será devido ao rompimento das condições de tamponamento, sendo necessário, nessa situação, adição de cal.

A temperatura dos despejos não deve ser elevada; despejos com alta temperatura podem “esterilizar o solo” e dificultar o crescimento da vegetação de cobertura. Temperaturas da ordem de 24 °C ou pouco maiores são ideais para auxiliar o processo de tratamento. A temperatura máxima aceita é de 36 °C.

Este incremento do pH é muito importante para a solubilidade dos elementos, e mostrou-se regular em todas as análises efetuadas na ETE Graminha, conforme descrito nas Figuras 10, 11, 12, 13 e 14, conforme a tabela 52 de pH no e tabela 54 de temperatura no Apêndice.

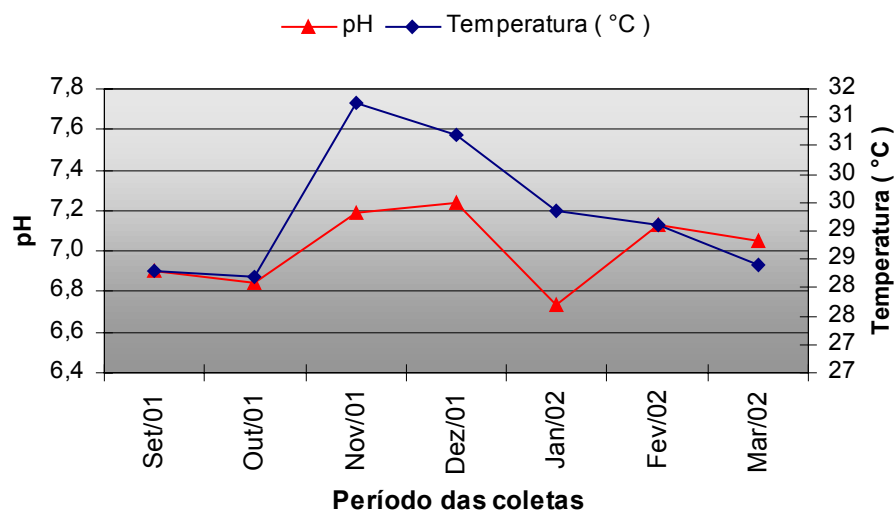


Fig. 10 – Valores de pH e temperatura na entrada do sistema com taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$

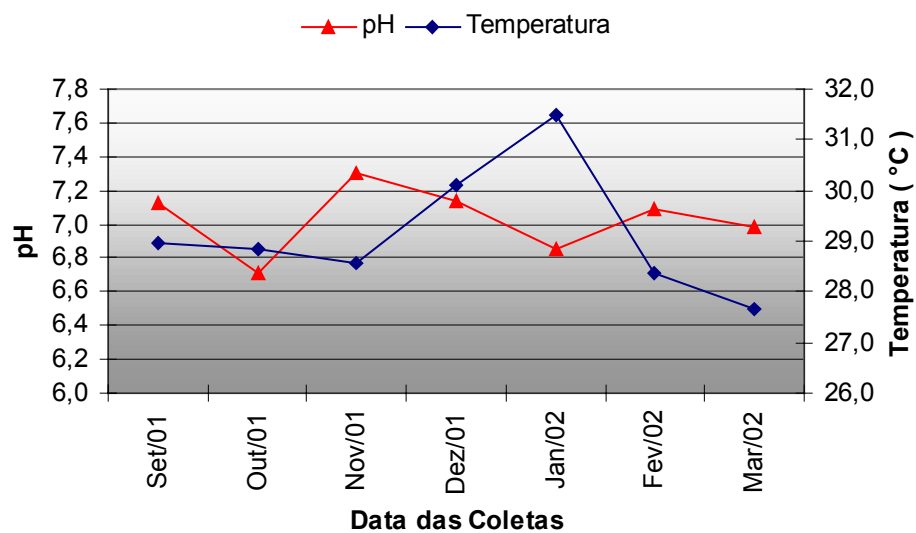


Fig. 11 – Valores de pH e temperatura na saída do sistema com taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$.

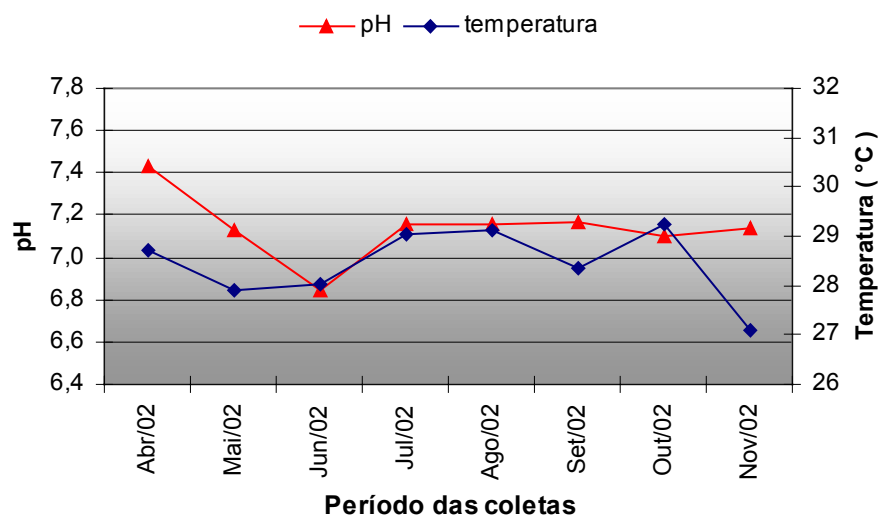


Fig. 12 – Valores de pH e temperatura na entrada do sistema com taxa de aplicação $0,20\text{m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-1}$.

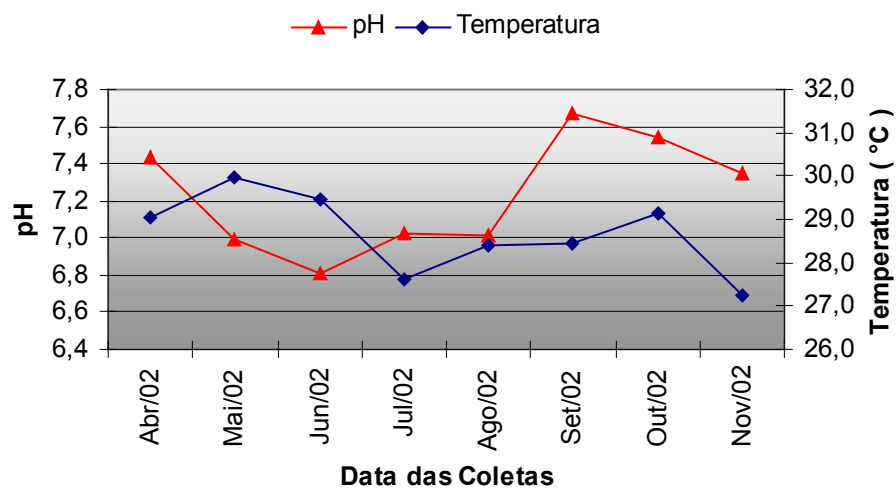


Fig. 13 – Valores de pH e temperatura na saída do sistema com taxa de aplicação $0,20\text{m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-1}$

O maior valor de pH encontrado no esgoto de alimentação da rampa de 7,43 em abril de 2002, pode ser devido alguma ocorrência de despejos de compostos químicos na rede coletora ou elevada quantidade de cal adicionada para corrigir o pH do esgoto bruto.

O pH também é um fator muito importante na remoção dos metais pesados por afetar a espécie química do metal, no caso em estudo mostrou-se praticamente constante ao longo da rampa, apresentando valor próximo da neutralidade de aproximadamente 7,0, podendo ser observado melhor na Tabela 52 no Apêndice. Tendo um pH máximo e mínimo de entrada respectivamente 7,65 e 6,23 e pH máximo e mínimo de saída 7,62 e 6,35.

A temperatura do esgoto de alimentação da rampa não foi tão elevada esteve na média de 30 °C, dentro da faixa ótima 25 a 35 °C para o processo de tratamento e o crescimento da vegetação. Onde a média das temperaturas ambiente foi de 30 °C.

5.4 - Sólidos Suspensos

A remoção de sólidos suspensos está positivamente relacionada com a taxa de aplicação, ou seja, a remoção torna-se mais eficiente com o decréscimo da taxa de aplicação. Segundo PAGANINI (1997), esta relação é muito mais forte na aplicação de efluente de tratamento primário e de esgoto bruto.

LESTER (1983), cita que, os principais fatores que afetam a remoção de sólidos suspensos são:

- a- projeto, taxa de aplicação superficial de sólidos;
- b- fluxo;
- c- concentração de sólidos suspensos no afluente.

No presente estudo, conforme figuras 15,16,17e18, conforme tabela 50 no Apêndice. A remoção de sólidos suspensos apresentou resultados satisfatórios de remoção nas taxas de aplicação $0,20\text{m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-1}$ e $0,30\text{m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-1}$.

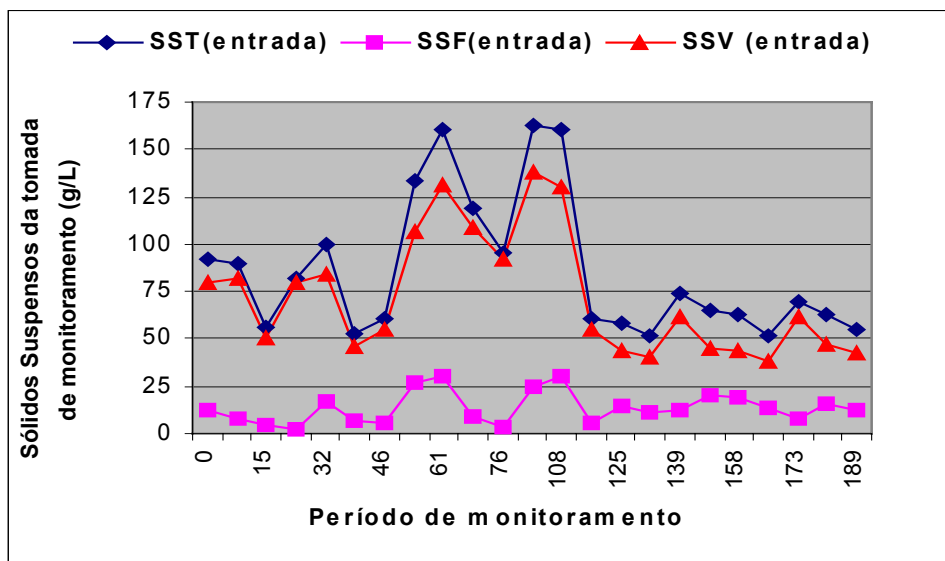


Fig. 14– Sólidos Suspensos na tomada de esgoto afluyente(entrada), na rampa de escoamento superficial com taxa de aplicação de 0,30m³.h⁻¹.m⁻¹.

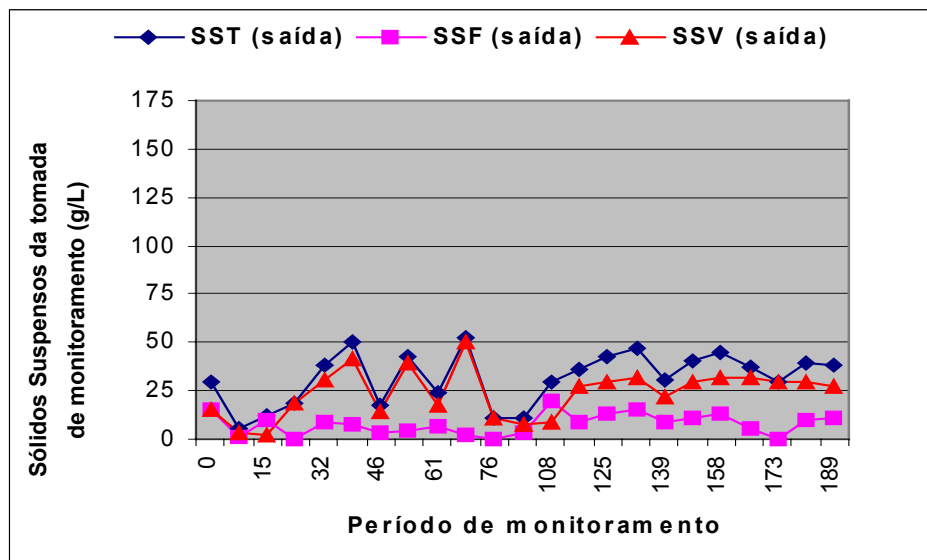


Fig. 15 – Sólidos Suspensos na tomada de esgoto afluyente(saída), na rampa de escoamento superficial com taxa de aplicação de 0,30m³.h⁻¹.m⁻¹.

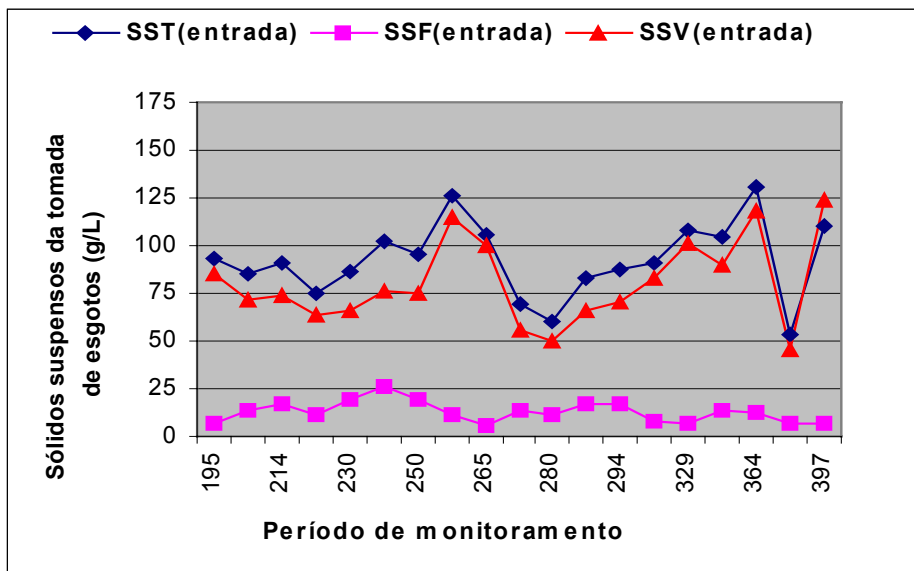


Fig. 16 – Sólidos Suspensos na tomada de esgoto afluyente(entrada), na rampa de escoamento superficial com taxa de aplicação de 0,20m³.h⁻¹.m⁻¹.

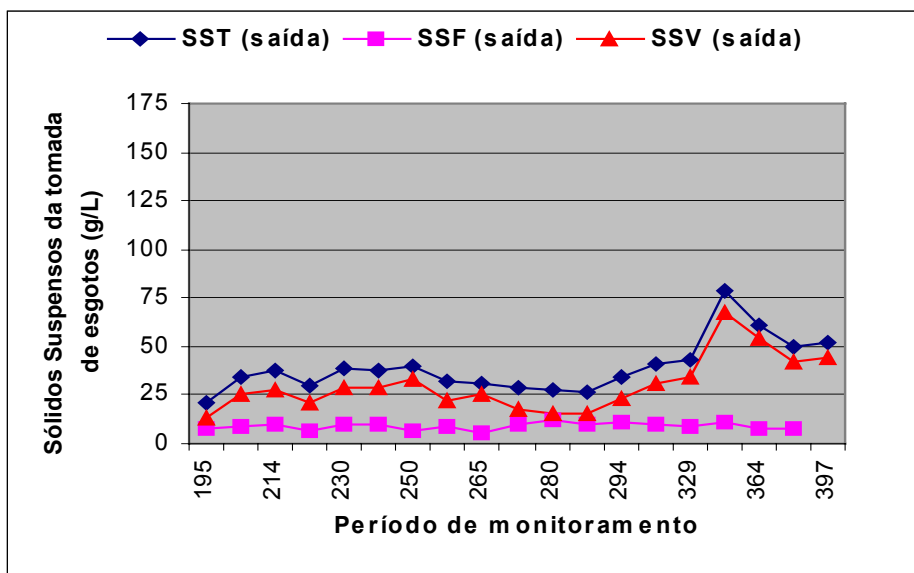


Fig. 17– Sólidos Suspensos na tomada de esgoto afluyente(saída), na rampa de escoamento superficial com taxa de aplicação de 0,20m³.h⁻¹.m⁻¹.

Deve-se salientar que o desempenho da rampa de escoamento superficial não se alterou durante a mudança de taxa.

A diminuição na concentração de sólidos suspensos do esgoto bruto no final do período da taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$, teve como influência a época das chuvas, onde as características do esgoto são influenciadas pela presença de águas pluviais na rede coletora, por meio de ligações clandestinas. Contudo as características do esgoto tratado pela rampa não se alteraram. Vale ressaltar que a remoção de sólidos suspensos voláteis foi muito maior que a fração fixa em decorrência da metabolização da matéria orgânica presente. Com exceção no dia 15 e 108 na saída da rampa de escoamento superficial na taxa de aplicação de $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$, conforme a figura 16.

5.5 - Índices Pluviométricos

A literatura técnica contendo o estudo da precipitação em sistemas de escoamento superficial é muito escassa. Pouco se conhece do efeito da chuva na eficiência do tratamento de águas residuárias industriais de esgotos domésticos, sendo necessário realizar pesquisas para conhecer o problema e estabelecer os critérios para a operação do sistema durante o evento da precipitação

Figueiredo (1982), realizou pesquisa utilizando esgoto doméstico em uma área experimental na cidade de Davis, Califórnia, EUA. O método empregado foi o do escoamento superficial e a área experimental com aproximadamente 4,5 ha.

De uma maneira geral, a precipitação pluviométrica pode afetar a eficiência desse sistema de tratamento de esgotos em termos de fatores de interferência na qualidade do esgoto.

Na Figura 19 está demonstrado a quantidade de chuva ocorrida, conforme a Tabela 56 e 57 no Apêndice, onde estão incluídos os valores mensais de precipitação entre 20/09/2001 e 23/10/2002, no sistema de tratamento que foi utilizado para este estudo, localizado no bairro da Graminha no município de Limeira, SP, área pertencente à empresa Águas de Limeira S.A., concessionária do serviço de águas daquele

município. Os dados foram obtidos na estação meteorológica do CESET-UNICAMP, campus Limeira.

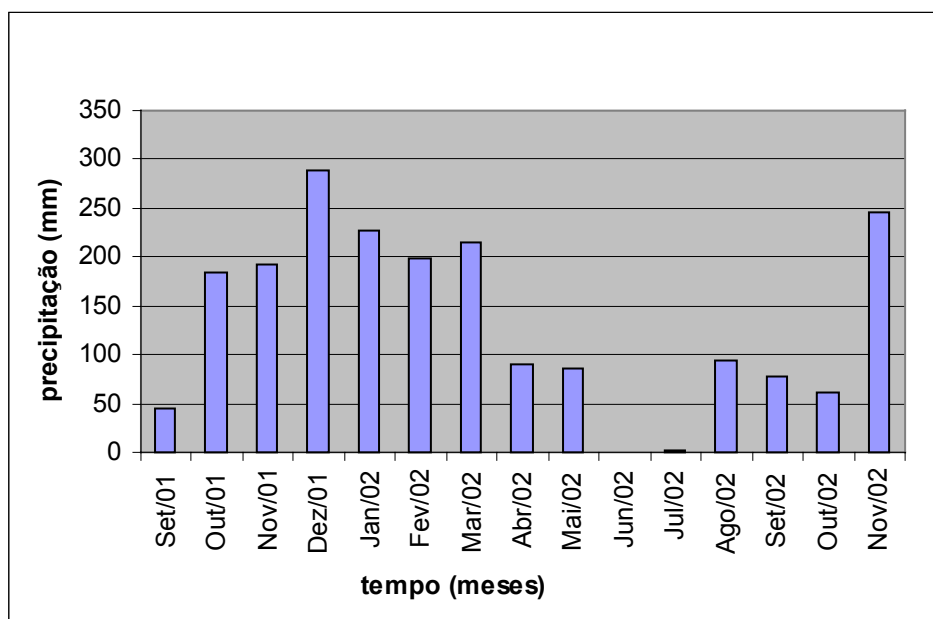


Fig. 18 - Volume total mensal de precipitação ocorrida na fase de experimentos

5.6 - Metais Pesados

A presença de metais pesados na composição do esgoto sanitário implica que esses elementos podem seguir diversos caminhos quando aplicados ao solo, podendo ficar acumulados nas camadas do solo, absorvidos pelas plantas, lixiviados ou arrastados pela erosão.

A remoção de metais pesados e seu efeito prolongado no solo tem sido investigada em vários países. Segundo Peters et al. apud Economic and Technical Review Report relatam que os processos de aplicação de esgotos no solo são excepcionalmente eficientes na remoção de metais pesados provenientes de esgotos.

Segundo os mesmos autores, a eficiência do processo em reter metais pesados é o resultado da capacidade de adsorção da camada orgânica na superfície do solo e

os metais tendem a se acumular perto do ponto de aplicação do esgoto e, uma vez que o metal pesado tenha sido absorvido, ele não é mais liberado para o meio pelo excesso de água de drenagem.

Podes-se dizer que o solo possui eficiente capacidade de remoção de metais pesados, desde que eles não ultrapassem certas concentrações. Acima destas concentrações poderá ocorrer:

- lixiviação para o subsolo, se ocorrer condições ácidas;
- inibição no crescimento de plantas;
- incorporação a cadeia alimentar.

Diante deste contexto, foram testados os seguintes extratores DTPA-TEA, Mehlich-3 no solo, solução nitro-perclórico na planta e ácido nítrico no metal total, para os seguintes metais: Zinco, Cobre, Cromo, Ferro, Cádmio, Níquel e Chumbo.

5.6.1 – Comportamento de metais pesados ao longo da rampa e lisímetros

Em todo período de operação do sistema, a concentração de metal no efluente tratado, foi menor que o valor da entrada, independente do período de seca ou chuva. Segundo este resultado, parte do metal ficou retido em alguns dos compartimentos estudados (solo, planta e ou percolado).

Em relação às profundidades e lisímetros, ocorreu sempre maior concentração de metal à 0,25cm.

Vale ressaltar que esses resultados foram decorrentes da avaliação do valor de concentração do metal e não da quantificação do fluxo de massa do metal em mg.h^{-1} , o qual indicaria uma maior remoção de metal pelo sistema de tratamento, pois a vazão de saída é aproximadamente 60 a 70% da vazão de entrada (Nour,1990).

5.6.1.1- Cádmio

A concentração máxima de Cd no Afluente e Efluente foi de $0,186 \text{ mg.L}^{-1}$ e $0,142 \text{ mg.L}^{-1}$ e mínimo de $0,037 \text{ mg.L}^{-1}$ e $0,051 \text{ mg.L}^{-1}$ respectivamente nas taxas de aplicação $0,30$ e $0,20 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}.\text{L}^{-1}$ conforme Figuras 19 e 20 e observado melhor na Tabela 15 no Apêndice.

Em relação ao Cd na superfície da rampa de escoamento superficial nas distâncias 0m,10m,20m,30m e 40m, conforme as Figuras 21 e 22 ficou demonstrado mesmo com a mudança de taxa de aplicação, O Cd se manteve o mesmo comportamento.

O Cd na parte líquida que foi retirado dos lisímetros à 0m,10m,20m de distância, conforme Figuras 23 a 28 houve um comportamento semelhante nas duas taxas de aplicação e somente um acréscimo no final do período na taxa de aplicação de $0,20\text{m}^3.\text{h}^{-1}.\text{L}^{-1}$.

O Cd nas distâncias de 30m e 40m houve baixa concentração do metal e variação quando houve mudança na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}.\text{L}^{-1}$ e $0,20\text{m}^3.\text{h}^{-1}.\text{L}^{-1}$, segundo as Figuras 29 a 32. Em período de chuvas e seca as concentrações do metal apresentou valores relativamente baixos.

Os resultados obtidos para concentração de Cd no Afluente e Efluente, nas superfícies da rampa e em todas as profundidades nas devidas distâncias, encontram-se dentro dos limites estabelecidos pelo CONAMA 20.

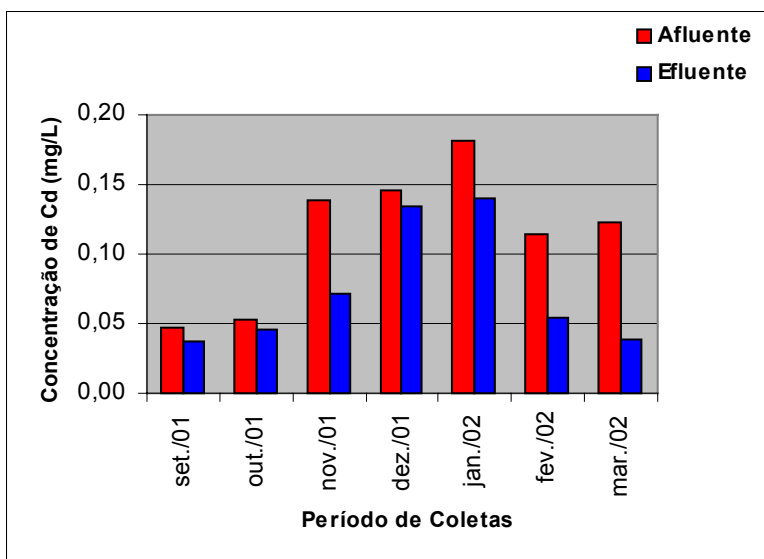


Fig.19 - Teores de Cádmio, determinados no afluente e efluente da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de $\text{Cd} = 0,2 \text{ mg.L}^{-1}$

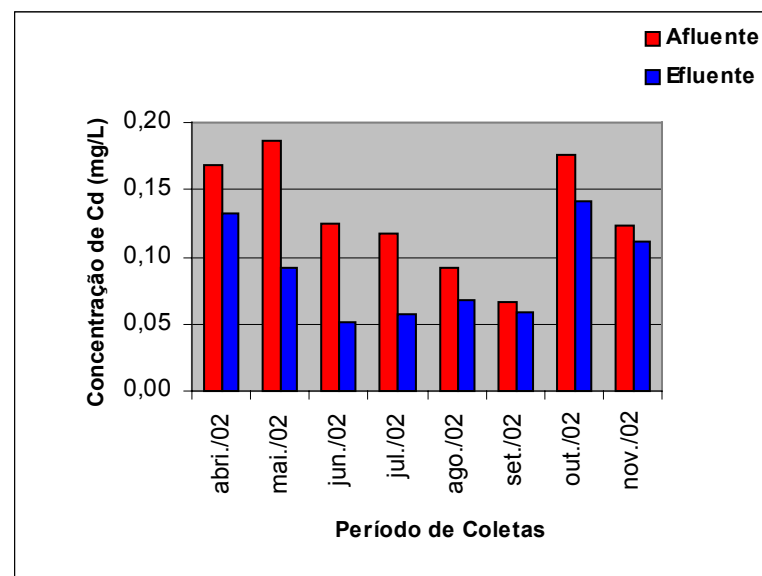


Fig.20 - Teores de Cádmio, determinados no afluente e efluente da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de $\text{Cd} = 0,2 \text{ mg.L}^{-1}$

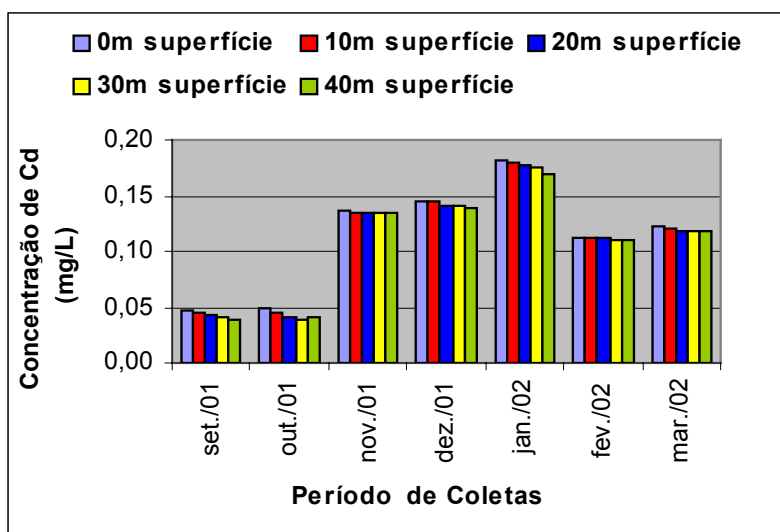


Fig. 21 - Teores de Cádmio, determinados na superfície da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de Cd = $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$

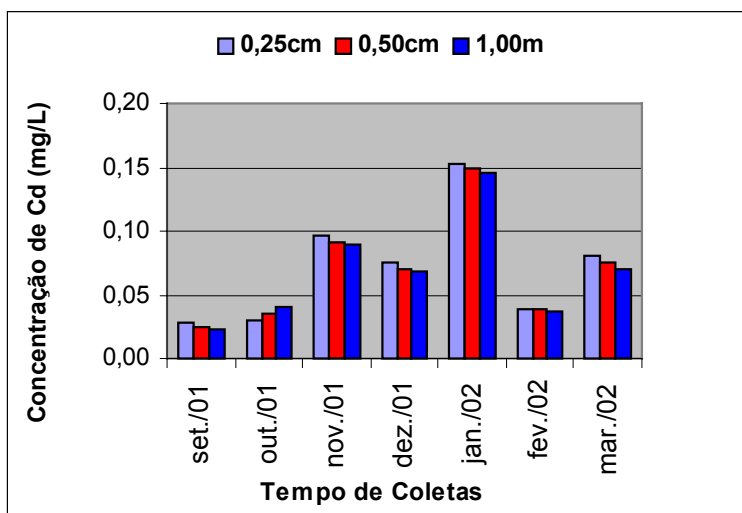


Fig. 23 - Teores de Cádmio determinados a 0m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Cd = $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$.

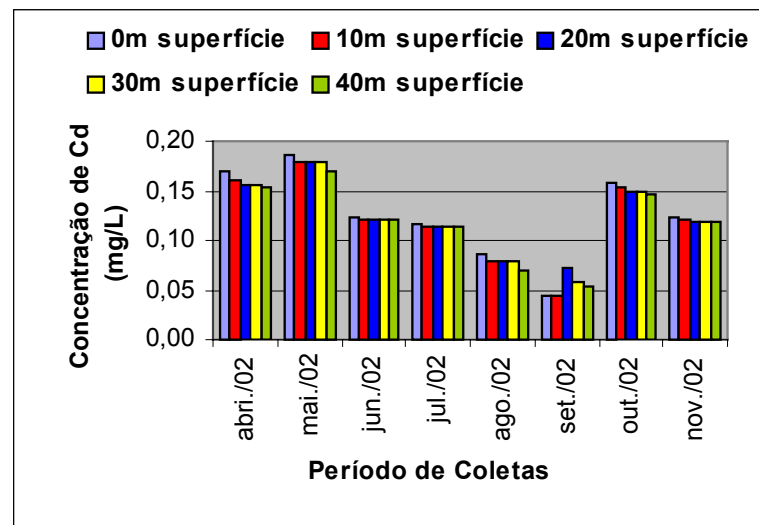


Fig. 22 - Teores de Cádmio, determinados na superfície da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de Cd = $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$

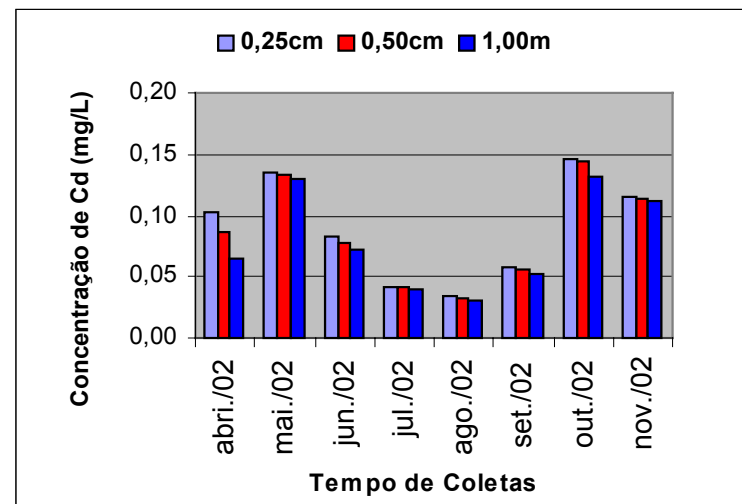


Fig. 24- Teores de Cádmio determinados a 0m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Cd = $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$.

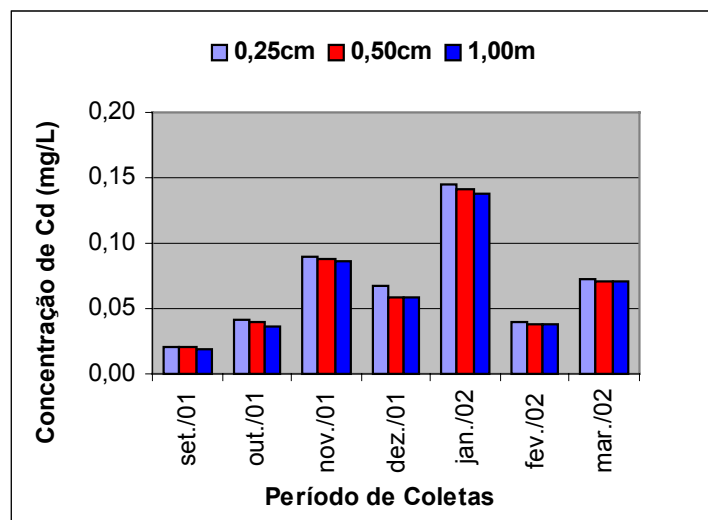


Fig. 25 - Teores de Cádmio determinados a 10m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Cd} = 0,2 \text{ mg.L}^{-1}$

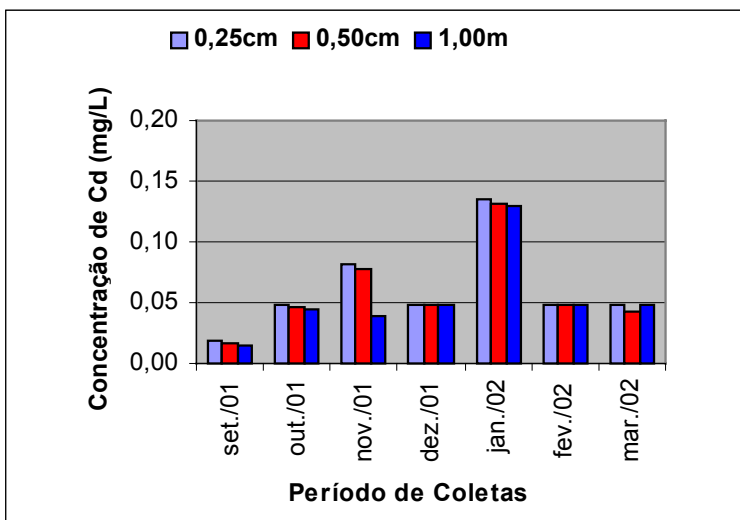


Fig. 27 - Teores de Cádmio determinados a 20m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Cd} = 0,2 \text{ mg.L}^{-1}$.

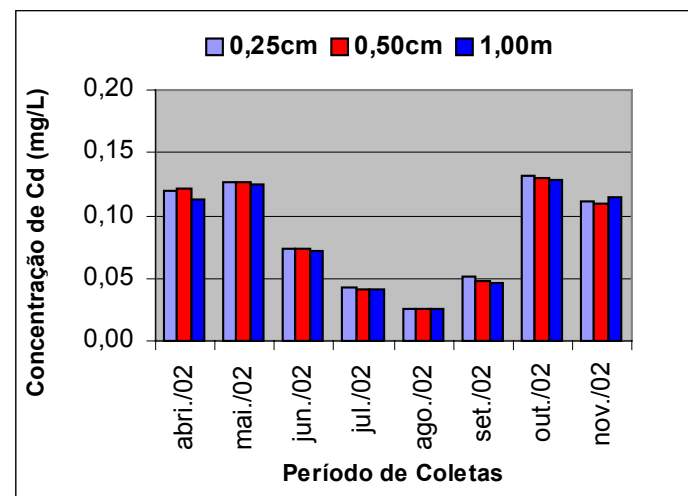


Fig. 26- Teores de Cádmio determinados a 10m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Cd} = 0,2 \text{ mg.L}^{-1}$

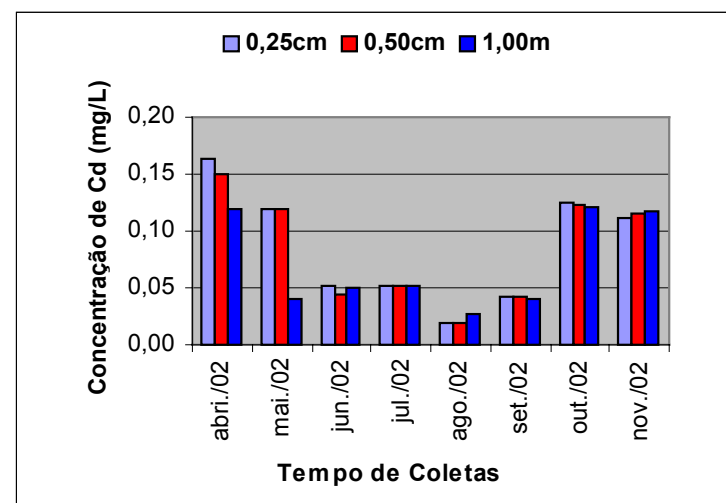


Fig. 28 - Teores de Cádmio determinados a 20m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Cd} = 0,2 \text{ mg.L}^{-1}$

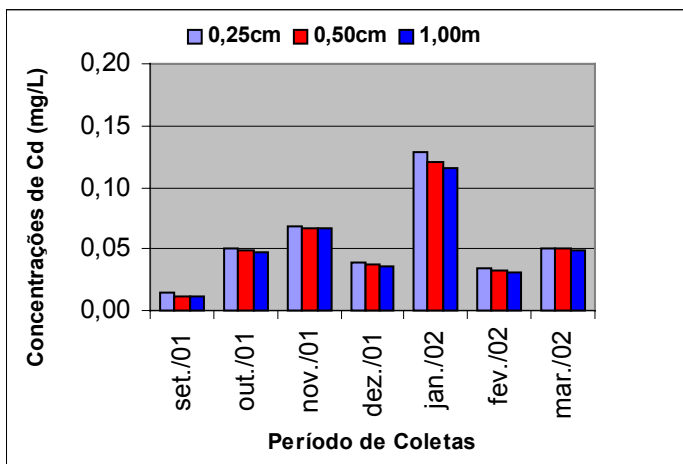


Fig. 29 - Teores de Cádmio determinados a 30m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Cd} = 0,2 \text{ mg.L}^{-1}$.

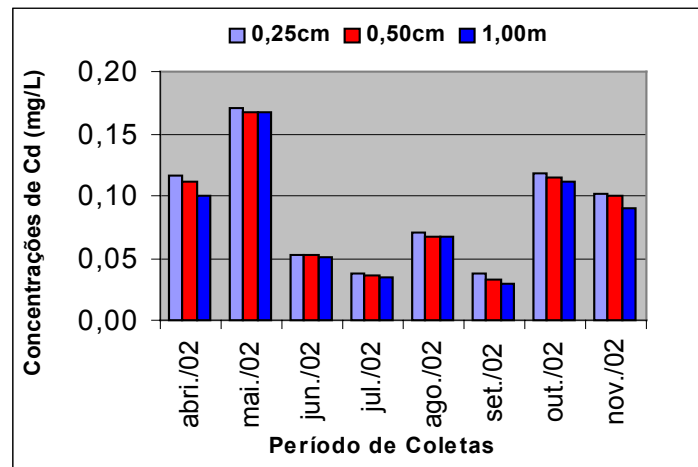


Fig. 30 - Teores de Cádmio determinados a 30m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Cd} = 0,2 \text{ mg.L}^{-1}$.

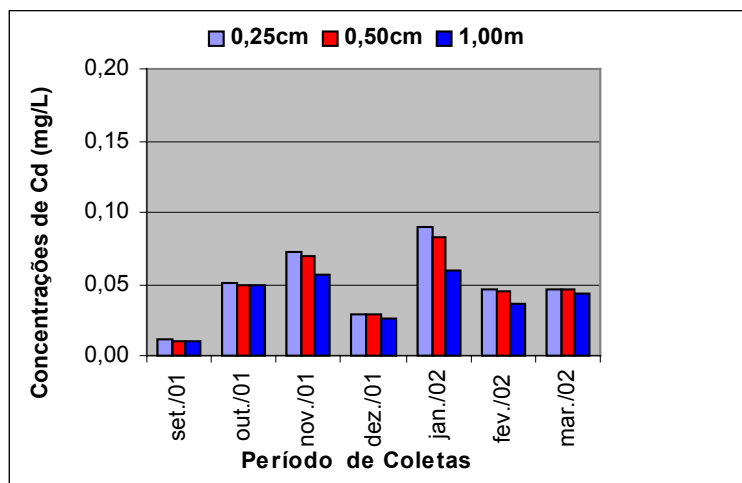


Fig. 31 - Teores de Cádmio determinados a 40m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Cd} = 0,2 \text{ mg.L}^{-1}$.

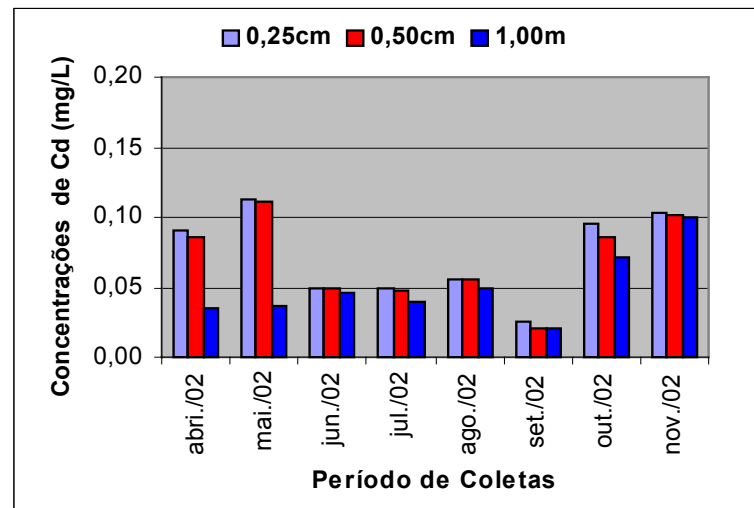


Fig. 32 - Teores de Cádmio determinados a 40m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Cd} = 0,2 \text{ mg.L}^{-1}$.

5.6.1.2 - Chumbo

A concentração máxima de Chumbo no Afluente e Efluente foi de $0,795 \text{ mg.L}^{-1}$ e $0,436 \text{ mg.L}^{-1}$ e mínima de $0,086 \text{ mg.L}^{-1}$ e $0,087 \text{ mg.L}^{-1}$ respectivamente nas taxas de aplicação $0,30$ e $0,20 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}.\text{L}^{-1}$ conforme Figuras 33 e 34 na Tabela **16** no Apêndice.

A concentração de Chumbo nas superfícies da rampa de escoamento apresentou valores elevados principalmente em período de chuvas Figuras 35 e 36, ocorrendo uma pequena variação nestes valores na mudança de taxa de aplicação durante o período de estiagem, ocorreu muita similaridade nas distâncias com pouquíssimas variações.

O Chumbo na parte líquida que foi retirado dos lisímetros à 0m , 10m e 20m de distância conforme Figuras 37 a 46, houve uma pequena variação na mudança da taxas de aplicação e somente uma estabilização no final do período na taxa de aplicação de $0,20\text{m}^3.\text{h}^{-1}.\text{L}^{-1}$, indicando que pode ter ocorrido acúmulo do metal.

Os resultados obtidos para concentração de Chumbo no Afluente houve variações acima do estabelecido pelo CONAMA20. O chumbo no efluente e suas devidas profundidades e distâncias encontram-se dentro dos limites estabelecidos pelo CONAMA 20.

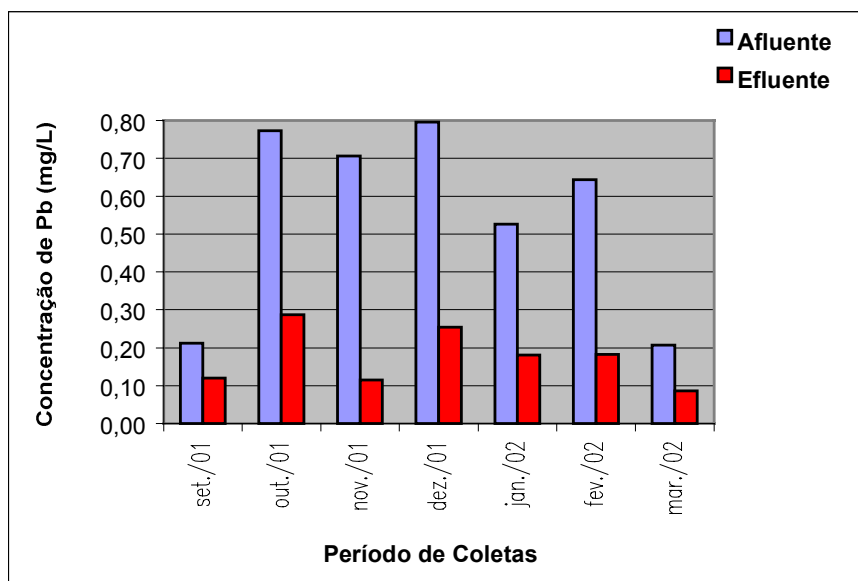


Fig. 33 - Teores de Chumbo, determinados no afluente e efluente da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de $\text{Pb} = 0,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

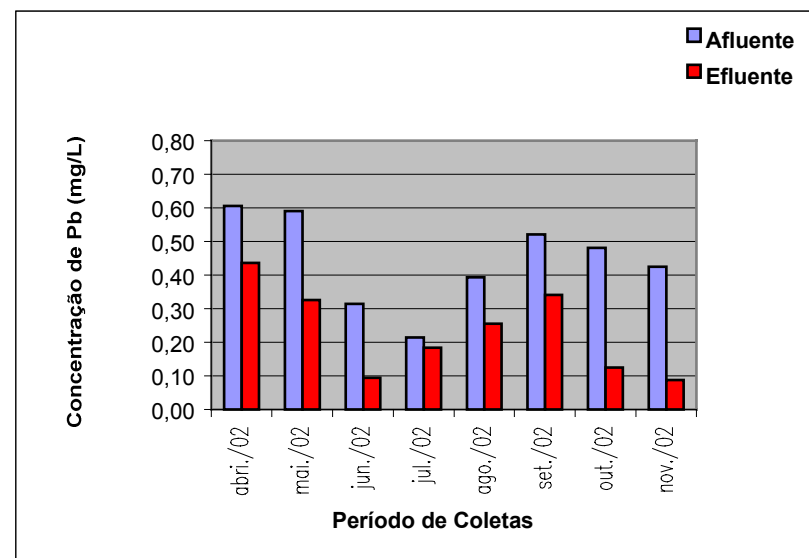


Fig. 34 - Teores de Chumbo, determinados no afluente e efluente da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de $\text{Pb} = 0,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

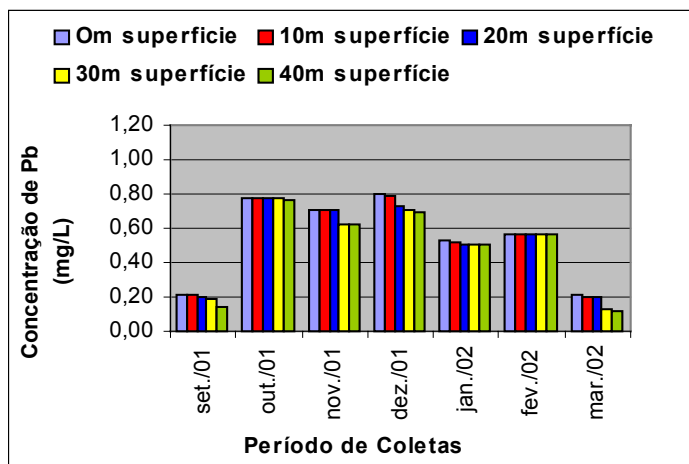


Fig. 35 - Teores de Chumbo, determinados na superfície da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de $\text{Pb} = 0,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

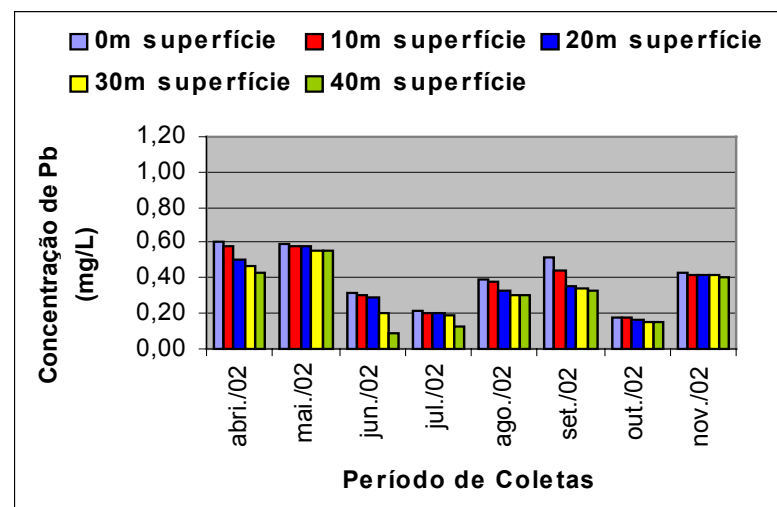


Fig. 36 - Teores de Chumbo, determinados na superfície da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de $\text{Pb} = 0,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

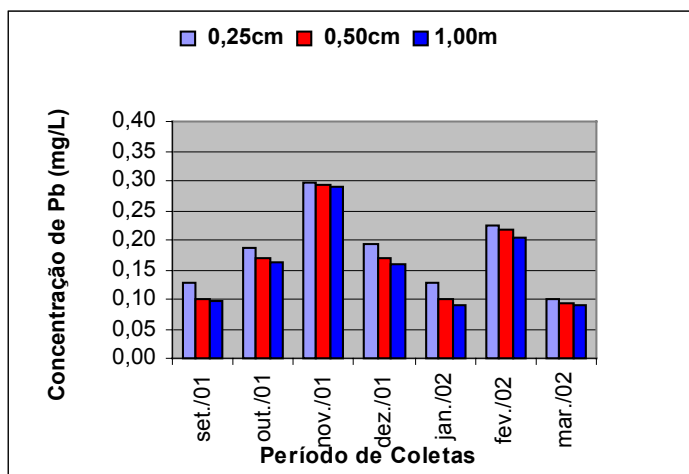


Fig. 37 - Teores de Chumbo determinados a 0m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Pb} = 0,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

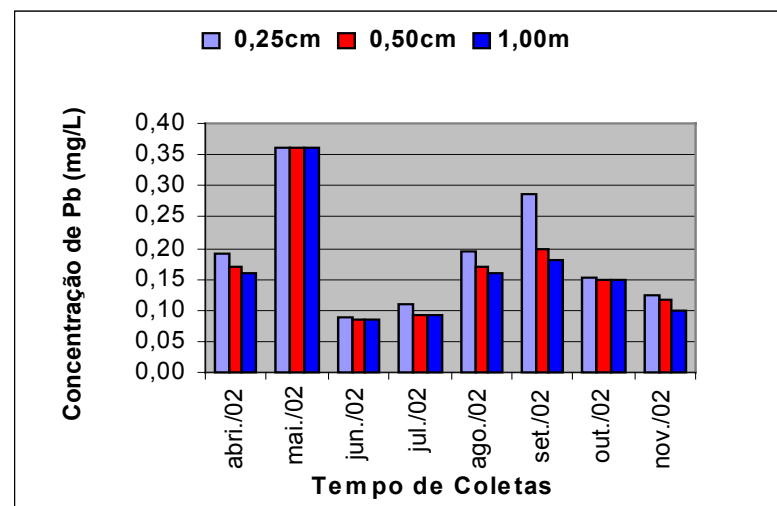


Fig. 38 - Teores de Chumbo determinados a 0m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Pb} = 0,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

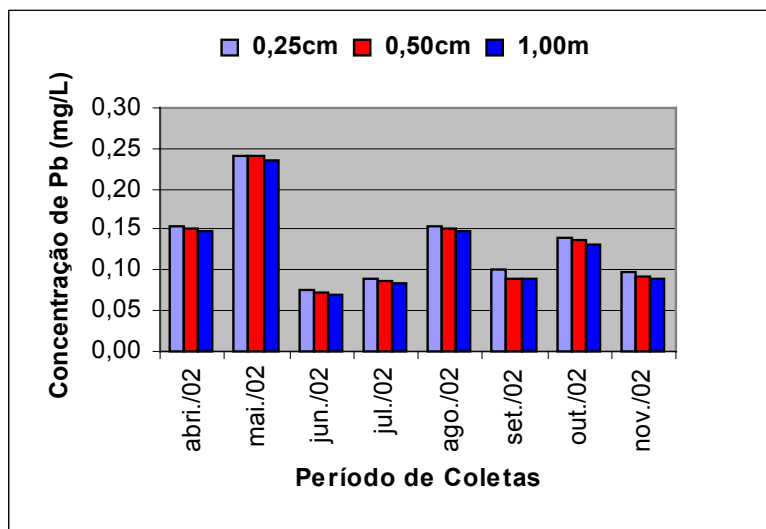


Fig. 39 - Teores de Chumbo determinados a 10m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Pb} = 0,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

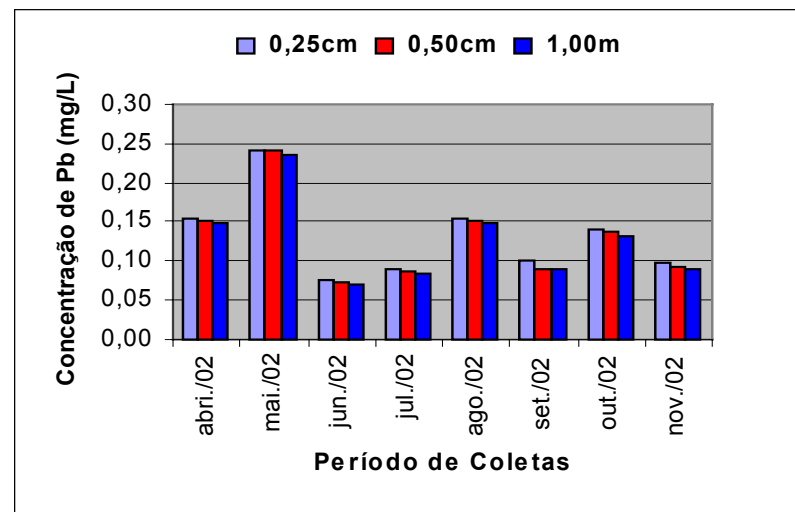


Fig. 40- Teores de Chumbo determinados a 10m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Pb} = 0,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

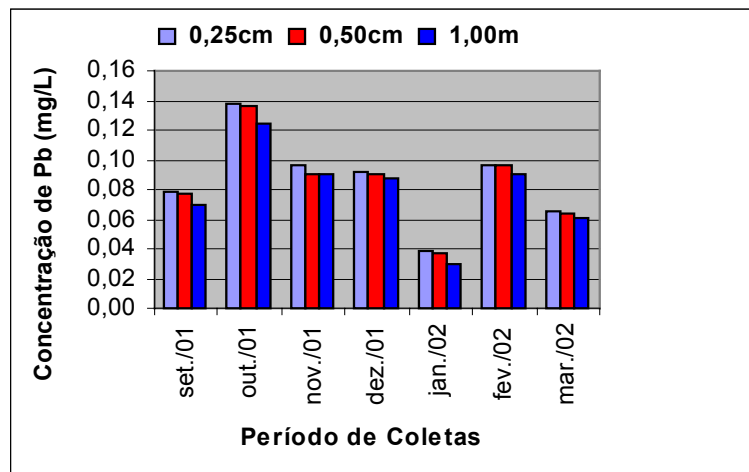


Fig. 41 - Teores de Chumbo determinados a 20m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Pb} = 0,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

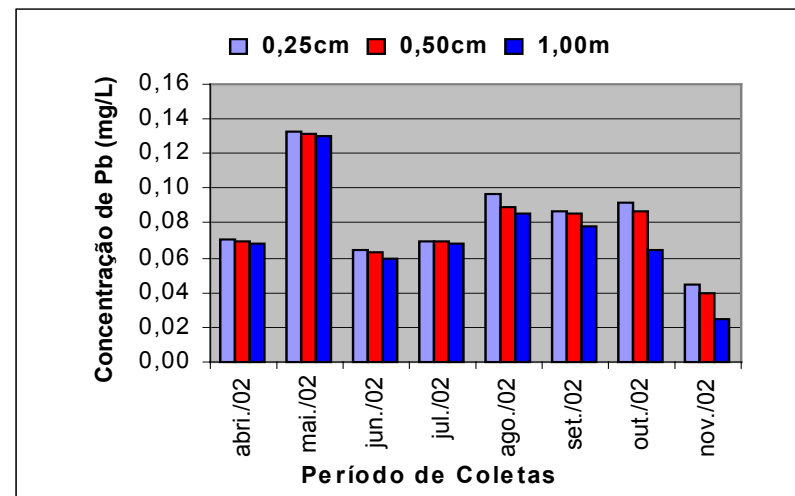


Fig. 42 - Teores de Chumbo determinados a 20m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Pb} = 0,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

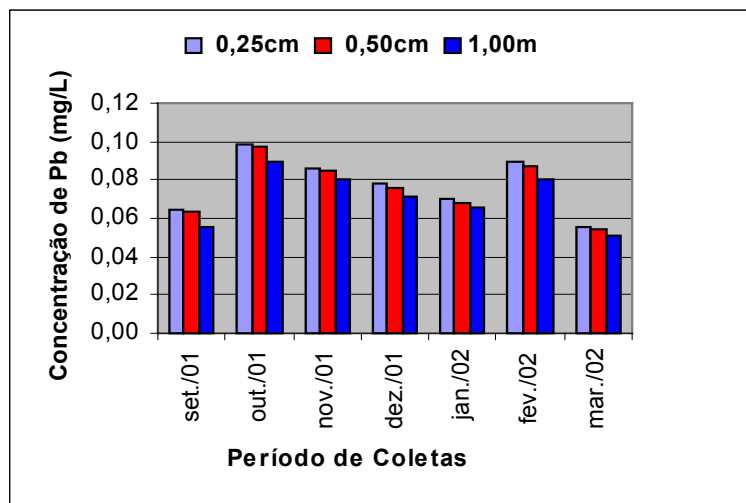


Fig. 43 - Teores de Chumbo determinados a 30m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Pb} = 0,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

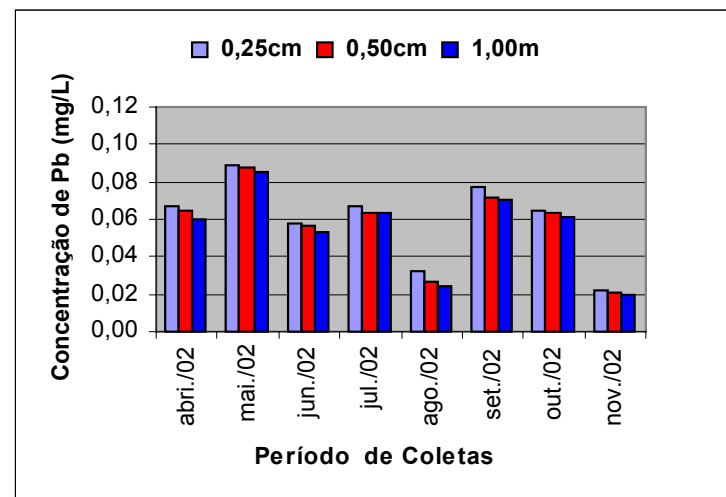


Fig. 44 - Teores de Chumbo determinados a 30m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Pb} = 0,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

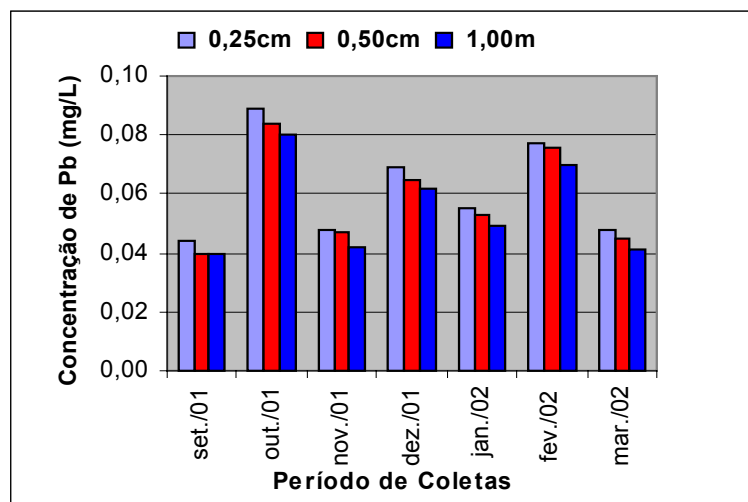


Fig. 45 - Teores de Chumbo determinados a 40m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Pb} = 0,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

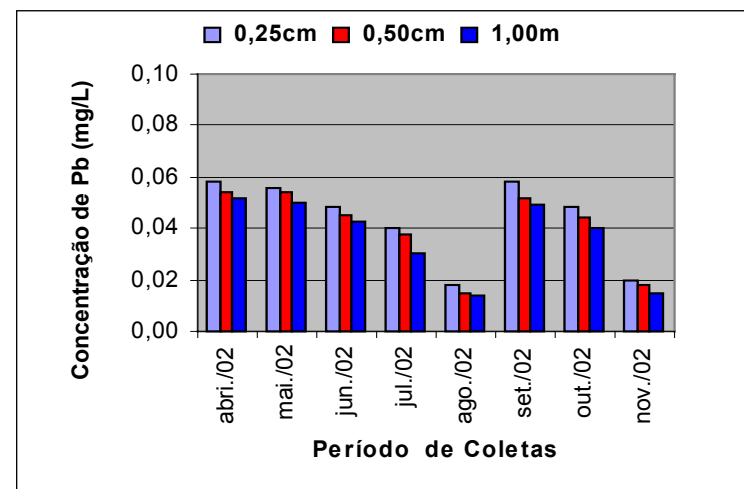


Fig. 46 - Teores de Chumbo determinados a 40m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Pb} = 0,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

5.6.1.3 Cobre

A concentração máxima de Cobre no Afluente e Efluente foi de 1,323 mg.L⁻¹ e 1,355 mg.L⁻¹ e mínima 0,531 mg.L⁻¹ e 0,310 mg.L⁻¹ respectivamente nas taxas de aplicação 0,30 e 0,20 m³.h⁻¹.L⁻¹, conforme Figuras 47 e 48 na Tabela 17 no Apêndice.

O Cobre nas superfícies esteve com concentrações elevadas e alguma similaridade nas distâncias com pouquíssimas variações conforme Figuras 49 e 50.

Concentração de Cobre a 0m no período de chuvas esteve elevada e decresceu no período de estiagem, segundo Figuras 51 e 52.

O Cobre na parte líquida que foi retirado dos lisímetros à 10m e 20m de distância conforme Figuras 53 a 56, houve uma variação nas taxas de aplicação e no período de estiagem houve um aumento nas concentrações do metal e um decréscimo no final do período na taxa de aplicação de 0,20m³.h⁻¹.L⁻¹.

O Cu nas distâncias de 30m e 40m houve uma baixa concentração do metal e não houve uma variação na mudança de taxa de aplicação 0,30 m³.h⁻¹.L⁻¹ e 0,20m³.h⁻¹.L⁻¹, segundo as Figuras 57 a 60. Em período de chuvas e seca as concentrações do metal apresentou valores relativamente baixos.

Em todo período de operação do sistema, a concentração de metal no efluente tratado, foi menor que o valor de entrada, independente do período de seca ou chuva. Segundo estes resultados, parte do metal ficou retidos em alguns dos compartimentos estudados (solo, planta e percolado).

Os resultados obtidos para concentração de Cobre no Afluente houve variações acima do estabelecido pelo CONAMA 20 e o Efluente e o Cobre nas devidas profundidades e ao longo da rampa encontram-se dentro dos limites estabelecidos pelo CONAMA 20.

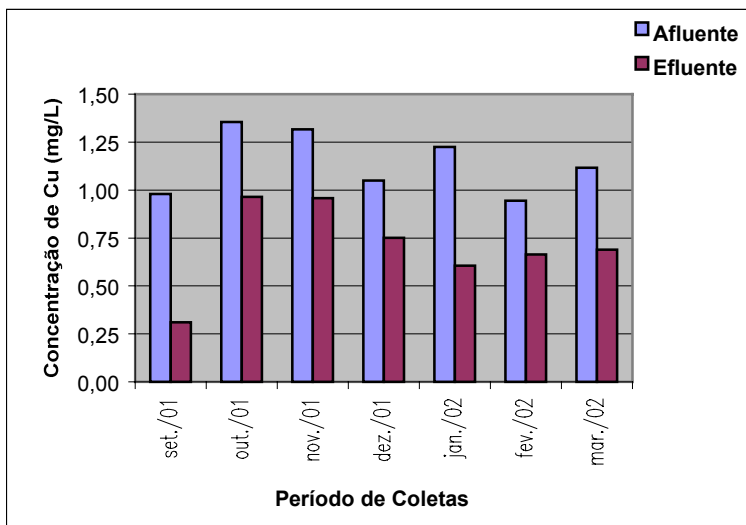


Fig. 47 - Teores de Cobre, determinados no afluente e efluente da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de $\text{Cu} = 1,0 \text{ mg.L}^{-1}$

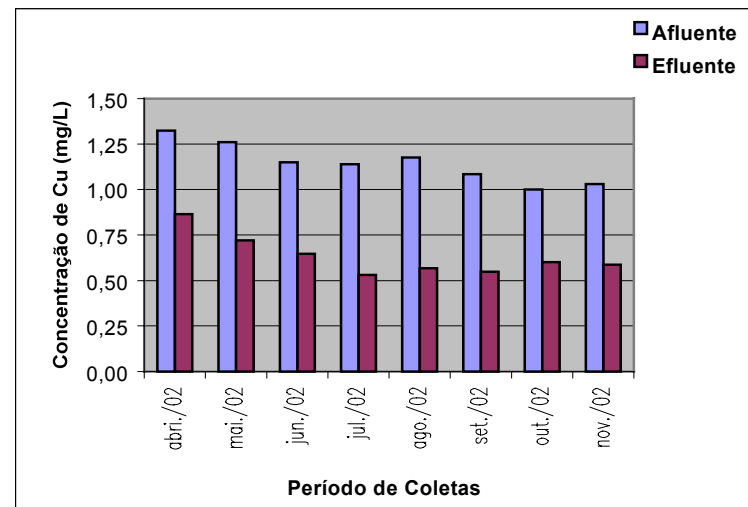


Fig. 48 - Teores de Cobre, determinados no afluente e efluente da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de $\text{Cu} = 1,0 \text{ mg.L}^{-1}$

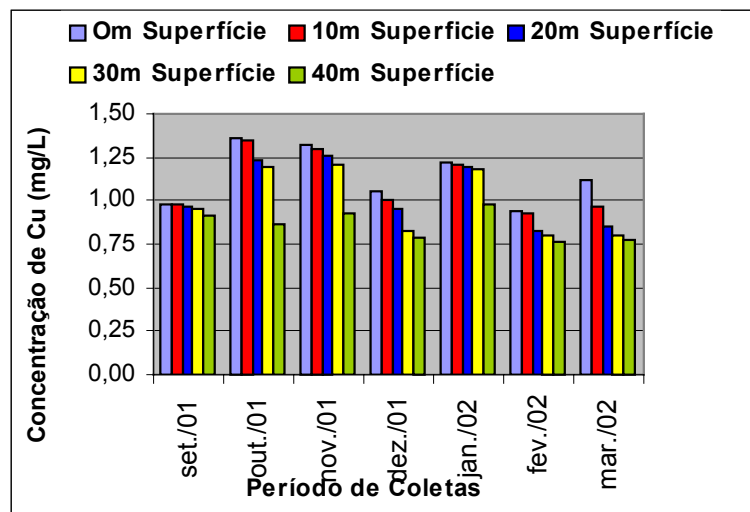


Fig. 49 - Teores de Cobre, determinados na superfície da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de Cu = $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$

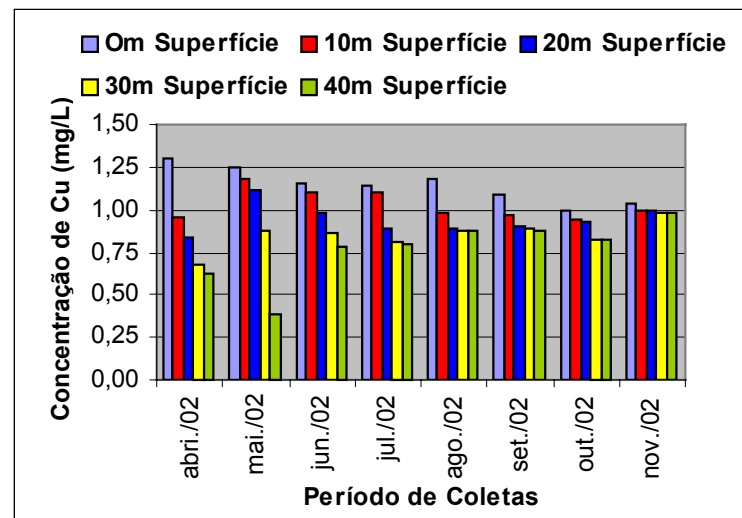


Fig. 50 - Teores de Cobre, determinados na superfície da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de Cu = $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$

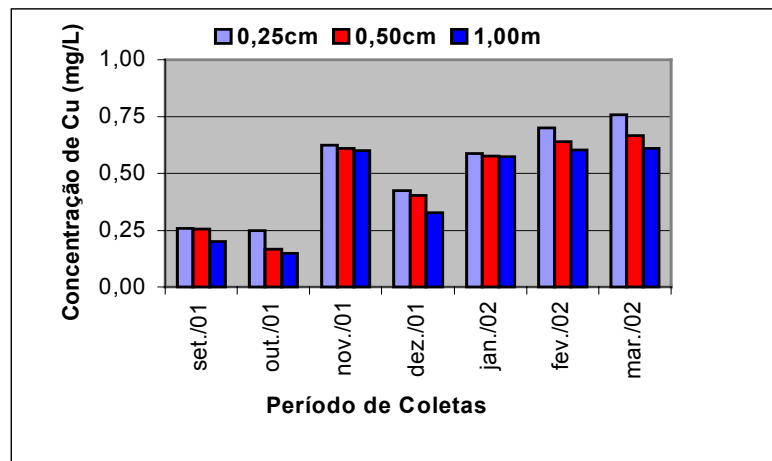


Fig. 51 - Teores de Cobre determinados a 0m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Cu = $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$

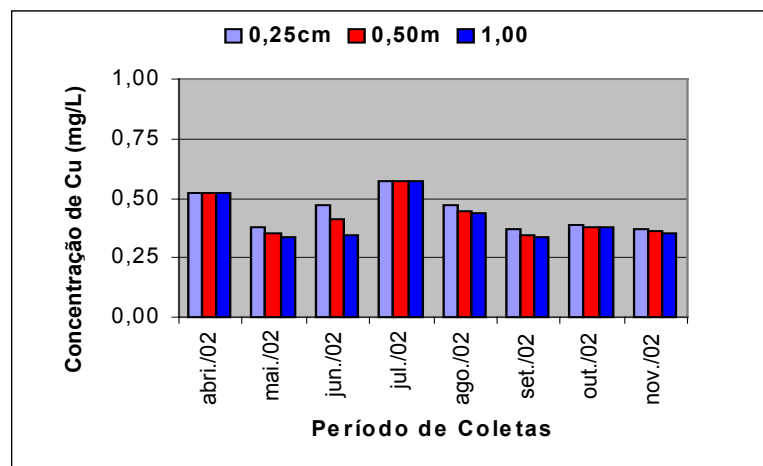


Fig. 52 - Teores de Cobre determinados a 0m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Cu = $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$

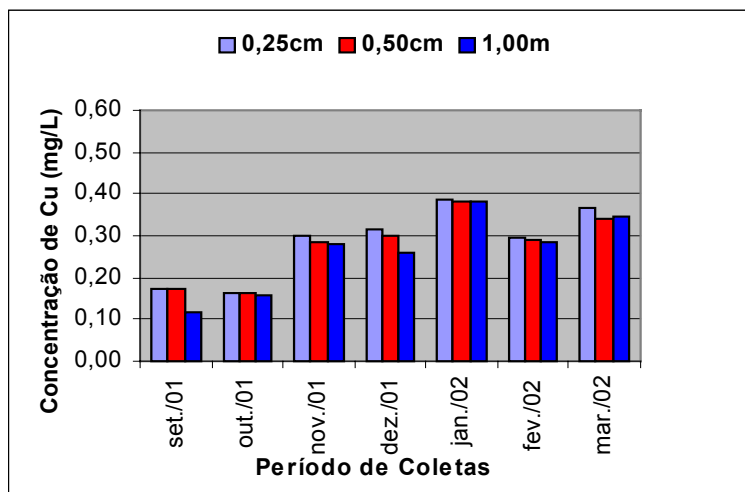


Fig. 53 - Teores de Cobre determinados a 10m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Cu} = 1,0 \text{ mg.L}^{-1}$

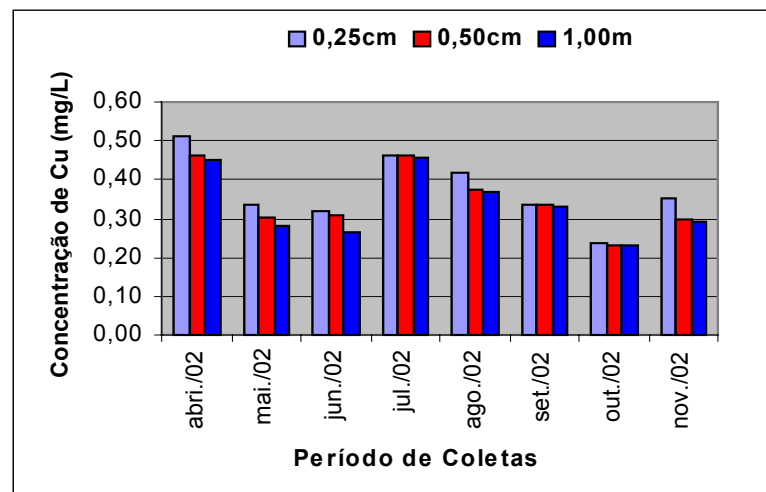


Fig. 54 - Teores de Cobre determinados a 10m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Cu} = 1,0 \text{ mg.L}^{-1}$

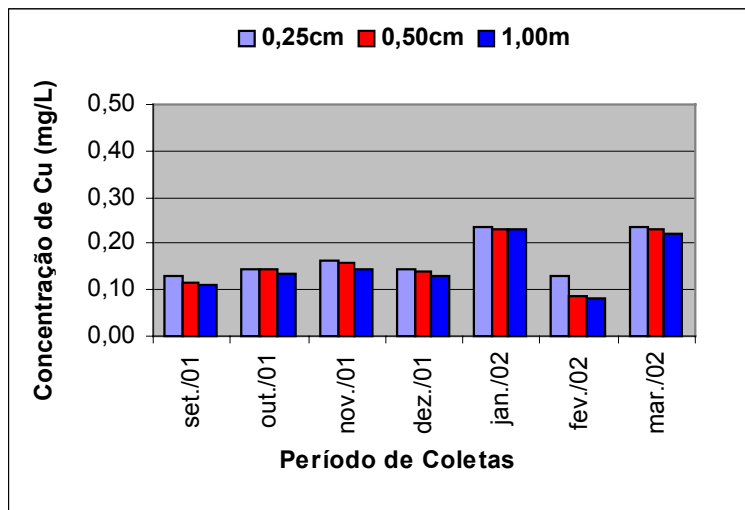


Fig. 55 - Teores de Cobre determinados a 20m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Cu} = 1,0 \text{ mg.L}^{-1}$

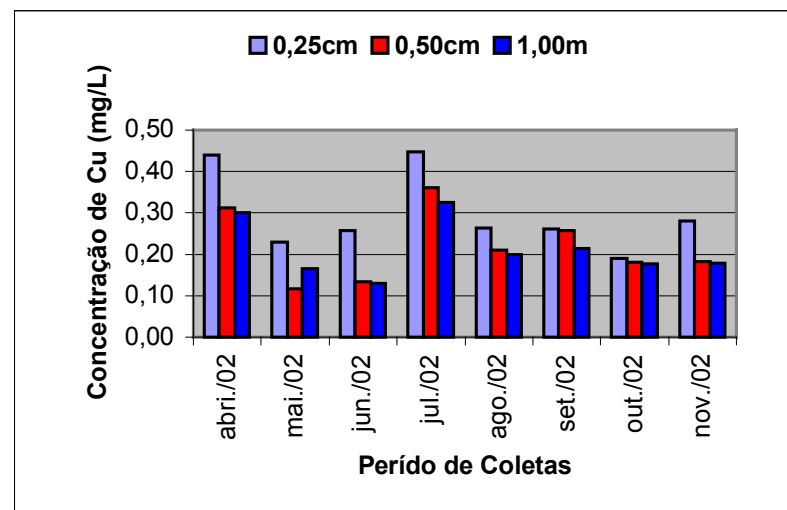


Fig. 56 - Teores de Cobre determinados a 20m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Cu} = 1,0 \text{ mg.L}^{-1}$

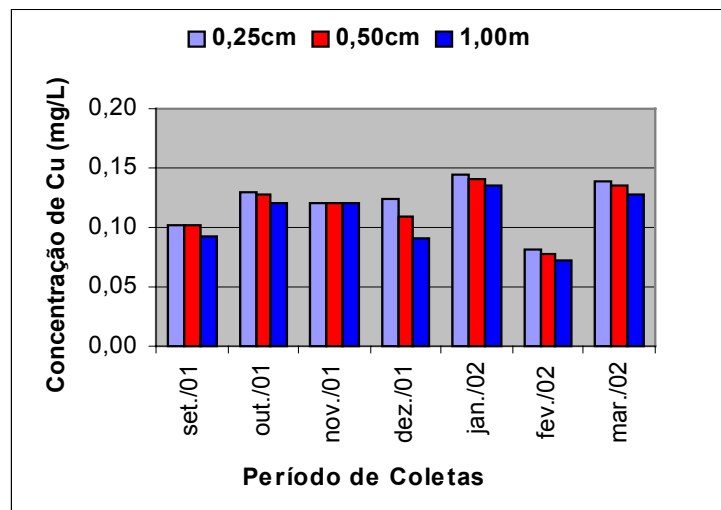


Fig. 57 - Teores de Cobre determinados a 30m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Cu} = 1,0 \text{ mg.L}^{-1}$

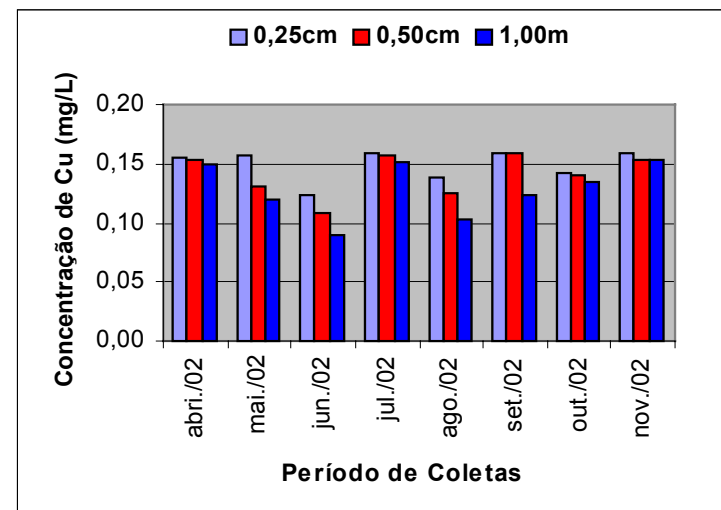


Fig. 58 - Teores de Cobre determinados a 30m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Cu} = 1,0 \text{ mg.L}^{-1}$

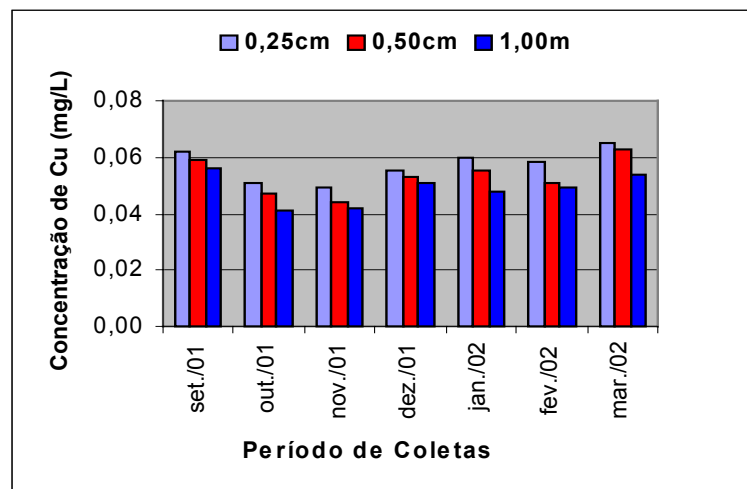


Fig. 59 - Teores de Cobre determinados a 40m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Cu} = 1,0 \text{ mg.L}^{-1}$

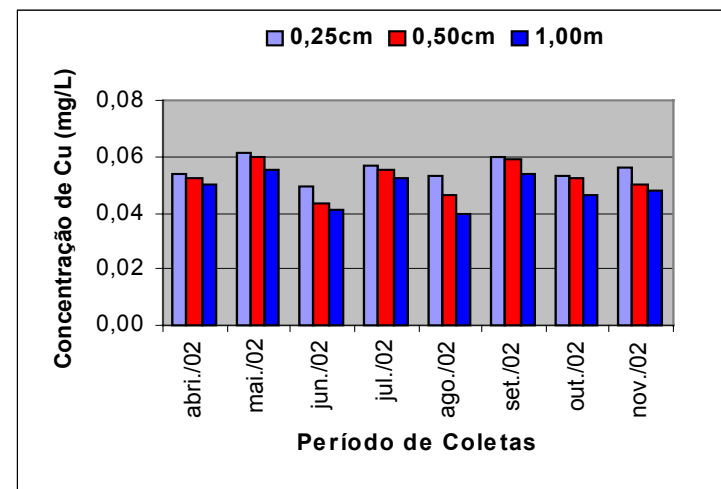


Fig. 60 - Teores de Cobre determinados a 40m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Cu} = 1,0 \text{ mg.L}^{-1}$

5.6.1.4 - Cromo

A concentração de Cr no Afluente e Efluente teve seu maior valor de 0,168 mg.L⁻¹ e 0,082 mg.L⁻¹ respectivamente nas taxas de aplicação 0,30 e 0,20 m³.h⁻¹.L⁻¹ conforme e Figuras 61 e 62 na Tabela 18 no Apêndice.

O Cromo na superfície segundo as Figuras 63 e 64, esteve com concentrações elevadas e algumas baixas na taxa de aplicação de 0,30 m³.h⁻¹.L⁻¹ e na taxa de aplicação 0,20 m³.h⁻¹.L⁻¹ houve um comportamento similar até o final do período, tanto no período de chuva e estiagem.

O Cromo na parte líquida que foi retirado dos lisímetros à 10m de distância conforme Figuras 67 e 68, tem um comportamento semelhante nas duas taxas de aplicação e somente um pequeno decréscimo no final do período na taxa de aplicação de 0,20m³.h⁻¹.L⁻¹.

Os resultados obtidos para concentração de Cromo no Afluente e Efluente e em todas as profundidades nas devidas distâncias encontram-se dentro dos limites estabelecidos pelo CONAMA 20.

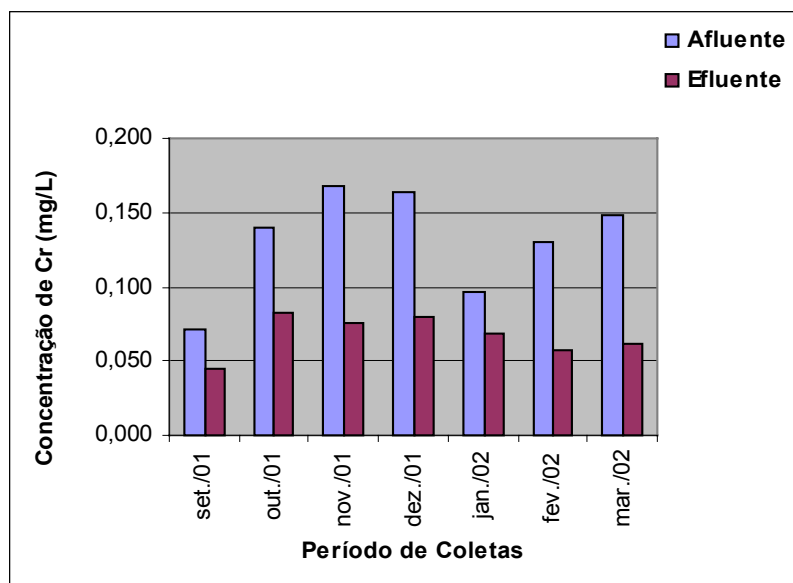


Fig. 61 - Teores de Cromo, determinados no afluente e efluente da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de $\text{Cr} = 0,5 \text{ mg.L}^{-1}$

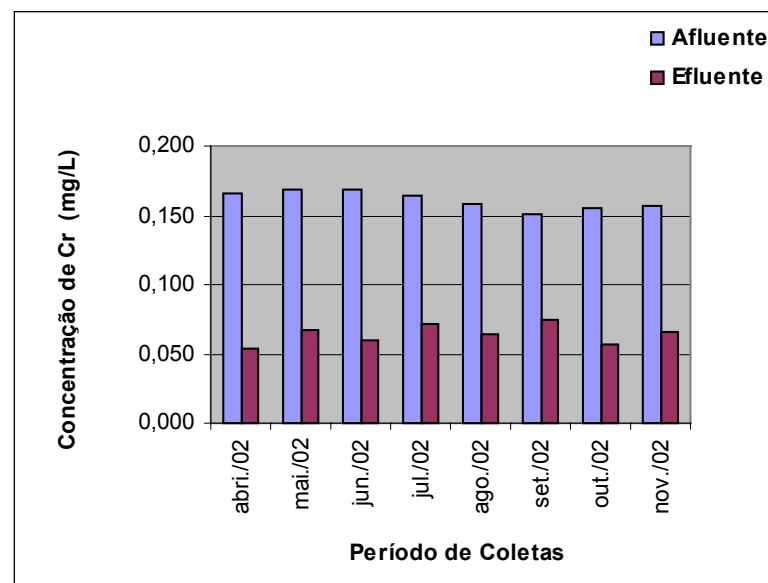


Fig. 62 - Teores de Cromo, determinados no afluente e efluente da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de $\text{Cr} = 0,5 \text{ mg.L}^{-1}$

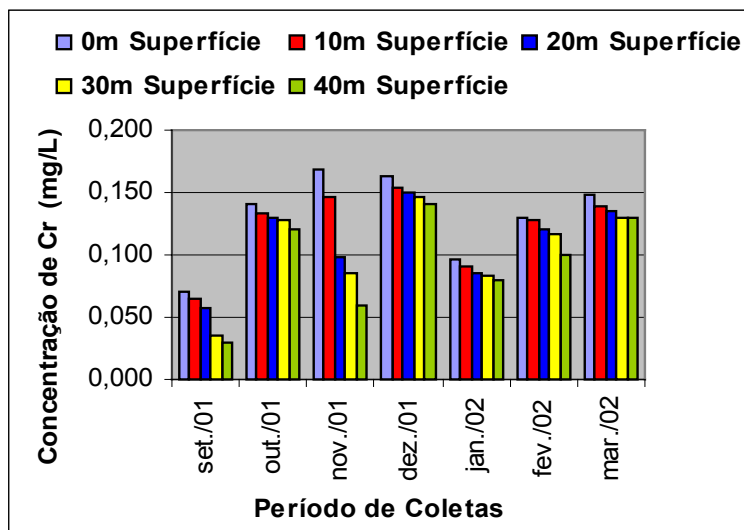


Fig. 63 -Teores de Cromo, determinados na superfície da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de Cr = $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$

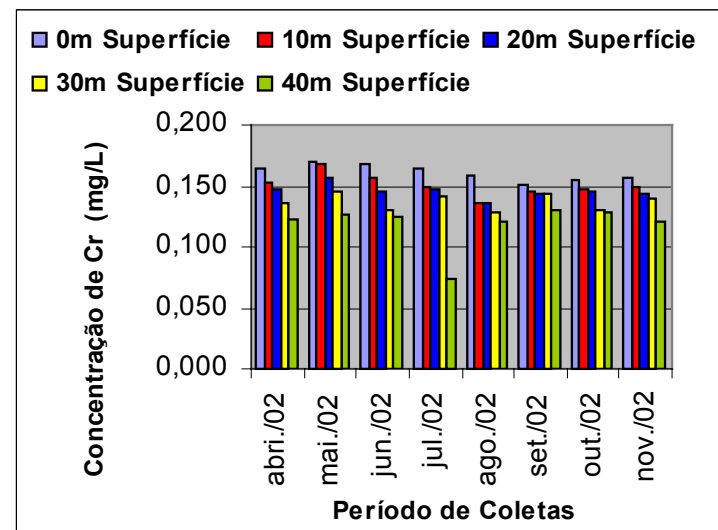


Fig. 64 -Teores de Cromo, determinados na superfície da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de Cr = $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$

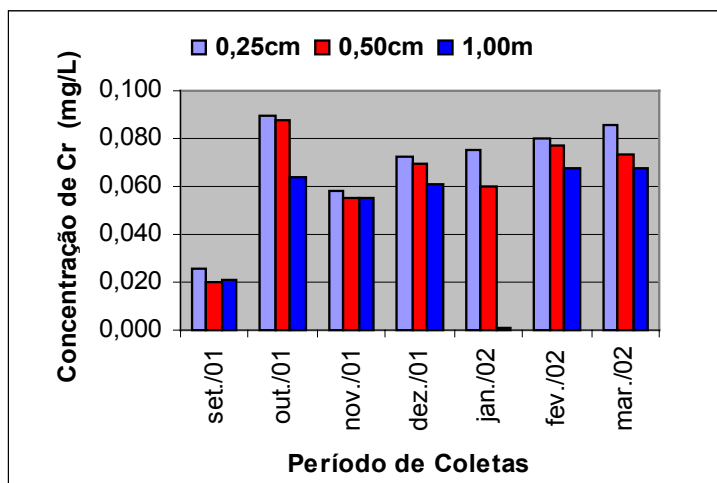


Fig. 65 - Teores de Cromo determinados a 0m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Cr = $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$

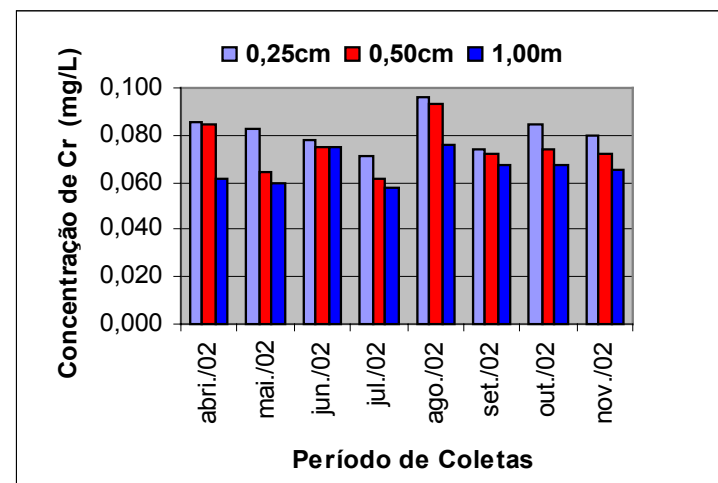


Fig. 66 - Teores de Cromo determinados a 0m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Cr = $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$

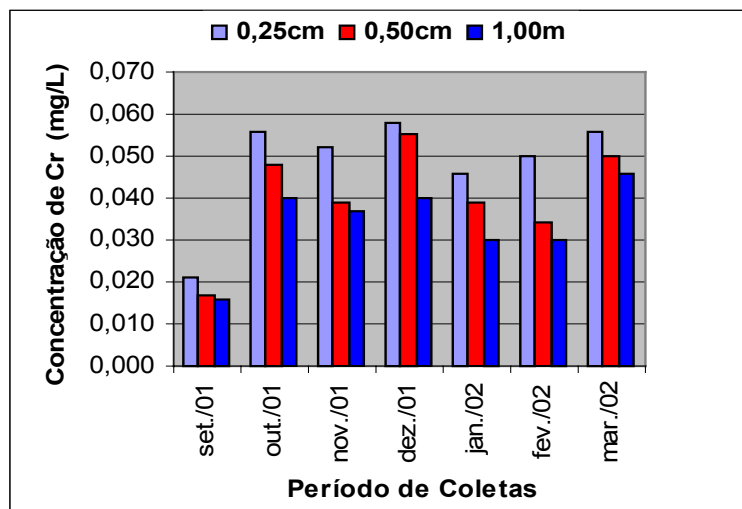


Fig. 67 - Teores de Cromo determinado a 10m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Cr} = 0,5 \text{ mg.L}^{-1}$

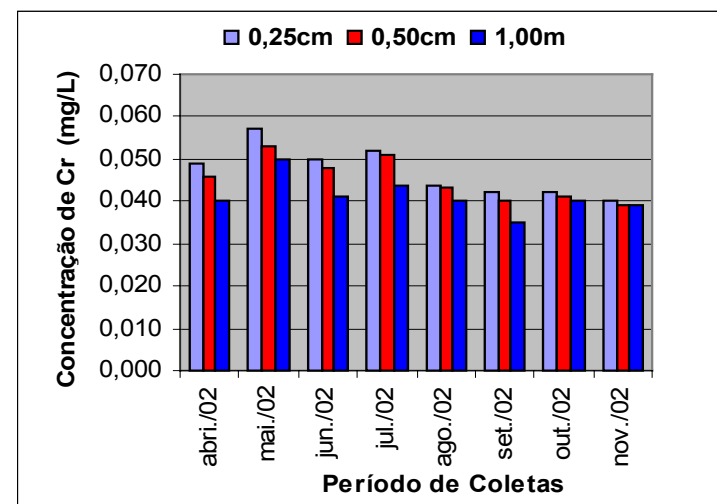


Fig. 68 - Teores de Cromo determinados a 10m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Cr} = 0,5 \text{ mg.L}^{-1}$

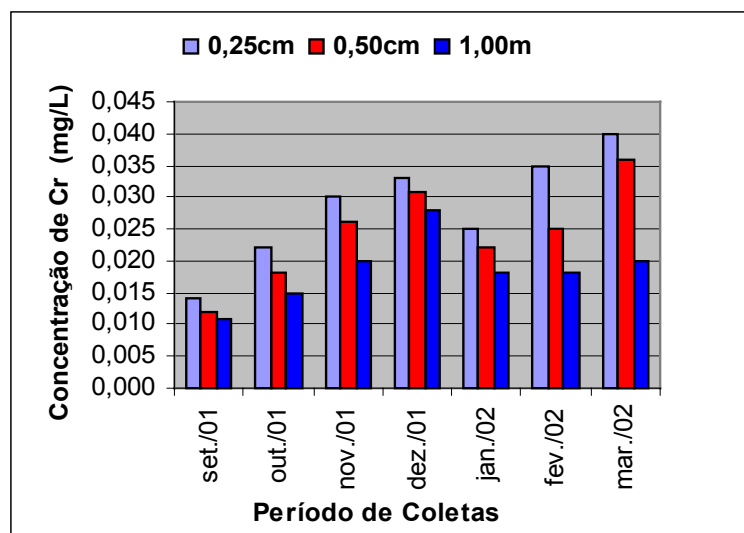


Fig. 69 - Teores de Cromo determinados a 20m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Cr} = 0,5 \text{ mg.L}^{-1}$

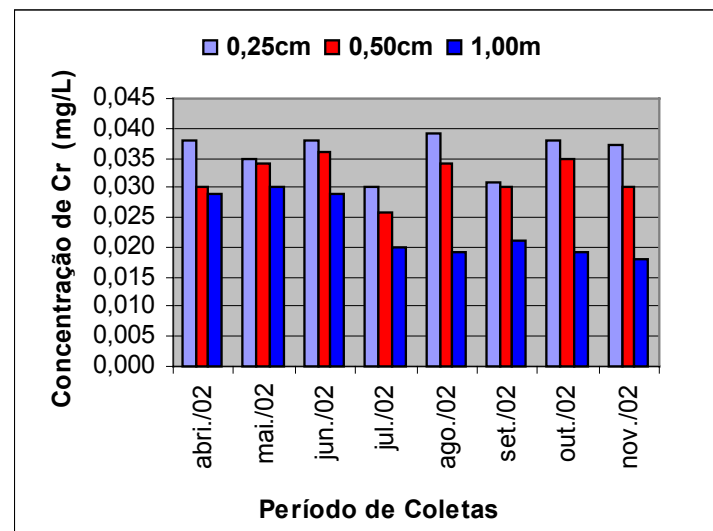


Fig. 70 - Teores de Cromo determinados a 20m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Cr} = 0,5 \text{ mg.L}^{-1}$

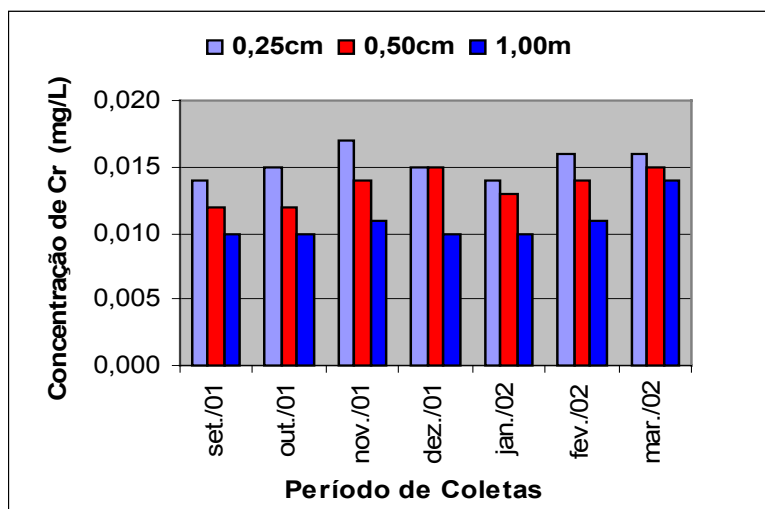


Fig. 71 - Teores de Cromo determinados a 30m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Cr} = 0,5 \text{ mg.L}^{-1}$

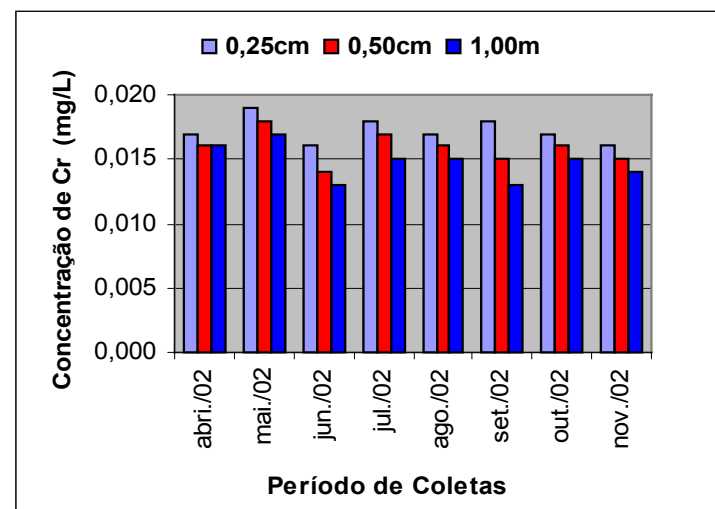


Fig. 72 - Teores de Cromo determinados a 30m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Cr} = 0,5 \text{ mg.L}^{-1}$

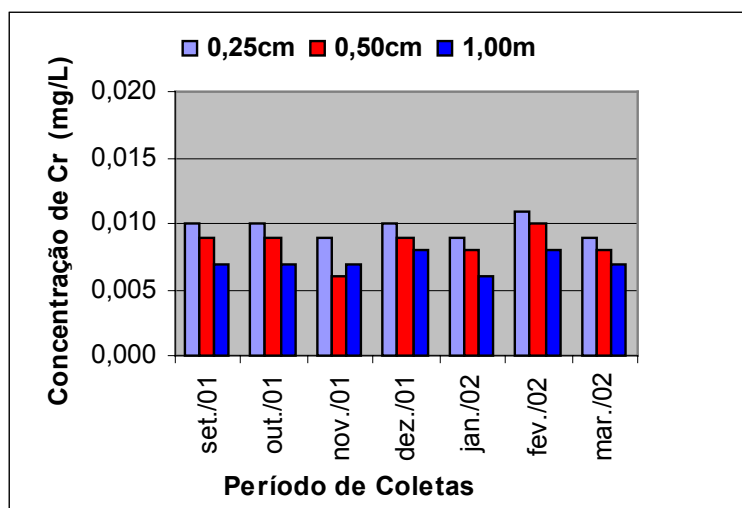


Fig. 73 - Teores de Cromo determinados a 40m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Cr} = 0,5 \text{ mg.L}^{-1}$

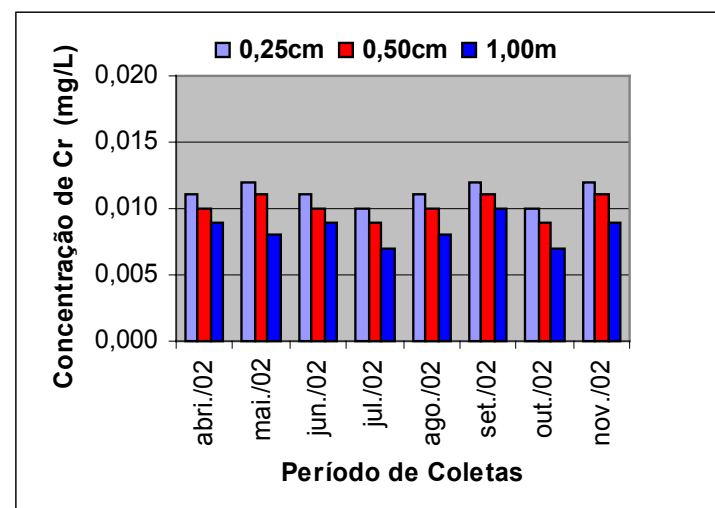


Fig. 74 - Teores de Cromo determinados a 40m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Cr} = 0,5 \text{ mg.L}^{-1}$

5.6.1.5 - Níquel

A concentração de Ni no Afluente e Efluente teve seu maior valor de 0,972 mg.L⁻¹ e 0,624 mg.L⁻¹ respectivamente nas taxas de aplicação 0,30 e 0,20 m³.h⁻¹.L⁻¹ conforme Figuras 75 e 76 na Tabela 19.

O Ni na parte líquida que foi retirado dos lisímetros à 10m de distância conforme Figuras 81 e 82, houve um comportamento semelhante nas duas taxas de aplicação e somente um decréscimo no final do período na taxa de aplicação de 0,20m³.h⁻¹.L⁻¹.

O Ni na superfície rampa esteve com concentrações elevadas em períodos de chuvas, segundo Figuras 77 e 78, e uma pequena variação na mudança de taxa de aplicação e na estiagem teve um pequeno decréscimo no final do período.

Os resultados obtidos para concentração de Ni no Afluente e Efluente e em todas as profundidades nas devidas distâncias, encontram-se dentro dos limites estabelecidos pelo CONAMA 20.

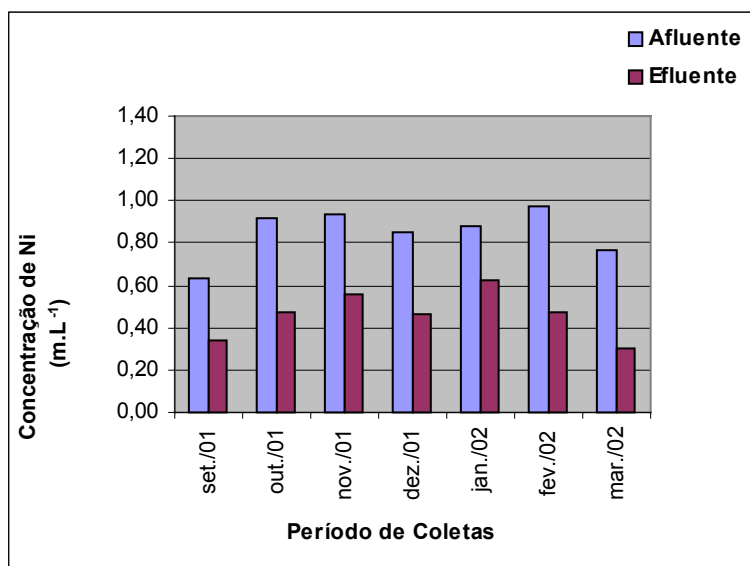


Fig. 75 -Teores de Níquel, determinados no afluente e efluente da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de $\text{Ni} = 2,0 \text{ mg.L}^{-1}$

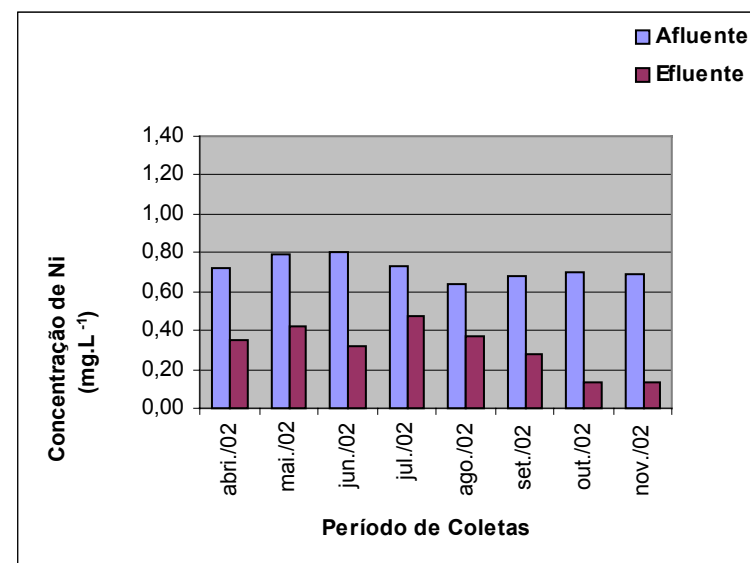


Fig. 76-Teores de Níquel, determinados no afluente e efluente da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de $\text{Ni} = 2,0 \text{ mg.L}^{-1}$

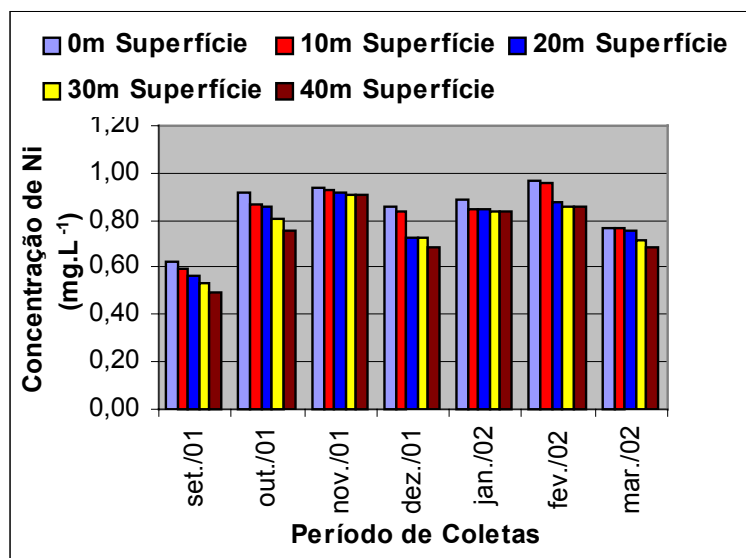


Fig. 77 - Teores de Níquel, determinados na superfície da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de Ni = $2,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

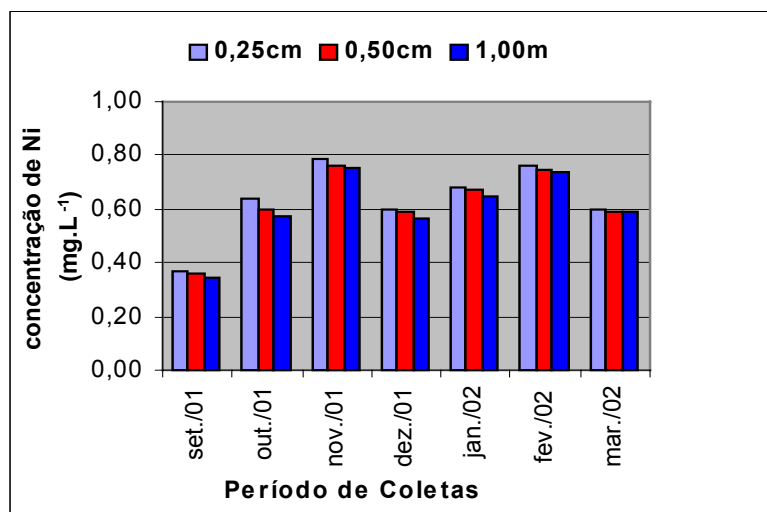


Fig. 79 - Teores de Níquel determinados a 0m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Ni = $2,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

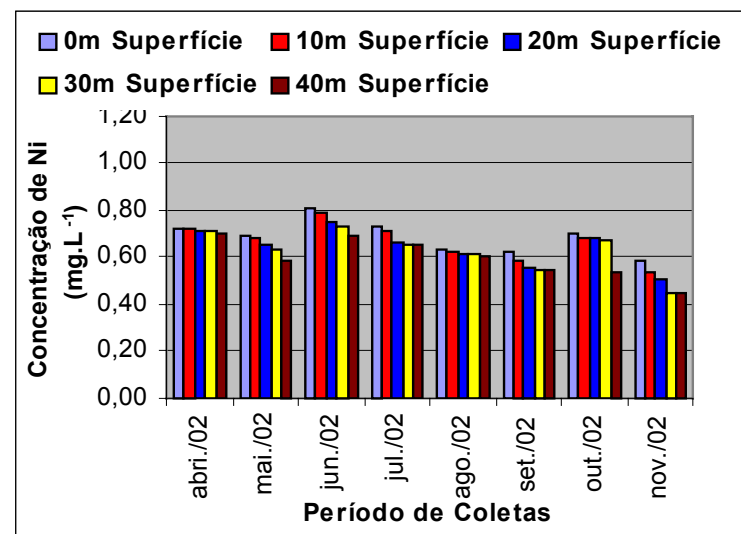


Fig. 78 - Teores de Níquel, determinados na superfície da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de Ni = $2,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

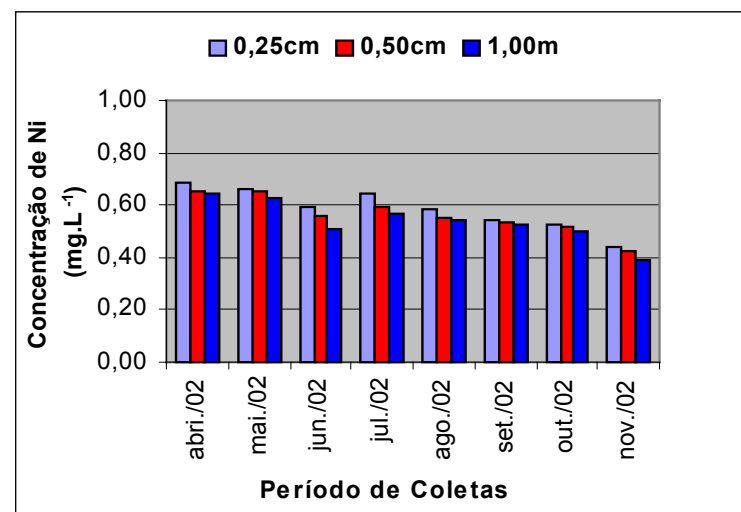


Fig. 80 - Teores de Níquel determinados a 0m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Ni = $2,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

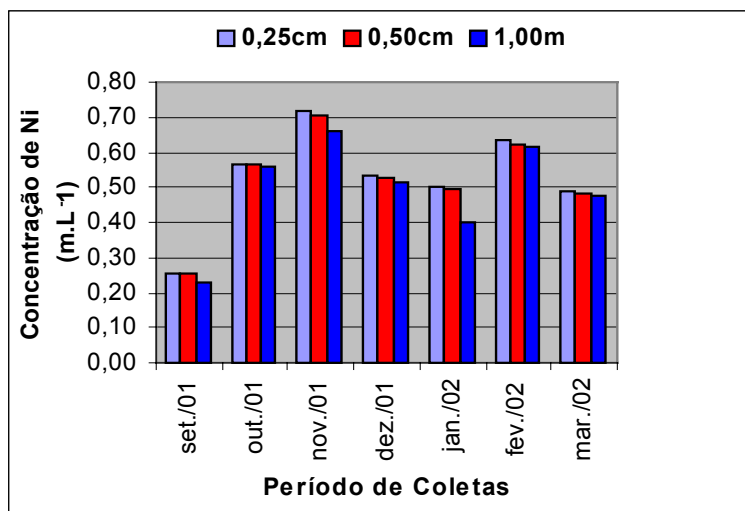


Fig. 81 - Teores de Níquel determinados a 10m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Ni} = 2,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

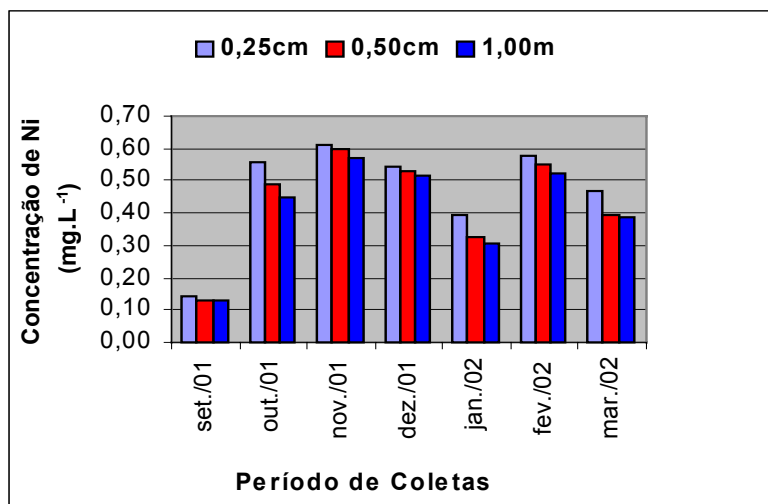


Fig. 83 - Teores de Níquel determinados a 20m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Ni} = 2,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

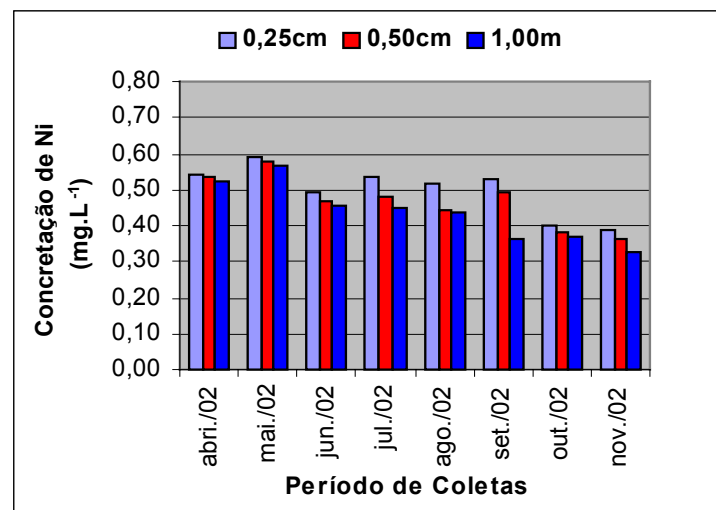


Fig. 82 - Teores de Níquel determinados a 10m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Ni} = 2,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

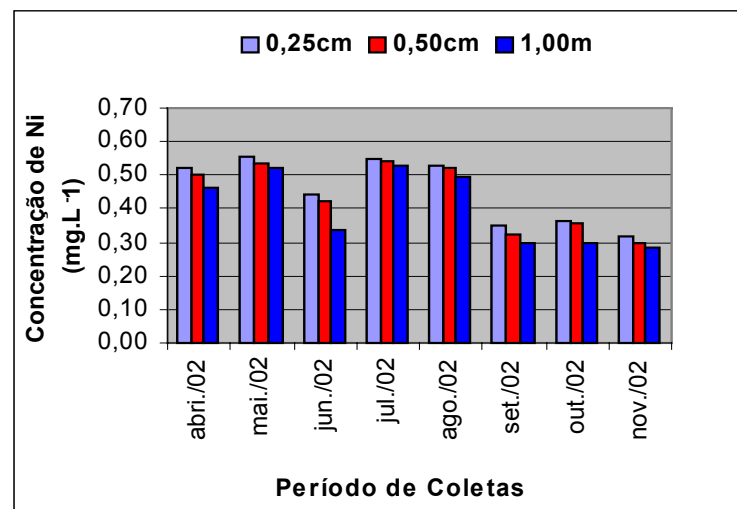


Fig. 84 - Teores de Níquel determinados a 20m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Ni} = 2,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

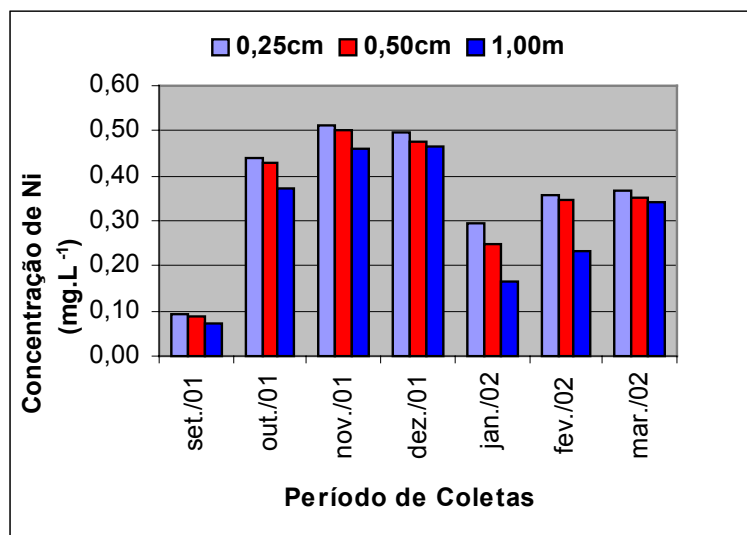


Fig. 85 - Teores de Níquel determinados a 30m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação 0,30 m³.h⁻¹.m⁻¹, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Ni = 2,0 mg.L⁻¹

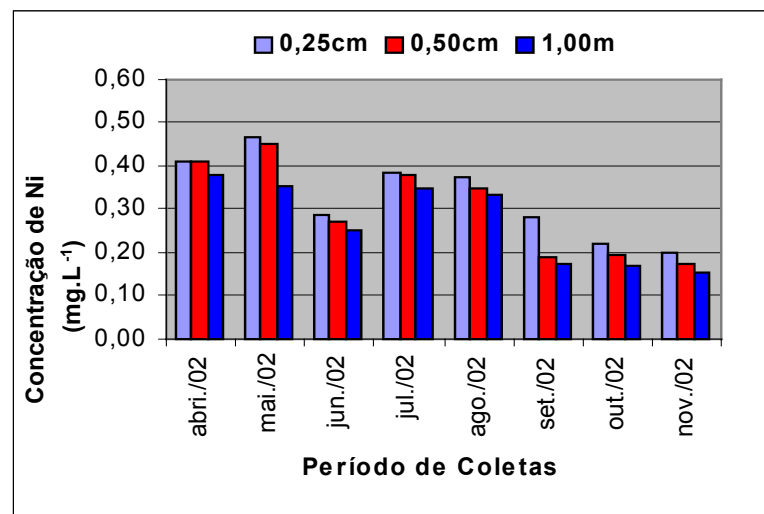


Fig. 86 - Teores de Níquel determinados a 30m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação 0,20 m³.h⁻¹.m⁻¹, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Ni = 2,0 mg.L⁻¹

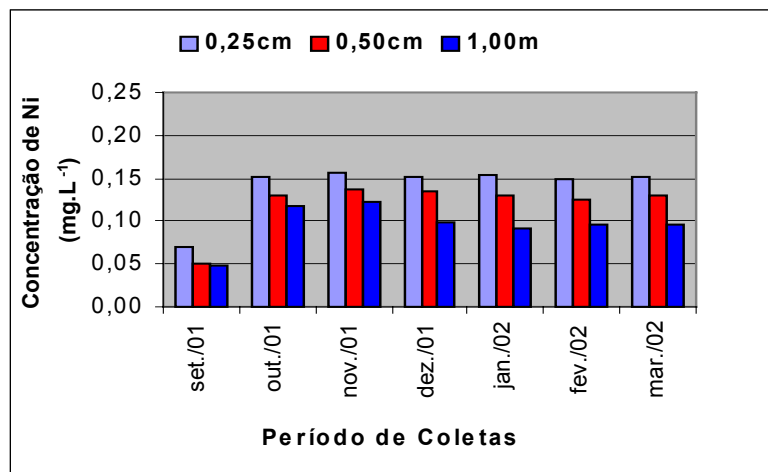


Fig. 87 - Teores de Níquel determinados a 40m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação 0,30 m³.h⁻¹.m⁻¹, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Ni = 2,0 mg.L⁻¹

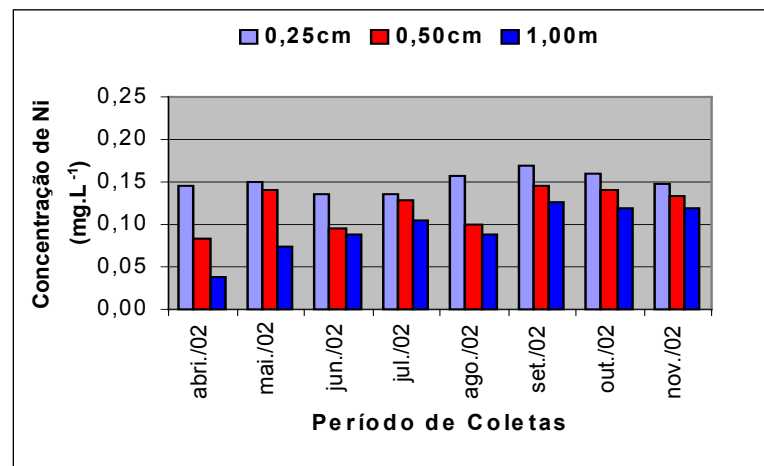


Fig. 88 - Teores de Níquel determinados a 40m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação 0,20 m³.h⁻¹.m⁻¹, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Ni = 2,0 mg.L⁻¹

5.6.1.6 - Zinco

A concentração de Zinco no Afluente e Efluente teve seu maior valor de 2,267 mg.L⁻¹ e 0,808 mg.L⁻¹ respectivamente conforme Figuras 89 e 90 na tabela.

O Zinco na parte líquida que foi retirado dos lisímetros à 10m e 20m de distância conforme Figuras 95 a 98, houve um comportamento semelhante nas duas taxas de aplicação e somente um decréscimo no final do período na taxa de aplicação de 0,20m³.h⁻¹.L⁻¹.

Segundo a Figura 91 e 92 o Zinco na superfície da rampa esteve com concentrações elevadas e alguma similaridade nas distâncias com pouquíssimas variações.

Os resultados obtidos para concentração de Zinco no Afluente e Efluente, e em todas as profundidades, nas devidas distâncias encontram-se dentro dos limites estabelecidos pelo CONAMA20.

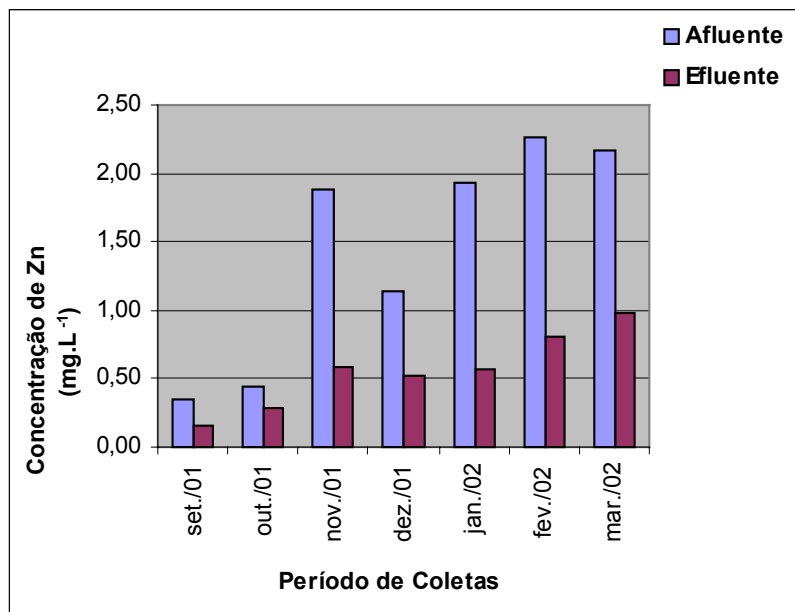


Fig. 89 -Teores de Zinco, determinados no afluente e efluente da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de $\text{Zn} = 5,0 \text{ mg.L}^{-1}$

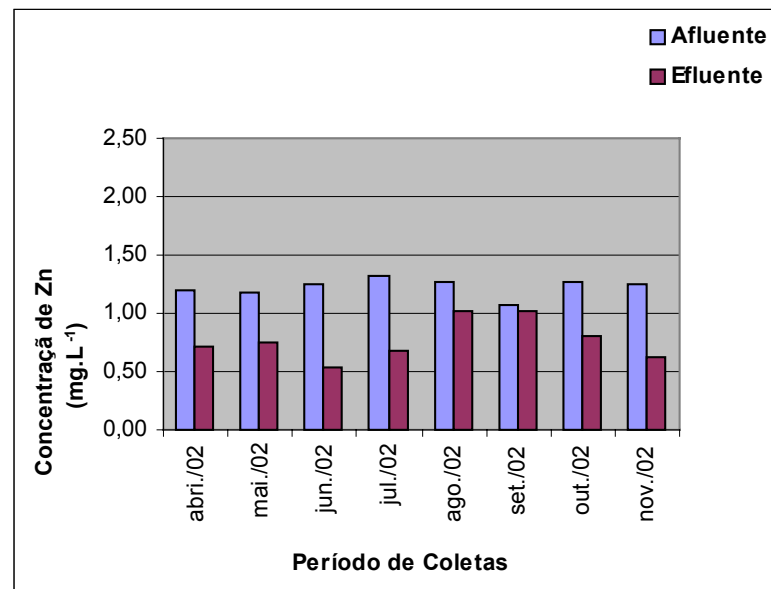


Fig. 90 -Teores de Zinco, determinados no afluente e efluente da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de $\text{Zn} = 5,0 \text{ mg.L}^{-1}$

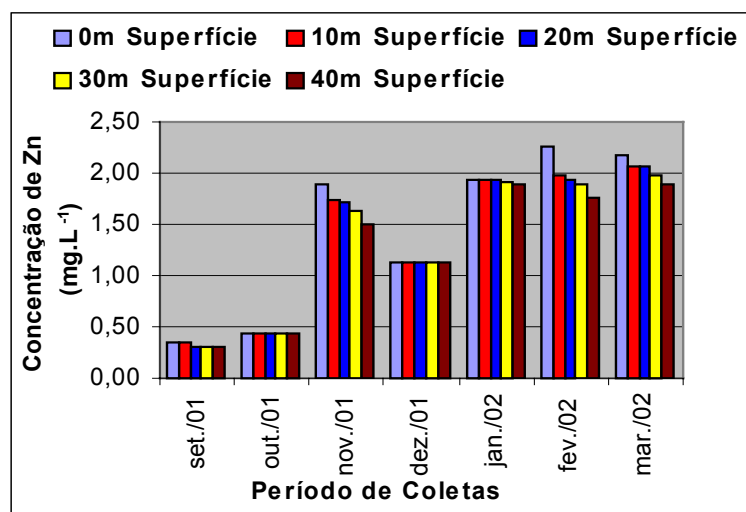


Fig. 91 -Teores de Zinco, determinados na superfície da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de $\text{Zn} = 5,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

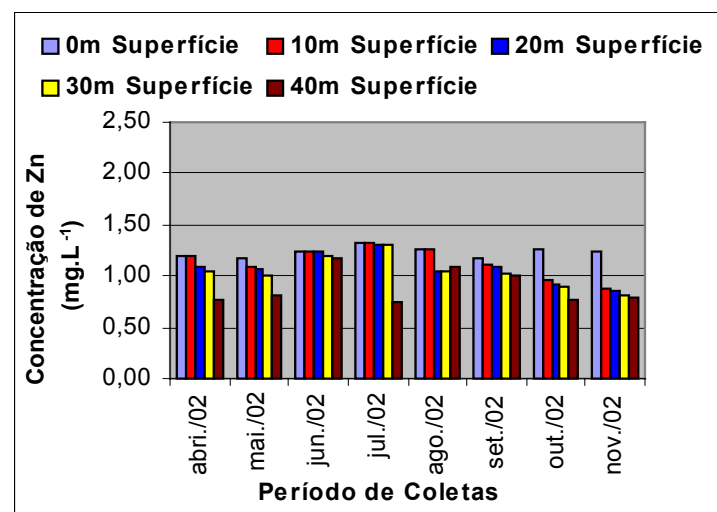


Fig. 92 -Teores de Zinco, determinados na superfície da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de $\text{Zn} = 5,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

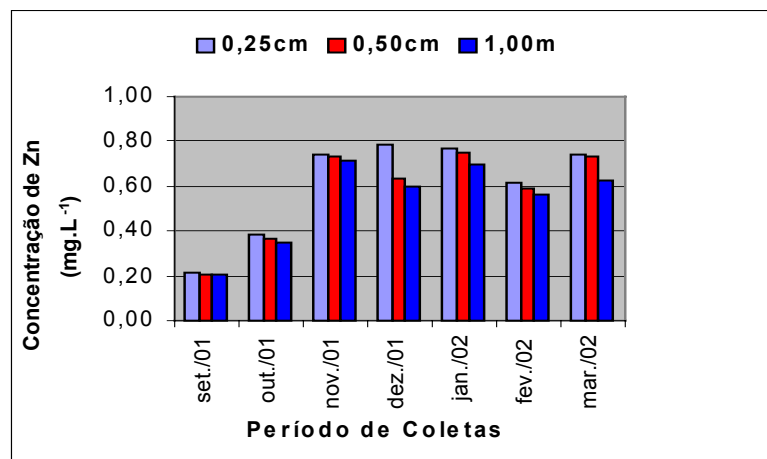


Fig. 93 -Teores de Zinco determinados a 0m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Zn} = 5,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

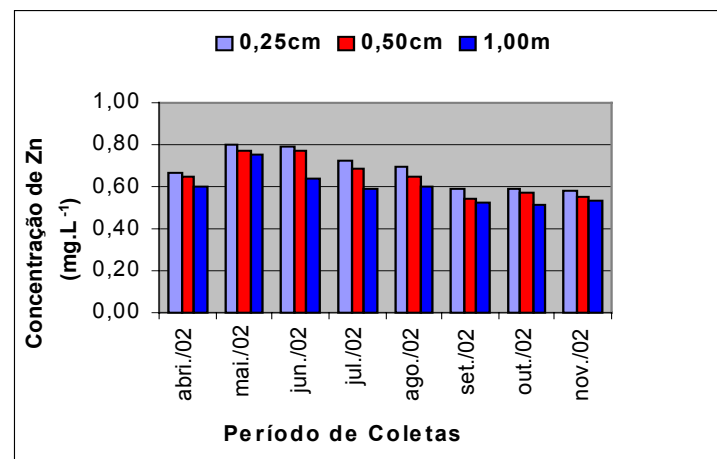


Fig. 94 -Teores de Zinco determinados a 0m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Zn} = 5,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

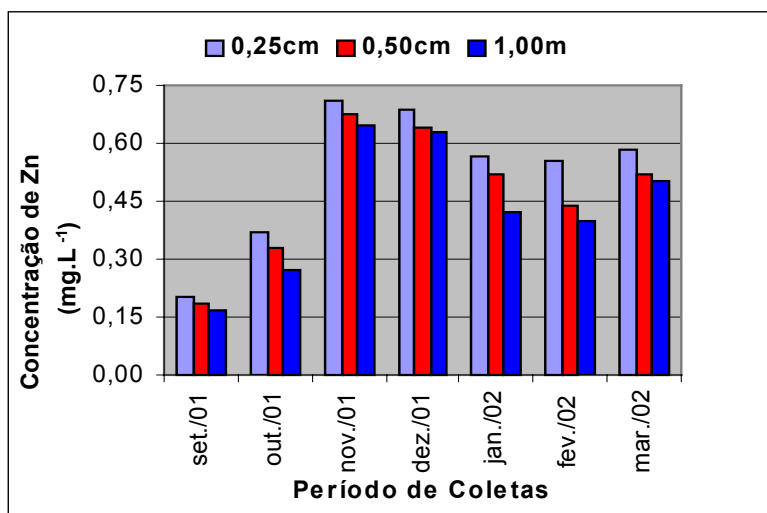


Fig. 95 -Teores de Zinco determinados a 10m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Zn} = 5,0 \text{ mg.L}^{-1}$

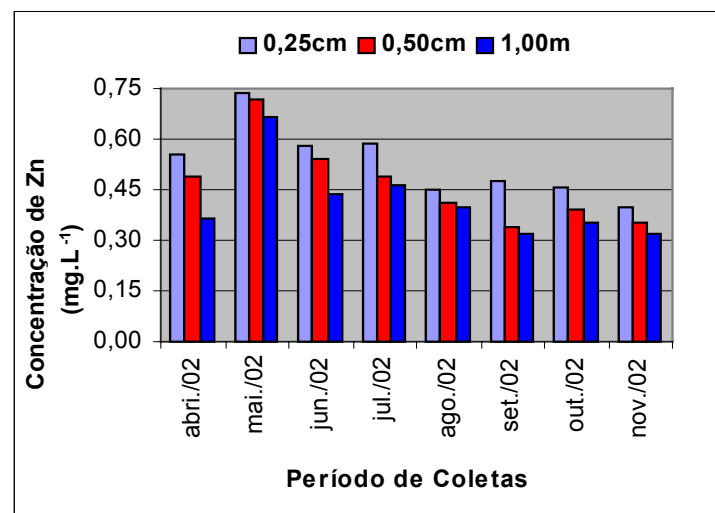


Fig. 96 -Teores de Zinco determinados a 10m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Zn} = 5,0 \text{ mg.L}^{-1}$

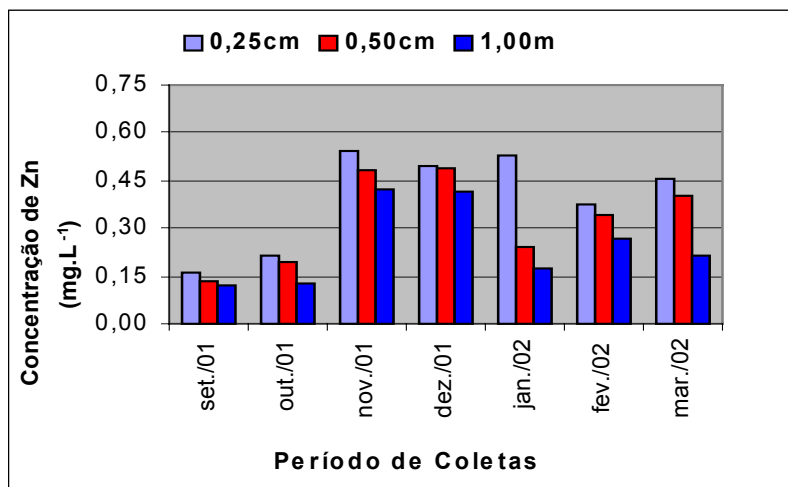


Fig. 97 -Teores de Zinco determinados a 20m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Zn} = 5,0 \text{ mg.L}^{-1}$

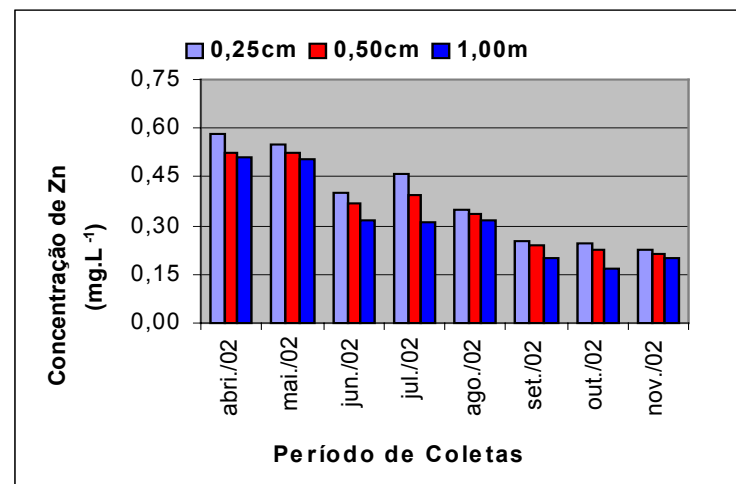


Fig. 98 - Teores de Zinco determinados a 20m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 $\text{Zn} = 5,0 \text{ mg.L}^{-1}$

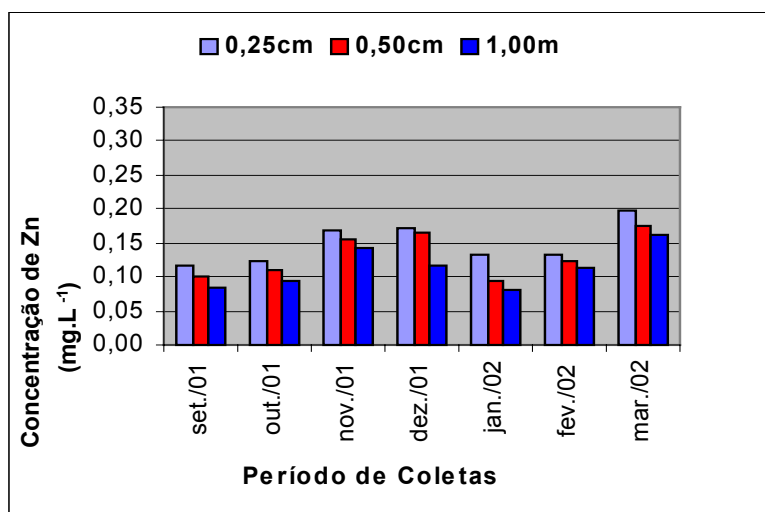


Fig. 99 -Teores de Zinco determinados a 30m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação 0,30 m³.h⁻¹.m⁻¹, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Zn = 5,0 mg.L⁻¹

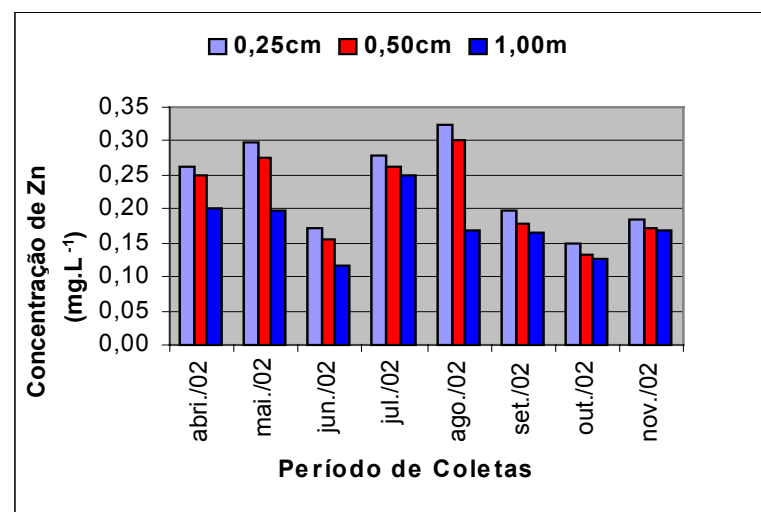


Fig. 100 -Teores de Zinco determinados a 30m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação 0,20 m³.h⁻¹.m⁻¹, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Zn = 5,0 mg.L⁻¹

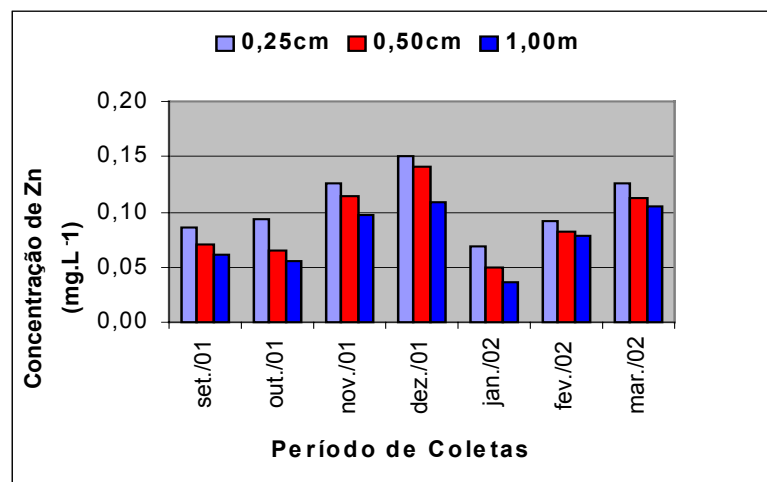


Fig. 101 - Teores de Zinco determinados a 40m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação 0,30 m³.h⁻¹.m⁻¹, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Zn = 5,0 mg.L⁻¹

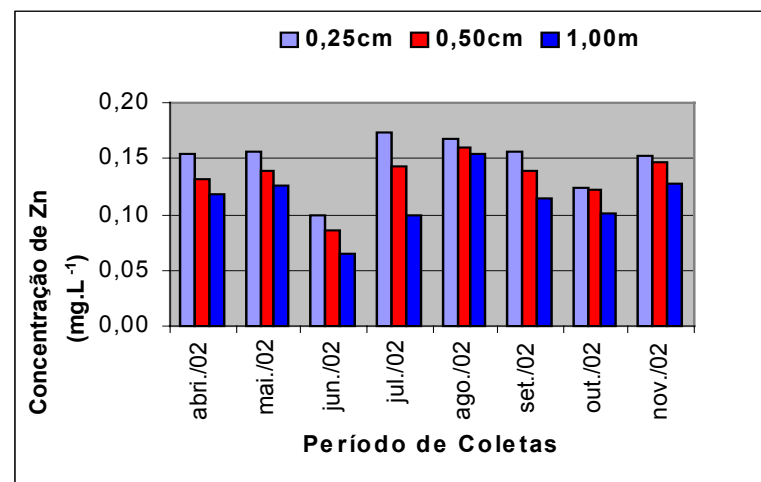


Fig. 102 – Teores de Zinco determinados a 40m de comprimento nas profundidades de 0,25, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação 0,20 m³.h⁻¹.m⁻¹, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Zn= 5,0 mg/L

5.6.1.7 – Ferro

A concentração de Fe no Afluente e Efluente teve seu maior valor de 9,857 mg.L⁻¹ e 3,850 mg.L⁻¹ respectivamente conforme Figuras 103 e 104 na tabela.

Mas houve uma variação no afluente ao longo do período, principalmente nos períodos de chuvas e seca.

Segundo Figuras 105 e 106 o Fe na superfície da rampa esteve com concentrações elevadas e algumas baixas no período de seca.

O Fe na parte líquida que foi retirado dos lisímetros à 10m e 20m de distância conforme Figuras 109 e 112, houve um comportamento semelhante nas duas taxas de aplicação e somente um acréscimo no final do período na taxa de aplicação de 0,20m³.h⁻¹.L⁻¹.

Os resultados obtidos para concentração de Fe no Afluente e Efluente e em todas as profundidades nas devidas distâncias encontram-se dentro dos limites estabelecidos pelo CONAMA 20.

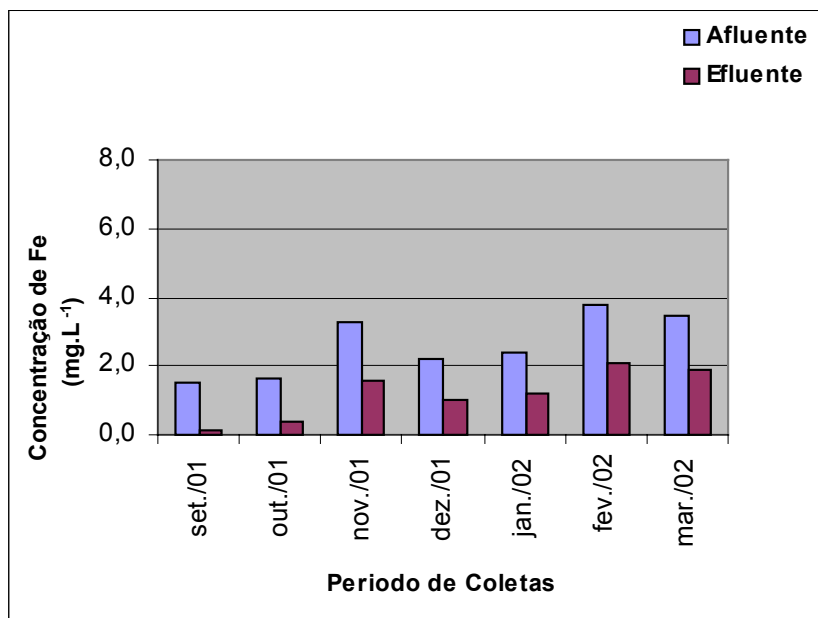


Fig. 103 -Teores de Ferro, determinados no afluente e efluente da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de Fe = $15,0 \text{ mg.L}^{-1}$

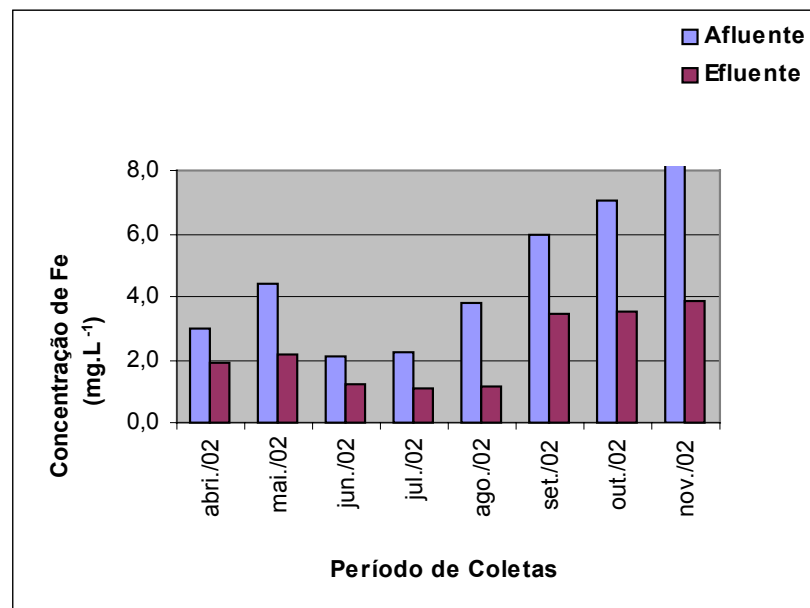


Fig. 104 -Teores de Ferro, determinados no afluente e efluente da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de Fe = $15,0 \text{ mg.L}^{-1}$

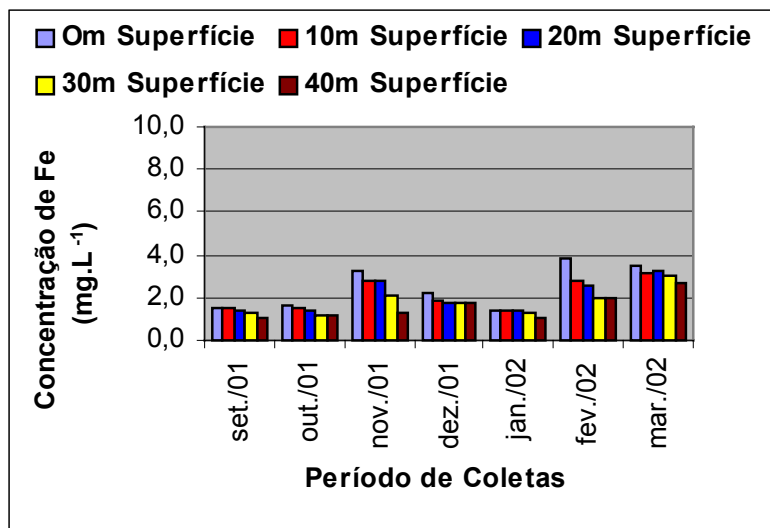


Fig. 105 - Teores de Ferro, determinados na superfície da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de Fe = $15,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

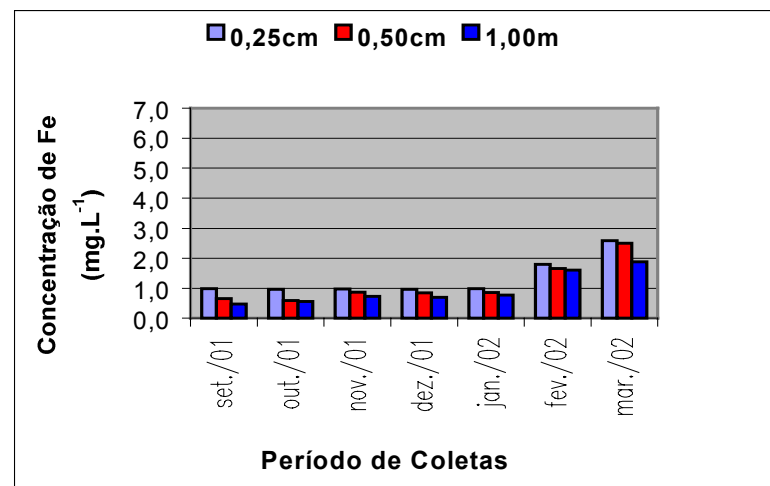


Fig. 107 - Teores de Ferro determinados a 0m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Ferro = $15,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

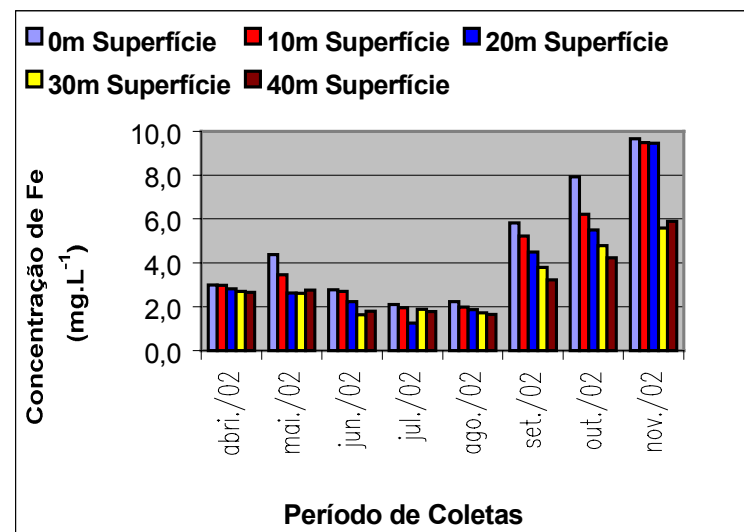


Fig. 106 - Teores de Ferro, determinados na superfície da rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ conforme resolução CONAMA 20 art. 19 onde o valor permitido de Fe = $15,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

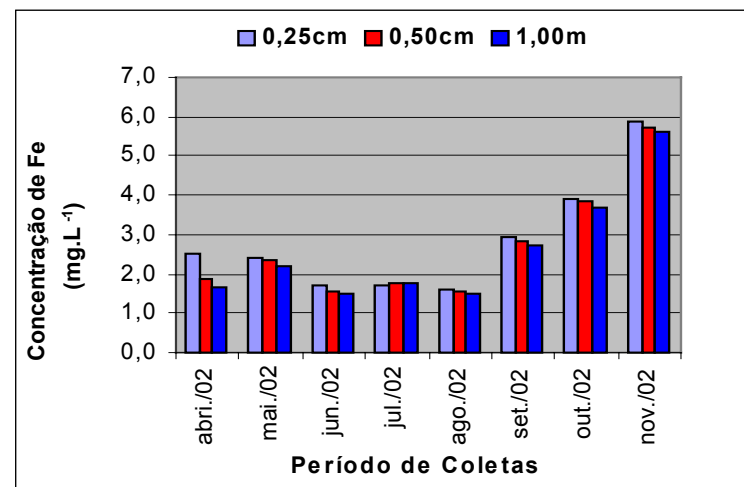


Fig. 108 - Teores de Ferro determinados a 0m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Ferro = $15,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

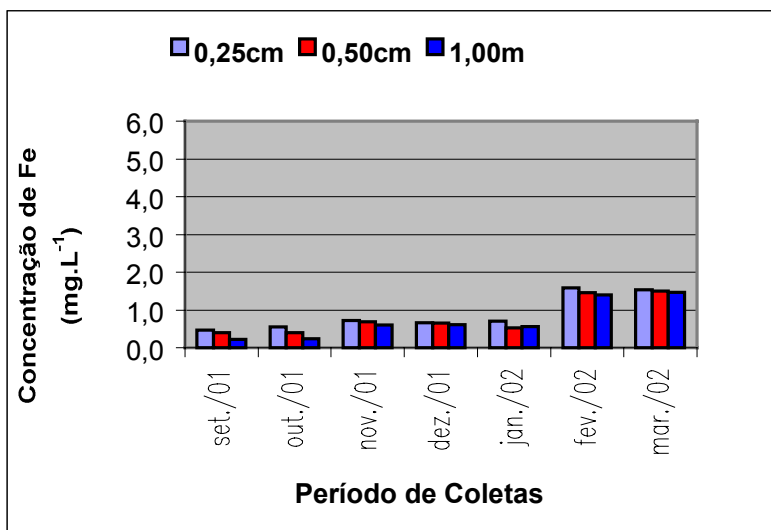


Fig 109 - Teores de Ferro determinados a 10m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Ferro = $15,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

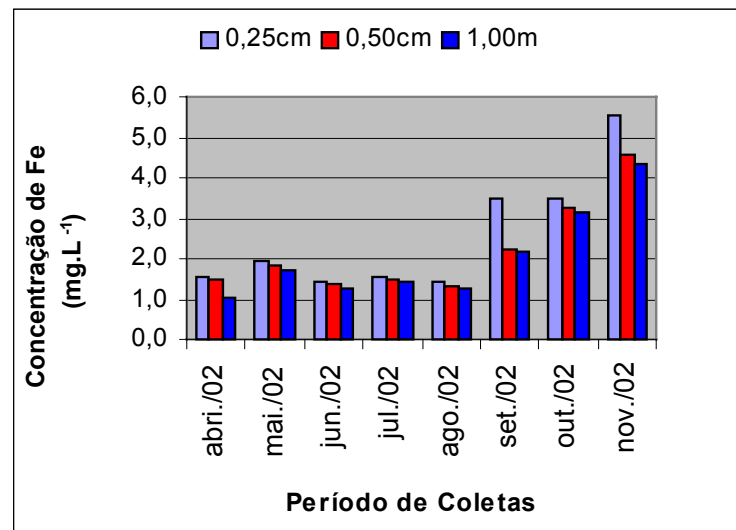


Fig. 110 -Teores de Ferro determinados a 10m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Ferro = $15,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

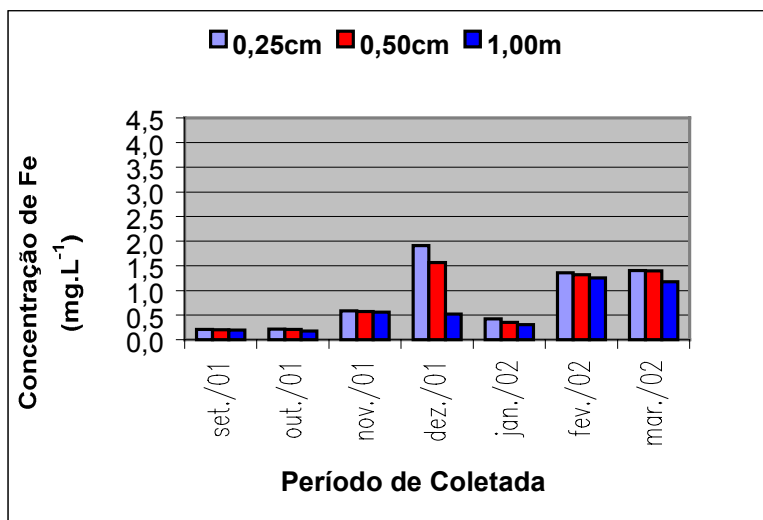


Fig. 111 - Teores de Ferro determinados a 20m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Ferro = $15,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

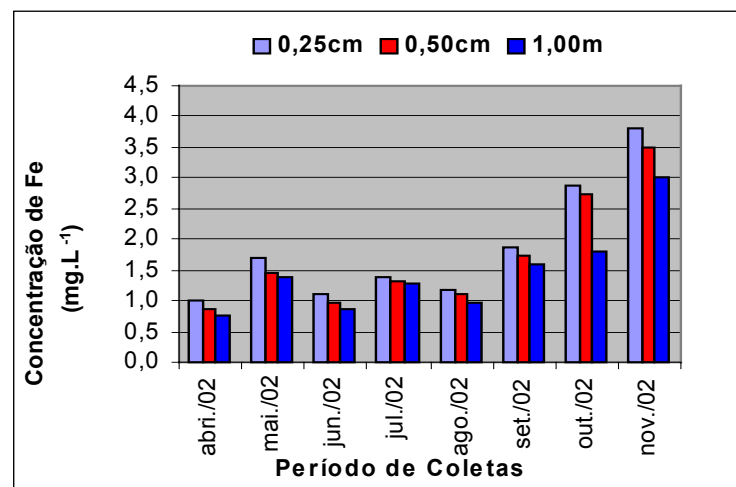


Fig. 112 - Teores de Ferro determinados a 20m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Ferro = $15,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

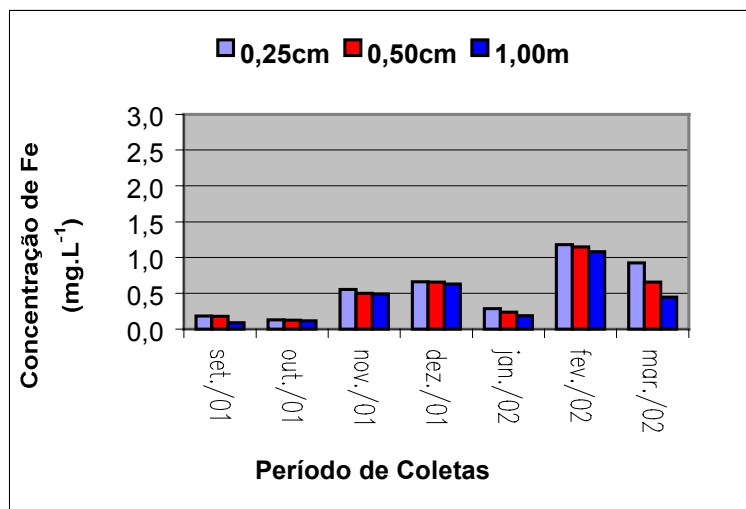


Fig. 113 - Teores de Ferro determinados a 30m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Ferro = $15,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

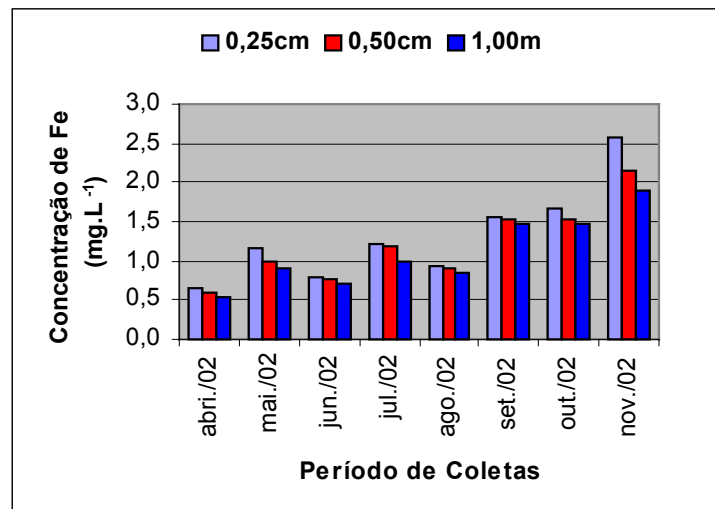


Fig. 114 - Teores de Ferro determinados a 30m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Ferro = $15,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

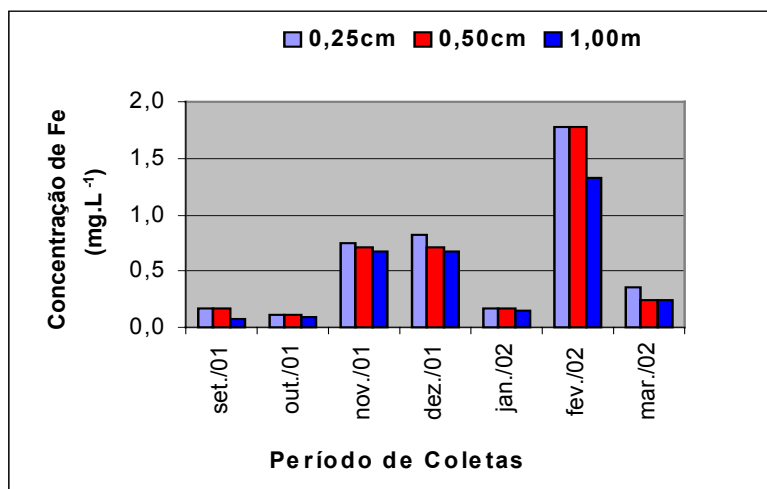


Fig. 115 - Teores de Ferro determinados a 40 m de comprimento nas profundidades de 0,25, 0,50 cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Ferro = $15,0 \text{ mg/L}$

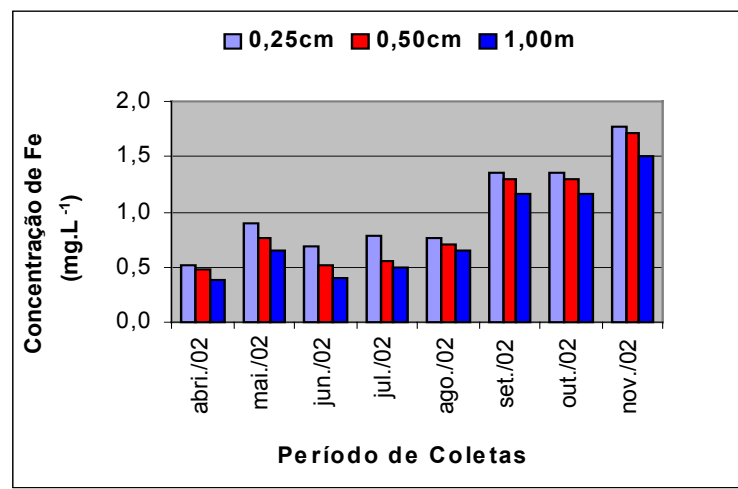


Fig. 116 - Teores de Ferro determinados a 40m de comprimento nas profundidades de 0,25cm, 0,50cm e 1,00m na rampa de escoamento na taxa de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, conforme resolução CONAMA 20 art. 19 Ferro = $15,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$

5.6.2 – Metal biodisponível e total no solo

5.6.2.1 - Zinco

Analisando-se as Figuras 117, 138, 159 e 180, pode-se observar uma eficiência do extrator Mehlich-3 sobre o extrator DTPA, e mesmo na mudança de taxas de aplicação às concentrações se mantiveram constantes, com alternâncias de baixas e altas concentrações.

A menor concentração de Zinco em confronto com o DTPA foi $13,62 \text{ mg.dm}^{-3}$ na distancia de 20m, segundo está demonstrado na Tabela **29** no Apêndice, ocorrido num período de seca, o que indica que parte deste metal pode ter migrado para a biomassa, o qual pode ser observado nas Figuras 118,139, 160 e 181.

O método Mehlich-3 apresentou melhor capacidade de extração em todas as amostras coletadas ao longo da rampa, onde a faixa de concentração ocorreu de 4,85 a $64,15 \text{ mg.dm}^{-3}$, como pode-se observar pelos resultados obtidos e demonstrados na Figura 130 e Tabela **29**. O melhor desempenho do extrator Mehlich-3 se deu somente para Zinco.

ABREU et al. (1995) cita que quando comparado com os demais estudos que empregam extratores ácidos, extraíram quantidades maiores que o DTPA, porque os ácidos dissolvem parcialmente diversas estruturas que contem os metais pesados. Contudo para os demais metais isto não ocorreu.

Ocorreu ampla amplitude de variação nas concentrações no teor do metal total que foram $21,84 \text{ mg.kg}^{-1}$ a $171,72 \text{ mg.kg}^{-1}$, respectivamente na Figura 126.

Altas concentrações de metal podem ter tido como causa algum lançamento de efluentes industrias no sistema conforme Figura 161 e 182 na distância de 30 e 40m respectivamente.

A concentração de metal no período de chuvas (Nov/01 e Jan/02) apresentou valores menores em decorrência da lixiviação natural ocorrida. A elevação da concentração de metal total para o mês de Mar/02 tem como prováveis causas a diminuição das chuvas e um acúmulo do metal zinco.

Para a taxa de aplicação $0,20\text{m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-1}$ na distância de 10 a 20m, o acúmulo de metal ocorreu sensivelmente, como mostra a Figura 119 e 140, indicando que os primeiros metros do sistema são de maior retenção de metais.

5.6.2.2- Chumbo

Os valores da concentração do Chumbo foram baixos e em determinados meses não chegou a ser detectado, como pode ser observado nas Tabelas **23**, **30**, **37** e **44** no Apêndice e Figuras 120, 141, 162 e 183, o melhor comportamento de extração observado foi o extrator DTPA sobre o extrator Mehlich-3 em todas as distâncias com exceção na distância de 30m, conforme Figura 162 que o Mehlich-3 se sobressaiu onde não sofreu nenhuma influência na mudança de taxa de aplicação.

A maior concentração de Chumbo foi de $3,80\text{mg}.\text{dm}^{-3}$ conforme Tabela **23** no Apêndice e Figura 106 numa distância da rampa de 10m, e a menor concentração de $0,16\text{mg}.\text{dm}^{-3}$ demonstrado na Figura 141 na Tabela **30** no Apêndice numa distância da rampa de 20m.

ABREU et al.(1998) cita que os resultados obtidos com uso de extratores químicos são bastante desanimadores e além de ter poucos trabalhos em que soluções químicas foram eficientes em avaliar a disponibilidade de Pb para as plantas e que dentre os poucos trabalhos em que soluções químicas foram eficientes para avaliar a disponibilidade de Pb para as plantas estão aqueles desenvolvidos em solos brasileiros.

Houve ocorrência de Chumbo na taxa de aplicação de $0,20\text{m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-1}$ na distância de 20m, com alta concentração de $15,25\text{mg}.\text{kg}^{-1}$ segundo Figura 143 na Tabela **16** no Apêndice e menor concentração de $0,85\text{mg}.\text{kg}^{-1}$ conforme Tabela **30**.

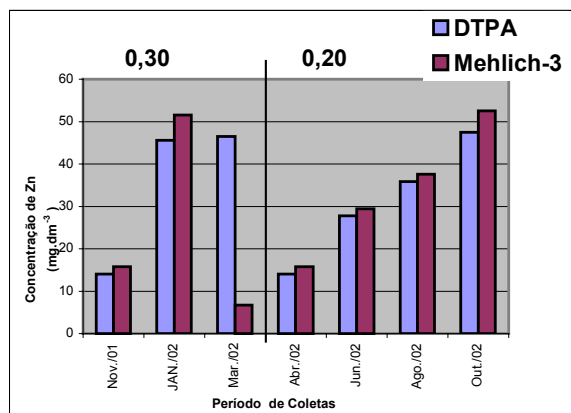


Fig. 117 – Teores de zinco determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 10m

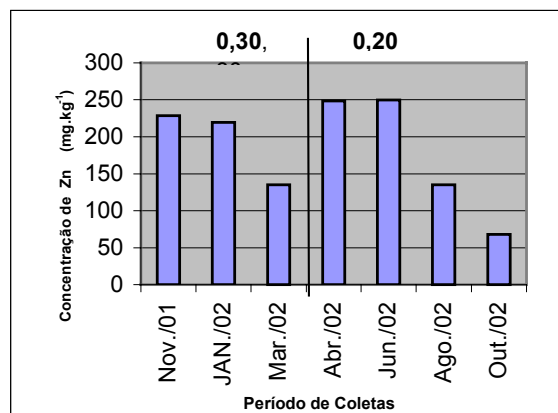


Fig. 118 – Teores de zinco determinado na graminha, na distância de 10m

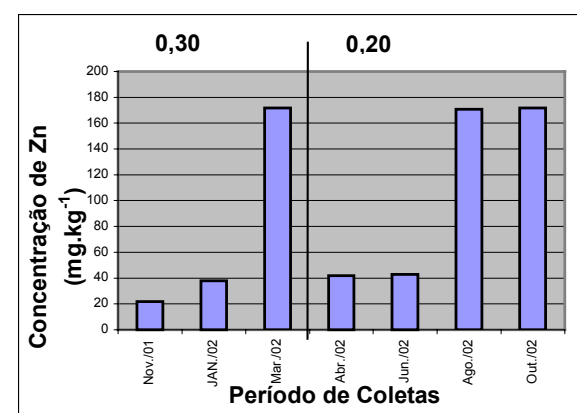


Fig. 119 – Teores de Metal total de zinco determinado no solo, na distância de 10 m

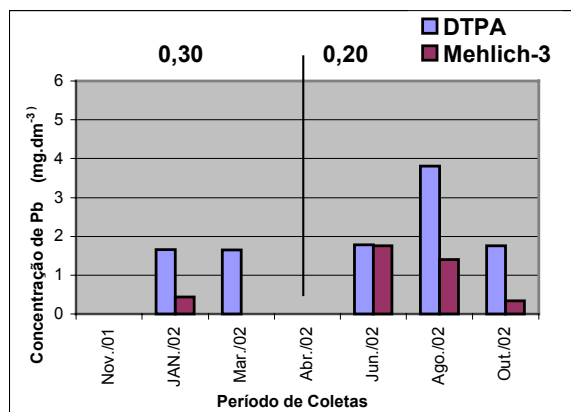


Fig. 120 – Teores de chumbo determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 10m

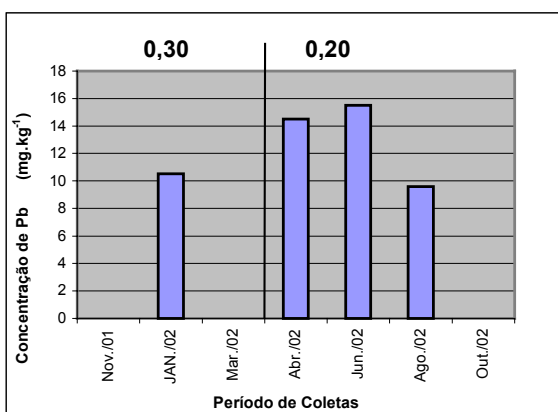


Fig. 121 – Teores de Chumbo determinado na graminha, na distância de 10m

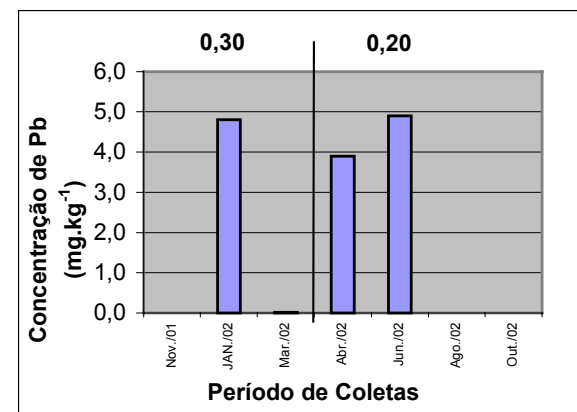


Fig. 122 – Teores de Metal total de Chumbo determinado no solo, na distância de 10m

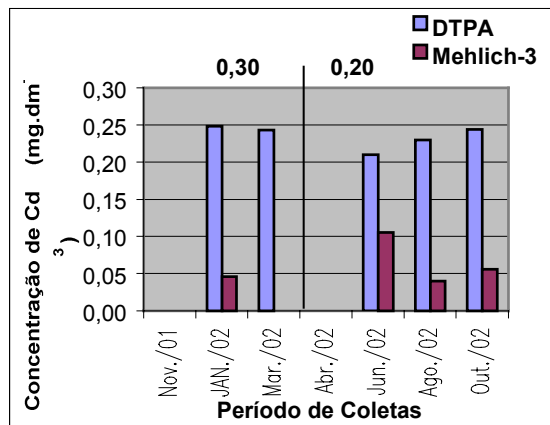


Fig. 123 – Teores de Cádmio determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 10m

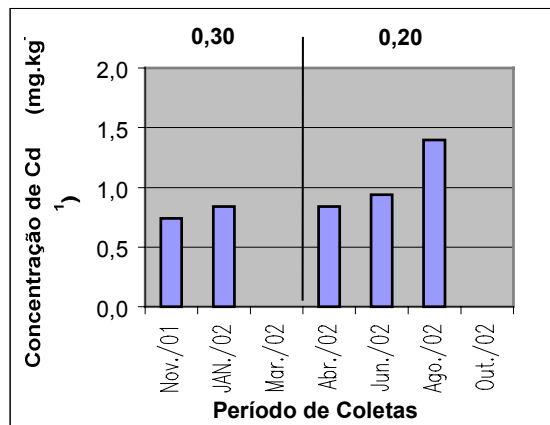


Fig. 124 – Teores de Cádmio determinado na graminha, na distância de 10m

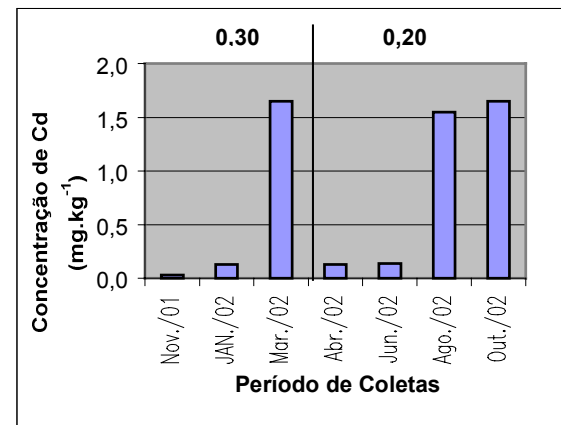


Fig. 125 – Teores de Metal total de Cádmio determinado no solo, na distância de 10m

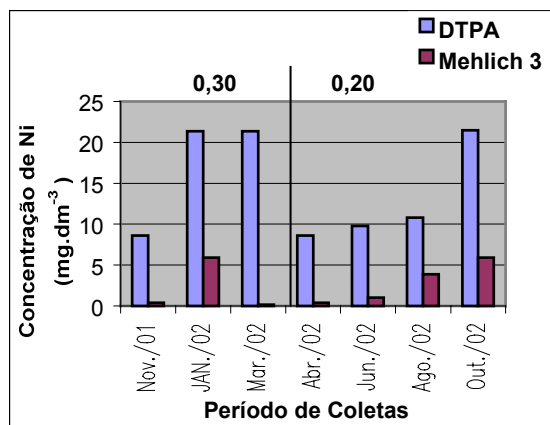


Fig. 126 – Teores de Níquel determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 10m

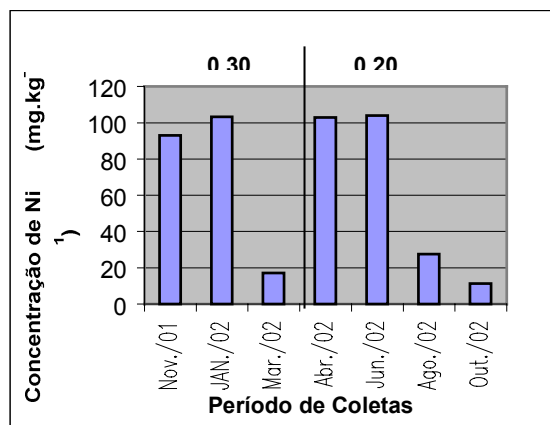


Fig. 127 – Teores de Níquel determinado na graminha, na distância de 10

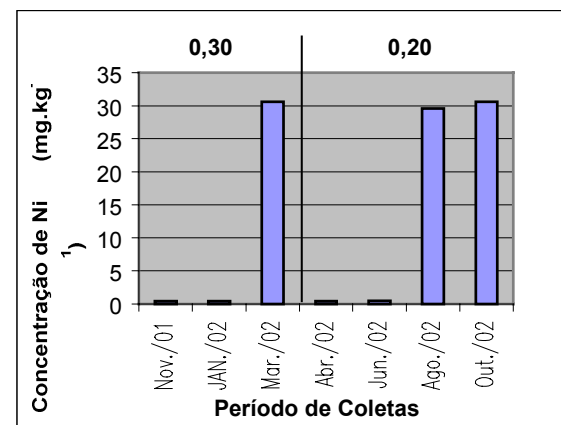


Fig. 128 – Teores de Metal total de Níquel determinado no solo, na distância de 10m

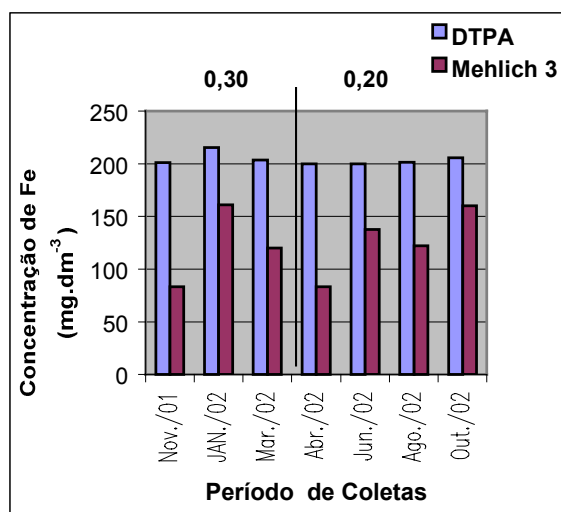


Fig. 129 – Teores de Ferro determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 10m

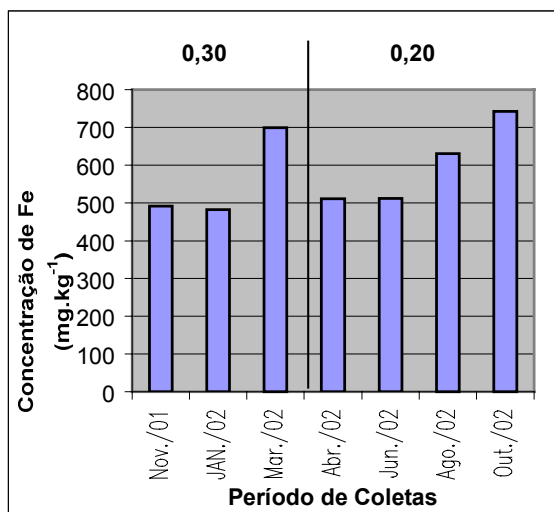


Fig. 130 – Teores de Ferro determinado na graminha, na distância de 10m

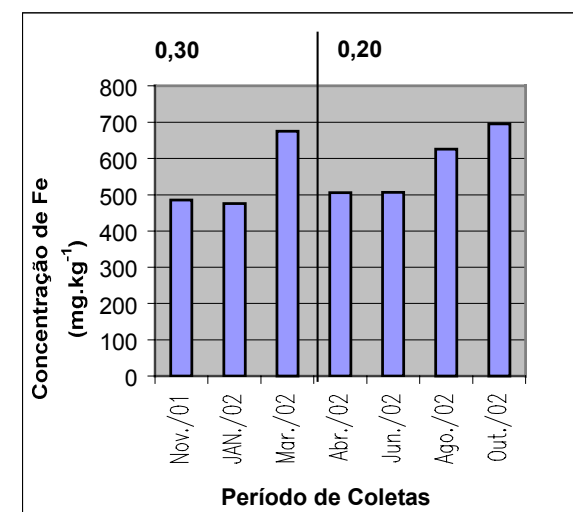


Fig. 131 – Teores de Metal total de Ferro determinado no solo, na distância de 10m

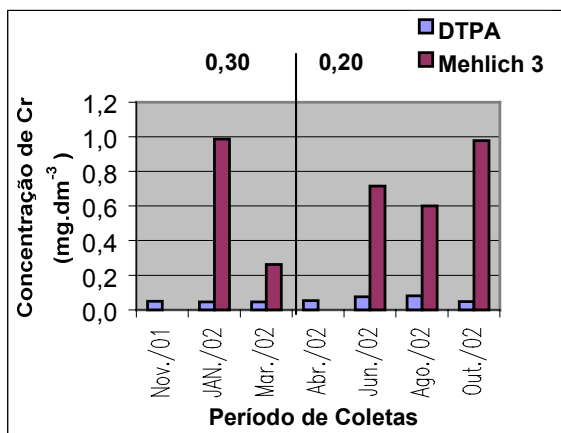


Fig. 132 – Teores de Cromo determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 10m

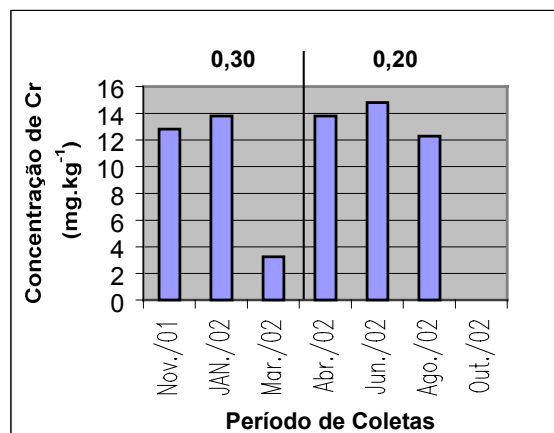


Fig. 133 – Teores de Cromo determinado na graminha, na distância de 10m

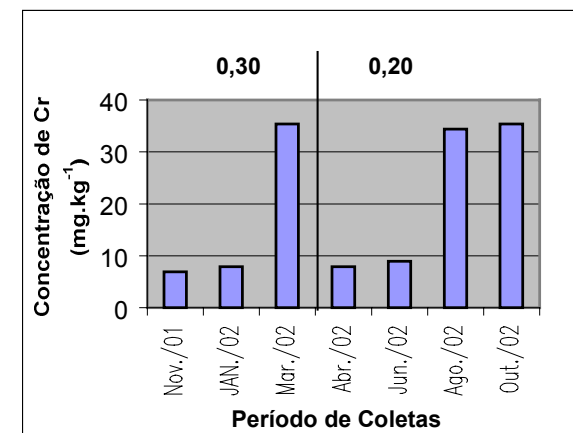


Fig. 134 – Teores de Metal total de Cromo determinado no solo, na distância de 10m

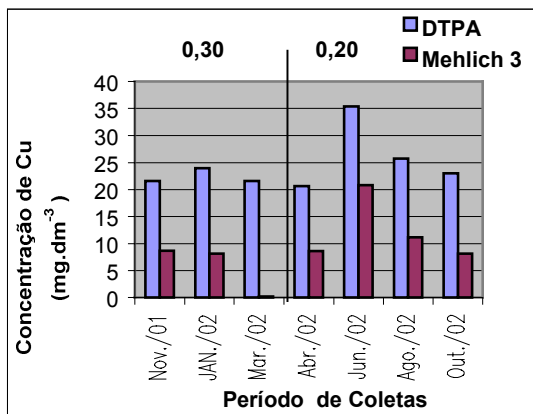


Fig. 135 – Teores de Cobre determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 10m

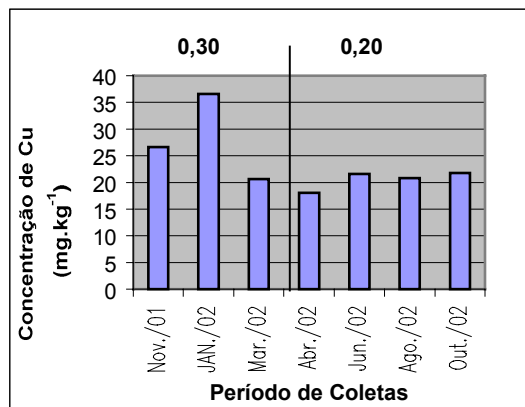


Fig. 136 – Teores de Cobre determinado na gremínea, na distância de 10m

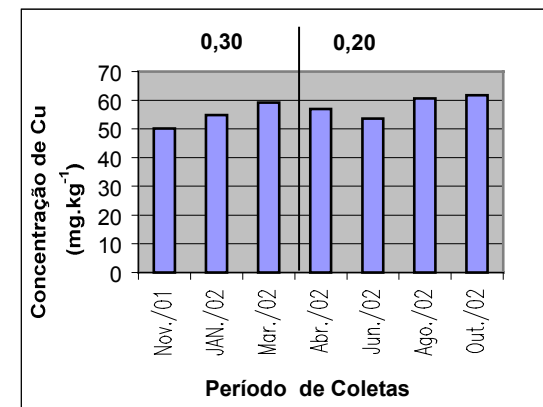


Fig. 137 – Teores de Metal total de Cobre determinado no solo, na distância de 10m

5.6.2.3 - Cádmio

Na mudança no valor da taxa de aplicação o extrator DTPA apresentou variações significativas nos valores das concentrações do metal. Contudo variações foram observadas no extrator Mehlich-3, principalmente a 20m, 30m e 40m, onde os valores da concentração do metal foram bem diferentes das observada pelo outro extrator.

Nos primeiros 10m da rampa o Cd teve maior concentração, e nos 20m, 30m e 40m comportamentos semelhantes. O extrator DTPA foi de maior predominância no extrator Mehlich-3 nos 10m e 20m e os teores de Cd total geralmente é encontrado com teores abaixo de 1mg.kg^{-1} . Segundo Figuras 123, 124 e 125 na Tabela **24** onde demonstra que alguns metais não foram detectados.

Ocorreram elevadas concentrações de metal total que foi de $1,65 \text{ mg.Kg}^{-1}$ Figura 125, segundo Tabela **24** no Apêndice.

5.6.2.4 – Níquel

O extrator DTPA teve uma boa extração em relação ao extrator Mehlich-3 segundo Figuras 126, 147, 168 e 189.

Nos 10m iniciais da rampa no período de seca, a concentração do metal foi relativamente baixa conforme Figura 128.

Nos primeiros 20m e 30m ocorreu maiores concentrações Figuras 147 e 168, segundo Tabela **32** no Apêndice.

Após a mudança de taxa de aplicação, o aumento no valor da concentração foi mais lento.

Ocorreu ampla amplitude de variação nas concentrações no teor do metal total variando de $0,42 \text{ mg.Kg}^{-1}$ e $30,59 \text{ mg.Kg}^{-1}$ na Figura 134 e 149 respectivamente, segundo Tabela 25.

Com relação o período de chuva e seca, as concentrações de metal também foram altas, só ocorreu valores baixos de concentração na distância de 10m.

5.6.2.5-Ferro

Houve comportamento semelhante tanto em 10m, 20m e 30m. Com diminuição na mudança de taxa de aplicação de $0,30 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-1}$ para $0,20 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-1}$.

Nas mudanças de taxas de aplicação de $0,20 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-1}$ variações , onde ocorreu o aumento das concentrações e consequentemente o extrator DTPA teve maior predominância sobre o extrator Mehlich-3, segundo as Figuras 129,158, 171 e 192 e não houve muitas variações nas duas taxas de aplicações.

A maior concentração foi de $247,00 \text{ mg.dm}^{-3}$ demonstrado na Tabela 33 no Apêndice.

Em decorrência dos altos teores de Fe, porque geralmente são encontrados em solos brasileiro em condições naturais e problemas relacionados à toxicidade são mais comuns do que aqueles envolvendo deficiências.

Ocorreu alta concentração do teor do metal total que foi de $695,14 \text{ mg.kg}^{-1}$ na Figura 131, segundo Tabela 26.

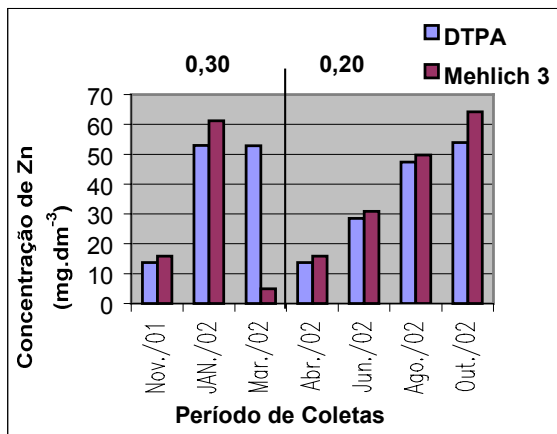


Fig. 138 – Teores de Zinco determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 20m

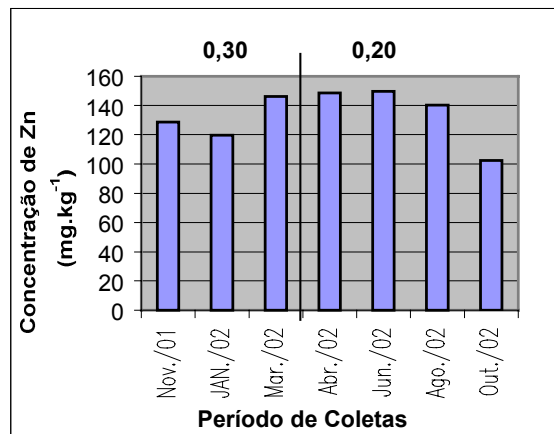


Fig. 139 - Teores de Zinco determinado na gramínea, na distância de 20m

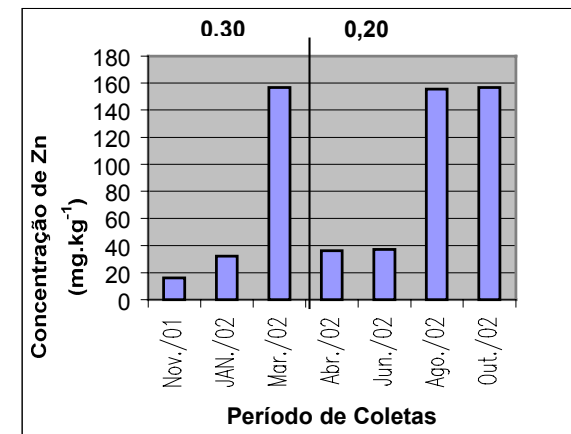


Fig. 140 - Teores de Metal total de Zinco determinado no solo, na distância de 20m

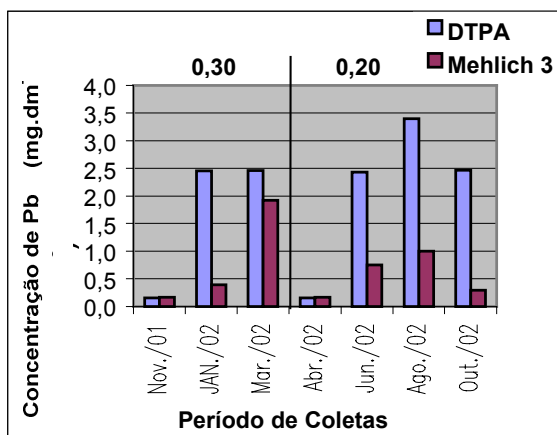


Fig. 141 – Teores de Chumbo determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 20m

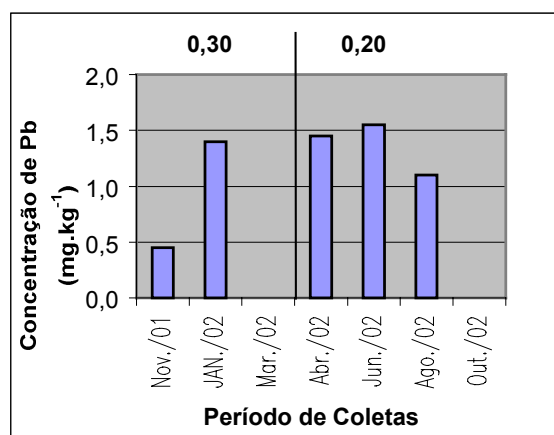


Fig. 142 – Teores de Chumbo determinado na gramínea, na distância de 20m

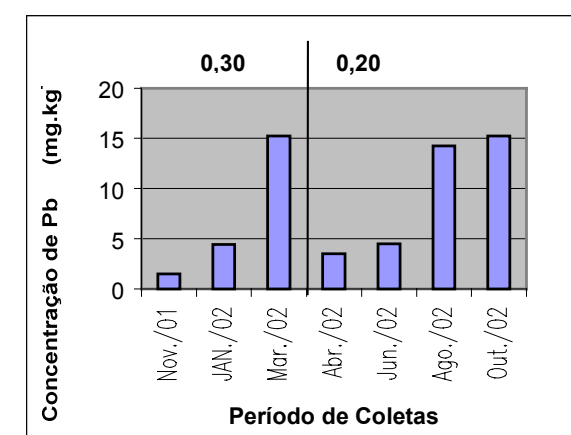


Fig. 143 – Teores de Metal total de Chumbo determinado no solo, na distância de 20m

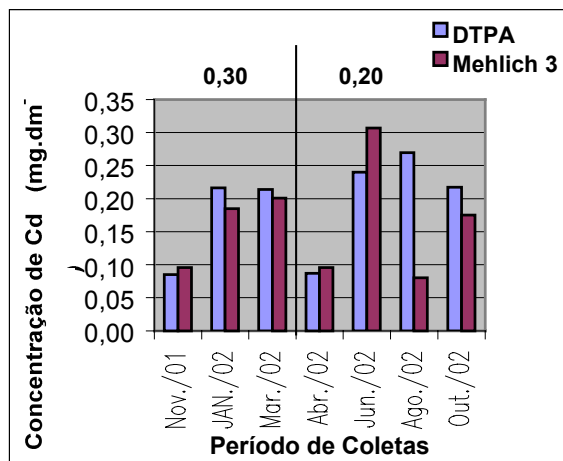


Fig. 144 – Teores de Cádmio determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 20m

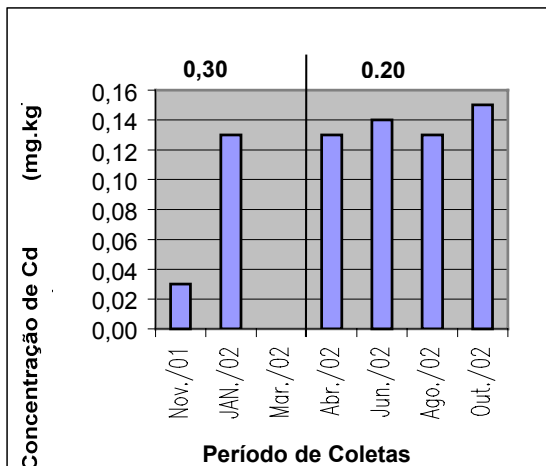


Fig. 145 – Teores de Cádmio determinado na graminha, na distância de 20m

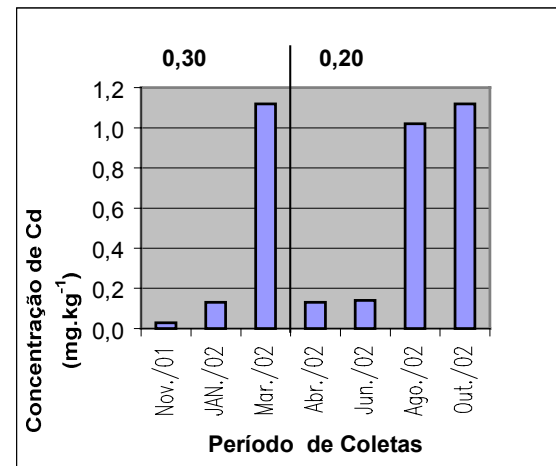


Fig. 146 – Teores de Metal total de Cádmio determinado no solo, na distância de 20m

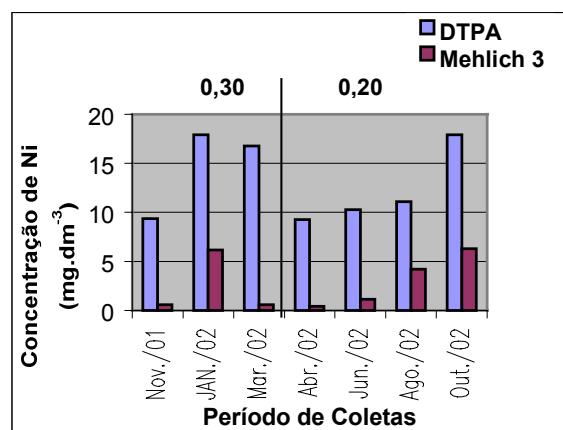


Fig. 147 – Teores de Níquel determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 20m

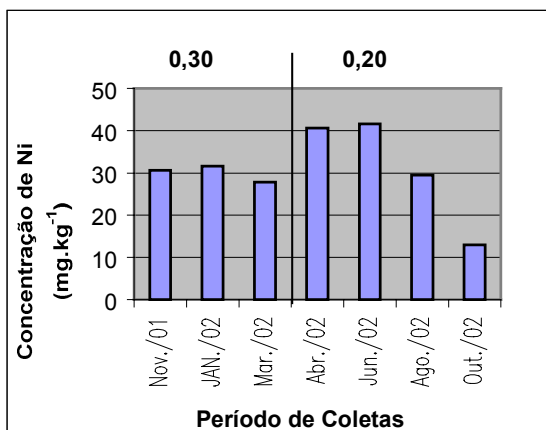


Fig. 148 – Teores de Níquel determinado na graminha, na distância de 20m

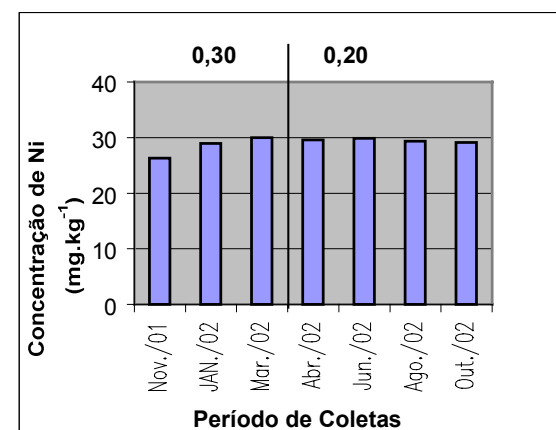


Fig. 149 – Teores de Metal de Níquel determinado no solo, na distância de 20m

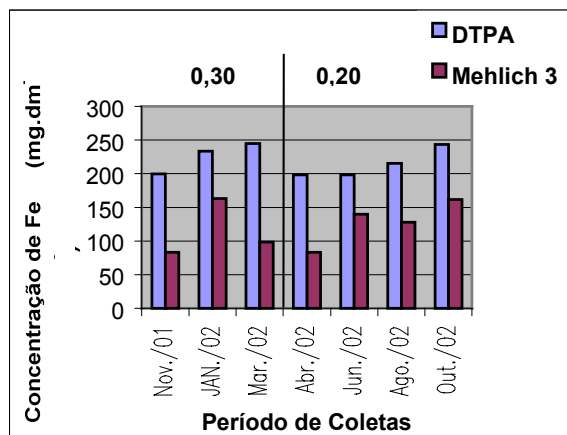


Fig. 150 – Teores de Ferro determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 20m

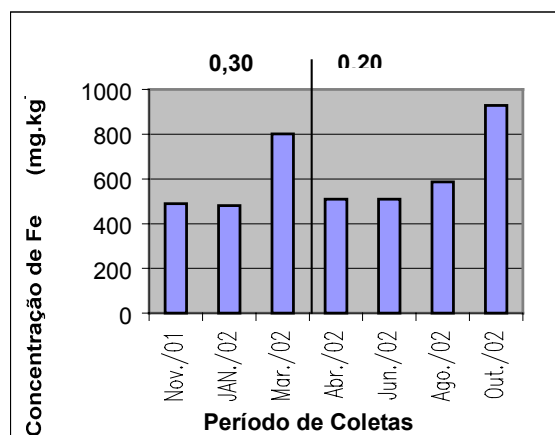


Fig. 151 – Teores de Ferro determinado na gramínea, na distância de 20m

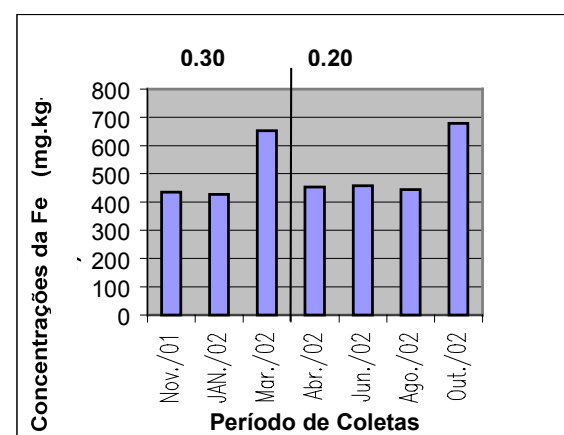


Fig. 152 – Teores de Metal total determinado no solo, na distância de 20m

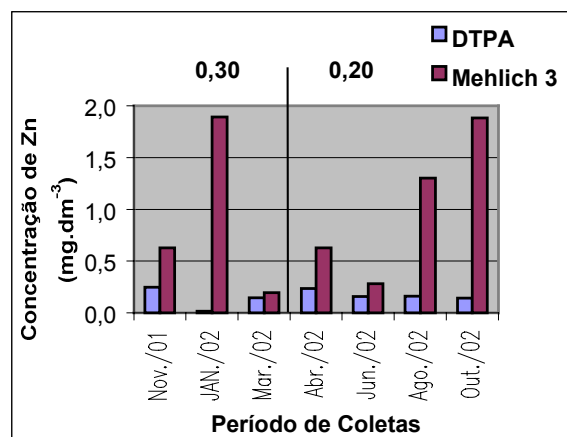


Fig. 153 – Teores de Cromo determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 20m

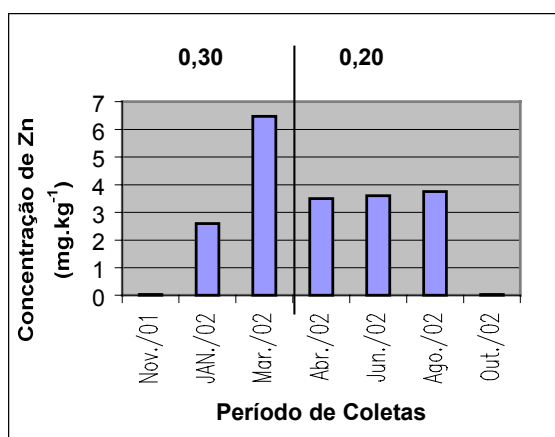


Fig. 154 – Teores de Cromo determinado na gramínea, na distância de 20m

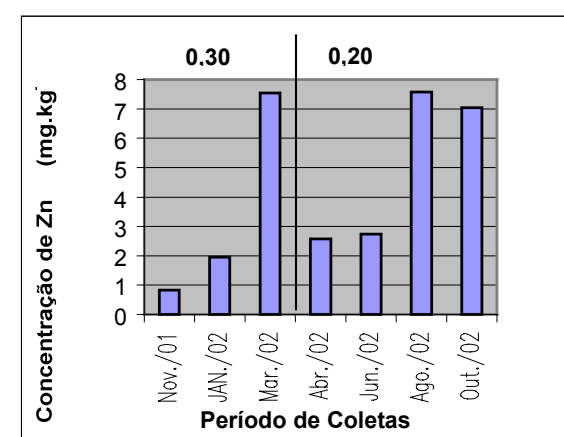


Fig. 155 – Teores de Metal total de Cromo determinado no solo, na distância de 20m

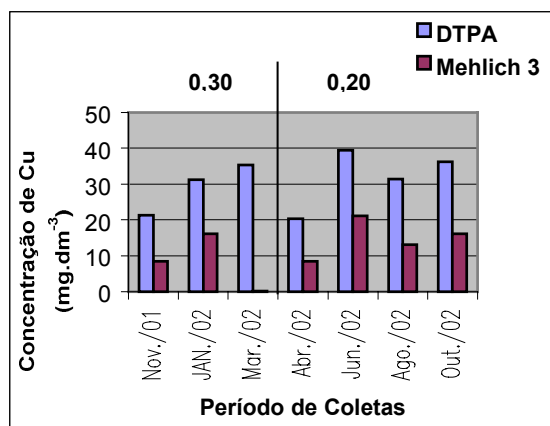


Fig. 156 – Teores de Cobre determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 20m

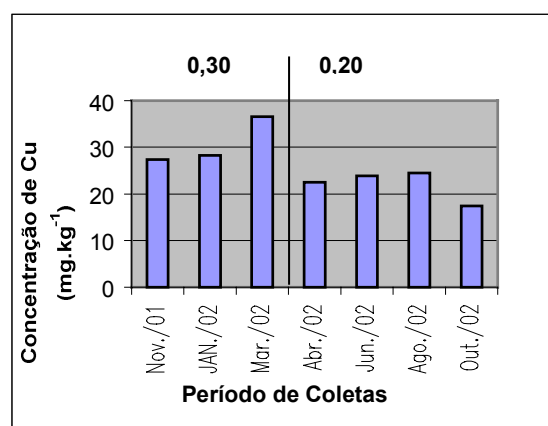


Fig. 157 – Teores de Cobre determinado na gramínea, na distância de 20m

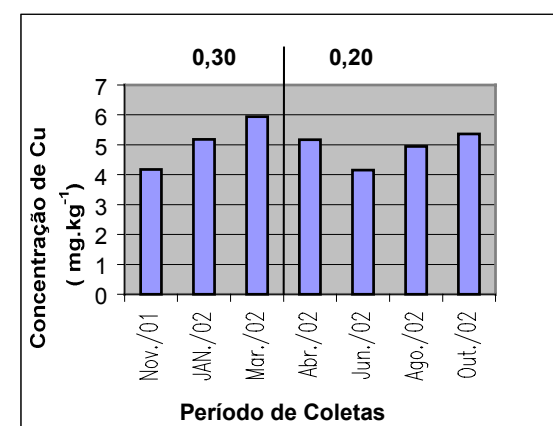


Fig. 158 – Teores de Metal total de Cobre determinado no solo, na distância de 20m

5.6.2.6 - Cromo

O extrator que mais predominou foi o extrator Mehlich-3 sobre o DTPA que teve uma baixa concentração e consequentemente uma baixa remoção segundo Tabela 27 no Apêndice e Figuras 132,133 e 134.

O extrator Mehlich-3 que predominou em todas distâncias da rampa, a menor concentração foi de $0,05 \text{ mg.dm}^{-3}$ e maior concentração de $1,89 \text{ mg.dm}^{-3}$ o qual pode ser observado na Figura 151 e Tabela 34 no Apêndice na distância de 20m. Somente o Mehlich-3 apresentou melhor capacidade de extração para o Cromo.

Ocorreram baixas e altas concentrações do teor do metal total que foram $0,83 \text{ mg.Kg}^{-1}$ e $35,81 \text{ mg.Kg}^{-1}$ na Figura 153 e 132, segundo Tabelas 34 e 27 no Apêndice.

Com relação ao período de seca, a concentração de metal também foi alta e se manteve estável no período de chuvas com tendência a crescimento conforme Figura 175 e 196 na distância de 30m e 40m respectivamente.

5.6.2.7- Cobre

Nas mudanças de taxas de aplicação de $0,20 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-1}$ houve variações, onde ocorreu o aumento das concentrações e consequentemente o extrator DTPA teve maior predominância sobre o extrator Mehlich-3, segundo as Figuras 132,156, 177 e 198, não houve muitas variações nas duas taxas de aplicações.

A maior concentração foi de $39,49 \text{ mg.dm}^{-3}$ e menor concentração de $9,82 \text{ mg.dm}^{-3}$ e demonstrado nas Tabelas 35 e 42 no Apêndice.

Foi detectado baixas e altas concentrações de teor do metal total que foram 0,05 mg.Kg⁻¹ e 61,68 mg.Kg⁻¹ na Figura 136 e 178, segundo Tabela 28 e 42 no Apêndice.

Com relação o período de seca, a concentração de metal também foi alta e se manteve estável e no período de chuvas baixo, com tendência a crescimento, conforme Figura 136, 157 e 178 na distância de 10m, 20m e 30m respectivamente.

5.6.3 – Metal na gramínea

5.6.3.1 – Zinco

Ocorreram concentrações elevadas de Zn na gramínea como estão demonstrados nas Figuras 117, 138, 159 e 180, sendo que os maiores registros foram no período de seca. A menor concentração de Zinco ocorrida foi de 68,05mg.kg⁻¹ e a maior concentração de 249,5mg.kg⁻¹ conforme Tabela 22 no apêndice.

Houve comportamento semelhantes nas duas taxas de aplicação, ora tendendo a diminuir no final do período.

5.6.3.2-Chumbo

As maiores concentrações do metal foram de 15,50 mg.Kg⁻¹ conforme Figura 120 na Tabela 23 na distância da rampa de 10m.

O Chumbo na biomassa em alguns meses que não foi detectado segundo Figuras 120, 141,162 e 183, sendo que as maiores ocorrências de Chumbo foi no período de seca na taxa de 0,20m³.h⁻¹.m⁻¹.

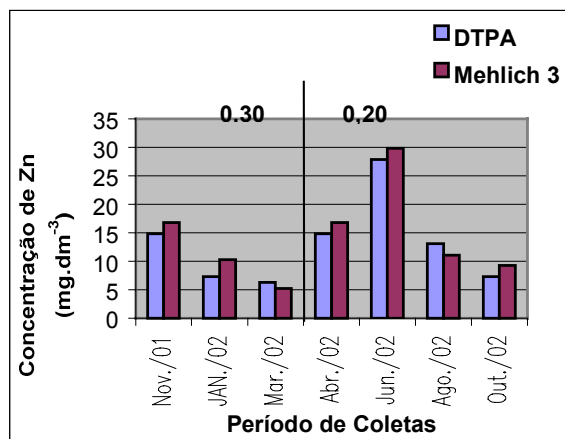


Fig. 159. Teores de Zinco determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 30m

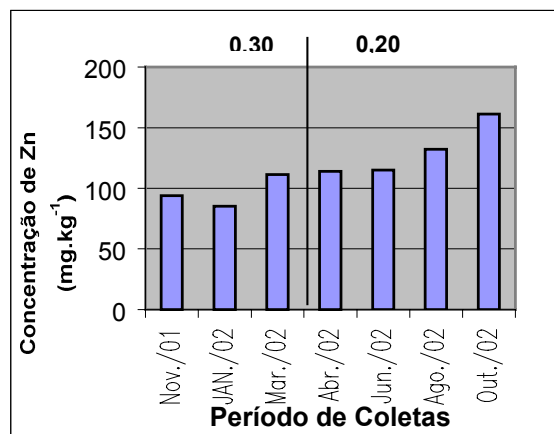


Fig. 160 – Teores de zinco determinado na graminha, na distância de 30m

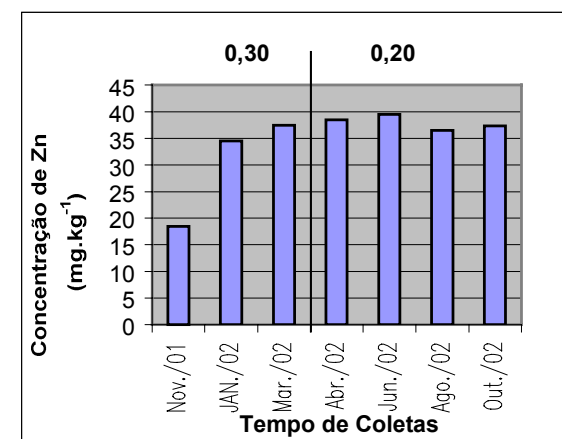


Fig. 161. Teores de Metal total de Zinco determinado no solo, na distância de 30m

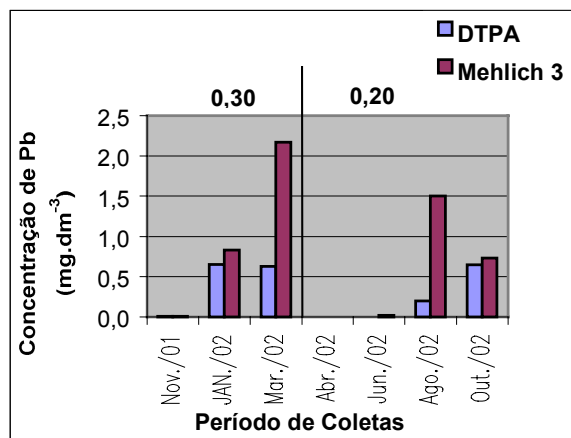


Fig. 162 – Teores de Chumbo determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 30m

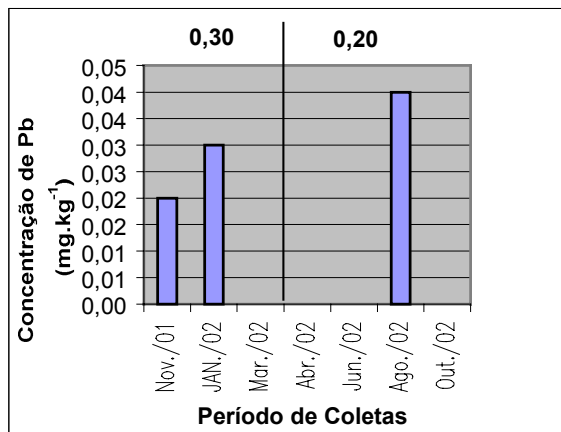


Fig. 163 – Teores de Chumbo determinado na graminha, na distância de 30m

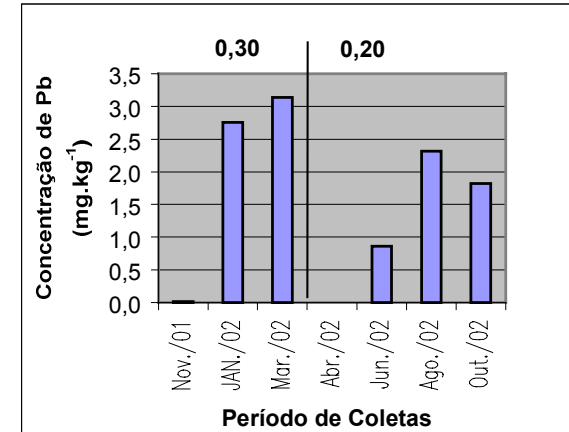


Fig. 164 – Teores de Metal total de Chumbo determinado no solo, na distância de 30m

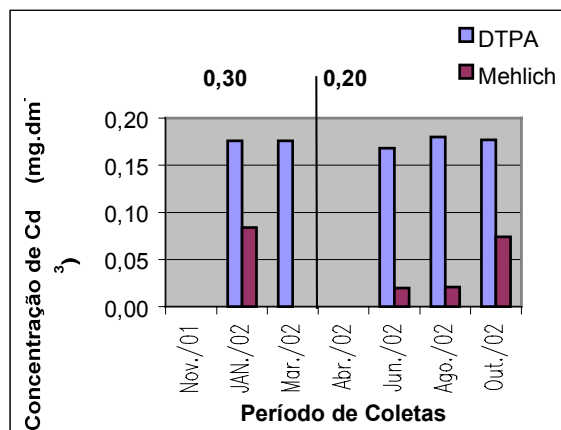


Fig. 165 – Teores de Cádmio determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 30m

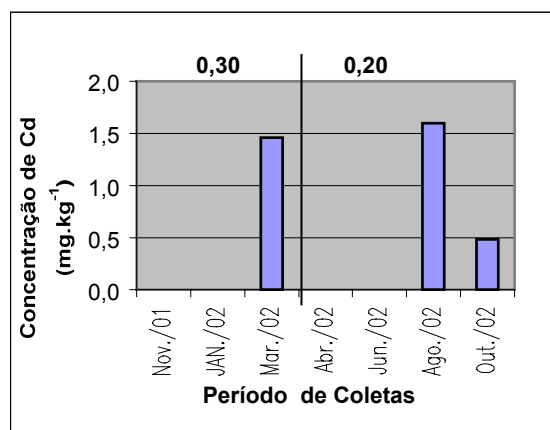


Fig. 166 – Teores de Cádmio determinado na graminha, na distância de 30m

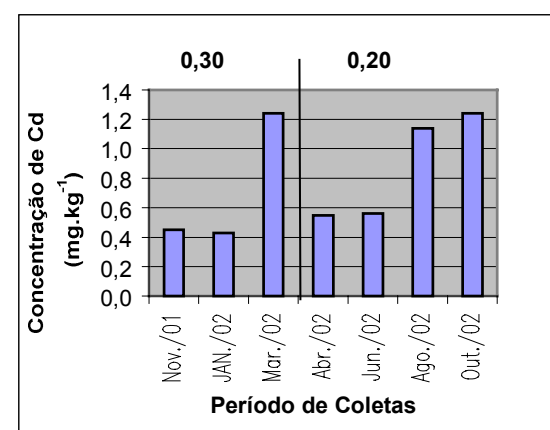


Fig. 167 – Teores de Metal total de Cádmio determinado no solo, na distância de 30m

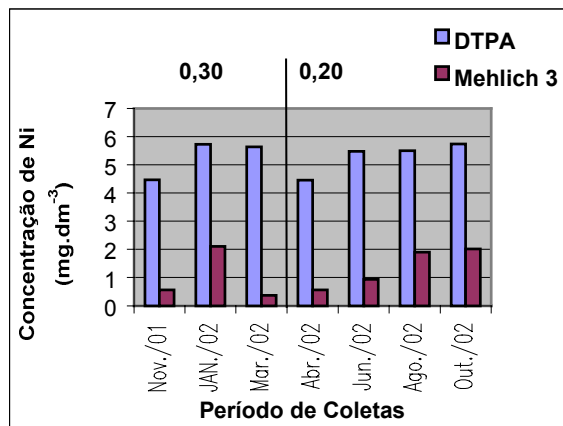


Fig. 168 – Teores de Níquel determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 30m

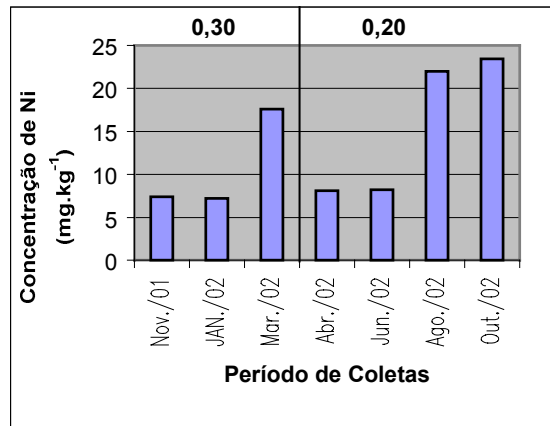


Fig. 169 – Teores de Níquel determinado na graminha, na distância de 30m

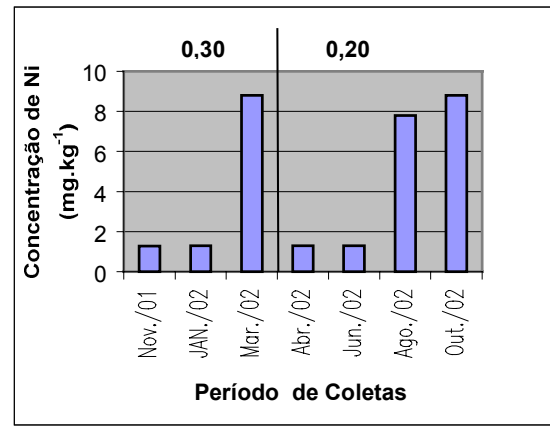


Fig. 170 – Teores de Metal total de Níquel determinado no solo, na distância de 30m

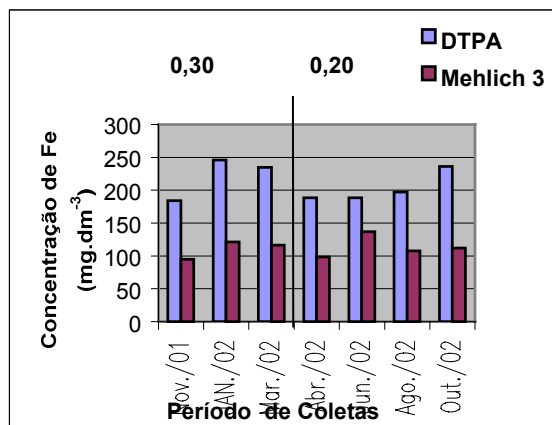


Fig. 171 – Teores de Ferro determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 30m

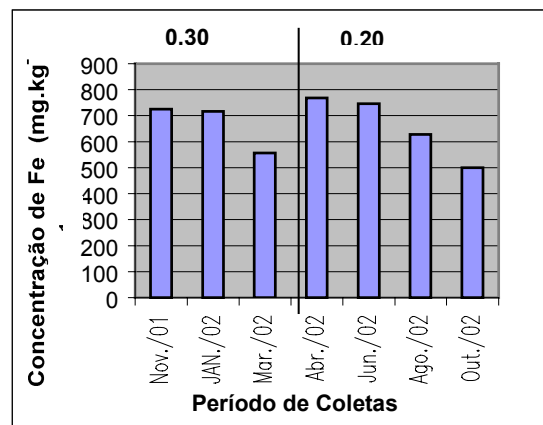


Fig. 172 – Teores de Ferro determinado na gramínea, na distância de 30m

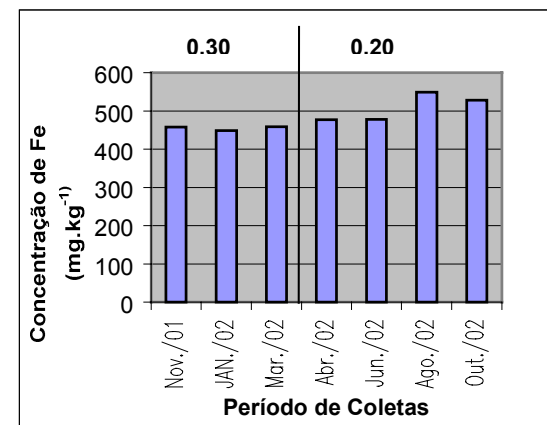


Fig. 173 – Teores de Metal total de Ferro determinado no solo na distância de 30m

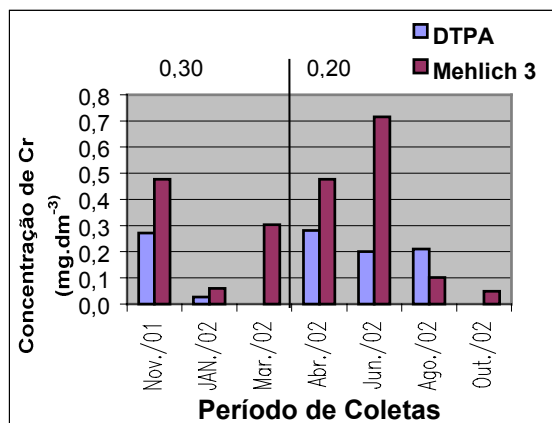


Fig. 174 – Teores de Cromo determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 30m

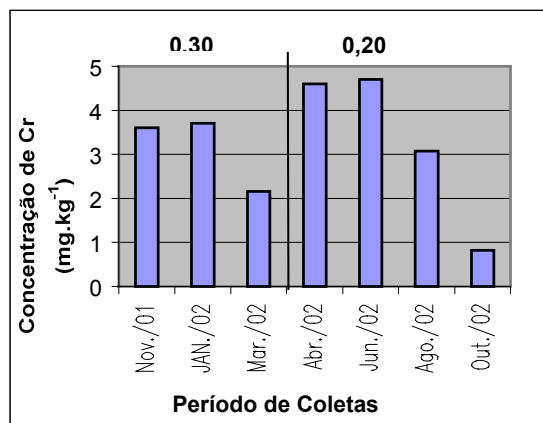


Fig. 175 – Teores de Cromo determinado na gramínea, na distância de 30m

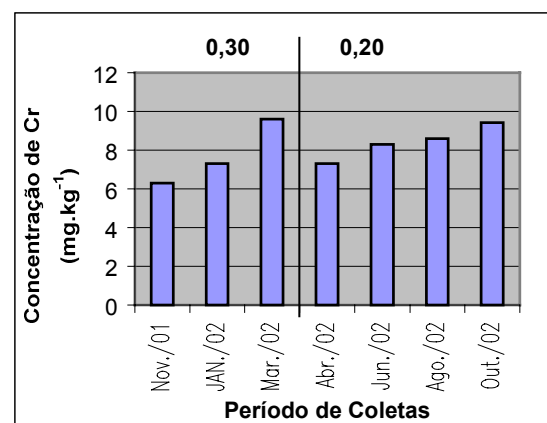


Fig. 176 – Teores de Metal total de Cromo determinado no solo, na distância de 30m

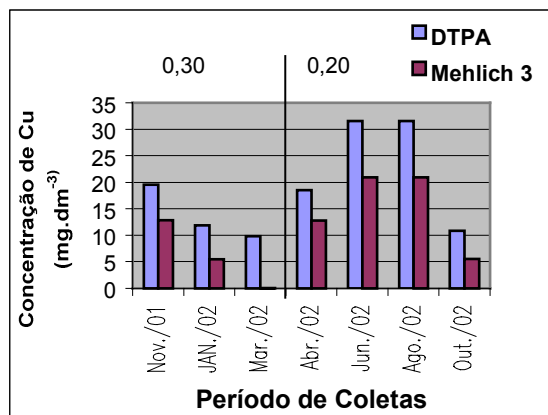


Fig. 177 – Teores de Cobre determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 30m

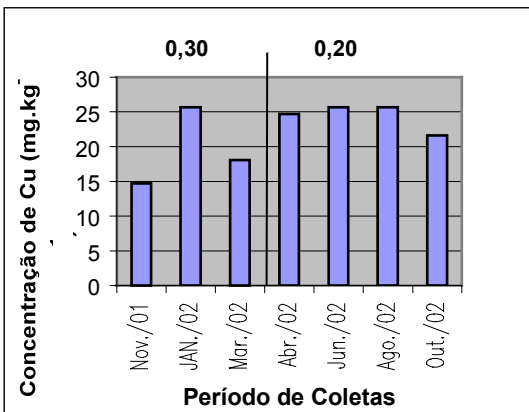


Fig. 178 – Teores de Cobre determinado na graminha, na distância de 30m

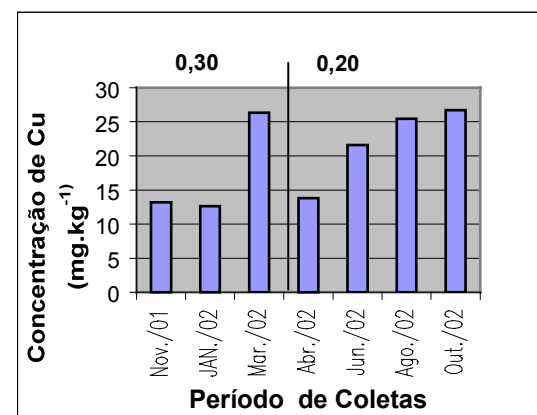


Fig. 179 – Teores de Metal total de Cobre determinado no solo, na distância de 30m

5.6.3.3 – Cádmio

A maior concentração do metal foi detectado de $3,10 \text{ mg.Kg}^{-1}$, conforme Figura 186 na Tabela **45** no Apêndice, na distância da rampa de 40m.

O Cádmio na biomassa não foi detectado em alguns meses, segundo também Figuras 123,165 e 186, e as maiores ocorrências de Cd foi no período de seca.

5.6.3.4 - Níquel

As maiores concentrações do metal foram de $104,00 \text{ mg.Kg}^{-1}$, conforme Figura 126 na Tabela **25** no Apêndice na distância da rampa de 10m.

O Níquel na biomassa foi detectado, segundo Figuras 126, 147,168 e 189, e as maiores ocorrências de Níquel foi no período de seca na taxa de $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$.

5.6.3.5-Ferro

As maiores concentrações do metal foram detectados de $929,27 \text{ mg.Kg}^{-1}$ conforme Figura 150 na Tabela **33** no Apêndice respectivamente na distância da rampa de 20m.

O Ferro na biomassa avaliado foi detectado, segundo Figuras 129, 150, 171 e 192, e as maiores ocorrências de Fe foi no período de chuva nas duas taxa de aplicação.

5.6.3.6- Cromo

BARTLETT & JAMES, 1996 cita que o grande problema do uso de método químicos para diagnosticar o Cr disponível às plantas está no preparo das amostras para a análise. Como o Cr é grandemente influenciado pelo potencial de oxirredução do

solo, é aconselhável utilizar amostras úmidas para a quantificação do Cr prontamente disponível.

Ocorreram concentrações elevadas de Cr na Gramínea como estão demonstrados nas Figuras 132 e 174, sendo que os maiores registros foram no período de seca. A menor concentração de Cr ocorrida foi de $0,03\text{mg.Kg}^{-1}$, conforme tabela **41** e a maior concentração de $14,870\text{mg.Kg}^{-1}$, conforme Tabela **27** no Apêndice.

5.6.3.7 - Cobre

Na gramínea houve um aumento na taxa de aplicação de $0,30\text{ m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-1}$ e se estabilizou no final do período segundo Figura 134, 135 e 136, onde está demonstrado na Tabela **28**.

ABREU et al., (1997b) cita que esforços consideráveis estão sendo feitos pra determinar a disponibilidade de Cu e Zn para plantas em solos com teores baixos a médio de Cu.

Concentrações fitotóxicas de Cu e Zn são mais prováveis em locais que recebem resíduos com alta concentração de Cu e Zn, com os resíduos de lodo de esgoto, resíduos de indústrias de fundição ou suinícolas.

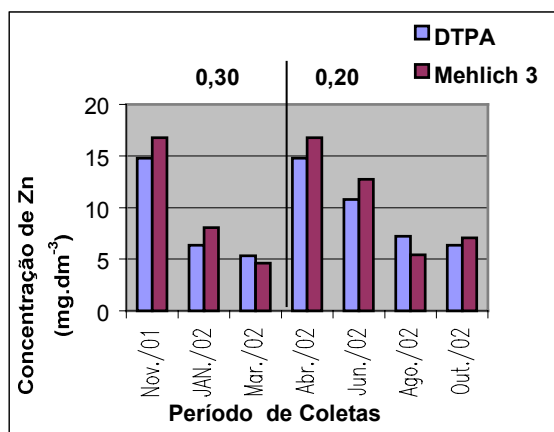


Fig. 180 – Teores de Zinco determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 40m

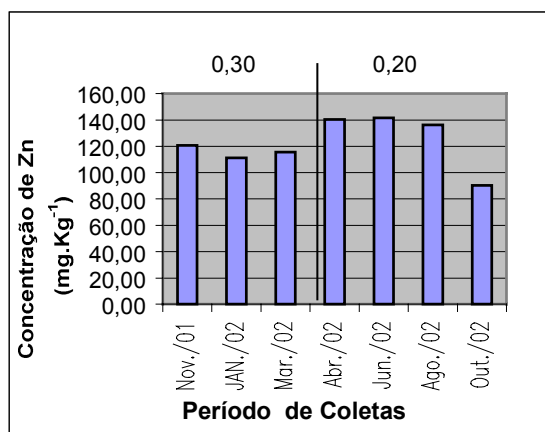


Fig. 181 – Teores de Zinco determinado na gramínea, na distância de 40m

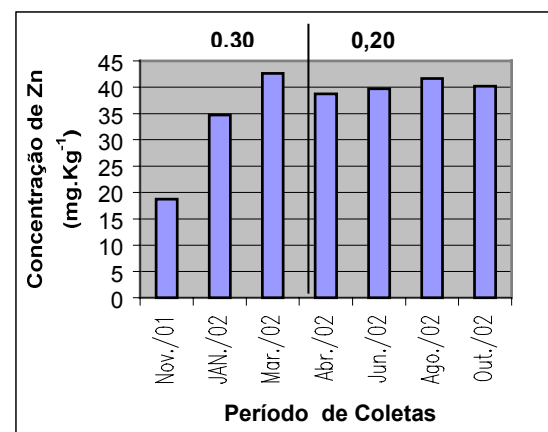


Fig. 182 – Teores de Metal total de Zinco determinado no solo, na distância de 40m

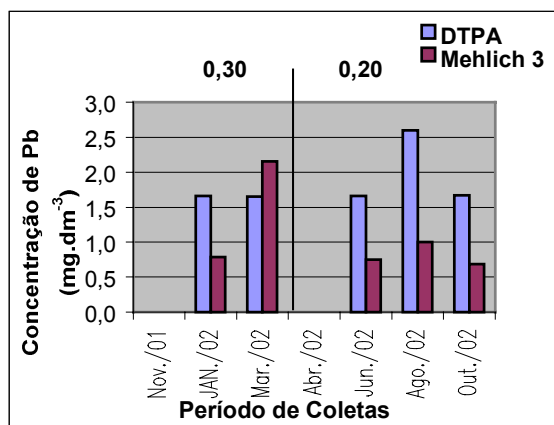


Fig. 183 – Teores de Chumbo determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 40m

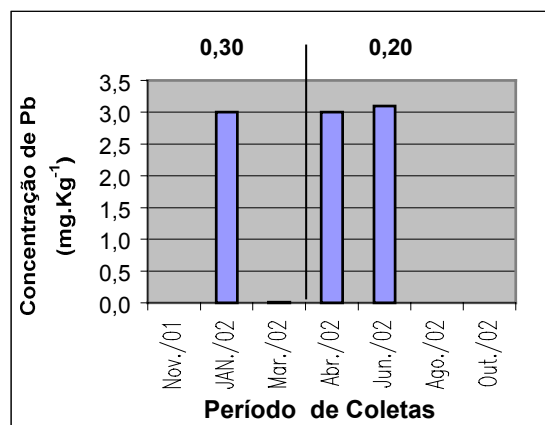


Fig. 184 – Teores de Chumbo determinado na gramínea, na distância de 40m

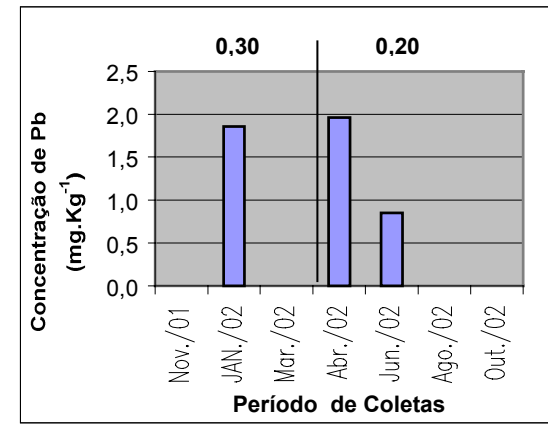


Fig. 185 – Teores de Metal total de Chumbo determinado no solo, na distância de 40m

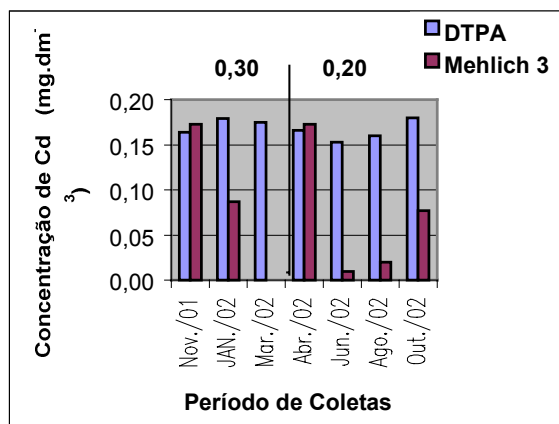


Fig. 186 – Teores de Cádmio determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 40m

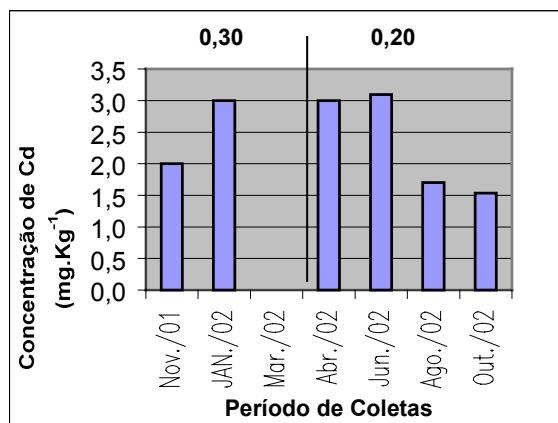


Fig. 187 – Teores de Cádmio determinado na graminha, na distância de 40m

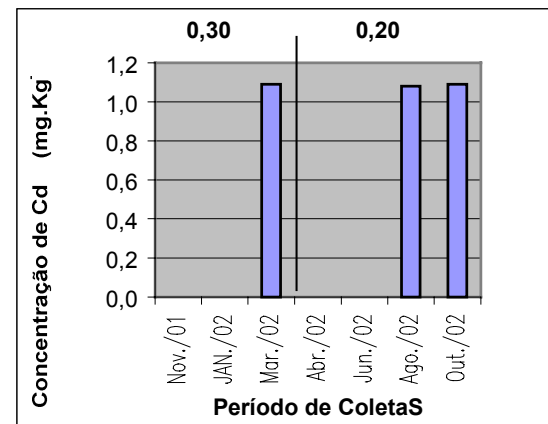


Fig. 188 – Teores de Metal total de Cádmio determinado no solo, na distância de 40m

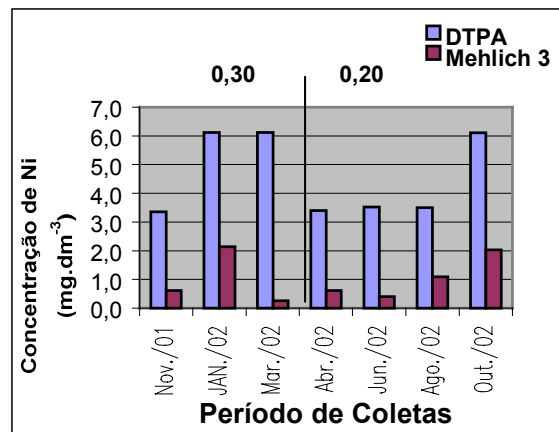


Fig. 189 – Teores de Níquel determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 40m

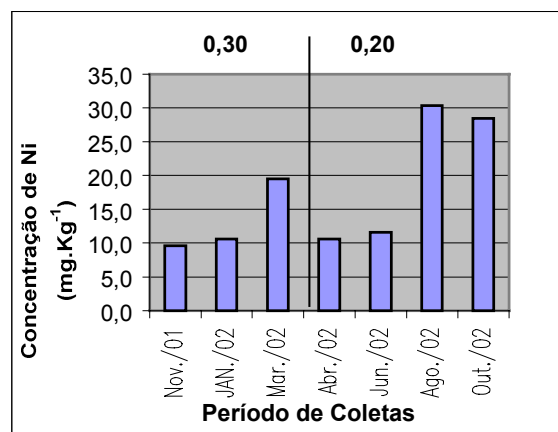


Fig. 190 – Teores de Níquel determinado na graminha, na distância de 40m

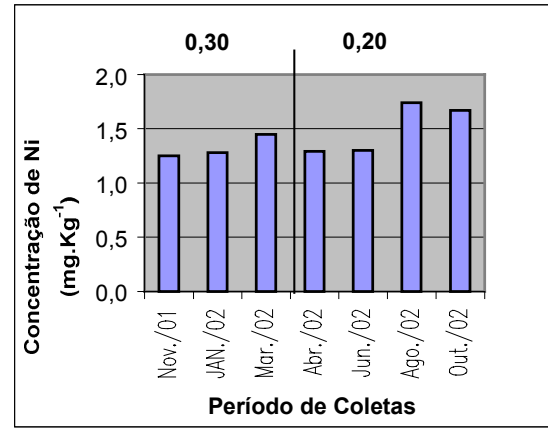


Fig. 191 – Teores de Metal total de Níquel determinado no solo, na distância de 40m

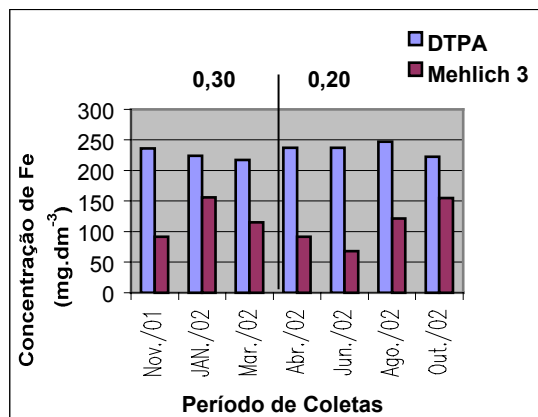


Fig. 192 – Teores de Ferro determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 40m

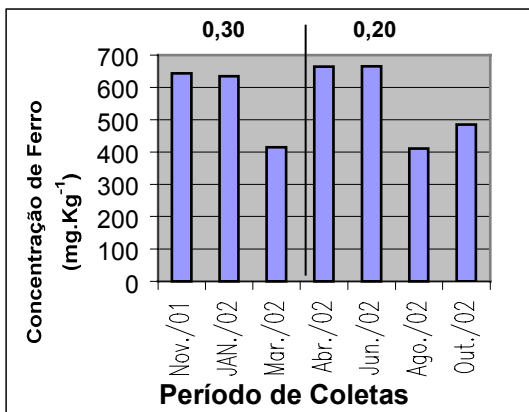


Fig. 193 – Teores de Ferro determinado na gramínea, na distância de 40m

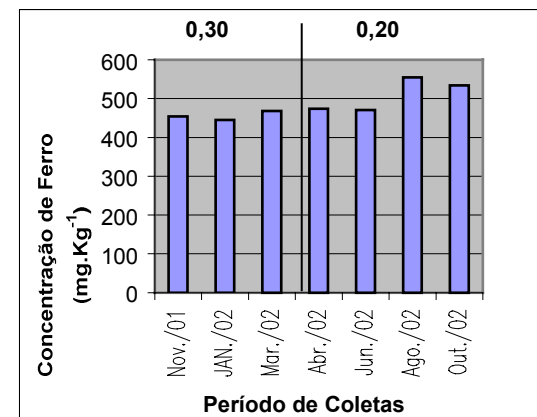


Fig. 194 – Teores de Metal total de Ferro determinado no solo, na distância de 40m

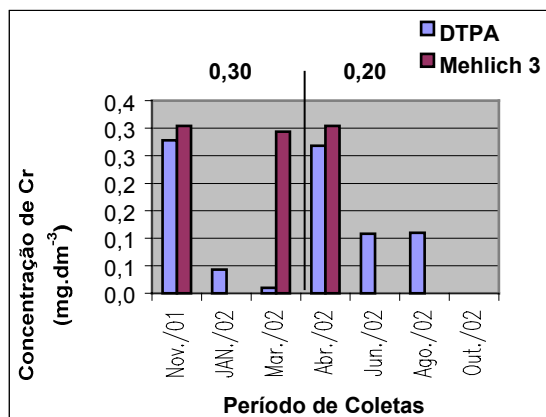


Fig. 195 – Teores de Cromo determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 40m

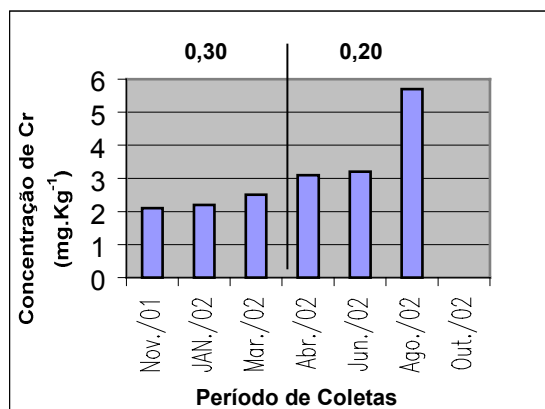


Fig. 196 – Teores de Cromo determinado na gramínea, na distância de 40m

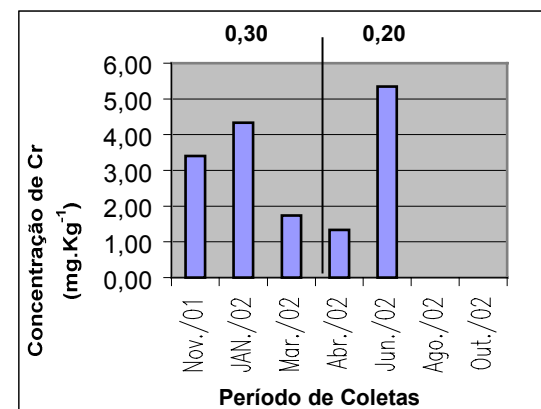


Fig. 197 – Teores de Metal total de Cromo determinado no solo, na distância de 40m

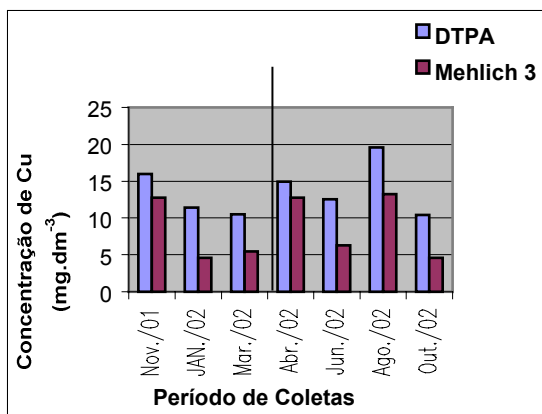


Fig. 198 – Teores de Cobre determinado no solo utilizando Extratores DTPA e M-3, na distância de 40m

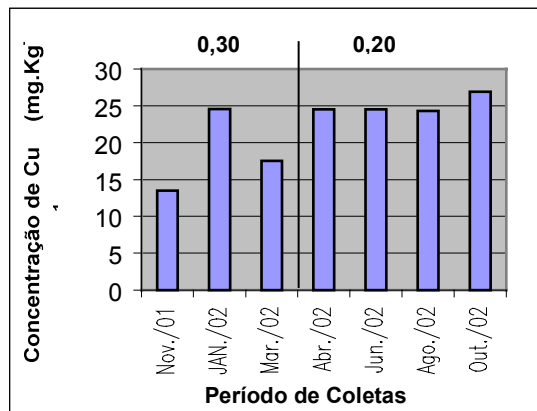


Fig. 199 – Teores de Cobre determinado na graminéa, na distância de 40m

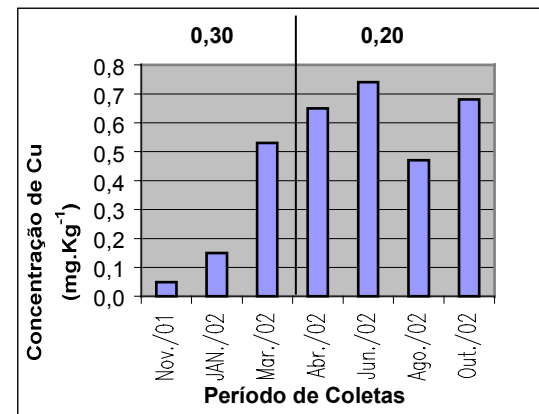


Fig. 200 – Teores de Metal de Cobre determinado no solo, na distância de 40m

6 CONCLUSÕES

Dentre os inúmeros resultados avaliados, foram obtidos as seguintes conclusões:

Os valores de DQO na entrada teve variações e na saída se manteve constante nas taxa de aplicação $0,30\text{m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-1}$ e $0,20\text{ m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-1}$, ocorreu variações no sistema no período de chuvas onde acarretou diluição dos despejos. Teve uma média total na entrada de $776,03\text{ mgO}_2.\text{L}^{-1}$ e na saída de $199,36\text{mgO}_2.\text{L}^{-1}$, conforme a Tabela 53 no Apêndice na pág. 191.

Em relação à Alcalinidade, as concentrações encontradas determinaram uma boa capacidade de tamponamento do sistema. No caso da diminuição dos valores da alcalinidade na entrada e saída, pode ter tido como consequência da redução de ácidos orgânicos voláteis que foram metabolizados no sistema de tratamento, compostos estes resultantes do processo anaeróbio utilizado nos reatores que forneceram o afluente ao sistema.

O pH se manteve praticamente constante ao longo da rampa, além de ser um fator importante na remoção de metais pesados e afetar a espécie química do metal, é também um incremento na solubilidade dos elementos.

A temperatura esteve na média de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ o que possibilitou um bom tratamento do esgoto na rampa de escoamento superficial e ótimo crescimento da gramínea.

A característica do esgoto que foi tratado na rampa não teve alteração em relação aos valores obtidos para sólidos suspensos totais, fixos e voláteis.

O sistema teve uma Eficiência de remoção de sólidos suspensos, conforme tabela 55 no Apêndice na pág. 192, cujos valores foram de : 60,89% SST, 37,08% SSF e 64,93% SSV.

Lisímetros, afluentes, efluentes. Ao longo da rampa e efluente final.

No período de chuvas houve aumento de lixiviação de metal (Nov/01. à Jan/02) em Março/02 teve um aumento da concentração dos metais por dois motivos: fim do período de chuvas e o acúmulo de metais.

O resultado obtido para a concentração de metal no Afluente e Efluente e em todas profundidades nas devidas distâncias encontra-se dentro dos limites estabelecidos pelo CONAMA 20. Os metais que obedeceram estes limites foram: Cd, Cr, Ni, Zn e Fe. Com exceção de Pb e Cu, que excederam os limites estabelecidos.

Devemos ressaltar que neste estudo somente foi quantificado a concentração do metal (mg.L^{-1}) e não o fluxo de massa (mg.h^{-1}).

Gramínea

Nos primeiros 10 a 20m houve um aumento na concentração dos metais e baixa concentração de metais nos 30 e 40m, esta tendência se manteve até o final do período em estudo.

A mudança de taxa de aplicação não houve interferência na concentração de metal na biomassa.

O acúmulo de metal no solo teve influência no aumento da concentração de metais pesados na biomassa.

Solo

Houve influência do extrator em análise, sendo quem predominou foi o DTPA em Cd, Ni, Fe e Cu.

O Mehlich-3 neste estudo foi de melhor extrator para o Zn, Cr e Pb em todas as distâncias, com exceção do Chumbo na distância de 40m onde houve uma predominância de DTPA .

O período de chuvas teve influência na concentração dos metais pesados.

Existiu a ocorrência de acúmulo de metais pesados ao longo do tempo.

A taxa de aplicação também teve influência na quantificação de metais, a taxa de aplicação de $0,20\text{m}^3.\text{h}^{-1}\text{m}^{-1}$ foi a que melhor apresentou remoção de metais pesados.

Metal Total

Os maiores acúmulos de metais foram no início da rampa de escoamento superficial e conseqüentemente uma maior concentração de metais.

As taxas não influenciaram nos valores máximos de metal, porém a taxa de aplicação de $0,20\text{ m}^3.\text{h}^{-1}.\text{m}^{-1}$ produziu uma velocidade menor de acúmulo de metal.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

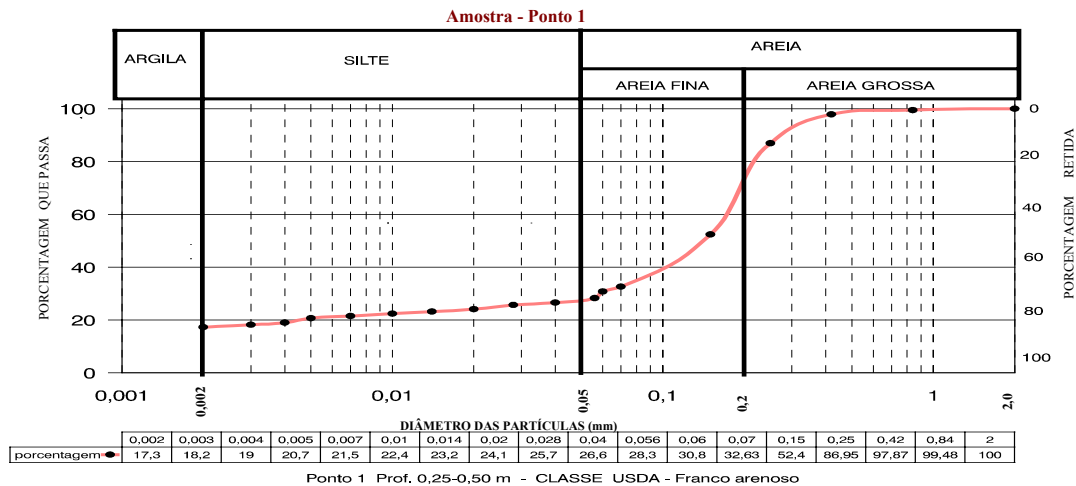
Tratamentos por disposição no solo, por se tratarem-se de sistemas em que o país apresenta pouca experiência em seu uso, carecem de mais estudos, como, por exemplo, pesquisas com maiores taxa de aplicação, estudos de viabilidade econômica, a fim de baratear o seu custo de implantação, diminuindo assim a relação custo por volume de efluente tratado.

A contribuição do ponto de vista sanitário e ambiental, será na utilização de um sistema de fácil construção e operação, possuindo baixo custo e, portanto acessível às comunidades que tenham limitações orçamentárias.

Nos próximos trabalhos o pesquisador utilizar um período menor de tempo no acompanhamento dos metais, verificar o que está acontecendo com o acúmulo de metais na rampa de escoamento.

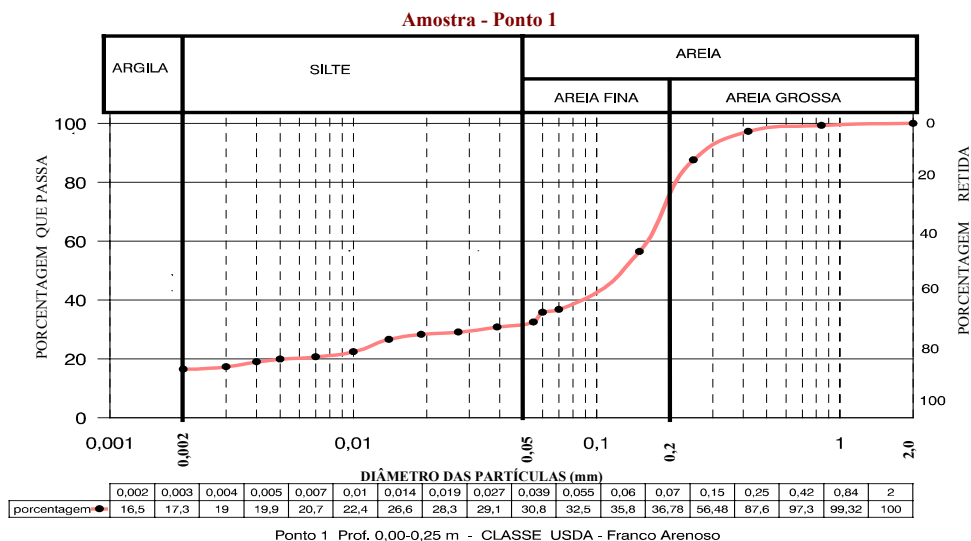
Quantificar o fluxo dos metais ao longo da rampa de escoamento.

Anexos



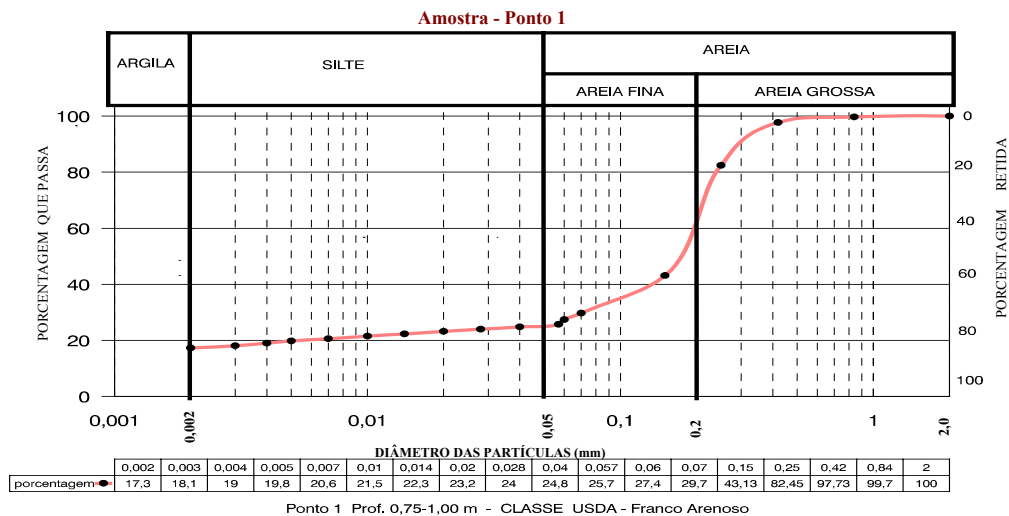
Densidade Real - $2,61 \text{ g/cm}^3$

Fig.201 - Curva característica da água do solo na rampa de escoamento superficial no solo. Afluente proveniente dos filtros anaeróbios – Local ETE Graminha – Limeira –S.P.



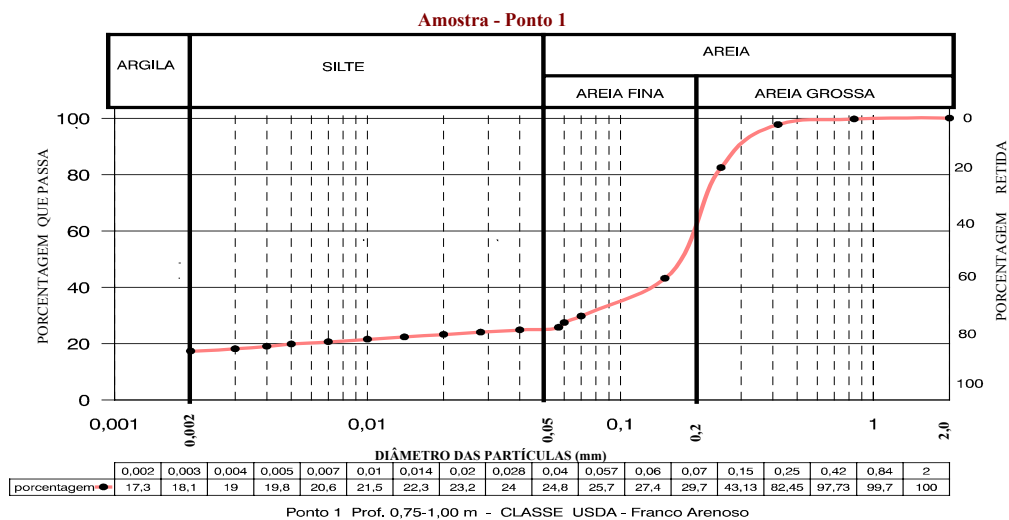
Densidade Real - $2,61 \text{ g/cm}^3$

Fig. 202 - Curva característica da água do solo na rampa de escoamento superficial no solo. Afluente proveniente dos filtros anaeróbios – Local ETE Graminha – Limeira –S.P.



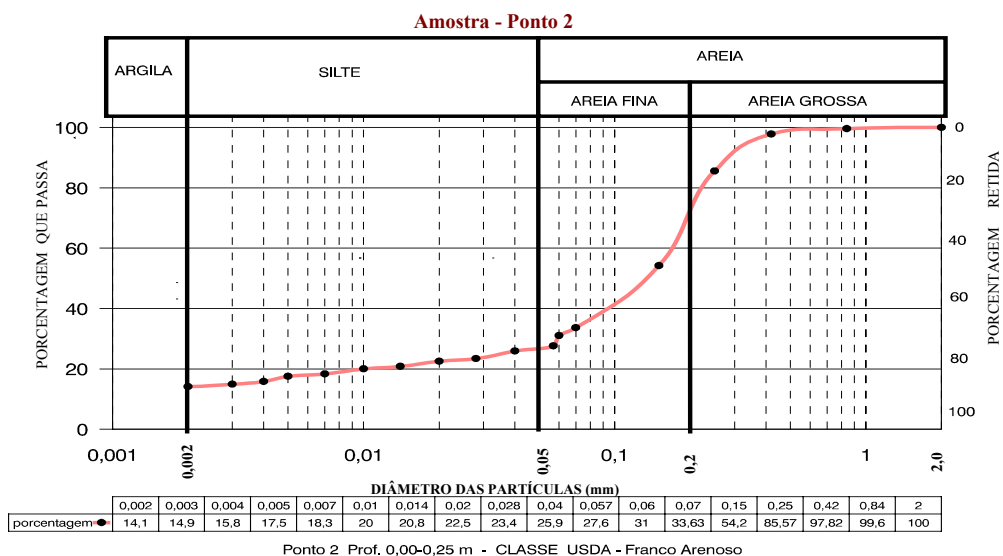
Densidade Real - 2,62 g/cm³

Fig. 203 - Curva característica da água do solo na rampa de escoamento superficial no solo. Afluente proveniente dos filtros anaeróbios – Local ETE Graminha – Limeira –S.P.



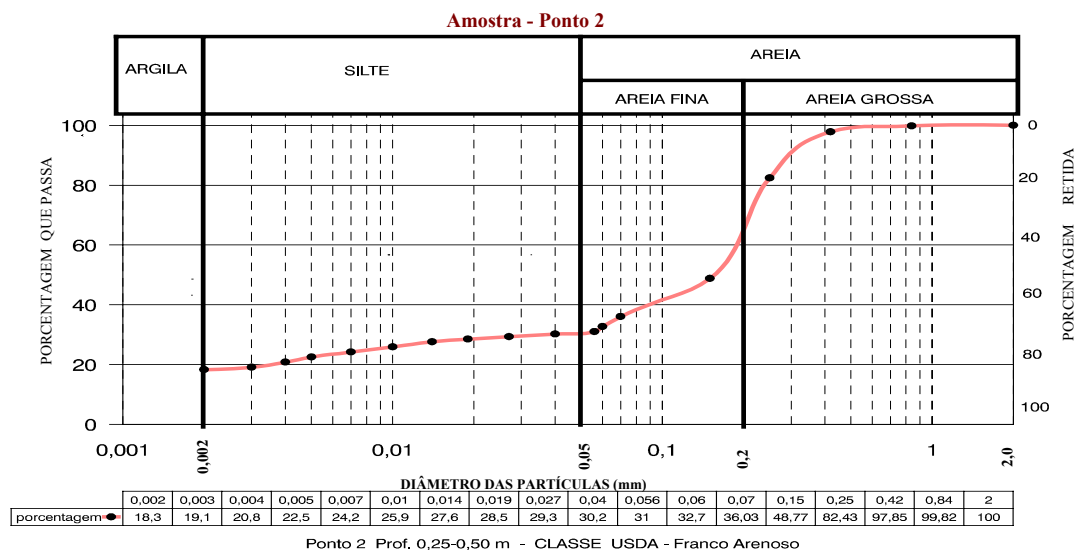
Densidade Real - 2,62 g/cm³

Fig. 204 - Curva característica da água do solo na rampa de escoamento superficial no solo. Afluente proveniente dos filtros anaeróbios – Local ETE Graminha – Limeira –S.P.



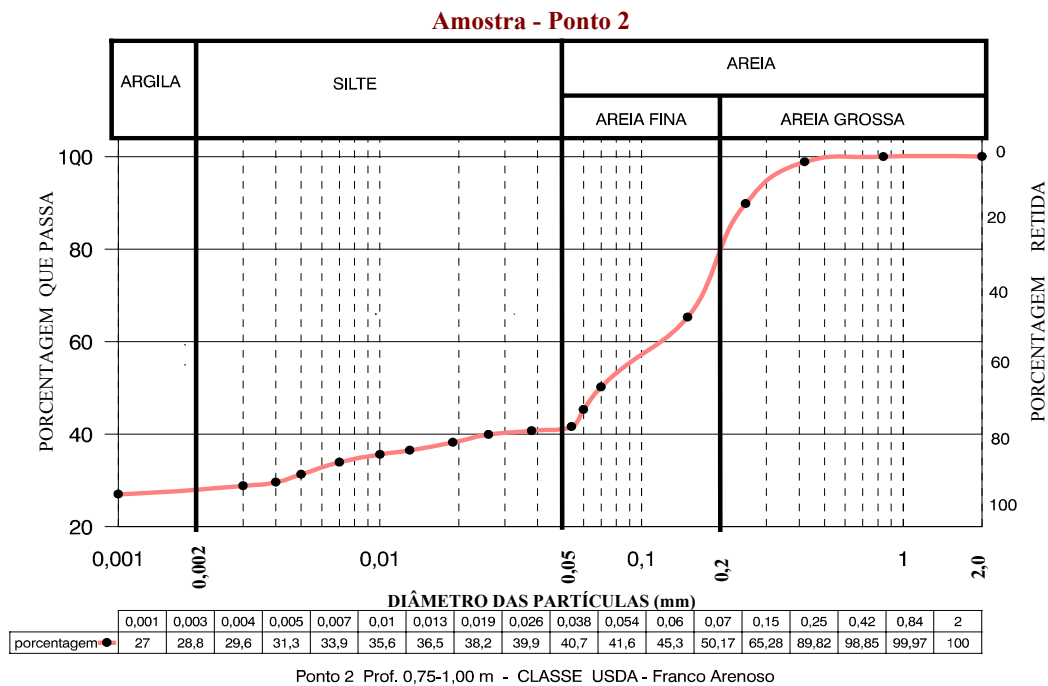
Densidade Real - 2,58 g/cm³

Fig. 205- Curva característica da água do solo na rampa de escoamento superficial no solo. Afluente proveniente dos filtros anaeróbios – Local ETE Graminha – Limeira – S.P.



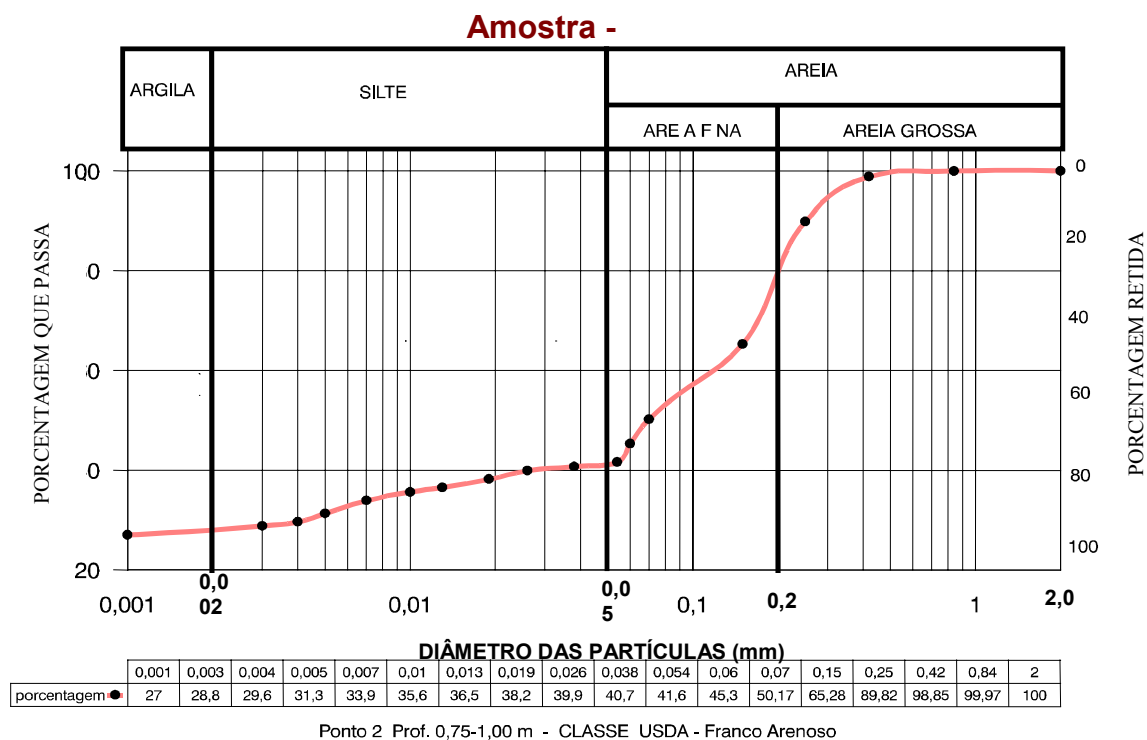
Densidade Real - 2,58 g/cm³

Fig.206 - Curva característica da água do solo na rampa de escoamento superficial no solo. Afluente proveniente dos filtros anaeróbios – Local ETE Graminha – Limeira – S.P.



Densidade Real - $2,54 \text{ g/cm}^3$

Fig. 207- Curva característica da água do solo na rampa de escoamento superficial no solo Afluente proveniente dos filtros anaeróbios – Local ETE Graminha – Limeira –S.P.



Densidade Real - $2,54 \text{ g/cm}^3$

Fig. 208 - Curva característica da água do solo na rampa de escoamento superficial no solo Afluente proveniente dos filtros anaeróbios – Local ETE Graminha – Limeira –S.P.

1- Sistema de microondas para preparo de amostras

Sistemas de digestão com frascos pressurizados são usados com muito sucesso utilizando-se somente ácido nítrico, principalmente para as amostras orgânicas e inclusive amostras inorgânicas, com a possibilidade de se usar até 14 bombas de digestão simultaneamente, sistemas de digestão de amostras que empregam as chamadas microondas focalizadas, conforme fig.210, possibilitam um grande número de aplicações interessantes.

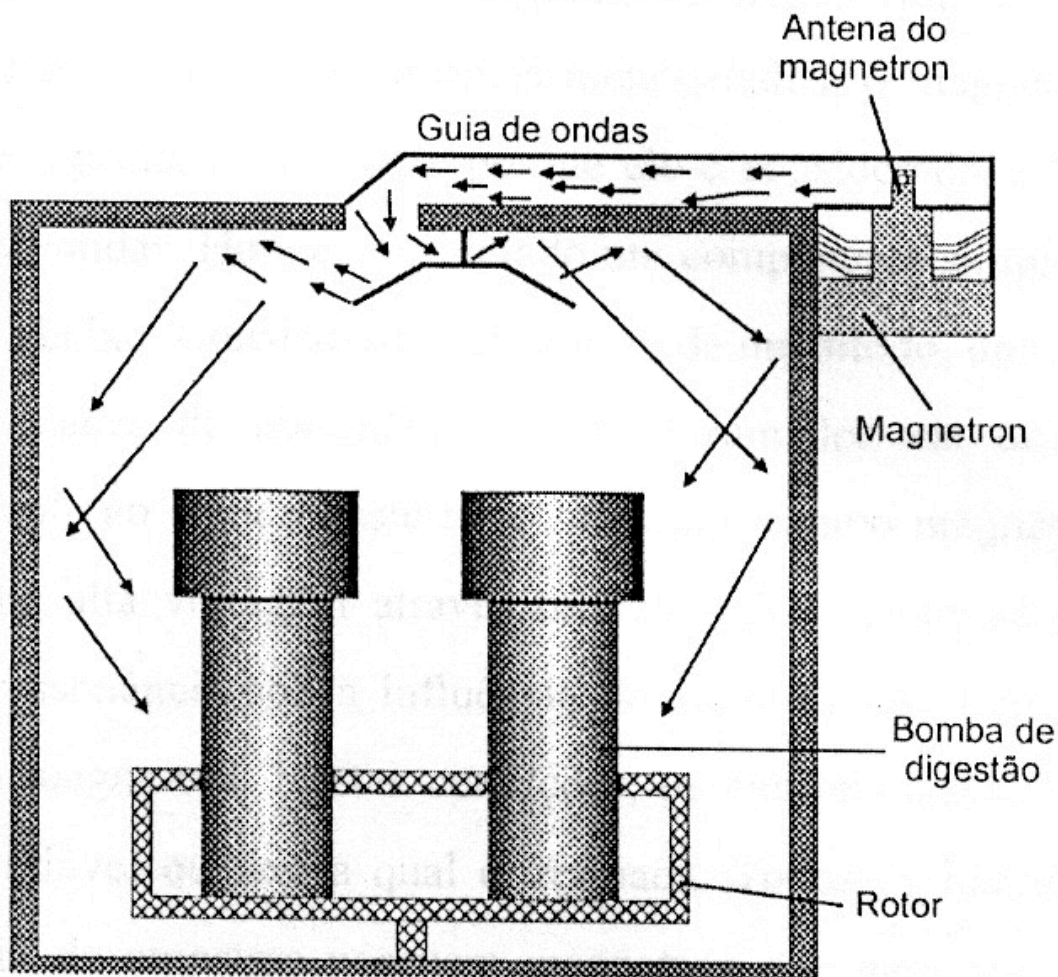


Fig. 209 - Vista em corte de um forno de microondas

Fonte: Adaptada do III workshop sobre preparo da amostras UFScar, 2000

Para fins analíticos, a escolha do melhor forno de microondas deve levar em consideração os frascos de digestão oferecidos (desenho, capacidade, durabilidade e custo), os sensores de temperatura e de pressão (custo, durabilidade e tempo de resposta), os programas para o controle e aquisição de dados, a opção para secagem dos digeridos, e os dispositivos de segurança.

Sistemas com Microondas Focalizadas

As digestões são feitas em frascos adequadamente “fechados a pressão atmosférica. Estes frascos têm a forma de um tubo com 30 a 40 cm de altura e 2 a 4 cm de diâmetro, e serão denominados “tubos de digestão” neste texto. Os tubos são feitos de quartzo, vidro borossilicato ou TeflonTM(é marca registrada da “DuPont”) , com capacidade para 50 , 100 ou 250 mL. No passado, e mesmo atualmente, estes tubos tem recebido a denominação de tubos “abertos”. Na realidade, esses tubos de digestão possuem um dispositivo que é adaptado na sua extremidade superior, construído de forma a restringir contaminação pelo ar externo, possuindo entrada para adição contínua ou intermitente de reagentes, e proporcionando o refluxo do(s) vapor(es) do(s) solvente e do(s) ácido(s), de modo a aproveitar ao máximo a capacidade de digestão e minimizar as perdas de reagentes. As operações são realizadas com segurança nos equipamentos modernos, tomadas as precauções recomendadas pelo fabricantes.

No primeiro equipamento com microondas focalizadas projetado em 1986, um único tubo de digestão era colocado diretamente na guia de ondas logo após o magnetron, de tal forma que somente a região do tubo contendo a amostra ficasse exposta ao feixe de microondas. Como o restante do tubo permanece mais frio, cria-se uma região para condensação e refluxo, minimizando perdas de ácidos e de analíticos por volatilização. Os equipamentos modernos de digestão com microondas focalizadas oferecem a possibilidade de se trabalhar simultaneamente com até 6 amostras diferentes com um único guia de ondas, simultaneamente com 4 tubos utilizando

1 magnetron independente por tubo, e seqüencialmente com tubos posicionados em um carrossel contendo amostras de diferentes composições químicas, passando um tubo de cada vez pelo guia de ondas. Como os tubos são abertos, com entrada para diferentes reagentes, é possível fazer um programa de digestão diferente e totalmente independente para cada amostra. A potência das microondas focalizadas varia de 200 a 300 W para cada tubo de digestão. Nesse caso, cumpre lembrar que as microondas estão confinadas em um guia com dimensões reduzidas (109,22 x 54,61 mm ou 86,36 x 43,18 mm de acordo com a IEC-International Electrotechnological Commission).

O tratamento de amostras para a dissolução mediante o aquecimento com microondas tem demonstrado ser um processo mais rápido, eficiente e seguro em comparação ao aquecimento convencional. Além disso, o uso de recipientes fechados durante o tratamento com microondas minimiza as possibilidades de contaminação das amostras e diminui o número de reagentes necessários para converter a amostra em uma solução, tornando-a adequada para a determinação dos analíticos de interesse.

Uma grande variedade de amostras desde fluidos biológicos até materiais para catalisadores, passando por amostras de interesse geológico, metalúrgico, águas residuais, efluentes industriais, alimentos, polímeros, já foram testadas em sistemas assistidos por microondas. Coletânea de métodos é oferecida pela maioria dos fabricantes desses sistemas.

Não obstante, convém lembrar que os conhecimentos sobre os fundamentos clássicos dos métodos de digestão são decisivos para o sucesso das reações químicas assistidas por microondas.

A existência no mercado de um grande número de fabricantes de fornos de microondas desenhados especificamente para uso em laboratório, é uma indicação do sucesso da preparação de amostras assistida por microondas. Os equipamentos foram e vêm sendo constantemente aperfeiçoados, permitindo que se realizem as digestões com eficiência, rapidez e segurança. Em futuro próximo sistemas de análise em fluxo contínuo deverão estar disponíveis comercialmente. O mesmo se espera de fornos de microondas com capacidade para um número muito maior de bombas de digestão (provavelmente minifrascos), tornando seu emprego mais competitivo com blocos digestores com aquecimento convencional.

Medidas de Segurança no uso de Microondas

Uma das primeiras considerações a se ter quando se usam radiações é certificar-se de que as mesmas se encontram contidas em um espaço fechado.

Em relação ao forno, seu desenho é pensado de tal forma a garantir que não haja vazamento de radiação. Cada sistema possui sistemas de segurança que não permitem o funcionamento do magnetron quando não existem condições mínimas de segurança neste aspecto.

Assim, é importante que se reflita sobre a adequação de fornos domésticos para uso em laboratório, certificando-se de que as modificações feitas não constituem possíveis causas de vazamento de radiação. Qualquer indicio de corrosão pode significar um alto nível de vazamento de radiação.

Com respeito ao uso de recipientes fechados para a digestão de amostras, deve-se ter a precaução de evitar superaquecimento e pressões elevadas que possam causar rupturas do recipiente com as conseqüentes possibilidades de danos ao equipamento e riscos físicos ao analista.

Quando ocorrer explosão do recipiente e/ou derrame de líquidos corrosivos no interior do forno, deve-se fazer uma investigação nos sistemas de segurança.

Em caso de acidentes, o mais importante, obviamente, é a integridade física do analista.

2- ANÁLISE GRANULOMÉTRICA CONJUNTA

A análise granulométrica conjunta neste experimento foi utilizada as análises de rotina do laboratório de hidrologia do departamento de Hidráulica da faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP é composta de duas fases de ensaio que são: Peneiramento e Sedimentação. A determinação de

classes texturiais foi feita usando o triângulo USDA, onde os resultados analisados estão nas Figuras 201 a 208 nas pág. 150 a 153 no Apêndice.

A primeira consiste no peneiramento do solo através de uma série de peneiras empilhadas em ordem crescente de abertura das malhas. Estas aberturas representarão o diâmetro das partículas do solo, por definição. O peneiramento é efetuado para a fração do solo de granulometria mais grossa, isto é, aquela retida na peneira n.º 200 (abertura 0,074 mm).

A Sedimentação é baseada na equação de Stokes a qual descreve a velocidade de queda livre de esferas em um meio fluido (água, ar, etc...). Nesta fase, o diâmetro das partículas será definido como sendo o diâmetro de esferas de mesma densidade e mesma velocidade de sedimentação que aquelas partículas.

O ensaio de sedimentação é efetuado sobre a fração de finos do solo cujas partículas passam através da peneira n.º 200.

A análise granulométrica é utilizada na identificação e classificação do solo, segundo os vários sistemas de classificação existentes, na determinação aproximada da permeabilidade e da capilaridade em solos arenosos e siltosos, em projetos de filtros invertidos para barragens, em drenagem de estradas, etc...

O procedimento de ensaio da análise conjunta depende do tipo de solo utilizado. Se o solo for constituído em sua maior parte de grãos grossos, que não passam através da peneira n.º 200, então, apenas o ensaio de peneiramento será efetuado. Para aqueles solos constituídos quase que apenas de finos (passando na peneira n.º 200), recomenda-se somente a realização do ensaio de sedimentação.

A análise conjunta (peneiramento + sedimentação) será apenas utilizada em solos que apresentarem mais que 5% de seus grãos passando na peneira n.º 200.

PENEIRAMENTO

Equipamentos:

Conjunto de peneiras (tabela 1);

Agitador de peneiras;

Escova (para limpeza das peneiras);

Desterroador (al mofari z e pilão) ;

Balança com precisão de 0,1 g ;

Procedimentos :

1. Pesar exatamente 500 g de solo seco em estufa a 60 °C. Verificar a representatividade desta amostra, e utilizar cortador de solo, se necessário. No caso de peneiramento com lavagem, este processo poderá ser acelerado se o solo for primeiramente pulverizado, seco e peneirado através da peneira n°. 200, eliminando-se em seguida a fração que passa nesta peneira.

2. Se a amostra, após a inspeção visual, contiver apreciável quantidade de solos grossos (areia), e baixa de finos (silte e argila), a fase de lavagem poderá ser omitida, e o prosseguimento do ensaio será efetuado a partir da etapa 4. Caso contrário, lavar a amostra retida na peneira n°. 200 através de sua malha, até que a água de lavagem flua cristalina. Tomar cuidado para não danificar a peneira ou perder nenhum solo de granulometria grossa durante a lavagem.

3. Cuidadosamente retirar a fração de solos retidos na peneira n° 200, utilizando, se necessário, bisnaga para lavar a malha no sentido contrário do peneiramento, transferindo todo o material retido para uma larga tigela. Deixar o solo sedimentar no

fundo da tigela e retirar, com auxílio de bisnaga, a máxima quantidade de água possível, sem remover os grãos do solo.

4. Após secagem, pesar o solo, e peneirá-lo através de um conjunto de peneiras dispostas em série conforme a Tabela 6. No caso de peneiramento sem lavagem, a amostra original será diretamente peneirada pela série de peneiras da Tabela 6. As peneiras serão empilhadas em ordem crescente de abertura das malhas conforme segue:

Se for observada a presença de pedregulhos de pequeno diâmetro no solo, serão adicionadas ao conjunto as peneiras de abertura de 12,7 mm e 6,35 mm.

Tabela 14 -Série de peneiras da Bureau of Standard

Nº da peneira Tampa	Abertura, mm
4	4,760
10	2,000
20	0,8400
40	0,420
60	0,250
100	0,149
200	0,074
Prato	-

Procedimentos de análises de granulometria conjunta:

1. Colocar o conjunto de peneiras em um agitador mecânico por 5 a 10 minutos, dependendo da granulometria e da quantidade do material.
2. Retirar o conjunto do agitador, e pesar o material retido em: cada peneira. Somar os pesos retidos e comparar com o peso original da amostra obtida no início do ensaio, ou na etapa 4, quando houver lavagem.

Se houver perda de material maior que 2% durante o peneiramento, o ensaio deverá ser repetido.

3. Determinar a porcentagem retida em cada peneira dividindo o peso retido pelo peso original da amostra.
4. Determinar a porcentagem que passa começando de 100% e subtraindo as porcentagens retidas em cada peneira em um processo acumulativo.
5. Traçar a curva granulométrica (diâmetro dos grãos x porcentagem que passa) do solo determinado a partir dela os seguintes parâmetros:

Se menos de 12% de solo passa através da peneira N° 200, determinar U (Coeficiente de Uniformidade) e C (Coeficiente de Concavidade) em que:

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, NB-570. Projeto de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário. 1990.

ABREU, F. M. de, Curso Prático: **Especiação Iônica de Nutrientes e de Metais Pesados em Soluções Aquosas**. Instituto Agrônomo de Campinas, 2000.

ALLOWAY, B.J. **Heavy Metal in Soil**. Glasgow : Chapman & Hall, 1990. 339 p.

ALLOWAY, B.J. AYRES, D.C., **Chemical principles of environmental pollution**. Glasgow: Blackie Academic & Professional. 1993. 291p.

ANDRADE NETO, C. O uso de esgoto sanitário e efluente tratados na irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9, 1991, Natal, RGN; CONIRD, 1991. p.1961-2006.

ANDREOLI, C.V., PEGORINI, E.S. **Gestão de Bioossólidos: Situação e perspectivas**. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIOSSÓLIDOS DO MERCOSUL.1., Curitiba, 1998. **Anais**. Curitiba: SANEPAR/ABES, 1998. p.11-18.

ARAÚJO, G.C. **Avaliação do Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores UASB através de um Sistema de Aplicação Superficial de Esgotos no Solo**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Sanitária e ambiental, UFMG. Belo Horizonte, 1998.

AWWA/APHS/WEF. - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th. ed., **American Public Health Association**, New York, 1995.

BAKER, D.E. Cooper. In: ALLOWAY, B.J. **Heavy Metal in Soil**. Glasgow : Chapman & Hall, Cap.8, p.151-176, 1990.

BATAGLIA, O.C.; RAIJ, B. van. Eficiência de extratores de micronutrientes na análise de solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.13, p.205-212, 1989.

BRASIL. Leis, decretos, etc... Portaria n° 1469, de 29 de dezembro de 2000. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância de qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade e dá outras providências. **Diário Oficial** [da Republica Federativa do Brasil], Brasília n. 14E, 19 Jan. 2001. Seção 1.

BERTON, R.S. Curso Prático: **Especiação Iônica de Nutrientes e de Metais Pesados em Soluções Aquosas**. Instituto Agrônomo de Campinas, 2000.

CAMPBELL, P.G. **Interactions between trace metal and aquatic organism: A critique of ionfree activity model**. In TESSIER, A.; TURNER, D.R.; ed. Metal speciation and bioavailability in aquatic systems. New York: John Wiley, 1995. p.45-102.

CAMPOS, J.R. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo** – Rio de Janeiro: ABES, 1999 464p. – **Projeto PROSAB**

COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. Criteria (dose/effects relationships) for cadmium. Oxford, Pergamon Press, 1978. apud WORLD HEALTH ORGANIZATION Guidelines for drinking-water quality: health criteria and other supporting information. Geneva, World Health Organization, v.2, 1984.

CORAUCCI FILHO, B. **Tratamento de Esgotos Domésticos no Solo pelo Método do Escoamento Superficial**. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica, USP. São Paulo, 1991.

CORAUCCI FILHO, B; FIGUEIREDO, R.F. DE; VIEIRA, D.B. et al. **Avaliação da Qualidade Sanitária da Água Infiltrada no Solo localizado em Área de Despejo de Efluentes da Indústria Cítrica**. 18° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Foz do Iguaçu, PR, CD-Rom, p. 156-164, 14 a 19 de setembro de 1997.

CHERNICHARO, C.A.L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Vol.5. Reatores Anaeróbios. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG. São Paulo, 246p. 1997.

DANG, Y.P.; CHHABRA, R.; VERMA, K.S. Effect of Cd, Ni, Pb and Zn on growth and Chemical composition of onion and fenugreek. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, v.21, n.9-10, p.717-735, 1990.

DAVIES B.E. Lead: In: ALLOWAY, B.J., ed. *Heavy metals in soils*. New York, John Wiley, 1990. Cap.9, p.177-196.

DEPLEDGE, M.H. et al. Heavy Metals. In: **Handbook of Ecotoxicology**. Sheffield-UK: Blackwell Science. 1994. cap 5.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – (EMBRAPA). **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. Brasília, DF. 1999.

EPA-ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USA) – **Method 3050B-Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils** – Revision 2 –December 1996 – Disponível: site URL: www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/sw846.htm

FONSECA, S.P.P.; SOARES, A.A.; CHERNICHARO, L.A.C. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27, 2000, Porto Alegre.

FLORENCE, T.M. The especiation of elements in water. *Talanta*, v.29, p.345, 1982.

FOSTNER, U.; WITTMANN, G.T.W. *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. 2.ed New York, Springer-Verlag, 1983.

GOMES, F.P. 1987. **Curso de Estatística Experimental**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. 12ª edição. Piracicaba, 467p.

GREENPEACE, Metais pesados – Contaminando a vida. Capturado em 12 de Janeiro de 2002. Online. Disponível na Internet: www.greenpeace.org.br/toxicos/metais.asp

GUIDELINES FOR CANADIAN DRINKING WATER QUALITY, 1978. Quebec, Ministry of Supply and Services, 1979 (supporting documentation) apud WORLD HEALTH ORGANIZATION Guidelines for drinking-water quality: health criteria and other supporting information. Geneva, World Health Organization, v.2, 1984.

HIATT, V.; JUFF, J.E. The environmental impact of cadmium: an overview. **International Journal of environmental studies**, v.7, p.277, 1975 apud **WORLD HEALTH ORGANIZATION** Guidelines for drinking-water quality: health criteria and other supporting information. Geneva, World Health Organization, v.2, 1984.

HUTTON, M. **Cadmium in the European Community**, MARC Rep. No.2, MARC London, 1982 apud **ALLOWAY, B.J.** Cadmium. In: Heavy metal in soils. New York, John Wiley, 1990. Cap.6, p.100-124.

JACINTHO, A.O.; CATANI, R.A.; PIZZINATO, A. Determinação do teor total e do teor solúvel, em diversas soluções, do cobre do solo. Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, p.99-117, 1969.

KAULFMAN, D.B. et al. Acute potassium dichromate poisoning in man. American Journal of diseases of children, v.119, p.374, 1970 apud **WORLD HEALTH ORGANIZATION** Guidelines for drinking-water quality: health criteria and other supporting information. Geneva, World Health Organization, v.2, 1984.

KIEKENS, L. Zinc. In: **ALLOWAY, B.J. Heavy Metal in Soil**. Glasgow : Chapman & Hall, cap. 13, p.261-279, 1990.

KIEKENS, L.; COTTENIE, A. Principles of investigation on the mobility and plant uptake of heavy metals In: LESCHBER, R.; DAVIES, R.D., L'HERMITE, P. Chemical methods for assessing bioavailability metals in sludge and soils. London: Elsevier, 96p., 1985.

KING, L.D.; HAJJAR, L.H. The residual effect of sewage sludge on heavy metal content of tobacco and peanut. Journal of Environmental Quality, v.19, n.4, p.738-748, 1990.

KLUSENER FILHO , L.C. Pós tratamento de efluente de filtro anaeróbio utilizando o método de escoamento superficial no solo : Avaliação de taxas de aplicação. Campinas: 2001. 135p.

Dissertação de Mestrado Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas.

KRUZIC, A.P. Natural Treatment and on Site Processes. **Water Environment Research**, v.69, n. 4, p 522-526, 1997.

LATTERELL, J.J.; DOWDY, R.H.; LARSON, N.E. Correlation of extractable metals and uptake of snap beans grown on soil amended with sewage sludge. *Journal of Environmental Quality*, v.7, n.3, p.435-440, 1978.

LESCHBER, R.; DAVIES, R.D., L'HERMITE, P. Chemical methods for assessing bioavailability metals in sludge and soils. London: Elsevier, 96p., 1985.

LESTER, J.N. Heavy Metals in **Wastewater** and Sludge **Treatment** Process. Flórida, **CRC** Press, 1987

LESTER, J.N. Significance and behavior of heavy metals in wastewater treatment process. I. Sewage treatment and effluent discharge. *The Science of the total Environment*, v.30, p.45-83, 1983.

LINDSAY, W.L.; NORVELL, W.A. Development of a DTPA Test for Zinc, Iron, Manganese and Cooper. **Soil Science Society of America Journal**, v. 42, p. 421-428, 1978.

MANAHAN, S.E. Environmental Chemistry, 4.ed. Missouri, Lewis, 1990.

MATTIAZZO-PREZOTTO, ME, Comportamento de Cu, Cd, Cr, Ni e Zn adicionados a solos de clima tropical em diferentes valores de pH. Piracicaba. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 163p, 1994.

MATTIAZZO-PREZOTTO, M.E. **Química Ambiental e Agronomia** . In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., Piracicaba (SP), 1992. **Anais...**, Piracicaba, SBCS, 1992, 157-178.

MATTIAZZO-PREZOTTO, M.E.; CRUZ, M. C. P. da; BERTON, R.S. **Disponibilidade e avaliação de metais pesados potencialmente tóxicos.** In: FERREIRA, M.E., ed. Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal, 1999. (no prelo).

McGRATH, S.P.; SMITH, S. Chromium. In: ALLOWAY, B.J. **Heavy Metal in Soil.** Glasgow : Chapman & Hall, Cap.7, p.125-150, 1990.

McGRATH, S.P.; SMITH, S. Nickel. In: ALLOWAY, B.J. **Heavy Metal in Soil.** Glasgow : Chapman & Hall, Cap.7, p.125-150, 1990.

MEHLICH, A Mehlich 3 Soil Tesy Extractant: a Modification of Mehlich 2 Extractant. **Communications in Soil Science and Plan Analysis**, v. 15, n:12, p.1409-1416, 1984.

METCALF & EDDY. Wastewater Engennering: Treatment, Disposal and Reuse. Ed. 3, 1334p, 1991.

MOORE, J.W.; RAMOMOORTHY, S. Heavy metals in natural waters. New York, Springer-Verlag, 1984.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Chromium. Washington, DC, National Academy of Sciences, 1974 apud WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for drinking-water quality: health criteria and other supporting information. Geneva, World Health Organization, v.2, 1984.

NETTO, J.M. DE A. Tratamento de Águas Residuárias. Objetivos. Extensão do Tratamento. Classificação dos Processos Biológicos. Esquemas de Instalações Depuradoras. Sistemas de Esgotos Sanitários. São Paulo, CETESB, 467p, 1977.

NOUR, E. A. A. **Tratamento do Efluente de uma Industria Cítrica pelo Método de Escoamento Superficial no Solo.** Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP. Campinas , 1990.

ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD-OMS. Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Genebra: 1989. 93p. (Série de Informes Técnicos, 778).

OVERCASH, M.R.; COVIL, D.M.; GILLIAM, J.W.; WESTERMAN, P.W. and HUMENIK, F.J. **Overland flow pretreatment of poultry manure**. Journal Environmental Engineering Division, v. 104, n. 2, p339-350, 1978.

OVERMAN, A.R.; WOLFE, D.W. **Overland flow treatment of wastewater at Florida State Prison**. Journal of Water Pollution Control Federation, v. 58, n. 9, p903-910, 1986.

OLIVEIRA, C. F. **Disposição de Lodo de Esgoto e Composto de Lixo Urbano num Latossolo Vermelho-Amarelo Cultivado com Cana-de-Açúcar**. USP. 2000. vol.I 240p. Tese (doutorado – ESALQ). 2000.

PAGANINI, W.S. **Disposição de Esgotos no Solo (escoamento à superfície)**. Fundo editorial da AESABESP, São Paulo, 232p., 1995.

PANSANI, Alexandre. Adequação de Lisímetro de Sucção para Monitoração de Água do Solo em Saneamento. Campinas: 2001. 165p. Dissertação de Mestrado Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas.

PARKER, D.R.; NORWELL, W.A.; CHANEY, R.L. **GEOCHEM-PC: A chemical especiation program for IBM and compatible personal computers**. In: LOEPPERT, R. H., ed. Soil chemical equilibria and reaction models. Madison: Soil Science Society of America, 1995. P253-269.(SSSA Special Publication, 42).

PARIZEK, R. R.; LANE, B. E. Soil water sampling using pan and pressure-vacuum lysimeters. **J. Hydrol.**, vol. 11, pag. 1 – 21, 1970.

REED, S.T.; MARTENS, D.C. Copper and Zinc. In: SPARKS, D.L. (Ed.) Methods of Soil Analysis: Chemical Methods. Part 3. Madison: American Society of Agronomy / Soil Science Society of America, cap.26, p.703-722, 1996.

RIBEIRO, A.C.; TUCUNANGO SARAIBA, W.A. Avaliação de extratores para zinco e boro disponíveis em latossolos do triângulo mineiro. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.8, p.85-89, 1984.

ROCA, J.; POMARES, F. Prediction of available heavy metals by six chemical extractants in sewage sludge-amended soil. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, v.22, n.19-20, p.2129-2136, 1991.

SANDSTEAD, H.H. Nutrient: interactions with toxic elements. In: GOYER, R.A.; MEHLAM, M.A. *Toxicology of trace elements*. Vol.2, New York, John Wiley & Sons, p.241, 1977 apud LESTER, J.N. *Heavy metals in wastewater and sludge treatment process*. Flórida, CRC Press, 1987.

SKOOG, D.A. e LEARY, J.J. 1992. **Principles of Instrumental Analysis**. 4ª edição. Harcourt Brace College Publishers. Nova York(EUA) 700p.

SMITH, K.A.. Manganese. In: ALLOWAY, B.J. **Heavy Metal in Soil**. Glasgow : Chapman & Hall, cap. 10, p.197-221, 1990.

SMITH, R.G., SCHROEDER E.D. **Field studies of overland flow process for the treatment of raw and primary treated municipal wastewater**. *Journal of water Pollution Control Federation*, v. 57, n. 7, p785-794, 1985.

SINGH, B.R.; NARWAL, R.P. Plant availability of heavy metals in a sludge-treated soil: II. Metal extractability compared with plant metal uptake. *Journal of Environmental Quality*, v.13, n.3, p.344-349, 1984.

STONARD, M.D.; WEBB, M. Influence of dietary cadmium on the distribution of the essential metals copper, zinc and iron on the tissues of the rat. *Chem. Biol. Interact.*, v. 15, p.349, 1976 apud LESTER, J.N. *Heavy Metals in Wastewater and Sludge Treatment Process*. Flórida, CRC Press, 1987.

TEDESCO, J.M.; WOLKWEISS, S.J. & BOHNEN, H. **Análises de Solo, Plantas e outros Materiais**, Porto Alegre, UFRGS, 1995. 174p. (UFRGS- Depto. De Solos. Boletim Técnico nº 5).

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Process Design Manual: Land Treatment of Municipal Wastewater. Technology Transfer**. Cincinnati. 1981.

VOGEL, A. Análise Inorgânica Quantitativa. ed. 4, p131, p421- 426, p 520, p602, 1981.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for drinking-water quality: health criteria and other supporting information. Geneva, World Health Organization, v.2, 1984.

WAGNER, G. H. use of porous cup soil water samples with volume control. **Soil. Sci. Soc. Am. J.**, vol. 10, pag. 379 – 386, 1962.

WEAR, J.I.; SOMMER, L. Acid-extractable zinc of soils in relation to the occurrence of zinc-deficiency symptoms in corn: A method of analysis. Soil Science Society of America Proceedings, v.12, p.143-144, 1948.

VAN-LOON, J.C. Selected methods of trace metal analysis: biological and environmental samples. New York: John Wiley & Sons, 1985. p.289-291.

ZUCCOLO, A.C.F.; TERADA, M. **Tratamento de esgotos domésticos por disposição no solo com utilização de gramíneas.** Revista DAE, v. 45, n. 142, p249-254, 1985.

Abstract

Souza, Edmar Santos de. Method of Superficial Draining in the Ground (overland flow): removal and Biodisponibility of heavy Metal in Sanitary Sewer. Campinas, College of Civil Engineering, State University of Campinas, 2003. 219 page. Master Degree.

The present study evaluated the efficiency of metals removal heavy of sanitary sewer using the method of superficial draining in ground (overland flow); having as objective the qualitative and quantitative determination of the metal text heavy Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, and Zn, in some compartments: effluent tributary and effluent to the system, the system ground-plant-water and water of percolating in the ground, and finally evaluated in which of the compartments metals will go to have greater concentration. For evaluation of the biodisponibility solutions had been used extracting machines, as solution of Mehlich-3 and DTPA-TEA. In all the methods, after the agitation, the extracts had been filtered through processes of slow filtration, proceeding itself, to follow, to the determination of the ICP-AES metals. Initially, the installation of lisimeters of suction to the long one of the draining slope was made, to collect the liquid percolated. To follow, the samples of the percolated liquid had been analyzed. Finally, the gotten results had been evaluated. Where it presented in the tax of application of $0,30\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ a average of $\text{COD}_{(\text{entered})} = 655,52 \pm 59,86 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ and average of $\text{COD}_{(\text{exit})} = 93,94 \pm 12,35 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$. In the tax of application of $0,20\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ it presented a average of $\text{COD}_{(\text{entered})} = 776,03 \pm 69,60 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ and $\text{COD}_{(\text{exit})} = 119,36 \pm 25,49 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$

The system had a total efficiency of solid removal in suspension of: 60,89% SST, 37.08% SSF and 64.93% SSV. The result gotten for the metal concentration in the Effluent Tributary and all depths in the had distances meets inside of the limits established for CONAMA 20, art. 19. The metals that obeyed these limits had been: Cd, Cr, Ni, Zn and Fe. With exception of Pb and Cu, that had exceeded the established limits.

Words Key: Superficial draining, heavy metals, biodisponibility.

APÊNDICE

Tabela15- Valores de Cádmiu no líquido nas taxa de aplicação 0,20m³/h.m e 0,30 m³/h.m de escoamento superficial no solo ao longo da rampa de escoamento durante o período de coletas.

Cd	set./01	out./01	nov./01	dez./01	jan./02	fev./02	mar./02	abri./02	mai./02	jun./02	jul./02	ago./02	set./02	out./02	nov./02
Bruto	0,047	0,053	0,138	0,146	0,182	0,114	0,123	0,169	0,186	0,125	0,117	0,092	0,066	0,176	0,124
0 Sup	0,047	0,050	0,137	0,145	0,182	0,113	0,122	0,169	0,186	0,124	0,116	0,087	0,045	0,158	0,124
10 Sup	0,045	0,045	0,135	0,144	0,180	0,112	0,120	0,160	0,180	0,122	0,115	0,080	0,044	0,153	0,121
20 Sup	0,042	0,040	0,134	0,140	0,178	0,112	0,119	0,156	0,179	0,121	0,115	0,079	0,071	0,150	0,119
30 Sup	0,040	0,039	0,134	0,140	0,176	0,111	0,119	0,155	0,178	0,121	0,114	0,078	0,059	0,148	0,119
40 Sup	0,039	0,040	0,134	0,139	0,170	0,111	0,118	0,153	0,170	0,120	0,114	0,070	0,054	0,147	0,119
0m-25cm	0,028	0,030	0,096	0,075	0,152	0,039	0,080	0,103	0,135	0,082	0,042	0,035	0,057	0,146	0,115
0m-50cm	0,025	0,035	0,092	0,070	0,150	0,038	0,076	0,087	0,133	0,078	0,041	0,033	0,056	0,145	0,113
0m-1.00m	0,023	0,040	0,090	0,069	0,146	0,036	0,070	0,064	0,130	0,072	0,039	0,030	0,053	0,132	0,112
10m-25cm	0,020	0,042	0,089	0,067	0,144	0,040	0,072	0,120	0,126	0,074	0,043	0,026	0,051	0,131	0,111
10m-50cm	0,020	0,039	0,088	0,059	0,142	0,038	0,071	0,121	0,126	0,073	0,041	0,026	0,048	0,130	0,110
10m-1.00m	0,019	0,037	0,087	0,058	0,138	0,038	0,070	0,112	0,125	0,072	0,041	0,025	0,046	0,129	0,114
20m-25cm	0,018	0,049	0,081	0,049	0,135	0,049	0,049	0,163	0,120	0,051	0,052	0,020	0,043	0,125	0,112
20m-50cm	0,017	0,047	0,078	0,049	0,131	0,048	0,042	0,150	0,119	0,044	0,051	0,019	0,042	0,123	0,116
20m-1.00m	0,015	0,045	0,038	0,048	0,130	0,048	0,048	0,120	0,040	0,050	0,051	0,026	0,040	0,121	0,118
30m-25cm	0,014	0,050	0,068	0,039	0,128	0,034	0,051	0,116	0,170	0,053	0,037	0,070	0,038	0,118	0,102
30m-50cm	0,012	0,049	0,067	0,037	0,121	0,033	0,050	0,112	0,168	0,052	0,036	0,068	0,033	0,114	0,100
30m-1.00m	0,011	0,047	0,067	0,036	0,116	0,031	0,048	0,100	0,167	0,051	0,034	0,067	0,030	0,111	0,090
40m-25cm	0,011	0,051	0,073	0,029	0,090	0,046	0,047	0,090	0,112	0,049	0,049	0,056	0,026	0,095	0,103
40m-50cm	0,010	0,050	0,070	0,029	0,082	0,045	0,047	0,085	0,111	0,049	0,048	0,055	0,021	0,086	0,102
40m-1.00m	0,010	0,049	0,056	0,026	0,060	0,036	0,044	0,035	0,037	0,046	0,039	0,050	0,020	0,072	0,100
Efluente	0,037	0,046	0,071	0,135	0,140	0,054	0,039	0,132	0,092	0,051	0,057	0,068	0,059	0,142	0,111

Tabela 16 - Valores de Chumbo no líquido nas taxa de aplicação 0,20m³/h.m e 0,30 m³/h.m de escoamento superficial no solo ao longo da rampa de escoamento durante o período de coletas.

Pb	set./01	out./01	nov./01	dez./01	jan./02	fev./02	mar./02	abri./02	mai./02	jun./02	jul./02	ago./02	set./02	out./02	nov./02
Bruto	0,212	0,773	0,706	0,795	0,527	0,644	0,207	0,605	0,590	0,314	0,215	0,394	0,521	0,481	0,424
0 Sup	0,212	0,773	0,706	0,795	0,527	0,563	0,207	0,605	0,590	0,314	0,215	0,394	0,521	0,181	0,424
10 Sup	0,211	0,772	0,705	0,784	0,514	0,562	0,205	0,585	0,587	0,302	0,207	0,385	0,441	0,175	0,422
20 Sup	0,201	0,772	0,704	0,727	0,502	0,562	0,204	0,501	0,580	0,285	0,203	0,327	0,352	0,170	0,422
30 Sup	0,190	0,771	0,625	0,705	0,502	0,561	0,125	0,473	0,562	0,205	0,186	0,305	0,344	0,153	0,420
40 Sup	0,145	0,770	0,621	0,700	0,502	0,560	0,121	0,428	0,562	0,090	0,126	0,305	0,330	0,153	0,401
0m-25cm	0,126	0,185	0,295	0,192	0,126	0,224	0,100	0,192	0,362	0,090	0,111	0,195	0,285	0,151	0,125
0m-50cm	0,101	0,170	0,294	0,170	0,101	0,218	0,094	0,170	0,361	0,085	0,093	0,171	0,200	0,150	0,118
0m-1.00m	0,098	0,161	0,290	0,159	0,091	0,202	0,090	0,159	0,360	0,084	0,092	0,158	0,180	0,147	0,100
10m-25cm	0,085	0,153	0,158	0,152	0,080	0,156	0,085	0,155	0,242	0,075	0,090	0,154	0,101	0,141	0,097
10m-50cm	0,084	0,151	0,147	0,131	0,040	0,152	0,074	0,152	0,240	0,073	0,087	0,152	0,090	0,137	0,092
10m-1.00m	0,080	0,149	0,124	0,125	0,025	0,150	0,068	0,150	0,235	0,070	0,085	0,150	0,090	0,131	0,091
20m-25cm	0,078	0,138	0,096	0,092	0,038	0,097	0,065	0,071	0,133	0,064	0,070	0,097	0,087	0,092	0,045
20m-50cm	0,077	0,137	0,091	0,090	0,037	0,096	0,064	0,070	0,132	0,063	0,069	0,089	0,085	0,087	0,040
20m-1.00m	0,070	0,125	0,090	0,087	0,030	0,090	0,061	0,068	0,130	0,060	0,068	0,086	0,078	0,065	0,025
30m-25cm	0,064	0,098	0,086	0,078	0,070	0,089	0,055	0,067	0,089	0,058	0,067	0,032	0,077	0,065	0,022
30m-50cm	0,063	0,097	0,085	0,076	0,068	0,087	0,054	0,065	0,088	0,057	0,064	0,026	0,072	0,064	0,021
30m-1.00m	0,055	0,090	0,080	0,071	0,066	0,080	0,051	0,060	0,085	0,053	0,063	0,024	0,070	0,061	0,020
40m-25cm	0,044	0,089	0,048	0,069	0,055	0,077	0,048	0,058	0,056	0,048	0,040	0,018	0,058	0,048	0,020
40m-50cm	0,040	0,084	0,047	0,065	0,053	0,076	0,045	0,054	0,054	0,045	0,038	0,015	0,052	0,044	0,018
40m-1.00m	0,040	0,080	0,042	0,062	0,049	0,070	0,041	0,052	0,050	0,043	0,030	0,014	0,049	0,040	0,015
Efluente	0,120	0,287	0,115	0,254	0,180	0,182	0,086	0,436	0,326	0,094	0,184	0,255	0,341	0,125	0,087

Tabela17 - Valores de Cobre no líquido nas taxa de aplicação 0,20m³/h.m e 0,30 m³/h.m de escoamento superficial no solo ao longo da rampa de escoamento durante o período de coletas ao longo da rampa.

Cu	set./01	out./01	nov./01	dez./01	jan./02	fev./02	mar./02	abri./02	mai./02	jun./02	jul./02	ago./02	set./02	out./02	nov./02
Bruto	0,980	1,355	1,316	1,050	1,225	0,945	1,116	1,323	1,262	1,150	1,138	1,176	1,084	1,001	1,030
0 Sup	0,980	1,355	1,316	1,050	1,225	0,945	1,116	1,301	1,254	1,150	1,138	1,176	1,084	0,995	1,030
10 Sup	0,975	1,345	1,300	1,001	1,205	0,930	0,960	0,951	1,184	1,101	1,102	0,986	0,974	0,941	0,994
20 Sup	0,962	1,233	1,259	0,953	1,200	0,824	0,857	0,842	1,117	0,985	0,885	0,886	0,901	0,934	0,990
30 Sup	0,950	1,200	1,210	0,824	1,176	0,800	0,800	0,682	0,878	0,869	0,804	0,875	0,887	0,827	0,987
40 Sup	0,910	0,869	0,934	0,793	0,984	0,764	0,773	0,628	0,380	0,789	0,801	0,874	0,870	0,817	0,980
0m-25cm	0,258	0,248	0,623	0,425	0,588	0,701	0,758	0,525	0,379	0,474	0,575	0,471	0,371	0,387	0,367
0m-50cm	0,254	0,167	0,610	0,402	0,575	0,638	0,666	0,521	0,349	0,410	0,574	0,445	0,348	0,380	0,358
0m-1.00m	0,200	0,149	0,600	0,328	0,574	0,604	0,610	0,519	0,340	0,345	0,573	0,437	0,340	0,380	0,356
10m-0.25m	0,173	0,165	0,300	0,314	0,385	0,297	0,365	0,510	0,335	0,318	0,462	0,418	0,334	0,234	0,350
10m-0.50m	0,171	0,162	0,285	0,302	0,382	0,290	0,339	0,460	0,300	0,307	0,460	0,376	0,335	0,231	0,296
10m-1.00m	0,117	0,160	0,280	0,260	0,379	0,286	0,346	0,450	0,280	0,264	0,459	0,371	0,330	0,229	0,294
20m-0.25m	0,129	0,146	0,165	0,145	0,235	0,129	0,236	0,440	0,230	0,258	0,448	0,264	0,261	0,189	0,281
20m-0.50m	0,115	0,142	0,157	0,139	0,230	0,087	0,231	0,312	0,117	0,134	0,361	0,211	0,258	0,180	0,182
20m-1.00m	0,110	0,135	0,145	0,130	0,229	0,082	0,220	0,300	0,165	0,129	0,325	0,200	0,214	0,177	0,179
30m-0.25m	0,102	0,130	0,121	0,125	0,144	0,082	0,139	0,156	0,157	0,124	0,159	0,139	0,159	0,142	0,158
30m-0.50m	0,102	0,128	0,121	0,110	0,140	0,077	0,135	0,154	0,130	0,109	0,157	0,126	0,158	0,140	0,154
30m-1.00m	0,093	0,120	0,120	0,090	0,135	0,073	0,128	0,150	0,120	0,089	0,152	0,103	0,124	0,134	0,153
40m-0.25m	0,062	0,051	0,049	0,055	0,060	0,058	0,065	0,054	0,061	0,049	0,057	0,053	0,060	0,053	0,056
40m-0.50m	0,059	0,047	0,044	0,053	0,055	0,051	0,063	0,052	0,060	0,043	0,055	0,046	0,059	0,052	0,050
40m-1.00m	0,056	0,041	0,042	0,051	0,048	0,049	0,054	0,050	0,055	0,041	0,052	0,040	0,054	0,046	0,048
Efluente	0,310	0,965	0,958	0,751	0,605	0,664	0,689	0,864	0,719	0,648	0,531	0,567	0,549	0,601	0,587

Tabela18 - Valores de Cromo no líquido nas taxa de aplicação 0,20m³/h.m e 0,30 m³/h.m de escoamento superficial no solo ao longo da rampa de escoamento durante o período de coletas .

Cr	set./01	out./01	nov./01	dez./01	jan./02	fev./02	mar./02	abri./02	mai./02	jun./02	jul./02	ago./02	set./02	out./02	nov./02
Bruto	0,071	0,140	0,168	0,163	0,097	0,130	0,148	0,165	0,169	0,168	0,164	0,158	0,151	0,155	0,156
0 Sup	0,071	0,140	0,168	0,163	0,097	0,130	0,148	0,165	0,169	0,168	0,164	0,158	0,151	0,155	0,156
10 Sup	0,064	0,134	0,147	0,154	0,090	0,128	0,138	0,152	0,168	0,157	0,150	0,136	0,145	0,147	0,149
20 Sup	0,058	0,130	0,099	0,150	0,085	0,120	0,136	0,147	0,157	0,146	0,147	0,135	0,144	0,146	0,143
30 Sup	0,035	0,128	0,086	0,146	0,084	0,116	0,130	0,136	0,145	0,131	0,141	0,129	0,143	0,131	0,140
40 Sup	0,030	0,120	0,060	0,140	0,080	0,100	0,129	0,122	0,127	0,125	0,074	0,120	0,130	0,128	0,121
0m-25cm	0,026	0,090	0,058	0,072	0,075	0,080	0,086	0,086	0,083	0,078	0,071	0,096	0,074	0,085	0,080
0m-50cm	0,020	0,088	0,055	0,070	0,060	0,077	0,073	0,085	0,064	0,075	0,062	0,093	0,072	0,074	0,072
0m-1.00m	0,021	0,064	0,055	0,061	0,001	0,068	0,068	0,062	0,060	0,075	0,058	0,076	0,067	0,067	0,065
10m-25cm	0,021	0,056	0,052	0,058	0,046	0,050	0,056	0,049	0,057	0,050	0,052	0,044	0,042	0,042	0,040
10m-50cm	0,017	0,048	0,039	0,055	0,039	0,034	0,050	0,046	0,053	0,048	0,051	0,043	0,040	0,041	0,039
10m-1.00m	0,016	0,040	0,037	0,040	0,030	0,030	0,046	0,040	0,050	0,041	0,044	0,040	0,035	0,040	0,039
20m-25cm	0,014	0,022	0,030	0,033	0,025	0,035	0,040	0,038	0,035	0,038	0,030	0,039	0,031	0,038	0,037
20m-50cm	0,012	0,018	0,026	0,031	0,022	0,025	0,036	0,030	0,034	0,036	0,026	0,034	0,030	0,035	0,030
20m-1.00m	0,011	0,015	0,020	0,028	0,018	0,018	0,020	0,029	0,030	0,029	0,020	0,019	0,021	0,019	0,018
30m-25cm	0,014	0,015	0,017	0,015	0,014	0,016	0,016	0,017	0,019	0,016	0,018	0,017	0,018	0,017	0,016
30m-50cm	0,012	0,012	0,014	0,015	0,013	0,014	0,015	0,016	0,018	0,014	0,017	0,016	0,015	0,016	0,015
30m-1.00m	0,010	0,010	0,011	0,010	0,010	0,011	0,014	0,016	0,017	0,013	0,015	0,015	0,013	0,015	0,014
40m-25cm	0,010	0,010	0,009	0,010	0,009	0,011	0,009	0,011	0,012	0,011	0,010	0,011	0,012	0,010	0,012
40m-50cm	0,009	0,009	0,006	0,009	0,008	0,010	0,008	0,010	0,011	0,010	0,009	0,010	0,011	0,009	0,011
40m-1.00m	0,007	0,007	0,007	0,008	0,006	0,008	0,007	0,009	0,008	0,009	0,007	0,008	0,010	0,007	0,009
Efluente	0,045	0,082	0,076	0,080	0,069	0,058	0,061	0,053	0,067	0,059	0,072	0,064	0,074	0,056	0,066

Tabela19 - Valores de Níquel no líquido nas taxa de aplicação 0,20m³/h.m e 0,30 m³/h.m de escoamento superficial no solo ao longo da rampa de escoamento superficial no solo ao longo da rampa de escoamento durante o período de coletas

Ni	set./01	out./01	nov./01	dez./01	jan./02	fev./02	mar./02	abri./02	mai./02	jun./02	jul./02	ago./02	set./02	out./02	nov./02
Bruto	0,630	0,919	0,935	0,853	0,883	0,972	0,770	0,724	0,795	0,805	0,729	0,635	0,679	0,698	0,687
0 Sup	0,630	0,919	0,934	0,853	0,883	0,972	0,765	0,723	0,695	0,805	0,729	0,633	0,625	0,698	0,589
10 Sup	0,596	0,865	0,926	0,835	0,850	0,956	0,762	0,718	0,680	0,792	0,714	0,628	0,586	0,687	0,532
20 Sup	0,568	0,858	0,916	0,730	0,848	0,874	0,758	0,714	0,652	0,756	0,666	0,615	0,555	0,680	0,503
30 Sup	0,530	0,802	0,907	0,727	0,840	0,855	0,717	0,710	0,630	0,730	0,658	0,612	0,550	0,675	0,449
40 Sup	0,496	0,759	0,904	0,685	0,834	0,854	0,686	0,701	0,586	0,689	0,658	0,602	0,543	0,539	0,447
0m-25cm	0,372	0,642	0,787	0,599	0,683	0,765	0,595	0,683	0,658	0,597	0,643	0,583	0,540	0,524	0,440
0m-50cm	0,358	0,595	0,765	0,588	0,674	0,750	0,591	0,654	0,655	0,562	0,596	0,552	0,534	0,519	0,425
0m-1.00m	0,341	0,573	0,758	0,565	0,651	0,734	0,590	0,648	0,627	0,508	0,572	0,545	0,528	0,498	0,390
10m-25cm	0,255	0,564	0,717	0,535	0,503	0,632	0,490	0,544	0,592	0,495	0,534	0,514	0,530	0,402	0,387
10m-50cm	0,254	0,562	0,707	0,526	0,494	0,624	0,482	0,537	0,578	0,465	0,478	0,444	0,493	0,383	0,364
10m-1.00m	0,230	0,558	0,662	0,512	0,403	0,619	0,477	0,526	0,565	0,456	0,452	0,434	0,365	0,372	0,327
20m-25cm	0,143	0,557	0,612	0,547	0,394	0,575	0,472	0,520	0,553	0,442	0,550	0,530	0,350	0,360	0,317
20m-50cm	0,132	0,486	0,600	0,529	0,325	0,553	0,395	0,502	0,536	0,423	0,540	0,524	0,325	0,356	0,295
20m-1.00m	0,130	0,448	0,573	0,516	0,305	0,520	0,390	0,462	0,521	0,340	0,528	0,493	0,299	0,297	0,283
30m-25cm	0,095	0,438	0,514	0,499	0,296	0,356	0,368	0,412	0,465	0,289	0,385	0,372	0,282	0,220	0,200
30m-50cm	0,090	0,427	0,501	0,476	0,249	0,349	0,352	0,410	0,451	0,271	0,379	0,351	0,191	0,197	0,173
30m-1.00m	0,070	0,371	0,459	0,467	0,164	0,234	0,340	0,378	0,356	0,250	0,348	0,334	0,172	0,169	0,155
40m-25cm	0,069	0,152	0,156	0,151	0,154	0,149	0,152	0,145	0,150	0,135	0,135	0,156	0,169	0,160	0,148
40m-50cm	0,050	0,129	0,136	0,135	0,130	0,126	0,129	0,083	0,141	0,095	0,128	0,101	0,146	0,140	0,134
40m-1.00m	0,049	0,118	0,123	0,098	0,092	0,097	0,096	0,037	0,073	0,087	0,104	0,087	0,127	0,119	0,120
Efluente	0,341	0,475	0,562	0,466	0,624	0,475	0,304	0,350	0,427	0,324	0,475	0,368	0,275	0,137	0,137

Tabela 20 - Valores de Zinco no líquido nas taxa de aplicação 0,20m³/h.m e 0,30 m³/h.m de escoamento superficial no solo durante o período de coletas ao longo da rampa.

Zn	set./01	out./01	nov./01	dez./01	jan./02	fev./02	mar./02	abri./02	mai./02	jun./02	jul./02	ago./02	set./02	out./02	nov./02
Bruto	0,346	0,439	1,887	1,141	1,937	2,267	2,170	1,197	1,172	1,243	1,316	1,269	1,074	1,267	1,250
0 Sup	0,346	0,439	1,887	1,141	1,937	2,267	2,170	1,197	1,172	1,243	1,316	1,269	1,168	1,267	1,250
10 Sup	0,345	0,437	1,745	1,140	1,930	1,970	2,064	1,190	1,097	1,236	1,315	1,258	1,117	0,970	0,867
20 Sup	0,301	0,436	1,710	1,140	1,930	1,925	2,061	1,085	1,065	1,230	1,302	1,050	1,096	0,925	0,845
30 Sup	0,301	0,436	1,634	1,135	1,910	1,900	1,970	1,048	1,001	1,190	1,300	1,048	1,015	0,900	0,815
40 Sup	0,300	0,434	1,502	1,132	1,900	1,770	1,900	0,776	0,810	1,184	0,745	1,085	1,006	0,770	0,789
0m-25cm	0,210	0,380	0,745	0,782	0,768	0,620	0,743	0,662	0,798	0,791	0,726	0,698	0,589	0,592	0,584
0m-50cm	0,209	0,369	0,730	0,637	0,748	0,592	0,730	0,650	0,770	0,771	0,690	0,650	0,540	0,568	0,551
0m-1.00m	0,205	0,351	0,716	0,602	0,695	0,560	0,629	0,598	0,753	0,635	0,586	0,600	0,521	0,512	0,532
10m-25cm	0,201	0,371	0,708	0,688	0,565	0,556	0,583	0,553	0,740	0,580	0,584	0,450	0,476	0,454	0,396
10m-50cm	0,185	0,330	0,675	0,639	0,517	0,438	0,522	0,487	0,718	0,539	0,487	0,410	0,339	0,389	0,354
10m-1.00m	0,167	0,270	0,644	0,627	0,420	0,398	0,501	0,364	0,668	0,437	0,465	0,400	0,318	0,353	0,321
20m-25cm	0,160	0,211	0,541	0,493	0,527	0,376	0,453	0,579	0,547	0,398	0,461	0,350	0,253	0,243	0,229
20m-50cm	0,134	0,191	0,483	0,488	0,241	0,342	0,405	0,521	0,523	0,367	0,394	0,338	0,238	0,224	0,211
20m-1.00m	0,122	0,128	0,425	0,415	0,174	0,269	0,213	0,512	0,502	0,315	0,310	0,319	0,201	0,169	0,198
30m-25cm	0,118	0,124	0,169	0,172	0,132	0,133	0,198	0,263	0,297	0,172	0,280	0,325	0,198	0,150	0,185
30m-50cm	0,101	0,110	0,156	0,164	0,095	0,122	0,175	0,250	0,276	0,157	0,264	0,302	0,177	0,132	0,171
30m-1.00m	0,085	0,095	0,141	0,116	0,082	0,112	0,162	0,201	0,198	0,117	0,248	0,170	0,165	0,125	0,168
40m-25cm	0,085	0,093	0,125	0,150	0,068	0,092	0,125	0,154	0,157	0,100	0,174	0,167	0,157	0,123	0,152
40m-50cm	0,070	0,065	0,115	0,141	0,049	0,081	0,113	0,131	0,140	0,085	0,143	0,160	0,139	0,122	0,147
40m-1.00m	0,061	0,056	0,098	0,109	0,036	0,079	0,104	0,118	0,126	0,065	0,100	0,154	0,114	0,101	0,128
Efluente	0,162	0,278	0,578	0,521	0,568	0,808	0,985	0,720	0,743	0,527	0,681	1,026	1,026	0,808	0,620

Tabela21 - Valores de Ferro no líquido nas taxa de aplicação 0,20m³/h.m e 0,30 m³/h.m de escoamento superficial no solo durante o período de coletas ao longo da rampa.

Fe	set./01	out./01	nov./01	dez./01	jan./02	fev./02	mar./02	abri./02	mai./02	jun./02	jul./02	ago./02	set./02	out./02	nov./02
Bruto	1,504	1,626	3,271	2,196	2,401	3,789	3,496	2,990	4,381	2,110	2,250	3,784	5,951	7,051	9,857
0 Sup	1,504	1,626	3,271	2,196	1,401	3,789	3,496	2,990	4,381	2,780	2,111	2,235	5,823	7,923	9,650
10 Sup	1,485	1,534	2,797	1,884	1,395	2,788	3,167	2,979	3,474	2,710	1,954	1,984	5,222	6,222	9,500
20 Sup	1,396	1,358	2,783	1,789	1,342	2,612	3,202	2,815	2,631	2,230	1,252	1,862	4,497	5,497	9,449
30 Sup	1,248	1,180	2,121	1,778	1,256	1,985	3,061	2,701	2,610	1,638	1,880	1,723	3,788	4,788	5,598
40 Sup	1,090	1,109	1,278	1,761	1,005	1,982	2,657	2,654	2,763	1,804	1,786	1,658	3,224	4,224	5,895
0m-25cm	0,985	0,967	0,973	0,956	0,987	1,789	2,581	2,532	2,420	1,704	1,708	1,601	2,926	3,926	5,900
0m-50cm	0,654	0,589	0,862	0,838	0,850	1,658	2,501	1,847	2,376	1,542	1,771	1,567	2,854	3,854	5,741
0m-1.00m	0,478	0,564	0,728	0,695	0,762	1,602	1,876	1,635	2,183	1,495	1,768	1,511	2,700	3,700	5,587
10m-25cm	0,468	0,547	0,718	0,666	0,704	1,587	1,534	1,524	1,934	1,405	1,524	1,435	3,475	3,475	5,520
10m-50cm	0,401	0,401	0,685	0,653	0,530	1,465	1,501	1,487	1,804	1,387	1,488	1,327	2,240	3,240	4,597
10m-1.00m	0,222	0,244	0,602	0,610	0,565	1,395	1,473	1,036	1,704	1,275	1,437	1,264	2,156	3,156	4,344
20m-25cm	0,210	0,216	0,590	1,910	0,422	1,362	1,407	0,994	1,687	1,117	1,381	1,194	1,865	2,865	3,821
20m-50cm	0,201	0,205	0,574	1,565	0,354	1,319	1,395	0,870	1,458	0,954	1,304	1,110	1,736	2,736	3,487
20m-1.00m	0,190	0,175	0,563	0,519	0,304	1,252	1,175	0,774	1,370	0,876	1,279	0,967	1,597	1,797	2,998
30m-25cm	0,180	0,130	0,554	0,660	0,285	1,180	0,926	0,659	1,157	0,804	1,207	0,937	1,562	1,682	2,578
30m-50cm	0,177	0,125	0,500	0,654	0,238	1,146	0,656	0,601	0,995	0,752	1,181	0,894	1,524	1,524	2,146
30m-1.00m	0,087	0,115	0,487	0,628	0,186	1,080	0,444	0,547	0,904	0,713	1,001	0,841	1,482	1,478	1,885
40m-25cm	0,169	0,114	0,744	0,831	0,172	1,771	0,355	0,509	0,888	0,684	0,783	0,756	1,346	1,359	1,777
40m-50cm	0,168	0,106	0,701	0,718	0,161	1,768	0,247	0,481	0,769	0,521	0,546	0,704	1,287	1,291	1,707
40m-1.00m	0,081	0,101	0,667	0,674	0,154	1,319	0,244	0,386	0,654	0,401	0,492	0,657	1,154	1,161	1,501
Efluente	0,108	0,358	1,582	0,979	1,221	2,067	1,912	1,897	2,170	1,242	1,085	1,186	3,449	3,548	3,850

Tabela 22 - Teores do metal Zinco na distância de 10m na gramínea, no solo e metal total no solo

Zinco	Gramínea	Solo.DTPA	Solo.M.3	Solo Total
	mg.kg⁻¹	mg.dm⁻³	mg.dm⁻³	mg.kg⁻¹
Nov./01	228,50	14,09	15,80	21,84
JAN./02	219,50	45,58	51,53	37,84
Mar./02	134,70	46,53	6,73	171,72
Abr./02	248,5	14,10	15,80	41,84
Jun./02	249,5	27,72	29,42	42,84
Ago./02	134,80	35,90	37,60	170,72
Out./02	68,05	47,49	52,53	171,72

* <0,01 metal não detectado

Tabela 24 - Teores do metal Cádmio na distância de 10m na gramínea, no solo e metal total no solo

Cádmio	Gramínea	Solo.DTPA	Solo.M.3	Solo Total
	mg.kg⁻¹	mg.dm⁻³	mg.dm⁻³	mg.kg⁻¹
Nov./01	0,74	* <0,01	* <0,01	0,03
JAN./02	0,84	0,25	0,05	0,13
Mar./02	* <0,01	0,24	* <0,01	1,65
Abr./02	0,84	* <0,01	* <0,01	0,13
Jun./02	0,94	0,21	0,11	0,14
Ago./02	1,40	0,23	0,04	1,55
Out./02	* <0,01	0,24	0,06	1,65

* <0,01 metal não detectado

Tabela 23 - Teores do metal Chumbo na distância de 10m na gramínea, no solo e metal total no solo

Chumbo	Gramínea	Solo.DTPA	Solo.M.3	Solo Total
	mg.kg⁻¹	mg.dm⁻³	mg.dm⁻³	mg.kg⁻¹
Nov./01	* <0,01	* <0,01	* <0,01	* <0,01
JAN./02	10,50	1,65	0,44	4,80
Mar./02	* <0,01	1,65	* <0,01	0,01
Abr./02	14,5	* <0,01	* <0,01	3,90
Jun./02	15,5	1,79	1,75	4,90
Ago./02	9,60	3,80	1,40	* <0,01
Out./02	* <0,01	1,75	0,34	* <0,01

* <0,01 metal não detectado

Tabela 25 - Teores do metal Níquel na distância de 10m na gramínea, no solo e metal total no solo

Níquel	Gramínea	Solo.DTPA	Solo.M.3	Solo Total
	mg.kg⁻¹	mg.dm⁻³	mg.dm⁻³	mg.kg⁻¹
Nov./01	93,10	8,63	0,43	0,42
JAN./02	103,42	21,37	5,94	0,43
Mar./02	16,96	21,34	0,17	30,59
Abr./02	103,00	8,61	0,43	0,43
Jun./02	104,00	9,76	1,02	0,44
Ago./02	27,50	10,80	3,90	29,59
Out./02	11,29	21,47	5,92	30,59

* <0,01 metal não detectado

Tabela 26 - Teores do metal Ferro na distância de 10m

na gramínea, no solo e metal total no solo

Ferro	Gramínea	Solo.DTPA	Solo.M.3	Solo Total
	mg.kg⁻¹	mg.dm⁻³	mg.dm⁻³	mg.kg⁻¹
Nov./01	491,17	201,04	83,21	485,12
JAN./02	482,17	215,49	161,13	476,12
Mar./02	699,25	203,52	119,75	675,23
Abr./02	511,17	200,04	83,21	505,12
Jun./02	512,17	200,04	137,66	506,12
Ago./02	630,25	201,50	122,20	625,34
Out./02	742,45	205,49	160,13	695,14

* <0,01 metal não detectado

Tabela 27 - Teores do metal Cromo na distância de 10m

na gramínea, no solo e metal total no solo

Cromo	Gramínea	Solo.DTPA	Solo.M.3	Solo Total
	mg.kg⁻¹	mg.dm⁻³	mg.dm⁻³	mg.kg⁻¹
Nov./01	12,80	0,05	* <0,01	6,90
JAN./02	13,80	0,05	0,99	7,90
Mar./02	3,23	0,05	0,26	35,31
Abr./02	13,80	0,05	* <0,01	7,90
Jun./02	14,80	0,08	0,72	8,90
Ago./02	12,30	0,08	0,60	34,31
Out./02	* <0,01	0,05	0,98	35,31

* <0,01 metal não detectado

Tabela 28 - Teores do metal Cobre na distância de 10m

na gramínea, no solo e metal total no solo

Cobre	Gramínea	Solo.DTPA	Solo.M.3	Solo Total
	mg.kg⁻¹	mg.dm⁻³	mg.dm⁻³	mg.kg⁻¹
Nov./01	26,59	21,59	8,65	50,12
JAN./02	36,58	23,97	8,08	54,76
Mar./02	20,63	21,56	0,20	59,11
Abr./02	18,07	20,59	8,56	56,87
Jun./02	21,58	35,37	20,76	53,57
Ago./02	20,85	25,70	11,10	60,68
Out./02	21,74	22,97	8,09	61,68

* <0,01 metal não detectado

**Tabela 29 - Teores do metal Zinco na distância de 20m
na gramínea, no solo e metal total no solo**

Zinco	Gramínea	Solo.DTPA	Solo.M.3	Solo Total
	mg.kg⁻¹	mg.dm⁻³	mg.dm⁻³	mg.kg⁻¹
Nov./01	128,50	13,63	15,91	16,09
JAN./02	119,50	52,91	61,15	32,09
Mar./02	145,99	52,86	4,85	156,68
Abr./02	148,5	13,62	15,91	36,09
Jun./02	149,5	28,56	30,85	37,09
Ago./02	140,20	47,40	49,70	155,68
Out./02	102,25	53,91	64,15	156,68

* <0,01 metal não detectado

**Tabela 31- Teores do metal Cádmio na distância de 20m
na gramínea, no solo e metal total no solo**

Cádmio	Gramínea	Solo.DTPA	Solo.M.3	Solo Total
	mg.kg⁻¹	mg.dm⁻³	mg.dm⁻³	mg.kg⁻¹
Nov./01	0,03	0,09	0,10	0,03
JAN./02	0,13	0,22	0,19	0,13
Mar./02	* <0,01	0,21	0,20	1,12
Abr./02	0,13	0,09	0,10	0,13
Jun./02	0,14	0,24	0,31	0,14
Ago./02	0,13	0,27	0,08	1,02
Out./02	0,15	0,22	0,18	1,12

* <0,01 metal não detectado

**Tabela 30- Teores do metal Chumbo na distância de 20m
na gramínea, no solo e metal total no solo**

Chumbo	Gramínea	Solo.DTPA	Solo.M.3	Solo Total
	mg.kg⁻¹	mg.dm⁻³	mg.dm⁻³	mg.kg⁻¹
Nov./01	0,45	0,16	0,17	1,50
JAN./02	1,40	2,45	0,39	4,40
Mar./02	* <0,01	2,46	1,92	15,25
Abr./02	1,45	0,16	0,17	3,50
Jun./02	1,55	2,43	0,75	4,50
Ago./02	1,10	3,40	1,00	14,25
Out./02	* <0,01	2,47	0,29	15,25

* <0,01 metal não detectado

**Tabela 32 - Teores do metal Níquel na distância de 20m
na gramínea, no solo e metal total no solo**

Níquel	Gramínea	Solo.DTPA	Solo.M.3	Solo Total
	mg.kg⁻¹	mg.dm⁻³	mg.dm⁻³	mg.kg⁻¹
Nov./01	30,60	9,37	0,56	26,30
JAN./02	31,60	17,89	6,14	28,91
Mar./02	27,85	16,76	0,55	30,00
Abr./02	40,60	9,26	0,43	29,56
Jun./02	41,60	10,27	1,13	29,87
Ago./02	29,50	11,10	4,20	29,35
Out./02	12,96	17,89	6,28	29,14

* <0,01 metal não detectado

Tabela 33 - Teores do metal Ferro na distância de 20m

na gramínea, no solo e metal total no solo

Ferro	Gramínea	Solo.DTPA	Solo.M.3	Solo Total
	mg.kg⁻¹	mg.dm⁻³	mg.dm⁻³	mg.kg⁻¹
Nov./01	489,50	199,37	82,78	435,28
JAN./02	480,50	233,54	163,03	426,44
Mar./02	801,61	244,85	98,64	652,19
Abr./02	509,50	198,37	82,78	453,25
Jun./02	510,50	198,37	139,49	456,76
Ago./02	586,47	215,69	127,90	443,18
Out./02	929,27	243,54	162,03	678,38

* <0,01 metal não detectado

Tabela 34 -Teores do metal Cromo na distância de 20m

na gramínea, no solo e metal total no solo

Cromo	Gramínea	Solo.DTPA	Solo.M.3	Solo Total
	mg.kg⁻¹	mg.dm⁻³	mg.dm⁻³	mg.kg⁻¹
Nov./01	0,03	0,25	0,63	0,83
JAN./02	2,60	0,01	1,89	1,95
Mar./02	6,47	0,14	0,20	7,54
Abr./02	3,50	0,24	0,63	2,58
Jun./02	3,60	0,16	0,28	2,74
Ago./02	3,75	0,16	1,30	7,58
Out./02	0,03	0,14	1,88	7,04

* <0,01 metal não detectado

Tabela 35 - Teores do metal Cobre na distância de 20m

na gramínea, no solo e metal total no solo

Cobre	Gramínea	Solo.DTPA	Solo.M.3	Solo Total
	mg.kg⁻¹	mg.dm⁻³	mg.dm⁻³	mg.kg⁻¹
Nov./01	27,30	21,35	8,40	4,17
JAN./02	28,30	31,26	16,10	5,18
Mar./02	36,59	35,26	0,05	5,94
Abr./02	22,54	20,35	8,40	5,17
Jun./02	23,86	39,49	21,20	4,15
Ago./02	24,50	31,40	13,10	4,94
Out./02	17,41	36,26	16,10	5,36

* <0,01 metal não detectado

Tabela 36 - Teores do metal Zinco na distância de 30m
na graminha, no solo e metal total no solo

Zinco	Gramínea	Solo.DTPA	Solo.M.3	Solo Total
	mg.kg ⁻¹	mg.dm ⁻³	mg.dm ⁻³	mg.kg ⁻¹
Nov./01	94,10	14,84	16,83	18,50
JAN./02	85,10	7,29	10,27	34,50
Mar./02	111,55	6,29	5,21	37,47
Abr./02	114,10	14,83	16,83	38,50
Jun./02	115,10	27,85	29,85	39,50
Ago./02	132,20	13,10	11,10	36,47
Out./02	161,10	7,29	9,27	37,35

* <0,01 metal não detectado

Tabela 37 - Teores do metal Chumbo na distância de 30m
na graminha, no solo e metal total no solo

Chumbo	Gramínea	Solo.DTPA	Solo.M.3	Solo Total
	mg.kg ⁻¹	mg.dm ⁻³	mg.dm ⁻³	mg.kg ⁻¹
Nov./01	0,02	0,01	0,01	0,01
JAN./02	0,03	0,65	0,83	2,76
Mar./02	* <0,01	0,63	2,17	3,14
Abr./02	* <0,01	* <0,01	* <0,01	* <0,01
Jun./02	* <0,01	* <0,01	0,02	0,86
Ago./02	0,04	0,20	1,50	2,32
Out./02	* <0,01	0,65	0,73	1,82

* <0,01 metal não detectado

Tabela 38 - Teores do metal Cádmio na distância de 30m
na graminha, no solo e metal total no solo

Cádmio	Gramínea	Solo.DTPA	Solo.M.3	Solo Total
	mg.kg ⁻¹	mg.dm ⁻³	mg.dm ⁻³	mg.kg ⁻¹
Nov./01	* <0,01	* <0,01	* <0,01	0,45
JAN./02	* <0,01	0,18	0,08	0,43
Mar./02	1,46	0,18	* <0,01	1,24
Abr./02	* <0,01	* <0,01	* <0,01	0,55
Jun./02	* <0,01	0,17	0,02	0,56
Ago./02	1,60	0,18	0,02	1,14
Out./02	0,48	0,18	0,07	1,24

* <0,01 metal não detectado

Tabela 39 - Teores do metal Níquel na distância de 30m
na graminha, no solo e metal total no solo

Níquel	Gramínea	Solo.DTPA	Solo.M.3	Solo Total
	mg.kg ⁻¹	mg.dm ⁻³	mg.dm ⁻³	mg.kg ⁻¹
Nov./01	7,40	4,47	0,56	1,29
JAN./02	7,20	5,72	2,11	1,30
Mar./02	17,59	5,64	0,38	8,79
Abr./02	8,10	4,45	0,56	1,30
Jun./02	8,20	5,47	0,94	1,31
Ago./02	22,00	5,50	1,90	7,79
Out./02	23,48	5,73	2,01	8,79

* <0,01 metal não detectado

**Tabela 40 - Teores do metal Ferro na distância de 30m
na gramínea, no solo e metal total no solo**

Ferro	Gramínea	Solo.DTPA	Solo.M.3	Solo Total
	mg.kg⁻¹	mg.dm⁻³	mg.dm⁻³	mg.kg⁻¹
Nov./01	725,40	184,02	94,65	457,35
JAN./02	716,40	245,61	120,92	448,66
Mar./02	556,35	234,61	116,52	458,32
Abr./02	768,52	188,02	98,45	477,66
Jun./02	746,40	188,02	136,37	478,59
Ago./02	627,70	197,00	107,61	549,67
Out./02	500,62	235,61	111,92	528,14

* <0,01 metal não detectado

**Tabela 41 -Teores do metal Cromo na distância de 30m
na gramínea, no solo e metal total no solo**

Cromo	Gramínea	Solo.DTPA	Solo.M.3	Solo Total
	mg.kg⁻¹	mg.dm⁻³	mg.dm⁻³	mg.kg⁻¹
Nov./01	3,60	0,27	0,48	6,30
JAN./02	3,70	0,03	0,06	7,30
Mar./02	2,15	* <0,01	0,30	9,59
Abr./02	4,60	0,28	0,48	7,30
Jun./02	4,70	0,20	0,72	8,30
Ago./02	3,07	0,21	0,10	8,59
Out./02	0,82	* <0,01	0,05	9,42

* <0,01 metal não detectado

**Tabela 42 -Teores do metal Cobre na distância de 30m
na gramínea, no solo e metal total no solo**

Cobre	Gramínea	Solo.DTPA	Solo.M.3	Solo Total
	mg.kg⁻¹	mg.dm⁻³	mg.dm⁻³	mg.kg⁻¹
Nov./01	14,70	19,53	12,84	13,21
JAN./02	25,70	11,88	5,50	12,65
Mar./02	18,07	9,82	0,05	26,35
Abr./02	24,70	18,53	12,75	13,85
Jun./02	25,70	31,54	20,94	21,62
Ago./02	25,70	31,54	20,94	25,45
Out./02	21,60	10,88	5,50	26,74

* <0,01 metal não detectado

Tabela 43 - Teores do metal Zinco na distância de 40m na gramínea, no solo e metal total no solo

Zinco	Gramínea	Solo.DTPA	Solo.M.3	Solo Total
	mg.kg ⁻¹	mg/dm ³	mg/dm ³	mg.kg ⁻¹
Nov./01	120,40	14,80	16,77	18,72
JAN./02	111,23	6,34	8,04	34,72
Mar./02	115,71	5,34	4,62	42,61
Abr./02	140,4	14,79	16,77	38,72
Jun./02	141,4	10,79	12,76	39,72
Ago./02	136,20	7,20	5,40	41,61
Out./02	90,39	6,34	7,04	40,25

* <0,01 metal não detectado

Tabela 45 - Teores do metal Cádmio na distância de 40m na gramínea, no solo e metal total no solo

Cádmio	Gramínea	Solo.DTPA	Solo.M.3	Solo Total
	mg.kg ⁻¹	mg/dm ³	mg/dm ³	mg.kg ⁻¹
Nov./01	2,00	0,16	0,17	* <0,01
JAN./02	3,00	0,18	0,09	* <0,01
Mar./02	* <0,01	0,18	* <0,01	1,09
Abr./02	3,00	0,17	0,17	* <0,01
Jun./02	3,10	0,15	0,01	* <0,01
Ago./02	1,70	0,16	0,02	1,08
Out./02	1,54	0,18	0,08	1,09

* <0,01 metal não detectado

Tabela 44 - Teores do metal Chumbo na distância de 40m na gramínea, no solo e metal total no solo

Chumbo	Gramínea	Solo.DTPA	Solo.M.3	Solo Total
	mg.kg ⁻¹	mg/dm ³	mg/dm ³	mg.kg ⁻¹
Nov./01	* <0,01	* <0,01	* <0,01	* <0,01
JAN./02	3,00	1,67	0,79	1,86
Mar./02	0,01	1,65	2,16	* <0,01
Abr./02	3,00	* <0,01	* <0,01	1,96
Jun./02	3,10	1,67	0,75	0,85
Ago./02	* <0,01	2,60	1,00	* <0,01
Out./02	* <0,01	1,67	0,69	* <0,01

* <0,01 metal não detectado

Tabela 46 - Teores do metal Níquel na distância de 40m na gramínea, no solo e metal total no solo

Níquel	Gramínea	Solo.DTPA	Solo.M.3	Solo Total
	mg.kg ⁻¹	mg/dm ³	mg/dm ³	mg.kg ⁻¹
Nov./01	9,60	3,36	0,60	1,25
JAN./02	10,60	6,11	2,13	1,28
Mar./02	19,49	6,11	0,27	1,45
Abr./02	10,60	3,41	0,60	1,29
Jun./02	11,60	3,52	0,40	1,30
Ago./02	30,40	3,50	1,10	1,74
Out./02	28,44	6,11	2,03	1,67

* <0,01 metal não detectado

Tabela 47 - Teores do metal Ferro na distância de 40m

na graminha, no solo e metal total no solo

Ferro	Gramínea	Solo.DTPA	Solo.M.3	Solo Total
	mg.kg ⁻¹	mg/dm ³	mg/dm ³	mg.kg ⁻¹
Nov./01	643,80	235,72	91,23	453,82
JAN./02	634,52	224,10	155,78	444,82
Mar./02	414,86	217,03	115,00	467,95
Abr./02	663,80	236,72	91,23	473,82
Jun./02	664,80	236,72	67,81	470,58
Ago./02	410,70	247,00	121,20	554,57
Out./02	485,65	222,10	154,78	533,72

* <0,01 metal não detectado

Tabela 48 -Teores do metal Cromo na distância de 40m

na graminha, no solo e metal total no solo

Cromo	Gramínea	Solo.DTPA	Solo.M.3	Solo Total
	mg.kg ⁻¹	mg/dm ³	mg/dm ³	mg.kg ⁻¹
Nov./01	2,10	0,28	0,30	3,40
JAN./02	2,20	0,04	<0,01	4,34
Mar./02	2,51	0,01	0,29	1,74
Abr./02	3,10	0,27	0,30	1,34
Jun./02	3,20	0,11	* <0,01	5,34
Ago./02	5,70	0,11	* <0,01	* <0,01
Out./02	* <0,01	* <0,01	* <0,01	* <0,01

* <0,01 metal não detectado

Tabela 49 - Teores do metal Cobre na distância de 40m

na graminha, no solo e metal total no solo

Cobre	Gramínea	Solo.DTPA	Solo.M.3	Solo Total
	mg.kg ⁻¹	mg/dm ³	mg/dm ³	mg.kg ⁻¹
Nov./01	13,50	15,96	12,78	0,05
JAN./02	24,55	11,44	4,61	0,15
Mar./02	17,52	10,53	5,45	0,53
Abr./02	24,48	14,96	12,78	0,65
Jun./02	24,50	12,55	6,26	0,74
Ago./02	24,30	19,60	13,20	0,47
Out./02	26,90	10,44	4,61	0,68

* <0,01 metal não detectado

Tabela 50: Valores de SST, SSF e SSV nas taxas de aplicação $0,20\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ (1) e $0,30\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ (2) no escoamento superficial no solo, durante os dias de monit

Dias/ Taxas	Data das Coletas	SST (entrada)	SSF (entrada)	SSV (entrada)	SST (saída)	SSF (saída)	SSV (saída)
0 (2)	20/09/2001	92,00	12,00	80,00	30,00	15,00	15,00
5 (2)	25/09/2001	89,23	7,69	81,53	5,24	1,45	3,79
15 (2)	05/10/2001	56,00	5,00	51,00	12,00	10,00	2,00
19 (2)	09/10/2001	81,37	1,81	79,56	18,50	0,00	18,50
32 (2)	22/10/2001	100,00	16,36	83,64	38,69	8,45	30,24
40 (2)	30/10/2001	52,85	7,14	45,71	50,00	8,00	42,00
46 (2)	06/11/2001	61,00	6,00	55,00	17,00	3,00	14,00
54 (2)	14/11/2001	133,34	26,66	106,68	43,12	4,25	38,87
61 (2)	21/11/2001	160,85	29,78	131,07	23,70	6,48	17,22
68 (2)	28/11/2001	118,46	9,23	109,23	52,36	1,81	50,55
76 (2)	06/12/2001	95,00	3,33	91,66	11,00	0,00	11,00
88 (2)	18/12/2001	162,50	25,00	137,50	10,40	2,75	7,65
108 (2)	07/01/2002	160,00	30,00	130,00	29,00	20,00	9,00
117 (2)	16/01/2002	60,38	5,67	54,71	36,14	9,23	26,91
125 (2)	24/01/2002	57,94	14,04	43,90	42,98	13,00	29,98
130 (2)	29/01/2002	51,78	11,65	40,13	47,20	15,10	32,10
139 (2)	07/02/2002	74,19	12,90	61,29	31,00	9,00	22,00
145 (2)	13/02/2002	65,37	20,64	44,73	40,37	11,25	29,12
158 (2)	26/02/2002	62,56	18,74	43,82	45,02	13,63	31,39
167 (2)	07/03/2002	52,05	13,42	38,63	37,31	5,62	31,69
173 (2)	13/03/2002	69,33	8,00	61,33	29,00	0,00	29,00
181 (2)	21/03/2002	62,30	15,66	46,64	39,04	9,58	29,46
189 (2)	29/03/2002	54,90	11,86	43,04	38,42	10,61	27,81
195 (1)	04/04/2002	92,85	7,14	85,71	21,33	8,00	13,33
206 (1)	15/04/2002	85,64	13,58	72,06	33,92	8,55	25,37
214 (1)	23/04/2002	90,58	16,87	73,71	37,90	9,76	28,14
224 (1)	03/05/2002	75,25	11,34	63,91	29,48	7,00	21,48
230 (1)	09/05/2002	85,93	19,67	66,26	38,95	10,38	28,57
242 (1)	21/05/2002	102,42	25,76	76,66	38,11	9,53	28,58
250 (1)	29/05/2002	95,21	19,68	75,53	40,02	6,54	33,48
257 (1)	05/06/2002	126,08	11,59	114,49	31,58	9,32	22,26
265 (1)	13/06/2002	105,73	5,38	100,35	30,47	5,37	25,10
273 (1)	21/06/2002	69,88	13,64	56,24	28,46	10,25	18,21
280 (1)	28/06/2002	60,52	11,07	49,45	27,52	12,54	14,98
285 (1)	03/07/2002	82,97	17,02	65,95	26,19	10,45	15,74
294 (1)	12/07/2002	87,53	16,86	70,67	34,35	11,36	22,99
320 (1)	07/08/2002	90,64	7,59	82,95	40,58	9,47	31,11
329 (1)	16/08/2002	107,91	6,58	101,33	42,84	8,63	34,21
349 (1)	05/09/2002	104,00	14,00	90,00	78,18	10,90	67,27
364 (1)	20/09/2002	130,45	12,14	118,31	61,37	7,45	53,92
384 (1)	10/10/2002	52,85	7,14	45,71	50,00	8,00	42,00
397 (1)	23/10/2002	110,68	6,51	124,17	52,47	8,28	44,19
Média Total:		88,82	13,24	76,05	36,47	8,33	28,11
Desvio Padrão Total:		30,24	7,06	28,04	18,30	4,26	18,26

Tabela 51: Valores de Alcalinidade (entrada) e (saída) nas taxas de aplicação $0,20\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ (1) e $0,30\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ (2) no escoamento superficial no solo, durante os dias de monitoramento.

Dias/ Taxas	Coletas	Alcalinidade (entrada) ($\text{mgCaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$)	Alcalinidade (saída) ($\text{mgCaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$)
0 (2)	20/09/2001	155,65	123,52
5 (2)	25/09/2001	153,06	122,12
15 (2)	05/10/2001	167,18	135,24
19 (2)	09/10/2001	145,35	113,22
32 (2)	22/10/2001	135,43	103,30
40 (2)	30/10/2001	134,35	102,22
46 (2)	06/11/2001	143,32	111,19
54 (2)	14/11/2001	140,57	108,44
61 (2)	21/11/2001	150,05	117,92
68 (2)	28/11/2001	149,67	117,54
76 (2)	06/12/2001	146,80	114,67
88 (2)	18/12/2001	134,72	102,59
108 (2)	07/01/2002	158,08	125,95
117 (2)	16/01/2002	124,68	92,55
125 (2)	24/01/2002	143,16	111,03
130 (2)	29/01/2002	161,39	129,26
139 (2)	07/02/2002	154,26	122,13
145 (2)	13/02/2002	164,25	132,12
158 (2)	26/02/2002	166,70	134,57
167 (2)	07/03/2002	148,56	116,43
173 (2)	13/03/2002	147,18	115,05
181 (2)	21/03/2002	144,23	112,10
189 (2)	29/03/2002	143,20	111,07
195 (1)	04/04/2002	152,18	120,05
206 (1)	15/04/2002	158,75	126,60
214 (1)	23/04/2002	133,24	101,11
224 (1)	03/05/2002	135,46	103,34
230 (1)	09/05/2002	150,07	117,92
242 (1)	21/05/2002	165,30	133,17
250 (1)	29/05/2002	148,45	116,32
257 (1)	05/06/2002	156,34	124,17
265 (1)	13/06/2002	158,24	126,11
273 (1)	21/06/2002	145,43	113,30
280 (1)	28/06/2002	136,52	104,40
285 (1)	03/07/2002	132,22	100,12
294 (1)	12/07/2002	168,87	136,72
320 (1)	07/08/2002	142,30	121,17
329 (1)	16/08/2002	145,27	113,12
349 (1)	05/09/2002	153,28	121,14
364 (1)	20/09/2002	162,14	130,02
384 (1)	10/10/2002	144,78	112,65
397 (1)	23/10/2002	146,12	114,00
Média Total:		148,45	116,90
Desvio Padrão Total:		10,86	10,66

Tabela 52: Valores de pH nas taxas de aplicação $0,20\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ (1) e $0,30 \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ (2) no escoamento superficial no solo, durante os dias de monitoramento).

Dias / Taxas	Coletas	pH (entrada)	pH (saída)	pH máximo (entrada)	pH mínimo (entrada)	pH máximo (saída)	pH mínimo (saída)
0 (2)	20/09/2001	6,96	7,22	6,96	6,96	7,22	7,22
5 (2)	25/09/2001	6,84	7,03	6,84	6,84	7,03	7,03
15 (2)	05/10/2001	6,79	6,58	6,79	6,79	6,58	6,58
19 (2)	09/10/2001	6,45	6,35	6,45	6,45	6,35	6,35
32 (2)	22/10/2001	7,12	7,03	7,12	7,12	7,03	7,03
40 (2)	30/10/2001	7,02	6,89	7,02	7,02	6,89	6,89
46 (2)	06/11/2001	7,22	7,62	7,22	7,22	7,62	7,62
54 (2)	14/11/2001	7,35	7,05	7,35	7,35	7,05	7,05
61 (2)	21/11/2001	7,19	7,54	7,19	7,19	7,54	7,54
68 (2)	28/11/2001	7,01	7,00	7,01	7,01	7,00	7,00
76 (2)	06/12/2001	7,34	7,15	7,34	7,34	7,15	7,15
88 (2)	18/12/2001	6,35	7,14	6,35	6,35	7,14	7,14
108 (2)	07/01/2002	6,76	7,08	6,76	6,76	7,08	7,08
117 (2)	16/01/2002	6,96	6,85	6,96	6,96	6,85	6,85
125 (2)	24/01/2002	6,58	6,51	6,58	6,58	6,51	6,51
130 (2)	29/01/2002	6,63	6,98	6,63	6,63	6,98	6,98
139 (2)	07/02/2002	6,96	6,95	6,96	6,96	6,95	6,95
145 (2)	13/02/2002	7,21	7,13	7,21	7,21	7,13	7,13
158 (2)	26/02/2002	7,23	7,18	7,23	7,23	7,18	7,18
167 (2)	07/03/2002	7,16	7,04	7,16	7,16	7,04	7,04
173 (2)	13/03/2002	7,04	7,15	7,04	7,04	7,15	7,15
181 (2)	21/03/2002	6,56	6,43	6,56	6,56	6,43	6,43
189 (2)	29/03/2002	7,43	7,33	7,43	7,43	7,33	7,33
195 (1)	04/04/2002	7,36	7,25	7,36	7,36	7,25	7,25
206 (1)	15/04/2002	7,51	7,54	7,51	7,51	7,54	7,54
214 (1)	23/04/2002	7,42	7,50	7,42	7,42	7,50	7,50
224 (1)	03/05/2002	6,23	6,55	6,23	6,23	6,55	6,55
230 (1)	09/05/2002	7,47	7,38	7,47	7,47	7,38	7,38
242 (1)	21/05/2002	7,31	7,01	7,31	7,31	7,01	7,01
250 (1)	29/05/2002	7,51	7,05	7,51	7,51	7,05	7,05
257 (1)	05/06/2002	6,94	6,90	6,94	6,94	6,90	6,90
265 (1)	13/06/2002	6,84	6,43	6,84	6,84	6,43	6,43
273 (1)	21/06/2002	6,85	6,80	6,85	6,85	6,80	6,80
280 (1)	28/06/2002	6,74	7,11	6,74	6,74	7,11	7,11
285 (1)	03/07/2002	7,65	7,60	7,65	7,65	7,60	7,60
294 (1)	12/07/2002	7,35	7,30	7,35	7,35	7,30	7,30
320 (1)	07/08/2002	6,80	6,84	6,80	6,80	6,84	6,84
329 (1)	16/08/2002	6,84	6,35	6,84	6,84	6,35	6,35
349 (1)	05/09/2002	7,46	7,50	7,46	7,46	7,50	7,50
364 (1)	20/09/2002	7,32	7,04	7,32	7,32	7,04	7,04
384 (1)	10/10/2002	6,88	6,61	6,88	6,88	6,61	6,61
397 (1)	23/10/2002	6,98	6,90	6,98	6,98	6,90	6,90
Média Total	Desvio Padrão	7,03	7,02	7,65	6,23	7,62	6,35
7,0(e) e 7,0 (s)	0,30(e) e 0,34(s)						

Tabela 53: Valores de DQO nas taxas de aplicação 0,20 m³.h⁻¹. m⁻¹ (1) 0,30 m³.h⁻¹. m⁻¹ (2) no escoamento superficial no solo, durante os dias de monitoramento.

Dias / Taxas	Coletas	DQO (entrada)	DQO (saída)
0 (2)	20/09/2001	844,78	93,51
5 (2)	25/09/2001	837,18	92,36
15 (2)	05/10/2001	865,18	97,33
19 (2)	09/10/2001	853,23	94,24
32 (2)	22/10/2001	734,02	92,32
40 (2)	30/10/2001	847,64	90,03
46 (2)	06/11/2001	765,15	89,70
54 (2)	14/11/2001	753,24	87,15
61 (2)	21/11/2001	637,15	75,89
68 (2)	28/11/2001	654,29	73,86
76 (2)	06/12/2001	753,20	95,30
88 (2)	18/12/2001	735,45	94,10
108 (2)	07/01/2002	457,89	98,54
117 (2)	16/01/2002	411,63	132,13
125 (2)	24/01/2002	525,42	83,20
130 (2)	29/01/2002	514,68	87,56
139 (2)	07/02/2002	723,12	94,20
145 (2)	13/02/2002	763,00	92,34
158 (2)	26/02/2002	821,15	120,12
167 (2)	07/03/2002	659,26	97,42
173 (2)	13/03/2002	614,23	85,18
181 (2)	21/03/2002	724,18	104,13
189 (2)	29/03/2002	628,15	89,90
195 (1)	04/04/2002	785,95	150,23
206 (1)	15/04/2002	740,10	92,05
214 (1)	23/04/2002	760,26	96,89
224 (1)	03/05/2002	835,09	154,24
230 (1)	09/05/2002	810,50	108,95
242 (1)	21/05/2002	875,10	148,05
250 (1)	29/05/2002	761,89	106,45
257 (1)	05/06/2002	735,42	98,65
265 (1)	13/06/2002	848,74	167,78
273 (1)	21/06/2002	684,34	95,60
280 (1)	28/06/2002	746,07	122,04
285 (1)	03/07/2002	675,30	93,29
294 (1)	12/07/2002	855,30	135,12
320 (1)	07/08/2002	724,18	110,13
329 (1)	16/08/2002	786,39	130,20
349 (1)	05/09/2002	748,01	120,1
364 (1)	20/09/2002	867,68	167,28
384 (1)	10/10/2002	703,43	97,18
397 (1)	23/10/2002	785,01	104,54
Média Total:		776,03	199,36
Desvio Padrão:		69,60	25,49

Tabela 54: Valores da Temperatura nas taxas de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ (1) e $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ (2) de escoamento superficial no solo, durante os dias de monitoramento.

Coletas e Taxas	Temperatura (entrada)	Temperatura (saída)
Set/01 (2)	28.30	28.95
Out/01 (2)	28.20	28.86
Nov/01 (2)	31.25	28.55
Dez/01 (2)	30.70	32.12
Jan/02 (2)	29.35	31.50
Fev/02 (2)	29.10	27.56
Mar/02 (2)	28.40	27.64
Abr/02 (1)	28.70	29.05
Mai/02 (1)	27.90	29.97
Jun/02 (1)	28.01	29.46
Jul/02 (1)	29.05	27.61
Ago02 (1)	29.11	28.40
Set/02 (1)	28.37	28.43
Out/02 (1)	29.24	29.12
Nov/02 (1)	27.09	27.24
	28,78	28.96

Tabela 55: Valores de eficiência total nas taxas de aplicação $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ e $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ no escoamento superficial no solo, durante os dias de monitoramento

Eficiência	SST	SSF	SSV
Eficiência Total:	60,89%	37,08%	64,93%
Eficiência Total à $0,30 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$:	63,13%	49,97%	66,92%
Eficiência Total à $0,20 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$:	67,50%	29,48%	62,76%

Tabela 56 – Índice pluviométricos do ano de 2001 em totais diários de precipitação (mm).

Dias	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1		16,7										4,1
2				39,7						96,3		
3										4,6		
4											7,9	
5	1,3										3,1	
6		16,7										3,0
7	7,1	7,0	5,4	4,2								
8			2,5							5,5		21,3
9		20,1	33,9							19,8		
10	0,7	3,0	4,4									18,3
11	4,4		15,7							1,0		
12		4,0			12,6		1,10			5,4	35,6	1,7
13	19,8	13,0	11,6		25,8						0,7	2,1
14	0,3	5,4							8,8		12,3	11,5
15	5,5								27,2			28,3
16		3,0			1,8							35,4
17		42,5			11,8							14,4
18		9,3	1,0							26,9	2,3	
19	3,1											
20										8,5	1,1	1,4
21												1,4
22			1,1				7,10	2,30	1,0	15,7		1,5
23				6,1				7,60	2,8		66,6	
24								12,00				3,8
25	0,9		1,0					8,20				
26	15,2		65,2				1,40					
27			5,7		4,2	12,7			0,7			
28	38,2		5,2		3,7		6,40	14,00	4,5			
29	7,2		23,9		1,1			15,90			58,5	112,0
30	3,4										4,3	28,3
31												
TOTAL MENSAL	107,2	140,7	176,6	50,0	61,0	12,7	16,0	60,0	45,0	183,6	192,4	288,5
TOTAL ANUAL	1.333,7											

Fonte adaptada: Centro Superior de Educação Tecnológica – CESET

**Elaborado por Geraldo Dragoni Sobrinho.
Tecnólogo. Msc em Saneamento
CRQ 04239928 – IV Região
Responsável pela coleta de dados**

Tabela 57 – Índice pluviométricos do ano de 2002 em totais diários de precipitação (mm).

Dias	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1					2,8			13,60	21,2			0,70
2	15,2	13,2						31,60		1,40		1,00
3					8,5			28,30				
4			19,3	90,4	8,1							
5											21,20	12,00
6			1,0		9,9							
7	1,0	36,8						2,30	20,5			0,70
8	8,1	28,9	1,0									
9	28,0	31,9										2,90
10		2,8										
11											15,90	6,10
12							2,80				3,10	0,70
13	70,0										4,40	
14	17,0	1,7	5,5								0,70	
15		6,7	21,5								21,40	
16	6,8										21,20	73,90
17		18,4	1,7		1,0				2,1		14,40	3,10
18			26,2								18,80	
19			8,8		19,4						26,90	
20	68,0				3,5							
21	0,6	38,8	3,1		22,2				33,4			
22		12,7			9,9					5,40		
23	1,3	6,1							1,0			
24			18,4									
25			108,4									
26	3,5									27,20	5,40	
27								5,40			12,00	
28											42,50	
29	7,2										13,90	
30								12,30		23,10	23,10	
31										3,40		
TOTAL MENSAL	226,7	198,0	214,9	90,4	85,3	0,0	2,8	93,5	78,2	60,5	244,9	101,1
TOTAL ANUAL	1.396,3											

Fonte adaptada: Centro Superior de Educação Tecnológica – CESET

**Elaborado por Geraldo Dragoni Sobrinho.
Tecnólogo. Msc em Saneamento
CRQ 04239928 – IV Região
Responsável pela coleta de dados**