

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

ERICK CHRISTIAN TOMIELLO

**ANÁLISE DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DE DESARENADOR DO
TRATAMENTO PRELIMINAR DE ESGOTOS SANITÁRIOS DA
CIDADE DE MARINGÁ – PR**

Maringá

2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

ERICK CHRISTIAN TOMIELLO

**ANÁLISE DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DE DESARENADOR DO
TRATAMENTO PRELIMINAR DE ESGOTOS SANITÁRIOS DA
CIDADE DE MARINGÁ – PR**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientador: Prof. Dr. Generoso De Angelis Neto.

Maringá

2008

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)**

T657a Tomiello, Erick Christian
Análise dos resíduos sólidos de desarenador do tratamento preliminar de esgotos sanitários da cidade de Maringá - PR / Erick Christian Tomiello. - Maringá : [s.n.], 2008.
130 f. : figs. color, tabs.

Orientador : Prof. Dr. Generoso De Angelis Neto.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá. Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana, 2008.

1. Resíduos sólidos. 2. Esgoto - Tratamento 3. Gradeamento. 4. Desarenador. I. Universidade Estadual de Maringá. Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana. I. Título.

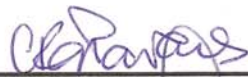
CDD 21.ed. 628.34

ERICK CHRISTIAN TOMIELLO

Análise dos Resíduos Sólidos de Desarenador do Tratamento Preliminar
de Esgotos Sanitários da Cidade de Maringá - PR

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, na área de concentração Infra-estrutura e Sistemas Urbanos, para obtenção do título de Mestre.

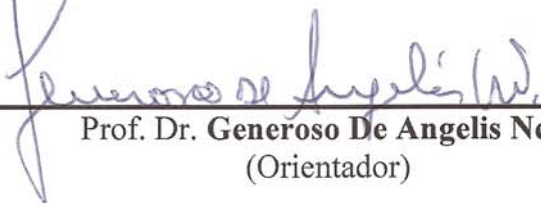
APROVADA em 15 de fevereiro de 2008.



Prof^a. Dr^a. **Célia Regina G. Tavares**



Prof. Dr. **Fernando Fernandes**



Prof. Dr. **Generoso De Angelis Neto**
(Orientador)

“É melhor tentar e falhar, que preocupar-se e ver a vida passar. É melhor tentar, ainda que em vão, que sentar-se fazendo nada até o final. Eu prefiro na chuva caminhar, que em dias tristes em casa me esconder. Prefiro ser feliz, embora louco, que em conformidade viver”.

Martin Luther King Jr.

A minha família, o presente mais perfeito que Deus me deu, sem que eu fizesse a Ele pedido algum.

Aos meus amigos e a minha Silvia, que são a família que Deus me permitiu escolher.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado à capacidade e a oportunidade de escolher e trilhar meus caminhos.

À Universidade Estadual de Maringá e principalmente ao Departamento de Engenharia Civil.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá.

Ao Professor Generoso De Angelis Neto, pela confiança, instrução, orientação e perseverança.

À Professora Célia Regina Granhen Tavares, pela experiência e boa vontade.

À Leila Cristina Konradt Moraes, pela paciência e pelo tempo gasto comigo na orientação dos ensaios de laboratório.

Ao Reinaldo Antônio Fernandes, gerente da USPO-NO, SANEPAR, que me dispensou do trabalho nos horários das aulas.

Aos meus colegas da SANEPAR que direta ou indiretamente me ajudaram no meu trabalho ou entenderam a minha ausência.

A todos os colegas do mestrado que estiveram presentes durante a elaboração deste trabalho.

Aos meus pais e meus dois irmãos que, mesmo às vezes desconhecendo meus sonhos, sempre me deram apoio para que eu corresse atrás deles.

A Silvia da Silva Pereira, luz da minha vida.

RESUMO

Diversos são os resíduos gerados em uma estação de tratamento de esgoto sanitário, podendo variar desde lodos biológicos, até materiais sólidos variados retidos no sistema de tratamento preliminar. Basicamente o sistema de tratamento preliminar, utilizado em estações de tratamento de esgoto sanitário, envolve a retirada de materiais grosseiros presentes na rede coletora de esgoto e a retenção de partículas sólidas compostas de detritos minerais, sementes, cascas de ovos, pedaços de ossos, cabelos e outros, que são genericamente denominadas de areia. Essas operações têm fundamental importância ao bom funcionamento da estação de tratamento, na medida em que condicionam o efluente para as unidades de tratamento subsequentes. A quantidade e qualidade desses resíduos são de difícil caracterização, uma vez que são função, principalmente, da educação sanitária da população servida pelo sistema de coleta de esgotos sanitários. O objetivo deste trabalho foi caracterizar quantitativamente e qualitativamente esses materiais em estações de tratamento de esgotos da cidade de Maringá – PR, e analisar a eficiência da inertização dos mesmos por um processo alcalino, com o intuito de se propor uma destinação final adequada. Os resultados encontrados indicaram que os resíduos do gradeamento não têm características favoráveis, que viabilizem a sua reutilização e que os resíduos do desarenador, em estado bruto, são classificados como areia grossa segundo a NBR 7.211 (ABNT, 1983) e, em estado bruto e com a incorporação de cal hidratada, como resíduo sólido Classe IIA – Não inertes, segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004a). Como os resíduos do desarenador não tiveram seus elementos imobilizados pela adição de cal hidratada, a destinação final adequada para os mesmos, conjuntamente com os resíduos do gradeamento, é a disposição em um aterro exclusivo de resíduos, preferencialmente construído na própria ETE.

Palavras-chave: Resíduos sólidos; Esgoto - Tratamento; Gradeamento; Desarenador.

ABSTRACT

Several are the wastes generated in a wastewater treatment plant, they could vary since biological muds, until solid materials kept in the system of preliminary treatment. Basically the system of preliminary treatment, used in wastewater treatment plants, involves the retreat of raw materials presents in the sewerage and the retention of solid particles composed of mineral debris, seeds, peels of eggs, pieces of bones, hair and other, that they are denominated usually of grit. Those operations have fundamental importance to the good operation of the treatment station, in the measure in that they condition the flow for the subsequent units of treatment. The amount and quality of those wastes are of difficult characterization once they are function, mainly, of the sanitary education of the population served by sewerage. The objective of this work was to characterize quantitatively and qualitatively those materials in wastewater treatment plants of the city of Maringá – PR, and to analyze the efficiency of the stabilization of the same by an alkaline process, with the intention of proposing a suitable final destination. The found results indicated that the wastes of the screening don't have favorable characteristics, that it can possible they reuse and that the wastes of the grit removal, in raw state, they are classified as coarse sand according to NBR 7.211 (ABNT, 1983) and, in raw state and with the incorporation of burned lime, as waste solid Type IIA - No inert, according to NBR 10.004 (ABNT, 2004a). As the wastes of the grit removal didn't have their elements immobilized by the addition of burned lime, the suitable final destination for the same ones, jointly with the wastes of the screening, it is the disposition in an exclusive landfill of wastes, preferentially built in own ETE.

Keywords: Solid wastes; Wastewater - Treatment; Screening; Grit removal.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS		IV
RESUMO		V
ABSTRACT		VI
SUMÁRIO		VII
LISTA DE FIGURAS		XI
LISTA DE TABELAS		XVI
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS		XVIII
<u>1</u>	<u>INTRODUÇÃO</u>	<u>1</u>
1.1	OBJETIVOS	3
1.1.1	OBJETIVO GERAL	3
1.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.2	ORGANOGRAMA DE ATIVIDADES	3
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	5
<u>2</u>	<u>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</u>	<u>6</u>
2.1	QUALIDADE DAS ÁGUAS E POLUIÇÃO	6
2.2	CARACTERIZAÇÃO DOS ESGOTOS	11
2.2.1	SÓLIDOS	13
2.2.2	INDICADORES DE MATÉRIA ORGÂNICA	14
2.2.3	NITROGÊNIO	14
2.2.4	FÓSFORO	15
2.2.5	INDICADORES DE CONTAMINAÇÃO FECAL	15
2.2.6	CONTAMINANTES INDUSTRIAIS	15
2.3	SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO	16

2.4	SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS	18
2.5	TRATAMENTO PRELIMINAR DE ESGOTOS SANITÁRIOS	21
2.5.1	REMOÇÃO DE SÓLIDOS GROSSEIROS (GRADEAMENTO)	22
2.5.2	REMOÇÃO DE AREIA (DESARENADOR)	30
3	<u>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u>	42
3.1	HIGIENIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR	42
3.2	TRATAMENTO ALCALINO DE LODO DE ESGOTOS (BIOSÓLIDO)	44
3.2.1	IMOBILIZAÇÃO DE METAIS	46
4	<u>MATERIAIS E MÉTODOS</u>	51
4.1	ESTUDO DE CASO	52
4.2	ESTUDOS PRELIMINARES	52
4.2.1	VISITAS TÉCNICAS ÀS ETE 01 NORTE E ETE 02 SUL	53
4.2.2	CARACTERIZAÇÃO QUANTITATIVA DOS RESÍDUOS DO GRADEAMENTO E DO DESARENADOR DAS ETE 01 NORTE E ETE 02 SUL	53
4.2.3	ANÁLISE DA PLUVIOMETRIA DO PERÍODO DA CARACTERIZAÇÃO QUANTITATIVA DOS RESÍDUOS DO GRADEAMENTO E DO DESARENADOR DA ETE 01 NORTE E DA ETE 02 SUL	53
4.2.4	CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 01 NORTE E ETE 02 SUL	54
4.3	ESTUDOS DIRECIONADOS	55
4.3.1	AMOSTRAGEM COMPOSTA DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	56
4.3.1.1	<i>ANÁLISE QUALITATIVA DA AMOSTRAGEM COMPOSTA DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL</i>	60
4.3.1.2	<i>ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRAGEM COMPOSTA DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL</i>	60
4.3.2	ANÁLISE DA FRAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	64
4.3.3	INERTIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	65
4.3.3.1	<i>ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL</i>	65

4.3.3.2	<i>ENSAIO DE SOLUBILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL</i>	66
5	<u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	69
5.1	ESTUDOS PRELIMINARES	69
5.1.1	VISITAS TÉCNICAS ÀS ETE 01 NORTE E ETE 02 SUL	69
5.1.1.1	<i>ETE 01 NORTE DE MARINGÁ</i>	71
5.1.1.2	<i>ETE 02 SUL DE MARINGÁ</i>	75
5.1.2	ANÁLISE QUANTITATIVA DOS RESÍDUOS DO GRADEAMENTO E DO DESARENADOR DAS ETE 01 NORTE E ETE 02 SUL	79
5.1.2.1	<i>ETE 01 NORTE DE MARINGÁ</i>	79
5.1.2.2	<i>ETE 02 SUL DE MARINGÁ</i>	81
5.1.2.3	<i>DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS DA ANÁLISE QUANTITATIVAS DOS RESÍDUOS DO GRADEAMENTO E DO DESARENADOR DA ETE 01 NORTE E DA ETE 02 SUL</i>	83
5.1.3	ANÁLISE DA PLUVIOMETRIA DO PERÍODO DA CARACTERIZAÇÃO QUANTITATIVA DOS RESÍDUOS DO GRADEAMENTO E DO DESARENADOR DA ETE 01 NORTE E DA ETE 02 SUL	83
5.1.3.1	<i>ETE 01 NORTE DE MARINGÁ</i>	84
5.1.3.2	<i>ETE 02 SUL DE MARINGÁ</i>	85
5.1.3.3	<i>DISCUSSÃO SOBRE A COMPARAÇÃO DAS TAXAS DE GERAÇÃO DOS RESÍDUOS DO GRADEAMENTO E DO DESARENADOR DAS ETE 01 NORTE E ETE 02 SUL COM A PLUVIOMETRIA DO PERÍODO</i>	86
5.1.4	ANÁLISE QUALITATIVA DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 01 NORTE E DA ETE 02 SUL	87
5.1.4.1	<i>ETE 01 NORTE DE MARINGÁ</i>	87
5.1.4.2	<i>ETE 02 SUL DE MARINGÁ</i>	87
5.1.4.3	<i>DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS DA ANÁLISE QUALITATIVAS DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 01 NORTE E DA ETE 02 SUL</i>	88
5.2	ESTUDOS DIRECIONADOS	89
5.2.1	AMOSTRAGEM COMPOSTA DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	89
5.2.1.1	<i>ANÁLISE QUALITATIVA DA AMOSTRAGEM COMPOSTA DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL</i>	89
5.2.1.2	<i>ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA COMPOSTA DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL</i>	94

5.2.1.3	<i>DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS DAS ANÁLISES E ENSAIOS DAS AMOSTRAS DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL</i>	95
5.2.2	<i>ANÁLISE DA FRAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL</i>	95
5.2.2.1	<i>ANÁLISE GRANULOMÉTRICA PARA ANÁLISE DAS FRAÇÕES ORGÂNICAS DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL</i>	95
5.2.2.2	<i>ANÁLISE QUALITATIVA PARA ANÁLISE DA FRAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL</i>	96
5.2.2.3	<i>DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS DA ANÁLISE DA FRAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL DAS AMOSTRAS DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL</i>	97
5.2.3	<i>INERTIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL</i>	98
5.2.3.1	<i>ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL</i>	98
5.2.3.2	<i>ENSAIO DE SOLUBILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL</i>	99
5.2.3.3	<i>DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE LIXIVIAÇÃO E SOLUBILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL</i>	114
6	<u>CONSIDERAÇÕES FINAIS</u>	119
6.1	CONCLUSÕES	119
6.2	PROPOSTAS PARA ESTUDOS FUTUROS	120
7	<u>REFERÊNCIAS</u>	121
8	<u>APÊNDICES</u>	127
8.1	APÊNDICE A	127
8.2	APÊNDICE B	128
8.2.1	CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE PINHALZINHO DO SES DE UMUARAMA - PR	128
9	<u>ANEXOS</u>	130
9.1	ANEXO A	130

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – ORGANOGRAMA DAS ETAPAS, ATIVIDADES E/OU AÇÕES DESENVOLVIDAS	4
FIGURA 2.1 - QUALIDADE DAS ÁGUAS E USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA	7
FIGURA 2.2 - CICLO HIDROLÓGICO	8
FIGURA 2.3 - CICLO DO USO DA ÁGUA	9
FIGURA 2.4 - IMPUREZAS CONTIDAS NA ÁGUA	9
FIGURA 2.5 - CLASSIFICAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE SÓLIDOS EM FUNÇÃO DO TAMANHO	10
FIGURA 2.6 - SÓLIDOS NO ESGOTO	12
FIGURA 2.7 - COMPOSIÇÃO DOS SÓLIDOS NO ESGOTO	13
FIGURA 2.8 – ESQUEMA DA REDE COLETORA DE ESGOTOS SANITÁRIOS	16
FIGURA 2.9 – SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SEPARADOR E COMBINADO	17
FIGURA 2.10 – GRADEAMENTO POR MEIO DE CORRENTE TRANSPORTADORA	24
FIGURA 2.11 – GRADEAMENTO POR MEIO DE CESTO ROTATIVO	25
FIGURA 2.12 – QUANTIDADE DE SÓLIDOS GROSSEIROS REMOVIDOS DE GRADES DE BARRAS COM LIMPEZA MECANIZADA	27
FIGURA 2.13 – DESARENADOR PRISMÁTICO RETANGULAR DE CÂMARAS PARALELAS	35
FIGURA 2.14 – DESARENADOR CICLÔNICO TIPO VORTEX	36
FIGURA 2.15 – DESARENADOR PRISMÁTICO QUADRADO	36
FIGURA 2.16 – EXEMPLO DE LAVADOR E SEPARADOR DE AREIA	40
FIGURA 3.1 – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DAS AMOSTRAS DE AREIA CONTROLE E AREIA HIGIENIZADA COM CAL NAS PROPORÇÕES 10% E 15%	44
FIGURA 4.1 – ORGANOGRAMA DE ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NESSE CAPÍTULO	51
FIGURA 4.2 – SECAGEM DAS AMOSTRAS DE RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	56
FIGURA 4.3 – PEQUENOS BROTOS GERMINANDO EM AMOSTRA DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	57
FIGURA 4.4 – AMOSTRAS 6 E 7 DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL COM UMIDADE ELEVADA (COR ESCURA)	57
FIGURA 4.5 – AMOSTRAS DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL APÓS 8 DIAS DE SECAGEM NATURAL	58
FIGURA 4.6 – QUARTEAMENTO DAS AMOSTRAS DOS RESÍDUOS DA ETE 02 SUL	58

FIGURA 4.7 – COLETA ALTERNADA NO SENTIDO ANTI-HORÁRIO DE PARCELA DAS AMOSTRAS PARA A COMPOSIÇÃO DA AMOSTRA COMPOSTA DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	59
FIGURA 4.8 – AMOSTRAS ACONDICIONADAS PARA TRANSPORTE E ENSAIOS DE LABORATÓRIO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	59
FIGURA 4.9 – AMOSTRA COMPOSTA DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL ACONDICIONADA EM BANDEJAS PARA SECAGEM EM ESTUFA	61
FIGURA 4.10 – AMOSTRA COMPOSTA DOS RESÍDUOS DA ETE 02 SUL SECANDO EM ESTUFA	61
FIGURA 4.11 – AMOSTRA COMPOSTA DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL SECA E EMBALADA A VÁCUO PARA ENSAIO DE GRANULOMETRIA	62
FIGURA 4.12 – CONJUNTO DE PENEIRAS CIRCULARES COM MALHA QUADRADA MONTADO COM FUNDO	62
FIGURA 4.13 – ENSAIO DE GRANULOMETRIA - SEPARAÇÃO DAS QUANTIDADES RETIDAS EM CADA PENEIRA	63
FIGURA 4.14 – ENSAIO DE GRANULOMETRIA - PESAGEM DE FRAÇÃO RETIDA EM UMA PENEIRA	63
FIGURA 5.1 – SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DE MARINGÁ – PR	70
FIGURA 5.2 - SISTEMA UASB (RALF)	72
FIGURA 5.3 – GRADEAMENTO GROSSEIRO E MECANIZADO – ETE 01 NORTE	74
FIGURA 5.4 – DESARENADOR CICLÔNICO COM REMOÇÃO MECÂNICA DE AREIA – ETE 01 NORTE	74
FIGURA 5.5 – PAINEL DIGITAL DO EQUIPAMENTO PARA MEDIÇÃO DE VAZÕES – ETE 01 NORTE	75
FIGURA 5.6 - SISTEMA UASB (RALF) SEGUIDO DE FILTRO BIOLÓGICO PERCOLADOR	76
FIGURA 5.7 – GRADEAMENTO GROSSEIRO E MECANIZADO – ETE 02 SUL	78
FIGURA 5.8 – DESARENADOR COM REMOÇÃO MECÂNICA DE AREIA – ETE 02 SUL	78
FIGURA 5.9 – PAINEL DIGITAL DO EQUIPAMENTO PARA MEDIÇÃO DE VAZÕES – ETE 02 SUL	79
FIGURA 5.10 – TAXAS DE GERAÇÃO DOS RESÍDUOS DO GRADEAMENTO DA ETE 01 NORTE DE MARINGÁ - PR	79
FIGURA 5.11 – TAXAS DE GERAÇÃO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 01 NORTE DE MARINGÁ - PR	80
FIGURA 5.12 – TAXAS DE GERAÇÃO DO RESÍDUO DO GRADEAMENTO DA ETE 02 SUL DE MARINGÁ - PR	81

FIGURA 5.13 – TAXAS DE GERAÇÃO DO RESÍDUO DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL DE MARINGÁ - PR	82
FIGURA 5.14 – PLUVIOMETRIA DO PERÍODO DE MONITORAMENTO DAS ETE'S – MARINGÁ - PR	84
FIGURA 5.15 – PLUVIOMETRIA ACUMULADA X TAXAS DE GERAÇÃO DOS RESÍDUOS DO GRADEAMENTO DA ETE 01 NORTE	84
FIGURA 5.16 – PLUVIOMETRIA ACUMULADA X TAXAS DE GERAÇÃO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 01 NORTE	85
FIGURA 5.17 – PLUVIOMETRIA ACUMULADA X TAXAS DE GERAÇÃO DOS RESÍDUOS DO GRADEAMENTO DA ETE 02 SUL	85
FIGURA 5.18 – PLUVIOMETRIA ACUMULADA X TAXAS DE GERAÇÃO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	86
FIGURA 5.19 – PORCENTAGEM DE UMIDADE DAS AMOSTRAS COLETADAS DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	90
FIGURA 5.20 – PORCENTAGEM DE MATÉRIA ORGÂNICA E RESÍDUO MINERAL DAS AMOSTRAS COLETADAS DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	90
FIGURA 5.21 – PORCENTAGEM DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL DAS AMOSTRAS COLETADAS DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	91
FIGURA 5.22 – TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS, FIXOS E VOLÁTEIS DAS AMOSTRAS COLETADAS DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	91
FIGURA 5.23 – RELAÇÃO SV/ST (%) DAS AMOSTRAS COLETADAS DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	92
FIGURA 5.24 – DENSIDADE DAS AMOSTRAS COLETADAS DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	92
FIGURA 5.25 – POTENCIAL HIDROGENIÔNICO DAS AMOSTRAS COLETADAS DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	93
FIGURA 5.26 – DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO DAS AMOSTRAS COLETADAS DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	93
FIGURA 5.27 – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA AMOSTRA COMPOSTA DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	94
FIGURA 5.28 – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA PARA ANÁLISE DA FRAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	96

FIGURA 5.29 – ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DAS FRAÇÕES ORGÂNICAS E MINERAIS RETIDAS NAS PENEIRAS NO ENSAIO DE GRANULOMETRIA DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	97
FIGURA 5.30 – AGITADOR ROTATÓRIO DE FRASCOS UTILIZADO NO ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO	98
FIGURA 5.31 – GARRAFAS TIPO PET UTILIZADAS NO ENSAIO DE SOLUBILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	100
FIGURA 5.32 – EQUIPAMENTO DE CENTRIFUGAÇÃO UTILIZADO NO EXTRATO SOLUBILIZADO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	100
FIGURA 5.33 – AMOSTRA ANTES E DEPOIS DA CENTRIFUGAÇÃO DO EXTRATO SOLUBILIZADO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	101
FIGURA 5.34 – pH DO EXTRATO SOLUBILIZADO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	102
FIGURA 5.35 – TURBIDEZ DO EXTRATO SOLUBILIZADO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	103
FIGURA 5.36 – COR REAL (HZ) DO EXTRATO SOLUBILIZADO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	103
FIGURA 5.37 – SDT DO EXTRATO SOLUBILIZADO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	104
FIGURA 5.38 – CONCENTRAÇÃO DO SULFATO (SO_4^{-2}) DO EXTRATO SOLUBILIZADO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	104
FIGURA 5.39 – CONCENTRAÇÃO DO CIANETO (CN) DO EXTRATO SOLUBILIZADO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	105
FIGURA 5.40 – CONCENTRAÇÃO DO NITRATO (N-NO_3) DO EXTRATO SOLUBILIZADO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	105
FIGURA 5.41 – CONCENTRAÇÃO DO CLORETO (CL) DO EXTRATO SOLUBILIZADO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	106
FIGURA 5.42 – CONCENTRAÇÃO DO FLUORETO (F) DO EXTRATO SOLUBILIZADO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	106
FIGURA 5.43 – DUREZA TOTAL (CaCO_3) DO EXTRATO SOLUBILIZADO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	107
FIGURA 5.44 – CONCENTRAÇÃO DO FENOL ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$) DO EXTRATO SOLUBILIZADO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	107
FIGURA 5.45 – CONCENTRAÇÃO DO SURFACTANTE (MBAS) DO EXTRATO SOLUBILIZADO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	108

FIGURA 5.46 – CONCENTRAÇÃO DE FERRO (Fe) NO EXTRATO SOLUBILIZADO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	108
FIGURA 5.47 – CONCENTRAÇÃO DE ZINCO (Zn) NO EXTRATO SOLUBILIZADO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	109
FIGURA 5.48 – CONCENTRAÇÃO DE MANGANÊS (Mn) NO EXTRATO SOLUBILIZADO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	109
FIGURA 5.49 – CONCENTRAÇÃO DE COBRE (Cu) NO EXTRATO SOLUBILIZADO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	110
FIGURA 5.50 – CONCENTRAÇÃO DE CHUMBO (Pb) NO EXTRATO SOLUBILIZADO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	110
FIGURA 5.51 – CONCENTRAÇÃO DE CÁDMIO (Cd) NO EXTRATO SOLUBILIZADO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	111
FIGURA 5.52 – CONCENTRAÇÃO DE SÓDIO (Na) NO EXTRATO SOLUBILIZADO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	111
FIGURA 5.53 – CONCENTRAÇÃO DE PRATA (Ag) NO EXTRATO SOLUBILIZADO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	112
FIGURA 5.54 – CONCENTRAÇÃO DE CROMO (Cr) NO EXTRATO SOLUBILIZADO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	112
FIGURA 5.55 – CONCENTRAÇÃO DE BÁRIO (Ba) NO EXTRATO SOLUBILIZADO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	113
FIGURA 5.56 – CONCENTRAÇÃO DE ALUMÍNIO (Al) NO EXTRATO SOLUBILIZADO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	113
FIGURA 5.57 – CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO (Ca) NO EXTRATO SOLUBILIZADO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	114
FIGURA 8.1 – PLANILHA EXEMPLO UTILIZADA NO MONITORAMENTO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS	127
FIGURA 8.2 – GRADEAMENTO GROSSEIRO E MECANIZADO DA ETE PINHALZINHO	128
FIGURA 8.3 – DESARENADOR CICLÔNICO COM REMOÇÃO MECÂNICA DE AREIA DA ETE PINHALZINHO	129

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 - PRINCIPAIS MECANISMOS DE REMOÇÃO DE POLUENTES NO TRATAMENTO DE ESGOTOS	19
TABELA 2.2 - OPERAÇÕES, PROCESSOS E SISTEMAS DE TRATAMENTO FREQUENTEMENTE UTILIZADOS PARA REMOÇÃO DE POLUENTES DE ESGOTOS SANITÁRIOS	20
TABELA 2.3 - PRODUTOS GERADOS NO TRATAMENTO	21
TABELA 2.4 – ESPAÇAMENTO ENTRE BARRAS	23
TABELA 2.5 – QUANTIDADE DE SÓLIDOS GROSSEIROS REMOVIDOS EM FUNÇÃO DO ESPAÇAMENTO DAS BARRAS	27
TABELA 2.6 – DADOS MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS E QUANTIDADES DE SÓLIDOS GROSSEIROS REMOVIDOS DO ESGOTO POR MEIO DE GRADEAMENTO	27
TABELA 2.7 – TIPOS DE CAIXA DE AREIA	32
TABELA 2.8 – DADOS TÍPICOS PARA O PROJETO DE DESARENADORES À GRAVIDADE	33
TABELA 2.9 – REMOÇÃO DE AREIA SEGUNDO VÁRIAS REFERÊNCIAS DE LITERATURA	38
TABELA 2.10 – QUANTIDADE DE AREIA REMOVIDA EM SISTEMAS DE COLETA DE ESGOTO DO TIPO SEPARADOR ABSOLUTO	39
TABELA 3.1 – RESULTADOS OBTIDOS NAS ANÁLISES DE CT E E. COLI	43
TABELA 3.2 – RESULTADOS OBTIDOS NAS ANÁLISES DE OVOS DE HELMINTOS	43
TABELA 3.3 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE UMIDADE	43
TABELA 3.4 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE PH	43
TABELA 3.5 – CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE METAIS NO LODO DE ESGOTO NO BRASIL	47
TABELA 3.6 – CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LODO DE ESGOTOS TRATADOS QUIMICAMENTE	48
TABELA 3.7 – TEOR DE METAIS EM LODO DE ESGOTOS COMPOSTADO COM SERRAGEM E DIFERENTES TAXAS DE INCORPORAÇÃO DE CAL HIDRATADA	48
TABELA 3.8 – CARACTERÍSTICAS DE LODO BRUTO E TRATADO COM CAL	49
TABELA 3.9 – TEOR DE METAIS DO LODO BRUTO E TRATADO COM CAL	49
TABELA 3.10 – DETERMINAÇÃO DE METAIS ANALISADOS NAS ETE’S PENHA E ILHA - RJ	50
TABELA 4.1 – PARÂMETROS INVESTIGADOS E METODOLOGIAS UTILIZADAS NAS ANÁLISES QUALITATIVAS DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 01 NORTE E ETE 02 SUL	55
TABELA 4.2 – ABERTURAS DAS PENEIRAS DE MALHA METÁLICA QUADRADA	64

TABELA 4.3 – PARÂMETROS INVESTIGADOS E METODOLOGIAS UTILIZADAS NO ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	65
TABELA 4.4 – COMPOSIÇÃO DO EXPERIMENTO SOBRE INERTIZAÇÃO DE ELEMENTOS COM ADIÇÃO DE CAL HIDRATADA (Ca(OH)₂) DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL PARA ENSAIO DE SOLUBILIZAÇÃO	67
TABELA 4.5 – PARÂMETROS INVESTIGADOS E METODOLOGIAS UTILIZADAS NO ENSAIO DE SOLUBILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	68
TABELA 5.1 – DADOS BÁSICOS DO SES DE MARINGÁ	69
TABELA 5.2 – DADOS GERAIS SOBRE A ETE 01 NORTE DO SES DE MARINGÁ	72
TABELA 5.3 – DADOS GERAIS SOBRE A ETE 02 SUL DO SES DE MARINGÁ	76
TABELA 5.4 – RELAÇÃO DAS TAXAS DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA ETE 01 NORTE	81
TABELA 5.5 – RELAÇÃO DAS TAXAS DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA ETE 02 SUL	82
TABELA 5.6 – PARÂMETROS ANALISADOS NA AMOSTRA DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 01 NORTE	87
TABELA 5.7 – PARÂMETROS ANALISADOS NA AMOSTRA DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	87
TABELA 5.8 – PORCENTAGEM MÉDIA RETIDA NAS PENEIRAS DO ENSAIO DE GRANULOMETRIA DA AMOSTRA COMPOSTA DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	94
TABELA 5.9 – PORCENTAGEM MÉDIA RETIDA NAS PENEIRAS DO ENSAIO DE GRANULOMETRIA PARA ANÁLISE DA FRAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	95
TABELA 5.10 – PARÂMETROS ANALISADOS NO EXTRATO LIXIVIADO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	99
TABELA 5.11 – DADOS OBTIDOS NO PROCEDIMENTO DO ENSAIO DE SOLUBILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DA ETE 02 SUL	101
TABELA 8.1 – PARÂMETROS ANALISADOS NA AMOSTRA DO RESÍDUO DO DESARENADOR DA ETE PINHALZINHO	129
TABELA 9.1 – RESULTADO DOS ENSAIOS DE LIXIVIAÇÃO E SOLUBILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR DAS ETE’S BELÉM E ATUBA SUL DO SES DE CURITIBA - PR	130

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CT	Coliformes totais
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
E. Coli	<i>Escherichia Coli</i>
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
NBR	Norma Brasileira
OD	Oxigênio Dissolvido
PET	Tereftalato de polietileno
pH	Potencial hidrogeniônico
PR	Paraná
PVC	Policloreto de vinila
RALF	Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado
RPM	Rotação por minuto
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Estado do Paraná
SF	Sólidos fixos
ST	Sólidos Totais
SV	Sólidos voláteis
UASB	Up-flow Anaerobic Sludge Blanket
SES	Sistema de Esgotamento Sanitário

1 INTRODUÇÃO

A relação do homem com o ambiente encontra na cidade um de seus paradoxos mais evidentes, pois ao mesmo tempo em que a mesma se apresenta como fonte de riqueza e oportunidades, leva à escassez dos recursos naturais outrora inesgotáveis.

A cidade tem na água o seu recurso natural mais valioso, uma vez que do seu fornecimento dependem seus habitantes, suas indústrias e seu comércio, sendo que sua disponibilidade em quantidade e qualidade é um dos principais fatores limitantes ao progresso do meio urbano.

O desenvolvimento urbano vem acompanhado de uma maior demanda por água que invariavelmente, uma vez usada, retorna aos corpos d'água sob a forma de águas residuárias, denominadas de esgotos. Esses corpos d'água possuem uma capacidade de depuração natural limitada e, na maioria das vezes, incompatível com as elevadas concentrações de poluentes e quantidades de esgotos gerados nas aglomerações urbanas.

Assim sendo, torna-se necessário o tratamento dessas águas residuárias antes de serem dispostas nos corpos receptores, buscando-se assim tornar o efluente tratado compatível com a capacidade de autodepuração destes, afetando o mínimo possível a qualidade da vida aquática ali existente, de maneira a não limitar possíveis usos a jusante do ponto em que ocorre o lançamento.

Entretanto, a maioria dos tratamentos não elimina as substâncias nocivas presentes nessas águas, apenas as retira do fluxo líquido concentrando, a sua maior parte, na forma de resíduos sólidos e semi-sólidos, brutos ou parcialmente estabilizados, denominados lodos de esgotos. As principais formas difundidas para a disposição final desses lodos são a incineração, a disposição em aterros e o reuso agrícola.

A incineração não deve ser considerada como uma forma de disposição final uma vez que gera outros resíduos sólidos, denominados cinzas, que deverão ter uma disposição final adequada. Tal processo exige ainda um grande controle e tratamento dos gases formados no processo, que também podem produzir outros resíduos sólidos e líquidos. Os custos de implantação e operação adequadas desses sistemas são os principais fatores limitantes para a sua difusão.

Os lodos de esgotos mais conhecidos são os originados no tratamento biológico, tanto anaeróbio quanto aeróbio. Por sua grande quantidade e características físicas, químicas e

biológicas, geralmente, viabiliza-se a sua utilização, após tratamento, como composto orgânico para uso agrícola, sendo então denominado de biosólidos.

Esta forma de disposição final é chamada de uso benéfico e tem sido adotada para aproximadamente 55,5% do lodo produzido nos Estados Unidos, devendo alcançar 61,5% até 2010. A tendência de crescimento dessa alternativa se evidencia em todo o planeta devido à necessidade de produção de alimentos em quantidades cada vez maiores e a escassez, também crescente, de novas áreas para construção de aterros próximos aos grandes centros urbanos (ANDREOLI et al, 2001).

Porém, os biosólidos não são os únicos resíduos gerados no processo de tratamento de esgoto apesar de, atualmente, a maioria das pesquisas sobre o assunto darem enfoque, quase que exclusivamente, a esse tipo de resíduo.

Os resíduos originados do tratamento preliminar de esgotos são compostos basicamente por dois tipos de resíduos sólidos: os retidos no gradeamento e os retirados do desarenador. Os mesmos têm recebido, ao longo dos anos, uma importância secundária, tanto nas pesquisas desenvolvidas quanto nos projetos de novas estações de tratamento de esgotos. Tal fato se comprova pela escassez de dados e trabalhos, acadêmicos ou não, a respeito da geração, composição, tratamento e destinação final desses resíduos.

Na maioria dos projetos de novas estações de tratamento de esgotos, apresentam com alternativa única de destinação desse resíduo, a disposição em aterro sanitário. Os dados do relatório do IAP - Instituto Ambiental do Paraná (IAP, 2003), sobre a destinação de resíduos sólidos e hospitalares no Estado do Paraná, torna evidente a escassez de aterros sanitários com licença de operação em vigência, fato este que inviabiliza esta alternativa de destinação final, por fatores tais como custo de transporte, capacidade e disponibilidade de recebimento do aterro sanitário e restrições legais na disposição de resíduos de um município em outro.

Já a destinação agrícola é inviabilizada tanto pelas características dos resíduos, quanto, pelo inciso §2º do artigo 3º da Resolução nº 375 de 29 de Agosto de 2006 (CONAMA, 2006), que veta tal prática.

Nesse contexto, esta dissertação originou-se da necessidade de se suprir esta lacuna, pesquisando opções para a definição, em projetos futuros de estações de tratamento de esgoto, de possíveis tratamentos e destinações adequadas para esses resíduos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é analisar as principais características dos resíduos sólidos oriundos do tratamento preliminar de estações de tratamento de esgotos sanitários de Maringá – PR.

1.1.2 Objetivos específicos

A partir deste objetivo geral faz-se necessária a investigação dos processos e operações realizadas em ETE's, que possuem correlação com a geração desses resíduos, além da obtenção de dados para comparação com a literatura existente. Nesse sentido deve-se cumprir com as seguintes diretrizes:

- ✓ Investigar a geração dos resíduos do gradeamento e do desarenador, principalmente quanto aos tipos de equipamentos utilizados e aos fatores intervenientes no processo.
- ✓ Avaliar quantitativamente a geração desses tipos de resíduos, inclusive com a investigação da influência da pluviometria do período, nas taxas de geração de resíduos.
- ✓ Avaliar qualitativamente os resíduos do desarenador, por meio da investigação de parâmetros físico-químicos e ensaios de granulometria de amostragens individuais e compostas.
- ✓ Investigar a capacidade de inertização dos resíduos do desarenador pelo tratamento alcalino, com vistas a sua classificação como inerte segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004a).
- ✓ Propor formas de tratamento e disposição final para esses resíduos.

1.2 ORGANOGRAMA DE ATIVIDADES

A seguir é apresentada esquematicamente na Figura 1.1 as etapas, atividades e/ou ações desenvolvidas nessa pesquisa.

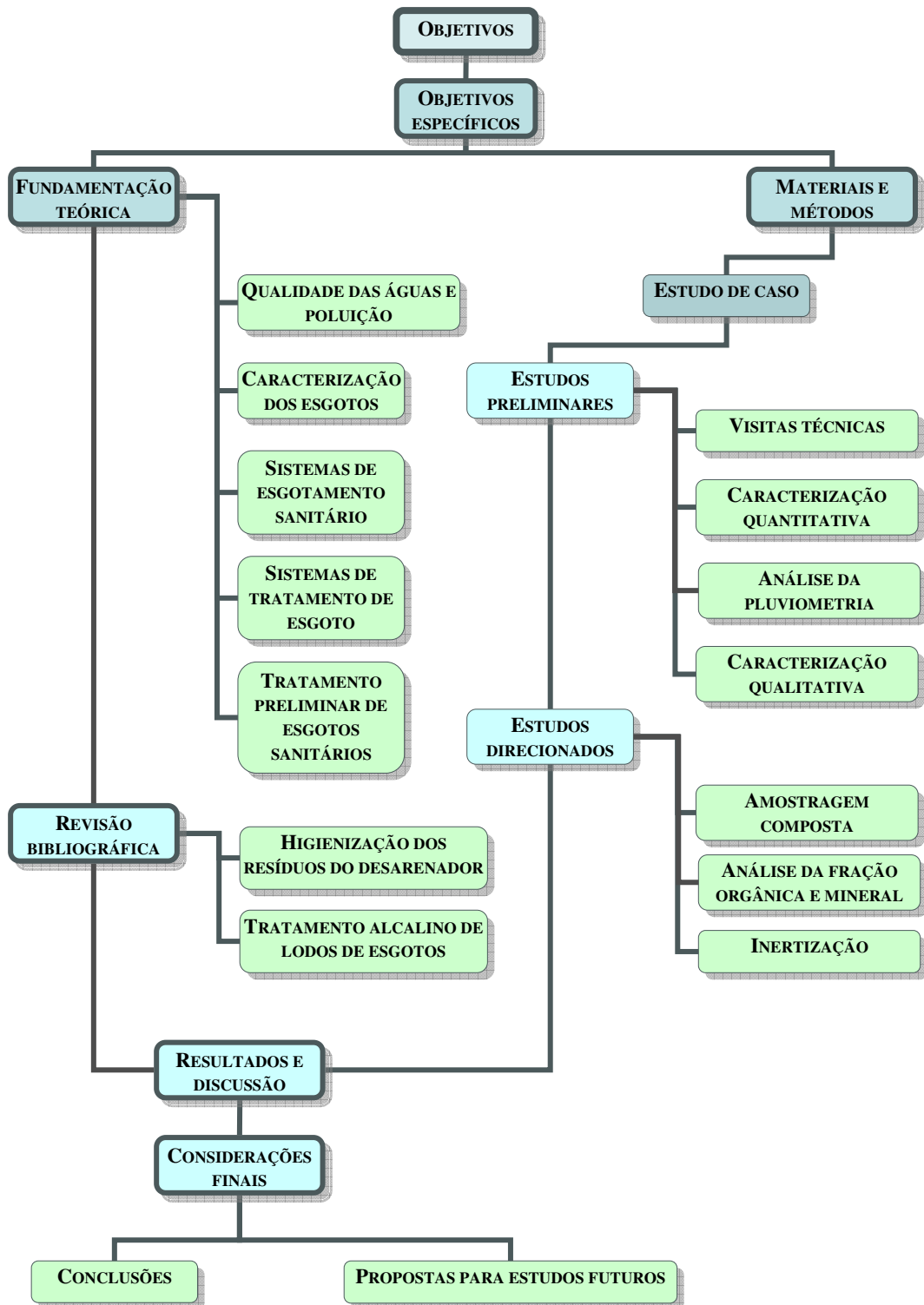


Figura 1.1 – Organograma das etapas, atividades e/ou ações desenvolvidas

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O Capítulo 1 consta da introdução ao assunto e dos objetivos deste trabalho, tanto gerais quanto específicos.

O Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica que aborda assuntos correlatos ao trabalho a ser desenvolvido.

O Capítulo 3 apresenta a revisão bibliográfica que aborda trabalhos similares que serviram de base comparativa para o desenvolvimento do presente.

O Capítulo 4 apresenta os materiais e métodos utilizados para a pesquisa a respeito dos resíduos gerados no tratamento preliminar de esgotos.

No Capítulo 5 são apresentados os resultados e a discussão sobre os experimentos realizados.

O Capítulo 6 reserva as considerações finais a respeito desse trabalho e as propostas para estudos futuros.

No Capítulo 7 são apresentadas as referências utilizadas para o desenvolvimento desta dissertação.

No Capítulo 8 são apresentados os Apêndices do trabalho.

No Capítulo 9 são apresentados os Anexos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentadas considerações sobre a engenharia sanitária e ambiental que servirão de subsídio para entendimento dos problemas relacionados aos resíduos gerados no tratamento preliminar de esgotos sanitários.

2.1 QUALIDADE DAS ÁGUAS E POLUIÇÃO

Devido às suas propriedades de solvente e à sua capacidade de transportar partículas, a água incorpora diversas partículas, as quais definem a sua qualidade.

Esta incorporação é resultante de fenômenos naturais e da atuação do homem e, de uma maneira geral, é determinada pelo uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica em que o corpo hídrico está inserido (VON SPERLING, 1996).

As principais fontes naturais de poluição dos corpos d'água são (JORDÃO; PESSOA, 2005):

- ✓ Poluição atmosférica: a chuva que cai sobre uma coleção hídrica pode carrear poluentes presentes na atmosfera, tais como materiais particulados, ácidos, metais, nutrientes, etc.
- ✓ Minerais dissolvidos: as águas subterrâneas ao escoarem até o ponto de afloramento ou de captação podem apresentar concentrações excessivas de materiais dissolvidos indesejáveis ao uso da água.
- ✓ Dissolução de vegetação: produtos resultantes da dissolução ou lixiviação da vegetação em contato com a água costumam causar um forte consumo de oxigênio e alterações na cor.
- ✓ Floração aquática: pode acontecer naturalmente em lagos e rios e gerar vários inconvenientes ao corpo hídrico, como a eutrofização do mesmo.
- ✓ Escoamento superficial: contribui com uma parcela da poluição de matéria sólida originada da erosão do solo.

E as principais fontes não-naturais, ou seja, causadas pelo homem, de poluição dos corpos d'água são (JORDÃO; PESSOA, 2005):

- ✓ Áreas agrícolas: poluição difusa oriunda do uso de pesticidas, herbicidas e fertilizantes.

- ✓ Esgotos urbanos: esgotos domésticos e industriais, tratados ou não, esgotos pluviais, principalmente em regiões com sistemas de saneamento deficientes ou inexistentes, e lodos do sistema de tratamento de água para abastecimento urbano.
- ✓ Áreas de mineração: efluentes gerados no processo de exploração de minerais, bem como águas drenadas de áreas de mineração abandonadas.
- ✓ Áreas de influência de aterros sanitários: extratos lixiviados de aterros sanitários, aterros controlados e lixões.
- ✓ Reservatórios de acumulação: a construção de reservatórios, para quaisquer finalidades, como geração de energia ou abastecimento de água, pode produzir uma deterioração da qualidade da água, que eventualmente não existiria se o reservatório não fosse construído.

A Figura 2.1 apresenta um exemplo de possíveis inter-relações entre uso e ocupação do solo e a geração de agentes que interferem na qualidade da água de rios e lagos.

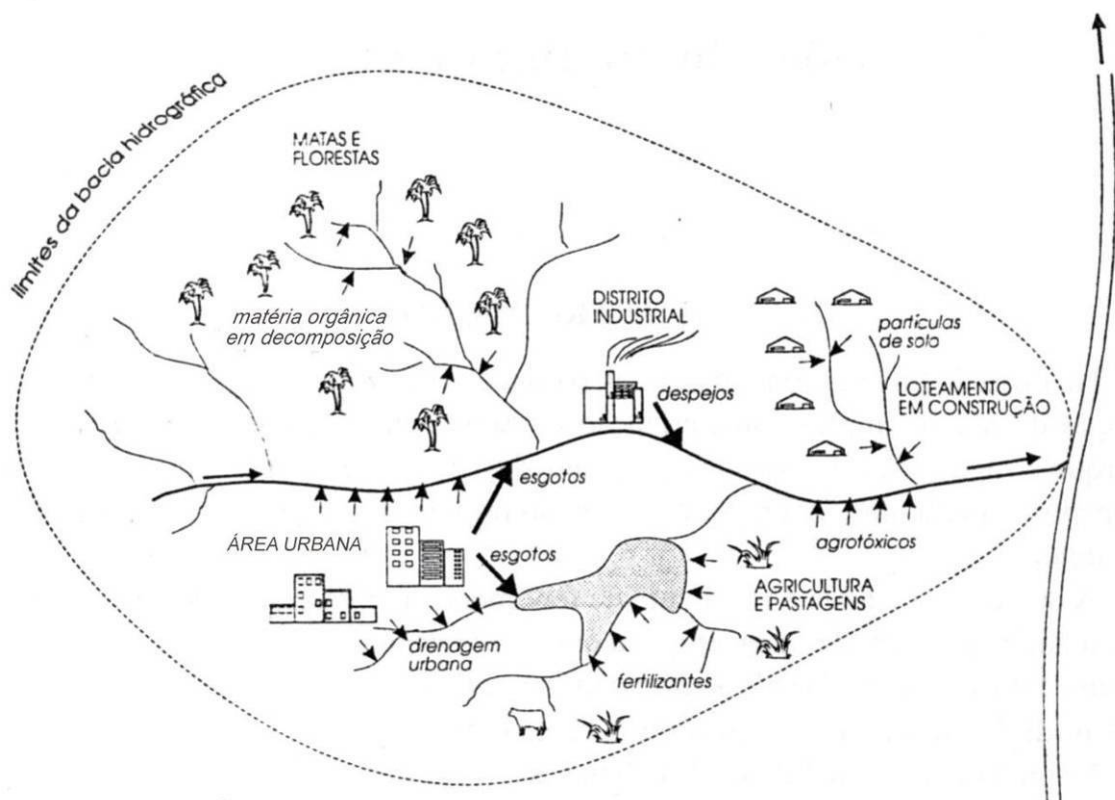


Figura 2.1 - Qualidade das águas e uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica

Fonte: VON SPERLING (1996)

O corpo humano é constituído de 60% do seu peso em água, sendo esta o seu constituinte inorgânico mais abundante e indispensável para a manutenção da vida. Dos $1,36 \times 10^{18} \text{ m}^3$ de água existentes no planeta apenas 0,8% é água doce em estado líquido, com características desejáveis para o abastecimento público. Dessa pequena fração apenas 3% apresenta-se na forma de água superficial tais como rios e lagos, sendo o restante subterrâneo. Esses dados ressaltam a importância em se preservar a água superficial mais facilmente disponível e conseqüentemente a mais facilmente sujeita a degradação (VON SPERLING, 1996).

Além da disponibilidade, o entendimento da circulação da água no planeta se faz necessário. A ele é dado o nome de ciclo hidrológico e compreende vários mecanismos que, de uma forma simplificada, são apresentados na Figura 2.2 a seguir.

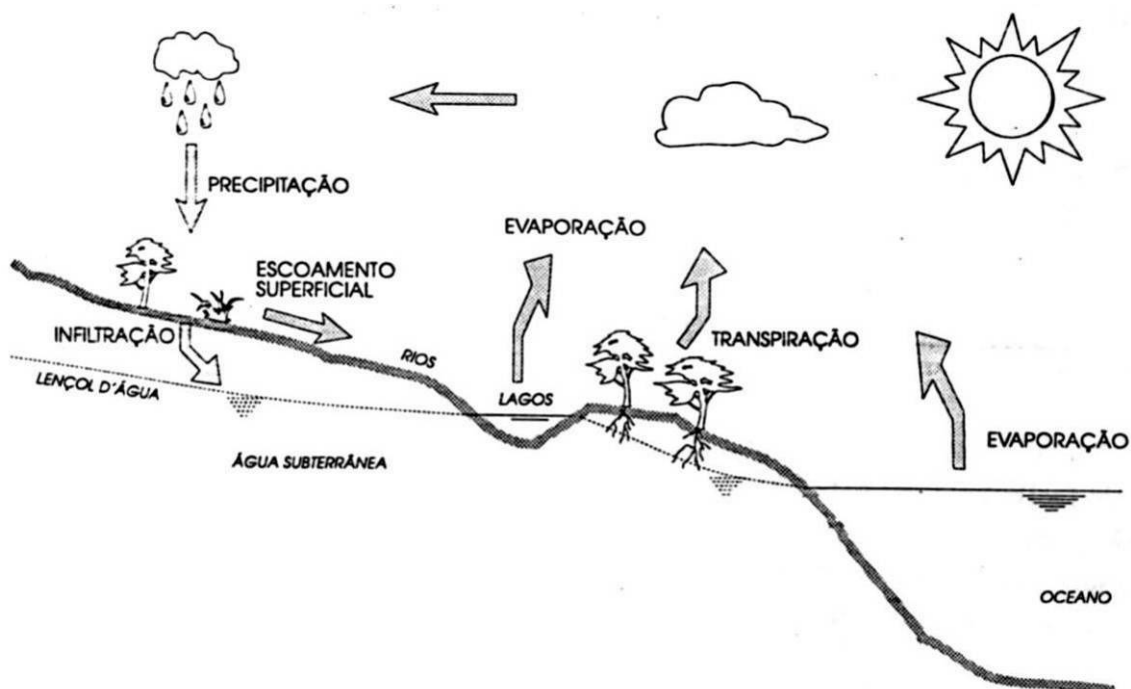
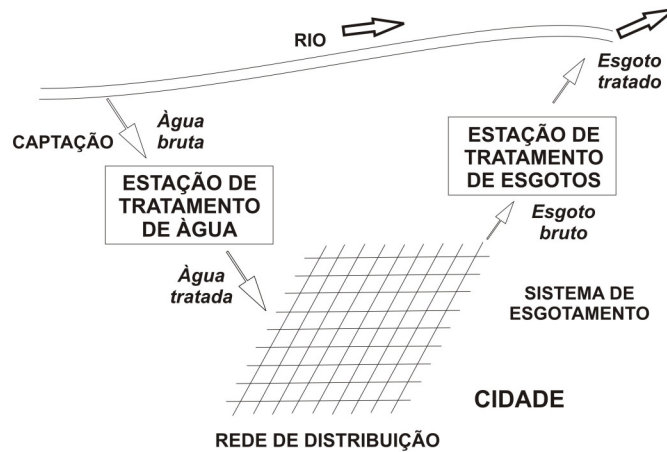


Figura 2.2 - Ciclo hidrológico

Fonte: VON SPERLING (1996)

Além desse ciclo principal existem outros ciclos em que a água é utilizada apenas na forma líquida. Um desses ciclos tem grande influência na saúde e no bem estar da população dos centros urbanos, o mesmo está ilustrado na Figura 2.3 a seguir.



- Água bruta: Inicialmente, a água é retirada do rio, lago ou lençol subterrâneo, possuindo uma determinada qualidade.
- Água tratada: Após a captação, a água sofre transformações durante o seu tratamento para se adequar aos usos previstos (ex.: abastecimento público ou industrial).
- Água usada (esgoto bruto): Com a utilização da água, a mesma sofre novas transformações na sua qualidade, vindo a constituir-se em um despejo líquido.
- Esgoto tratado: Visando remover os seus principais poluentes, os despejos sofrem um tratamento antes de serem lançados ao corpo receptor. O tratamento dos esgotos é responsável por uma nova alteração na qualidade do líquido.
- Corpo receptor: O efluente do tratamento dos esgotos atinge o corpo receptor, onde, face à diluição e mecanismos de autodepuração, a qualidade da água volta a sofrer novas modificações.

Figura 2.3 - Ciclo do uso da água

Fonte: Adaptado de VON SPERLING (1996)

As impurezas presentes na água, que definem a sua qualidade, podem ser representadas de forma simplificada, por suas características físicas, químicas e biológicas, ilustradas na Figura 2.4 a seguir.

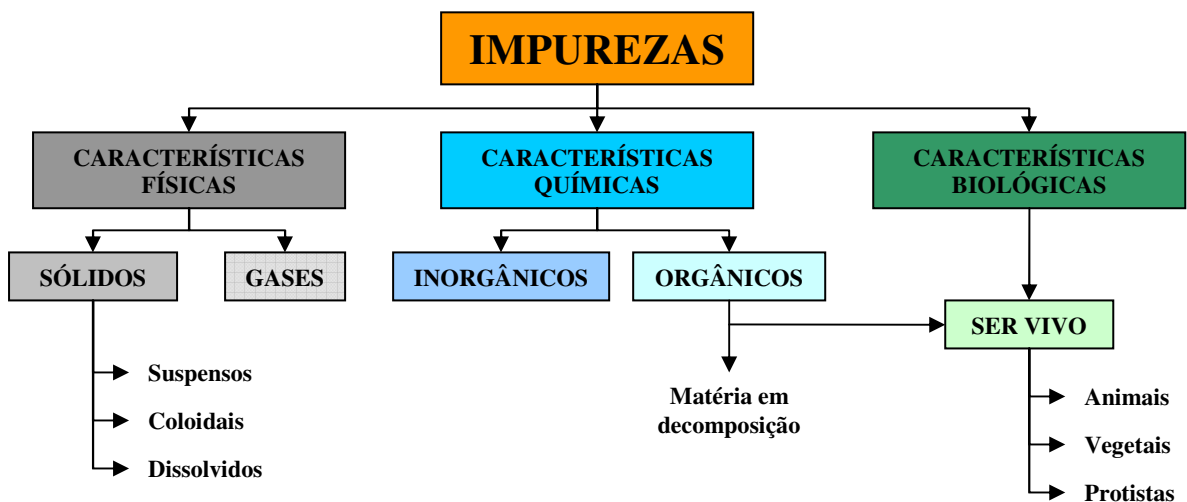


Figura 2.4 - Impurezas contidas na água

Fonte: Adaptado de VON SPERLING (1996)

Com exceção dos gases dissolvidos, todos os contaminantes da água são sólidos e simplifadamente podem ser classificados de acordo com as suas características físicas,

químicas e/ou biológicas. A caracterização física é uma classificação do tamanho das partículas, como mostrado na Figura 2.5.

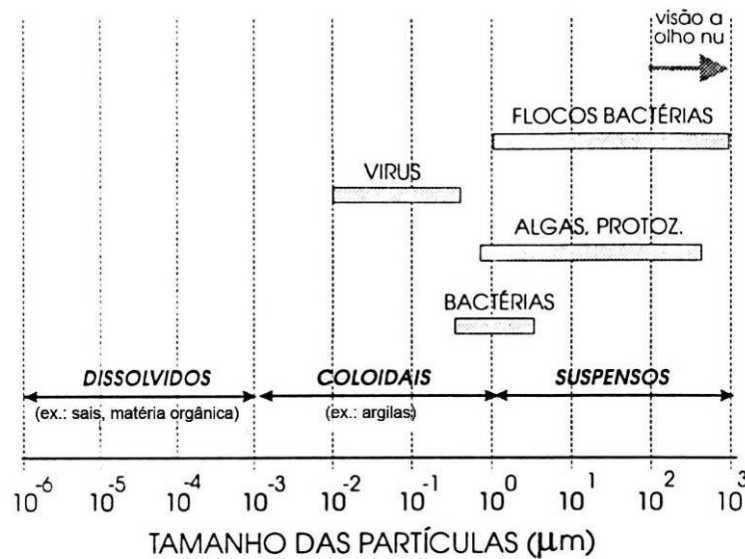


Figura 2.5 - Classificação e distribuição de sólidos em função do tamanho

Fonte: VON SPERLING (1996)

A caracterização química divide os sólidos em fixos (material inorgânico ou mineral) e voláteis (material orgânico).

As características biológicas são referentes aos organismos presentes na água e a atuação desses nos processos de depuração de despejos e a sua associação com as doenças de veiculação hídrica. Os microrganismos de interesse para a caracterização da qualidade da água são as bactérias, as algas, os fungos, os protozoários, os vírus e os helmintos.

A qualidade da água pode ser avaliada por meio de diversos parâmetros, que traduzem as suas principais características físicas, químicas e biológicas, sendo os mesmos apresentados a seguir (VON SPERLING, 1996):

- ✓ Parâmetros físicos: cor, turbidez, sabor e odor, e temperatura.
- ✓ Parâmetros químicos: pH, alcalinidade, acidez, dureza, ferro e manganês, cloretos, nitrogênio, fósforo, oxigênio dissolvido, matéria orgânica, micropoluentes inorgânicos e micropoluentes orgânicos.
- ✓ Parâmetros biológicos: estão relacionados com a transformação da matéria dentro dos ciclos biogeoquímicos e na possibilidade de transmissão de doenças, sendo

que este último pode ser aferido de forma indireta pela presença de organismos indicadores de contaminação fecal, presentes principalmente no grupo coliforme.

Além desses requisitos de qualidade existe a necessidade de se estabelecer padrões de qualidade, que também são função do uso previsto para a água, embasados por um suporte legal por meio de legislação pertinente.

Basicamente existem três tipos principais de padrões de interesse à qualidade da água no Brasil, sendo os mesmos (SOARES, 2006):

- ✓ Padrão de lançamento no corpo receptor.
- ✓ Padrão de qualidade do corpo receptor.
- ✓ Padrão de potabilidade.

Os padrões de lançamentos de efluentes e a classificação da qualidade dos corpos d'água são definidos pela Resolução nº 357 de 17 de Março de 2005 (CONAMA, 2005), podendo ser restringidos pelo órgão ambiental. O padrão de potabilidade é definido pela Portaria nº 518 de 25 de Março de 2004 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2004).

Conceitualmente, água poluída é a água cuja qualidade física, química e bacteriológica foi alterada artificialmente, tendo sido ultrapassados os limites ou padrões pré-estabelecidos para determinado fim; já a água contaminada é aquela que possui organismos patogênicos, substâncias químicas, tóxicas ou radioativas, em teores prejudiciais à saúde do homem (disponível em < <http://e-geo.ineti.pt> >, acessado em 07/08/2007).

Em se tratando de poluição oriunda de esgotos domésticos, o consumo de oxigênio dissolvido no corpo receptor e a presença de organismos patogênicos, nutrientes e fósforo no despejo, são os principais fatores que causam degradação na qualidade da água. Já nos esgotos industriais a principal preocupação é com a presença de metais, de compostos de difícil degradação e de compostos tóxicos.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS ESGOTOS

Os esgotos afluentes a uma ETE podem ser classificados em dois grupos principais (JORDÃO; PESSOA, 2005):

- ✓ Esgotos sanitários.
- ✓ Esgotos industriais.

No Brasil, com a predominância do sistema separador absoluto onde as águas pluviais possuem uma rede exclusiva para sua coleta, os esgotos sanitários são constituídos de despejos domésticos, uma parcela de águas pluviais (ligações irregulares ou clandestinas) e águas de infiltração (tubos, conexões, juntas e paredes de poços de visita defeituosos). Os despejos domésticos compõem-se essencialmente de água de banho, urina, fezes, papel, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem. Pode existir uma parcela de despejos industriais diluídos nos esgotos sanitários desde que os mesmos não afetem e/ou interfiram no sistema de coleta e, principalmente, no de tratamento desses.

Os esgotos industriais são extremamente diversos e provêm de qualquer utilização da água para fins industriais, adquirem características próprias em função do processo industrial empregado e geralmente necessitam de pré-tratamento para serem dispostos conjuntamente com os esgotos sanitários.

Neste trabalho serão analisados esgotos predominantemente sanitários, ou seja, as contribuições industriais as ETE's são em quantidade e qualidade não significativa visto que a política da SANEPAR é de não receber efluentes industriais, em quantidade ou qualidade, que afetem o tratamento biológico realizado em suas ETE's.

Os esgotos sanitários contêm, em média, aproximadamente 99,92% de água e 0,08% de matéria sólida, composta por matérias orgânicas e inorgânicas, em suspensão ou dissolvidas, bem como microrganismos. Essa pequena fração constitui a necessidade de tratamento dos esgotos, conforme ilustrado na Figura 2.6 a seguir:

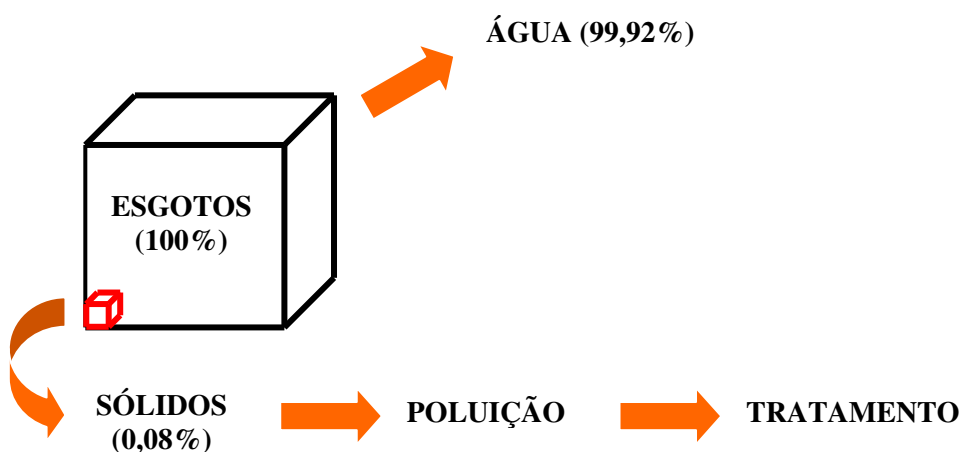


Figura 2.6 - Sólidos no esgoto

Fonte: Adaptado de VON SPERLING (1996)

Devido à heterogeneidade da composição dos esgotos sanitários, são utilizados parâmetros indiretos para se determinar o potencial poluidor do despejo em termos físicos, químicos e biológicos.

Os principais parâmetros relativos a esgotos predominantemente domésticos são (VON SPERLING, 1996):

- ✓ Sólidos.
- ✓ Indicadores de matéria orgânica.
- ✓ Nitrogênio.
- ✓ Fósforo.
- ✓ Indicadores de contaminação fecal.

2.2.1 Sólidos

Os sólidos presentes no esgoto podem ser classificados em função das dimensões das partículas, da sedimentabilidade, da secagem em alta temperatura (550 a 660° C) e da secagem em temperatura média (103 a 105° C). A Figura 2.7 apresenta a distribuição típica de sólidos no esgoto bruto:

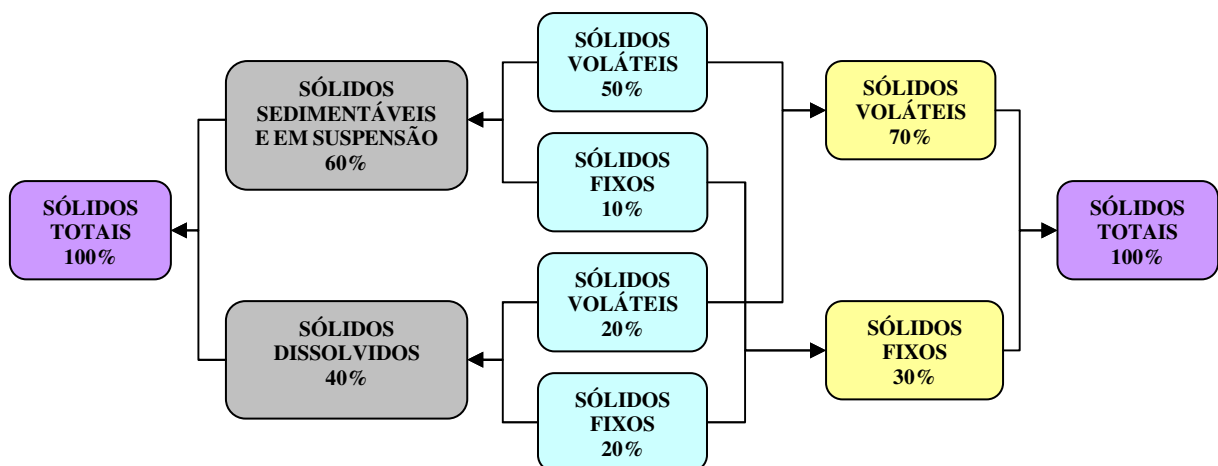


Figura 2.7 - Composição dos sólidos no esgoto

Fonte: Adaptado de JORDÃO; PESSOA (2005)

O conhecimento da fração de sólidos voláteis apresenta particular interesse nos exames do lodo de esgotos para se saber sobre a sua estabilidade biológica (JORDÃO; PESSOA, 2005).

2.2.2 Indicadores de matéria orgânica

Cerca de 70% dos sólidos contidos no esgoto sanitário são de origem orgânica. Geralmente estes compostos são uma combinação de carbono, hidrogênio e nitrogênio. Os grupos de substâncias orgânicas dos esgotos são constituídos principalmente por (JORDÃO; PESSOA, 2005):

- ✓ Compostos de proteínas (40 a 60%).
- ✓ Carboidratos (25 a 50%).
- ✓ Gordura e óleos (10%).
- ✓ Uréia, surfactantes, fenóis e pesticidas (típicos de despejos industriais, em quantidade).

A presença de matéria orgânica nos esgotos sanitários gera o principal problema de poluição das águas dos corpos receptores: o consumo de oxigênio dissolvido pelos microrganismos nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização dessa matéria orgânica.

Devido à dificuldade da determinação laboratorial dos diversos componentes da matéria orgânica dos esgotos, são usualmente adotados métodos diretos e indiretos para essa determinação, sendo os mesmos (VON SPERLING, 1996):

- ✓ Métodos diretos: medição do consumo de oxigênio por meio da determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Última de Oxigênio (DBO_u) e Demanda Química de Oxigênio (DQO).
- ✓ Métodos indiretos: medição do carbono orgânico por meio da determinação do Carbono Orgânico Total (COT).

2.2.3 Nitrogênio

O nitrogênio, no meio aquático, pode ser encontrado na forma de nitrogênio molecular (N_2), nitrogênio orgânico (dissolvido e em suspensão), amônia (livre – NH_3 e ionizada – NH_4^+), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-).

A concentração com que o nitrogênio aparece sob estas várias formas indica a idade do esgoto ou a sua estabilização em relação à demanda de oxigênio, sendo este um indicador de controle para o lançamento de efluentes, na medida em que indica a carga de nutrientes lançados num corpo d'água (JORDÃO; PESSOA, 2005).

A importância da sua presença nos cursos d'água se dá por (VON SPERLING, 1996):

- ✓ Ser indispensável ao crescimento das algas, podendo em certas condições provocar processos de eutrofização de lagos e represas.
- ✓ Consome oxigênio dissolvido do corpo d'água no processo de conversão de amônia a nitrito e este a nitrato.
- ✓ Ser tóxico na forma de amônia livre para os peixes.
- ✓ Na forma de nitrato estar associado a doenças como a metahemoglobina, mais conhecida como Síndrome do Bebê Azul.

2.2.4 Fósforo

Pode ocorrer combinado à matéria orgânica, em proteínas e aminoácidos ou na forma inorgânica, como ortofosfato e polifosfato. Assim como o nitrogênio, é um componente essencial ao crescimento dos microrganismos que degradam a matéria orgânica e por isso, em certas condições, pode provocar o processo de eutrofização.

2.2.5 Indicadores de contaminação fecal

Segundo Santos (2003), podem estar presentes tanto nos esgoto quanto no lodo cinco grupos de microrganismos patogênicos que são: helmintos, protozoários, fungos, vírus e bactérias.

As bactérias do grupo coliforme, por estarem presentes em grande número no trato intestinal humano e de outros animais de sangue quente, são eliminadas em grande número pelas fezes, constituem o indicador de contaminação fecal mais utilizado em todo o mundo, sendo empregadas como parâmetro bacteriológico básico (NUVOLARI, 2003).

Tais organismos não são patogênicos mas dão uma indicação satisfatória de quando a água apresenta contaminação por fezes humanas ou de animais e, conseqüentemente, a sua potencialidade de transmitir doenças. Os organismos mais comumente usados para tal finalidade são as bactérias do grupo coliforme (VON SPERLING, 1996).

Entre os organismos usualmente investigados pode-se relacionar: Coliformes totais (CT), Coliformes fecais (CF), *Escherichia coli* (EC), Estreptococos fecais (EsF) e Enterococos fecais (EnF).

2.2.6 Contaminantes industriais

Esgotos industriais podem estar presentes na rede pública de coleta, geralmente em quantidade não significativa em relação à vazão total coletada. Tal prática depende do tipo da

indústria que poderá utilizar-se deste serviço e da necessidade de tratamento prévio do seu efluente antes do despejo na rede coletora. Este tratamento se faz necessário caso o efluente industrial apresente as seguintes características (VON SPERLING, 1996):

- ✓ Toxidez ao tratamento biológico.
- ✓ Toxidez ao tratamento de lodo e à sua disposição final.
- ✓ Riscos à segurança e problemas na operacionalidade da rede coletora.
- ✓ Contaminantes persistentes ao tratamento biológico.

A decisão sobre o recebimento do efluente e necessidade do seu pré-tratamento fica a cargo da concessionária do serviço.

2.3 SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

A coleta dos esgotos brutos gerados nas residências, comércio e algumas indústrias autorizadas é realizada por meio de uma malha de tubulações que convergem para outras maiores, denominadas interceptores e essas para emissários, que conduzem o efluente até a estação de tratamento de esgotos. Esse sistema é denominado sistema de esgotamento sanitário e está esquematicamente representado na Figura 2.8 a seguir:

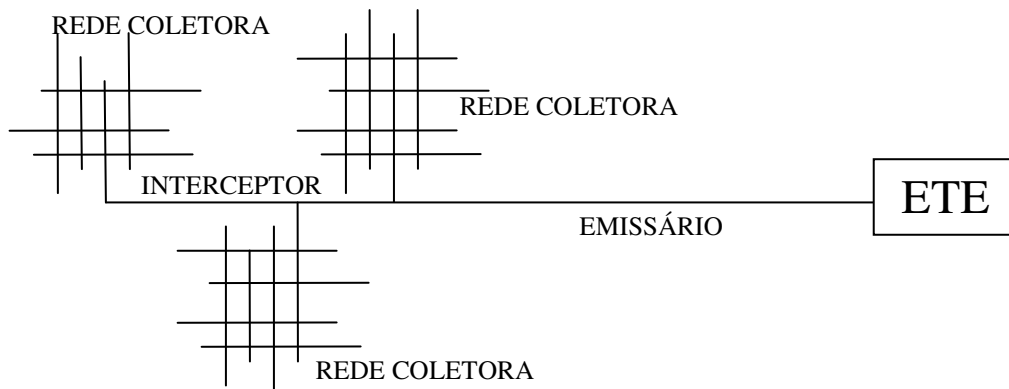


Figura 2.8 – Esquema da rede coletora de esgotos sanitários

Basicamente existem dois tipos de concepção para o sistema de esgotamento sanitário, ilustrados na Figura 2.9:

- ✓ Sistema unitário ou combinado: concepção na qual os esgotos, as águas de infiltração e as águas pluviais são coletadas e transportadas em um único sistema.

- ✓ Sistema separador absoluto: concepção na qual os esgotos e as águas de infiltração veiculam em sistemas independentes. As águas pluviais são coletadas e transportadas em um sistema de drenagem pluvial totalmente independente.



Figura 2.9 – Sistemas de esgotamento separador e combinado

Fonte: VON SPERLING (1996)

Estes sistemas possuem vantagens e desvantagens. Tal opção varia de país para país, sendo que o sistema separador tem sido preferido para a implantação de novos sistemas e o combinado geralmente é utilizado para ampliação de sistemas já implantados com essa concepção.

No Brasil basicamente utiliza-se o sistema separador absoluto. Assim, todos os sistemas de coleta, transporte e tratamento de esgotos são dimensionados para atender somente este tipo de contribuição. Entretanto, devido às ligações clandestinas, ligações irregulares, falhas executivas, problemas com os materiais componentes das redes e outros fatores, é comum a chegada nas ETE's de vazões acima do normal em épocas chuvosas, que causam uma série de inconvenientes ao tratamento de esgotos.

Outro problema ocasionado por esse aumento de vazão é o aumento proporcional na quantidade de sedimentos sólidos no afluente à estação. Isso ocorre devido ao fato das águas pluviais, ao adentrarem as tubulações por meio de ligações irregulares ou falhas estruturais,

trazerem consigo materiais sólidos oriundos da lavagem que a água da chuva ou de limpeza realiza em pátios, telhados, logradouros, passeios, áreas internas e até na própria superfície do solo. Tal situação tende a se agravar em regiões litorâneas e naquelas que possuem solos arenosos, bem como em sistemas de esgotamento sanitário com operação precária ou até inexistente.

2.4 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

Os processos de tratamento de esgotos são formados, em última análise, por uma série de operações unitárias, empregadas para a remoção de substâncias indesejáveis ou para transformação destas substâncias em outras de forma mais aceitável (JORDÃO; PESSOA, 2005).

Existem várias classificações para as unidades das estações de tratamento de esgotos. A mais usualmente aplicada é em função do nível de eficiência destas na remoção de sólidos em suspensão e da demanda química ou bioquímica de oxigênio. Tal classificação é apresentada a seguir (adaptado de VON SPELING, 1996):

- ✓ Tratamento preliminar: remoção de sólidos grosseiros, de gorduras e areia.
- ✓ Tratamento primário: remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis.
- ✓ Tratamento secundário: DBO em suspensão (matéria orgânica em suspensão) e DBO solúvel (matéria orgânica em forma de sólidos dissolvidos).
- ✓ Tratamento terciário: remoção de nutrientes, organismos patogênicos, compostos recalcitrantes, metais pesados, sólidos inorgânicos dissolvidos e sólidos em suspensão remanescentes.

Da mesma forma que os poluentes encontrados nos esgotos, os processos de tratamento podem ser classificados em (VON SPELING, 1996):

- ✓ Processos físicos: são processos nos quais predominam fenômenos físicos na remoção de substâncias em suspensão no esgoto.
- ✓ Processos químicos: são processos de tratamento que utilizam produtos químicos ou reações químicas; geralmente são utilizados em combinação com outros processos de maneira a melhorar a sua eficiência.
- ✓ Processos biológicos: são processos de tratamento que utilizam atividade biológica de microrganismos presentes nos esgotos para realizar a estabilização dos esgotos.

Apresenta-se na Tabela 2.1 a seguir os principais mecanismos de remoção de poluentes no tratamento de esgotos:

Tabela 2.1 - Principais mecanismos de remoção de poluentes no tratamento de esgotos

Fonte: VON SPERLING (1996)

Poluente	Dimensões	Principais mecanismos de remoção	
Sólidos	Sólidos Grosseiros ($> \sim 1\text{cm}$)	Gradeamento	Retenção de sólidos com dimensões superiores ao espaçamento entre barras
	Sólidos em Suspensão ($> \sim 1\mu\text{m}$)	Sedimentação	Separação de partículas com densidade superior à do esgoto
	Sólidos Dissolvidos ($< \sim 1\mu\text{m}$)	Adsorção	Retenção na superfície de aglomerados de bactérias, ou biomassa
Matéria Orgânica	DBO em suspensão ($> \sim 1\mu\text{m}$)	Sedimentação	Separação de partículas com densidade superior à do esgoto
		Adsorção	Retenção na superfície de aglomerados de bactérias, ou biomassa
		Hidrólise	Conversão da DBO suspensa em DBO solúvel, por meio de enzimas, possibilitando a sua estabilização
		Estabilização	Utilização pelas bactérias como alimento, com conversão de gases, água e outros compostos inertes
	DBO solúvel ($> \sim 1\mu\text{m}$)	Adsorção	Retenção na superfície de aglomerados de bactérias, ou biomassa
		Estabilização	Utilização pelas bactérias como alimento, com conversão de gases, água e outros compostos inertes
Patogênicos		Radiação ultravioleta	Radiação do sol ou artificial
		Condições ambientais adversas	Temperatura, pH, falta de alimento, competição com outras espécies
		Desinfecção	Adição de algum desinfetante, como o cloro

Nas estações de tratamento de esgotos estes mecanismos são utilizados de maneira combinada e direcionada ao tipo de poluente que se deseja remover e ao nível de eficiência que se almeja

obter no efluente final, de maneira que o mesmo se enquadre nos parâmetros de lançamento exigidos pela legislação ambiental pertinente.

A Tabela 2.2 apresenta os principais processos, operações e sistemas de tratamento freqüentemente utilizados no tratamento de esgotos domésticos, em função do poluente a ser removido. Tais métodos são empregados na fase líquida, que corresponde ao fluxo principal de líquido na estação de tratamento de esgotos.

Já a Tabela 2.3 apresenta os subprodutos sólidos, semi-sólidos e líquidos gerados no tratamento de esgotos e que devem receber tratamento antes da sua disposição final.

Esse tratamento e disposição final se constituem, muitas vezes, em problemas particularmente difíceis ou complexos de se resolver, face às grandes quantidades que podem ser geradas, dificuldades de tratamento, heterogeneidade e patogenicidade dos resíduos, dificuldade em se encontrar locais adequados ou seguros para o destino final dos mesmos, logística complexa para reuso, responsabilidades e mecanismos para fiscalizar este reuso, distância e meios de transporte, custos, impactos ambientais e características de operação e processo.

Tabela 2.2 - Operações, processos e sistemas de tratamento freqüentemente utilizados para remoção de poluentes de esgotos sanitários

Fonte: VON SPERLING (1996)

Poluente	Operação, processo ou sistema de tratamento
Sólidos em suspensão	- Gradeamento - Remoção de areia - Sedimentação - Disposição no solo
Matéria orgânica biodegradável	- Lagoas de estabilização e variações - Lodos ativados e variações - Filtro biológico e variações - Tratamento anaeróbio - Disposição no solo
Patogênicos	- Lagoas de maturação - Disposição no solo - Desinfecção com produtos químicos - Desinfecção com radiação ultravioleta
Nitrogênio	- Nitrificação e desnitrificação biológica - Disposição no solo - Processos físico-químicos
Fósforo	- Remoção biológica - Processos físico-químicos

Tabela 2.3 - Produtos gerados no tratamento**Fonte: JORDÃO; PESSOA (2005)**

Tratamento	Processo	Produtos gerados
Preliminar	Gradeamento	- Material gradeado (madeira, trapos, folhas, etc.)
	Remoção de areia	- Areia, silte, etc.
	Separação de óleo	- Óleo, espuma oleosa
Primário	Sedimentação	- Sólidos orgânicos, espuma
	Flotação por ar dissolvido	- Matéria graxa, espuma
	Coagulação e sedimentação	- Sólidos orgânicos, precipitados químicos, espuma
Secundário	Lodos ativados em geral, filtros biológicos com sedimentação final	- Sólidos gerados no processo biológico
Terciário	Coagulação química e sedimentação	- Sólidos da precipitação química, hidróxidos
	Filtração de areia	- Sólidos na água de lavagem
	Adsorção em carvão ativado	- Carvão ativado para ser regenerado
Lagoas de Estabilização	Lagoas fotossintéticas	- Sólidos acumulados no fundo e algas no efluente
	Lagoas aeradas	- Sólidos em suspensão no efluente
	Lagoas de decantação	- Sólidos gerados na lagoa aerada
Aplicação no Terreno	Pré-tratamento primário e secundário	- Sólidos em suspensão no efluente do pré-tratamento
Adensamento do Lodo	Adensamento por gravidade, por flotação, filtros de esteira, centrifugas	- Lodo concentrado
Tratamento do Lodo	Digestão anaeróbia, aeróbia, compostagem	- Sólidos orgânicos parcialmente estabilizados, gás

2.5 TRATAMENTO PRELIMINAR DE ESGOTOS SANITÁRIOS

Um dos mais importantes, mas freqüentemente negligenciado, segmentos da estação de tratamento de águas residuárias é o tratamento preliminar. Se o tratamento preliminar é mal projetado, operado ou conservado, o processo inteiro de tratamento é afetado (WEF, 1994).

Basicamente o tratamento preliminar de esgotos destina-se apenas à remoção de sólidos grosseiros, detritos minerais, materiais flutuantes e carregados, óleos e graxas (SANEPAR 2005c).

Os tratamentos preliminares que retiram óleos e graxas não serão apresentados pois não são utilizados nas estações de tratamento estudadas para este trabalho e não têm sido projetados e/ou utilizados nas outras estações operadas pela SANEPAR.

Sendo assim, o tratamento preliminar será estudado quanto à sua finalidade de remoção de sólidos grosseiros e remoção de detritos minerais (areia).

2.5.1 Remoção de sólidos grosseiros (Gradeamento)

São considerados sólidos grosseiros os resíduos sólidos contidos nos esgotos sanitários de fácil retenção e remoção, por meio de operações físicas de gradeamento e peneiramento. Este material é procedente do uso inadequado das instalações prediais ou industriais, dos coletores públicos e demais componentes do sistema de esgotamento sanitário (JORDÃO; PESSOA, 2005).

A remoção de sólidos grosseiros é o primeiro processo realizado na estação de tratamento de esgoto com o propósito de se retirar do fluxo resíduos de grandes dimensões tais como pedaços de tecido, papel, plásticos, metais, madeira, restos vegetais, animais mortos, ossos e vários outros tipos de resíduos.

As principais finalidades da remoção desses resíduos são (JORDÃO; PESSOA, 2005):

- ✓ Proteção dos dispositivos de transporte dos esgotos nas suas diferentes fases, líquida e sólida (lodo), tais como: bombas, tubulações, transportadores e peças especiais.
- ✓ Proteção de dispositivos de tratamento de esgotos, tais como: raspadores, removedores, aeradores, meios filtrantes bem como dispositivos de entrada e saída.
- ✓ Condicionamento do efluente para as demais unidades de tratamento.

Os dispositivos mais utilizados para fazer essa remoção são as grades de barras mas, caso se necessite uma remoção de resíduo de dimensões menores, podem ser usadas, como complementação, peneiras com pequenos espaçamentos. As peneiras não serão apresentadas neste estudo pois não têm sido utilizadas nas estações de tratamento operadas pela SANEPAR.

O emprego de trituradores tem a finalidade de reduzir as dimensões dos sólidos grosseiros, permitindo que as operações subseqüentes não tenham os incômodos que teriam com sólidos de grandes dimensões. A sua utilização é, no entanto, bastante discutida pelos projetistas e

operadores, os quais preferem à remoção imediata desses sólidos do que a sua transformação, condicionada a um outro dispositivo de remoção a jusante (JORDÃO; PESSOA, 2005).

As principais características de uma unidade de remoção de sólidos grosseiros são (JORDÃO; PESSOA, 2005):

- ✓ Espaçamento das barras: as grades de barras são classificadas em grades grosseiras, médias e finas em função do tipo de material que se deseja reter. Esse conceito varia de autor para autor ou até de país para país, mas de uma maneira geral os tipos de grades e seus espaçamentos podem ser exemplificados de acordo com a Tabela 2.4 a seguir:

Tabela 2.4 – Espaçamento entre barras

Fonte: adaptado de JORDÃO; PESSOA (2005)

Tipo de grade	Milímetros
Grades grosseiras	40 a 100
Grades médias	20 a 40
Grades finas	10 a 20
Grades ultrafinas	3 a 10

- ✓ Dimensões das barras: as barras deverão ser suficientemente robustas para suportar os impactos e esforços devidos a procedimentos operacionais. As barras de grandes dimensões geram grandes e geralmente indesejáveis perdas de cargas no sistema.
- ✓ Inclinação das barras: podem ser instaladas na vertical ou inclinadas. Geralmente as de limpeza manual são inclinadas para facilitar a operação de limpeza. Esta inclinação varia entre 30° a 45° com a horizontal para grades grosseiras e de 45° a 60° para grades médias e finas. Inclinações menores que 30° geram grandes extensões do canal da grade e inclinações maiores que 60° são utilizadas para grades de limpeza mecanizada contínua, pois o material retido pode se desprender da grade e voltar ao canal afluente nos intervalos de limpeza.
- ✓ Forma das barras: geralmente são barras retas, principalmente se o espaçamento entre as barras for pequeno, mas existem as grades de barras curvas com limpeza mecanizada através de ancinho giratório. As barras também podem variar sua seção de retangular ou com arestas arredondadas, até seções circulares, fator este com influência direta na perda de carga do sistema.

- ✓ Material das barras: sistemas mais antigos utilizavam ferro fundido na composição das grades, mas pelo intenso ataque químico, este material foi substituído por aço inoxidável, alumínio, fibra de vidro e plásticos especiais que, além de serem mais resistentes à degradação química, são também mais leves.
- ✓ Dispositivo de limpeza: basicamente os sistemas de limpeza podem ser manuais ou mecanizados. Os manuais são usados para estações de pequeno porte ou em estações de grande porte, com espaçamento grande entre barras, para a proteção do sistema mecanizado de limpeza a jusante, e consistem na limpeza das grades com a utilização de um ancinho. Já os sistemas mecanizados são utilizados em estações de médio a grande porte ou em sistemas com espaçamento pequeno entre as barras, que exigem uma limpeza contínua. Existe no mercado uma série de equipamentos mecanizados para a remoção de sólidos grosseiros. Dentre os mesmos pode-se destacar as grades de barras do tipo escalar, tipo cremalheira, tipo corrente transportadora (conforme apresentado na Figura 2.10), tipo cesto rotativo (conforme apresentado na Figura 2.11) e a grade de barras curvas com rastelo simples ou duplo.

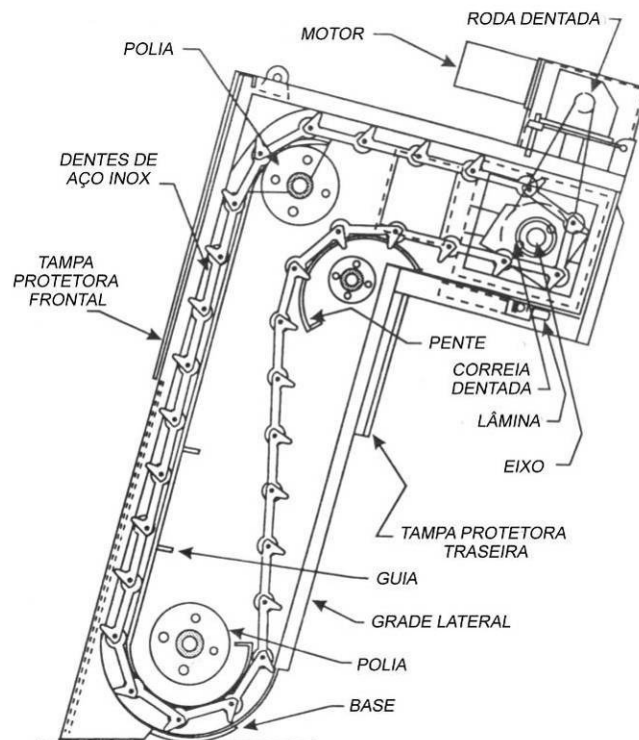


Figura 2.10 – Gradeamento por meio de corrente transportadora

Fonte: Adaptado de WEF (1994)

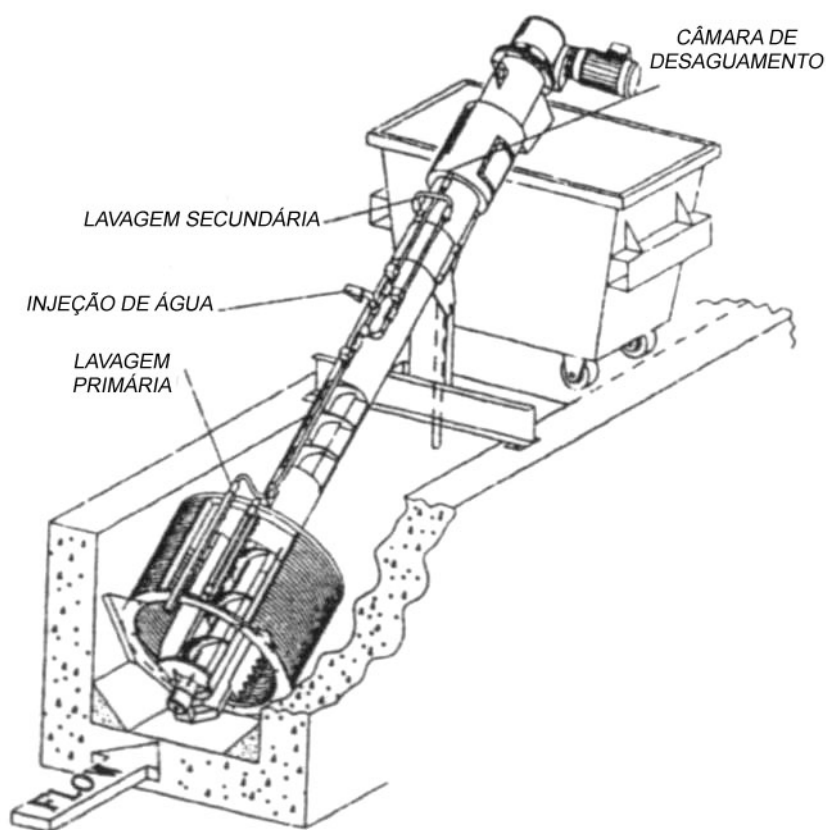


Figura 2.11 – Gradeamento por meio de cesto rotativo

Fonte: Adaptado de QASIM (1999)

A quantidade e qualidade do material retido, evidentemente, é função da educação sanitária da população servida, que muitas vezes lança na rede de esgotos materiais que não deveriam ser lançados nas partes componentes dos sistemas de esgotamento sanitário. Outro fator que interfere nas características e quantidade do material gradeado, é a eventual presença de águas pluviais na rede de esgotos sanitários, aumentando bastante a contribuição de materiais típicos das lavagens de ruas (JORDÃO; PESSOA, 2005).

Dentre os principais fatores que interferem na quantidade e na qualidade do material removido tem-se (WEF, 1994):

- ✓ Espaçamento das barras: geralmente, maiores quantidades de sólidos grosseiros são coletados quando a abertura das grades é reduzido.
- ✓ Forma das aberturas: por causa da disposição geométrica das grades alguns materiais longos e estreitos podem passar através das mesmas; o uso de grades em malha evita essa ocorrência.

- ✓ Tipo do sistema coletor e porte: sistemas combinados de coleta de esgoto produzem maiores quantidades de resíduos grosseiros que os sistemas separados. No entanto, pequenos sistemas de coleta podem gerar quantidades unitárias de resíduos grosseiros maiores que sistemas coletores de grande extensão. Tal ocorrência se justifica pela parcial degradação dos resíduos na turbulência gerada no transporte. Finalmente, se o sistema possuir muitas estações de bombeamento, a quantidade de resíduos grosseiros é reduzida, pois os mesmos são triturados em pequenos pedaços quando passam através das bombas.
- ✓ Tipo do equipamento de gradeamento: o uso de limpeza mecanizada das grades pode resultar num aumento das quantidades de material removido, pois o risco de falhas operacionais é reduzido.
- ✓ Taxas de vazão: grandes taxas de vazão ou picos de vazão geram um aumento do material gradeado devido ao transporte dos materiais que ficam depositados na rede nas vazões médias.
- ✓ Área servida: o tipo da contribuição industrial ou institucional influencia na quantidade de material grosseiro. Por exemplo, em regiões com instituições penais ou indústrias têxteis existe uma geração elevada de resíduos grosseiros por unidade de vazão.

Tipicamente o resíduo do gradeamento tem aproximadamente 60 a 90% de umidade e peso específico variando entre 650 a 950 Kg/m³ (WEF, 1994). A composição do material retido depende da abertura das grades, sendo que quanto menor o espaçamento maior a variabilidade de materiais encontrados e maior a quantidade de material retido.

É prática comum, para grades de espaçamento fino a médio, adotar-se o valor de até 40 a 50 litros de materiais retidos por 1.000 m³ de esgoto, considerando-se a vazão média de cada unidade de gradeamento (JORDÃO; PESSOA, 2005).

Monitoramentos realizados em ETE's de São Paulo apresentaram taxas de geração variando de 10 a 25 litros de materiais retidos por 1.000 m³ de esgoto (DACACH, 1991).

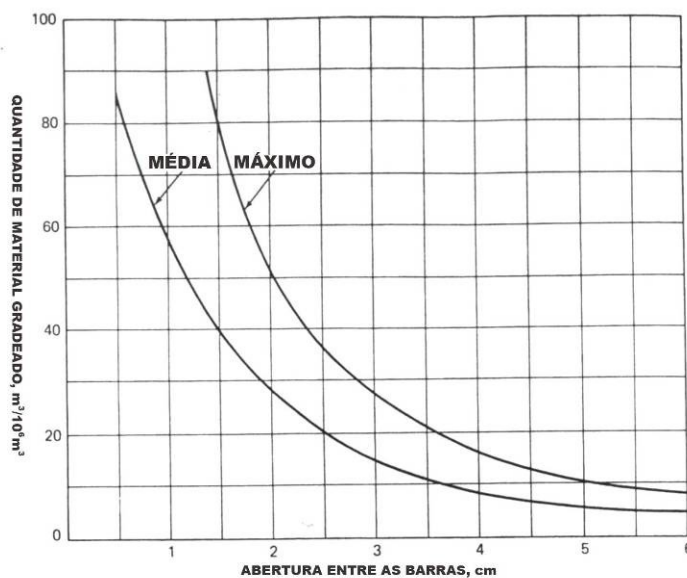
Usualmente a literatura correlaciona o espaçamento das barras à quantidade de material retido. Alguns valores dessa correlação são apresentados nas Tabelas 2.5 e 2.6 e na Figura 2.12 a seguir:

Tabela 2.5 – Quantidade de sólidos grosseiros removidos em função do espaçamento das barras**Fonte: JORDÃO; PESSOA (2005)**

Espaçamento (mm)	Quantidade típica de sólidos grosseiros retidos (l/1.000m ³)
12,5	50
20	38
25	23
35	12
40	9
50	6

Tabela 2.6 – Dados médios das características e quantidades de sólidos grosseiros removidos do esgoto por meio de gradeamento**Fonte: METCALF & EDDY (2003)**

Espaçamento (mm)	Teor de umidade (%)	Peso específico (Kg/m ³)	Volume de sólidos grosseiros retidos (l/1.000m ³)	
			Faixa	Média
12,5	60 - 90	700 - 1000	37 - 74	50
25	50 - 80	600 - 1000	15 - 37	22
37,5	50 - 80	600 - 1000	7 - 15	11
50	50 - 80	600 - 1000	4 - 11	6

**Figura 2.12 – Quantidade de sólidos grosseiros removidos de grades de barras com limpeza mecanizada****Fonte: Adaptado de QASIM (1999)**

O material gradeado deve ser afastado o mais rapidamente possível das instalações de gradeamento e encaminhado ao seu destino final pois, no local de acúmulo do material, pode ocorrer exalação de maus odores, proliferação de insetos e gerar um aspecto visual desagradável.

Mesmo se um sistema de drenagem próprio é construído, os resíduos do gradeamento continuam a ser a maior fonte de odores indesejáveis em uma estação de tratamento de esgotos (EPA, 1987).

Esses resíduos podem passar por alguns processos antes de serem encaminhados ao destino final, com o objetivo de se reduzir o seu volume, controlar seus aspectos negativos (tais como exalação de odores e proliferação de insetos) ou apenas facilitar seu manuseio. Tais operações são listadas a seguir:

- ✓ Lavagem: como os resíduos apresentam material putrescível aderido à sua superfície, pode-se realizar a lavagem dos mesmos através de dispositivos mecânicos ou manualmente através de jatos de água, com o retorno do efluente da lavagem para o processo de tratamento.
- ✓ Secagem (desaguamento): a água livre presente nos resíduos pode ser retirada através de soluções simples, como canaletas perfuradas em estações de pequeno porte ou através de dispositivos mecânicos (prensa, parafuso-sem-fim, transportadora) em estações maiores. A finalidade de tal operação é a redução do volume, que pode chegar a 75%, e dos inconvenientes do transporte do material úmido, além de diminuir o potencial de corrosão dos recipientes e caçambas metálicas usadas para a estocagem.
- ✓ Estocagem temporária: após a secagem os resíduos podem ser estocados temporariamente no pátio da ETE até atingir um volume tal que viabilize o seu transporte para destinação final. Para taxas de geração de resíduo de até 0,20m³/dia a estocagem pode ser feita em tambores; para taxas de geração maiores os mesmos devem ser armazenados em caçambas. O período de estocagem, se possível, não deve ser superior a 2 dias para ETE's e 1 dia para estações elevatórias de esgoto (SANEPAR, 2005b).
- ✓ Controle de odor e de proliferação de insetos: caso ocorram problemas com odores desagradáveis ou proliferação de insetos é prática usual espargir uma camada de cal hidratada sobre os resíduos estocados, de aproximadamente 0,50 a 1,00 Kg/m²,

diariamente ou conforme seja necessário. Também podem ser utilizados sistemas de cobertura dos tambores ou caçambas através de lonas ou tampas móveis, com o benefício de se proteger o material da umidade proveniente da chuva visto que, geralmente, essas instalações estão ao ar livre.

O transporte do resíduo até sua destinação final geralmente é realizado por caminhão, para caçambas ou caminhonetes, para tambores. Entretanto, se o volume do material for pequeno e sua disposição final for dentro da área da estação de tratamento, podem-se utilizar outros equipamentos mais simples, como carrinho-de-mão ou pequenos veículos.

Devido à sua composição heterogênea e a presença de organismos patogênicos os resíduos do gradeamento devem ser enviados para locais sob controle das autoridades sanitárias e ambientais.

As possibilidades de reutilização ou reaproveitamento desses resíduos em estado bruto são bastante reduzidos devido, principalmente, aos seguintes fatores:

- ✓ Grande heterogeneidade e sazonalidade na sua composição e geração.
- ✓ Presença de matéria orgânica de difícil separação.
- ✓ Presença de organismos patogênicos.

Geralmente, a destinação final desejável para esse tipo de resíduo é um aterro sanitário licenciado pelo órgão ambiental pertinente.

O emprego da incineração pode ser utilizado e, sob o ponto de vista sanitário, seria o mais indicado, inclusive com o aproveitamento do próprio biogás gerado na estação de tratamento, caso a mesma possua um digestor anaeróbio. Tal prática é utilizada em algumas ETE's em outros países, como os Estados Unidos, mas deve ser analisada cuidadosamente pois o processo de incineração gera uma série de outros resíduos sólidos, como as cinzas, e líquidos oriundos dos sistemas de tratamento de gases que também devem ter uma disposição final ambientalmente adequada (JORDÃO; PESSOA, 2005).

No Brasil, a prática comum nas ETE's, geralmente justificada pela inexistência de aterros sanitários licenciados próximos, é enterrar os seus resíduos do gradeamento no próprio terreno da estação, sendo esta prática totalmente desaconselhável sob o aspecto sanitário e ambiental e passível de penalização pela legislação ambiental vigente.

Uma proposta para contornar essa situação é a construção de valas sépticas ou aterros exclusivos licenciados para esse tipo de resíduo dentro ou nas proximidades da área da

estação. Tal prática ainda é incipiente nas estações existentes mas tem sido projetada para as novas, pois possui ainda outros benefícios tais como a destinação temporária de lodos biológicos estabilizados (biosólidos) caso ocorram problemas com a destinação final dos mesmos, como por exemplo dificuldades de transporte para as lavouras ou empecilhos legais, no caso da destinação dos biosólidos para a agricultura.

A resolução nº 375 de 29 de agosto de 2006 (CONAMA, 2006), em seu inciso 2º do artigo nº 3, veta a utilização agrícola dos resíduos de gradeamento.

2.5.2 Remoção de areia (Desarenador)

A areia contida nos esgotos é, em sua maioria, constituída de material mineral, como areia, pedrisco, silte, escória e cascalho. Este material arenoso geralmente contém também reduzida quantidade de matéria orgânica putrescível, como vegetais (grãos de café, grãos de feijão, frutas e verduras), gorduras, cascas de ovos, pedaços de ossos e penas de aves. É comum a presença de pelos, cabelos, plásticos e fibras (palhas, piaçavas). A origem desse material é devido ao manuseio normal do uso doméstico, das águas provenientes do lançamento inadequado nas instalações de esgotamento sanitário, das ligações clandestinas de águas pluviais, lavagens de pisos, despejos industriais ou comerciais e infiltrações na rede coletora (JORDÃO; PESSOA, 2005).

O tipo de sistema de coleta de esgoto é o fator que mais influencia a concentração de areia presente nas águas residuárias pois, o escoamento superficial (*runoff*) carrega grandes quantidades de areia para dentro dos coletores e, mais, as elevadas vazões coletadas durante os períodos chuvosos ressuspendem as partículas que haviam sedimentado ao longo das tubulações durante os períodos de estiagem. Outro fator importante, que também merece destaque, é a condição de conservação do sistema coletor. Sistemas mal conservados permitem que grãos de areia adentrem suas tubulações pela infiltração. No Brasil, como na maioria dos sistemas de coleta de esgotos existentes é do tipo separador absoluto, os fatores que mais influenciam a concentração de areia presente no esgoto sanitário são: o estado de conservação dos sistemas de coleta de esgoto e a ocorrência de ligações clandestinas de coletores residenciais de águas pluviais aos coletores de esgoto sanitário (PRADO, 2006).

A finalidade da remoção dessa areia no tratamento de esgotos é eliminar ou abrandar os efeitos adversos ao funcionamento das partes componentes das instalações a jusante bem como os impactos nos corpos receptores, principalmente devido ao assoreamento. Os principais objetivos da remoção de areia são:

- ✓ Proteger os equipamentos e as tubulações de desgastes desnecessários e abrasão.
- ✓ Reduzir a possibilidade de obstrução ou deposição de materiais pesados nas unidades da ETE, tais como canalizações, caixas de distribuição ou manobra, poços de elevatórias, tanques, sifões, orifícios e calhas.
- ✓ Reduzir a acumulação de material inerte no manto de lodo dos reatores anaeróbios.
- ✓ Prever efeitos de cimentação na parte inferior das unidades a jusante.
- ✓ Facilitar o transporte líquido do sistema, principalmente à transferência de lodos, em suas diversas fases.

A unidade de remoção de areia é geralmente chamada de caixa de areia ou desarenador e deve ser projetada para realizar as seguintes operações (JORDÃO; PESSOA, 2005):

- ✓ Retenção de areia com características, qualitativa e quantitativa, indesejáveis ao efluente ou ao corpo receptor.
- ✓ Armazenamento do material retido durante o período entre limpezas.
- ✓ Remoção e transferência do material retido e armazenado para dispositivos de transporte para o destino final, dotando de condições adequadas o efluente líquido para as unidades subsequentes.

Basicamente são usados dois tipos de mecanismos para a remoção da areia do esgoto:

- ✓ Remoção por sedimentação.
- ✓ Remoção por centrifugação.

A remoção por sedimentação é a mais largamente utilizada por, geralmente, necessitar de um nível menor de automação e, conseqüentemente, possuir um custo menor de implantação e operação.

Os desarenadores podem ser classificados em função de algumas características, ilustradas na Tabela 2.7:

Tabela 2.7 – Tipos de caixa de areia**Fonte: JORDÃO; PESSOA (2005)**

Característica	Tipo
De acordo com a forma	Prismática (seção retangular ou quadrada) Cilíndrica (seção circular)
De acordo com a separação sólido-líquido	Por gravidade (natural ou aerada) Por centrifugação (vortex ou centrífuga)
De acordo com a remoção	Manual Ciclone separador Mecanizada (raspador, bombas centrífugas, parafuso, <i>air lift</i> , caçambas transportadoras)
De acordo com o fundo	Plano (prismática com poço) Inclinado (prismática aerada) Cônico (vortex)

As caixas de areia do tipo aerada não têm sido utilizadas pela SANEPAR, por isso não serão apresentadas nesse trabalho. As caixas de areia com maior utilização no Paraná são as do tipo prismática a gravidade natural, com remoção manual e mecanizada, e do tipo cilíndrica vortex com remoção através de *air lift*.

A remoção por gravidade baseia-se no princípio da rápida sedimentação da areia contida numa massa líquida e no condicionamento da velocidade do fluxo para que isso ocorra. Basicamente com o condicionamento da velocidade do fluxo para 0,30 m/s, com oscilações permitidas em $\pm 20\%$, ocorre a sedimentação de partículas com diâmetro igual ou superior a 0,20 mm e massa específica de 2,65 g/cm³. Velocidades acima de 0,40 m/s permitirão arrastar partículas maiores do que as que se deseja reter e velocidades em torno de 0,15 m/s causarão a deposição de matéria orgânica, provocando odores desagradáveis devido à decomposição do lodo (SANEPAR, 2005c).

O material retido no fundo do tanque por sedimentação é acumulado em compartimentos ou num fundo falso com capacidade de retenção suficiente para armazenar a quantidade de areia conduzida pelo esgoto nos intervalos entre cada remoção.

Dados típicos para o dimensionamento de desarenadores a gravidade são apresentados na Tabela 2.8:

Tabela 2.8 – Dados típicos para o projeto de desarenadores à gravidade

Fonte: Adaptado de METCALF & EDDY (2003)

	Unidade	Taxa	Média
Tempo de detenção	s	45 - 90	60
Velocidade horizontal	m/s	0,25 – 0,40	0,30
Velocidade de sedimentação para remover:			
Material com \varnothing 0,21 mm	cm/s	1,70 – 2,20	2,00
Material com \varnothing 0,15 mm	cm/s	1,00 – 1,50	1,25

A retenção de areia se processa continuamente. Portanto, é necessário que este material seja removido periodicamente, dotando o sistema de condições de armazenamento indispensáveis ao bom funcionamento destas unidades de tratamento (JORDÃO; PESSOA, 2005).

A remoção da areia pode ser realizada das seguintes maneiras:

- ✓ Remoção manual: exige a paralisação da unidade de retenção e drenagem do líquido retido na câmara. Deve ser feita periodicamente retirando-se do depósito inferior o material que se acumulou entre as limpezas por meio de pás ou enxadas. Essa paralisação é possível somente se estiver presente na unidade dispositivos necessários ao seu isolamento, o que geralmente é feito através da construção de uma unidade extra ou de uma tubulação de desvio (*by pass*).
- ✓ Remoção mecânica: é realizada por dispositivos transportadores de areia, que removem continuamente a areia acumulada em depósitos especiais. Os equipamentos transportadores mais comuns são: esteiras, caçambas, raspadores, elevação por ar comprimido (*air lift*), parafuso sem-fim, bombas especiais e *clamshell*. Em algumas instalações mecanizadas mais completas existem equipamentos que promovem a lavagem da areia sempre que os resíduos coletados apresentarem muita matéria orgânica. O efluente do processo é recirculado para o próprio sistema de tratamento da ETE.

A remoção manual é indicada para pequenas estações de tratamento e a remoção mecânica é indispensável para as grandes estações, onde se tornam mais econômicas.

A SANEPAR geralmente utiliza em suas ETE's os seguintes tipos de desarenadores:

- ✓ Desarenador prismático retangular de câmaras paralelas com remoção manual de areia: usado em ETE's de pequeno a médio porte e em algumas elevatórias de esgoto, com medição de vazão e controle de velocidade através de calha tipo

Parshall, remoção de areia por ação da gravidade, sistema de gradeamento integrado com barras retas metálicas com inclinação de 45° e limpeza manual através de ancinho e operacionalização através de comportas de superfície ou tipo *stop-log*, pode ser construído em alvenaria ou concreto armado. Tem sido projetado segundo a norma NBR 12.209 (ANBT, 2002b), com taxa de aplicação superficial de 600 a 1300 m³/m² x dia. Um exemplo desse desarenador é apresentado na Figura 2.13.

- ✓ Desarenador ciclônico tipo vortex com remoção mecanizada de areia: usado em ETE's de médio a grande porte, com medição de vazão através de calha tipo *Parshall*, remoção de areia por ação da gravidade e da força centrífuga, sistema de gradeamento integrado com barras retas metálicas com inclinação de 45°, para limpeza manual através de ancinho ou barras curvas metálicas com limpeza mecanizada através de rastelo simples ou duplo, sistema de remoção de areia através de elevação por ar comprimido (*air lift*) e sistema de lavagem de areia através de turbilhonamento na descarga. Tem sido projetado com taxa de aplicação superficial de 900 m³/m² x dia (SANEPAR, 2005c). Um exemplo desse desarenador é apresentado na Figura 2.14.
- ✓ Desarenador prismático quadrado com remoção mecanizada de areia: usado em ETE's de grande porte, remoção de areia por ação da gravidade, sistema de gradeamento separado, geralmente mecanizado. Sistema de remoção de areia através de raspagem de fundo com braços duplos de movimento circular até depósito lateral, elevação da areia através de rosca transportadora ou rastelo excêntrico mecânico, com dispositivo de lavagem de areia incorporado e trabalhando com recirculação de efluente ou com água bruta. Tem sido projetado segundo a norma NBR 12.209 (ABNT, 2002b), com taxa de aplicação superficial de 600 a 1300 m³/m² x dia. Um exemplo desse desarenador é apresentado na Figura 2.15.

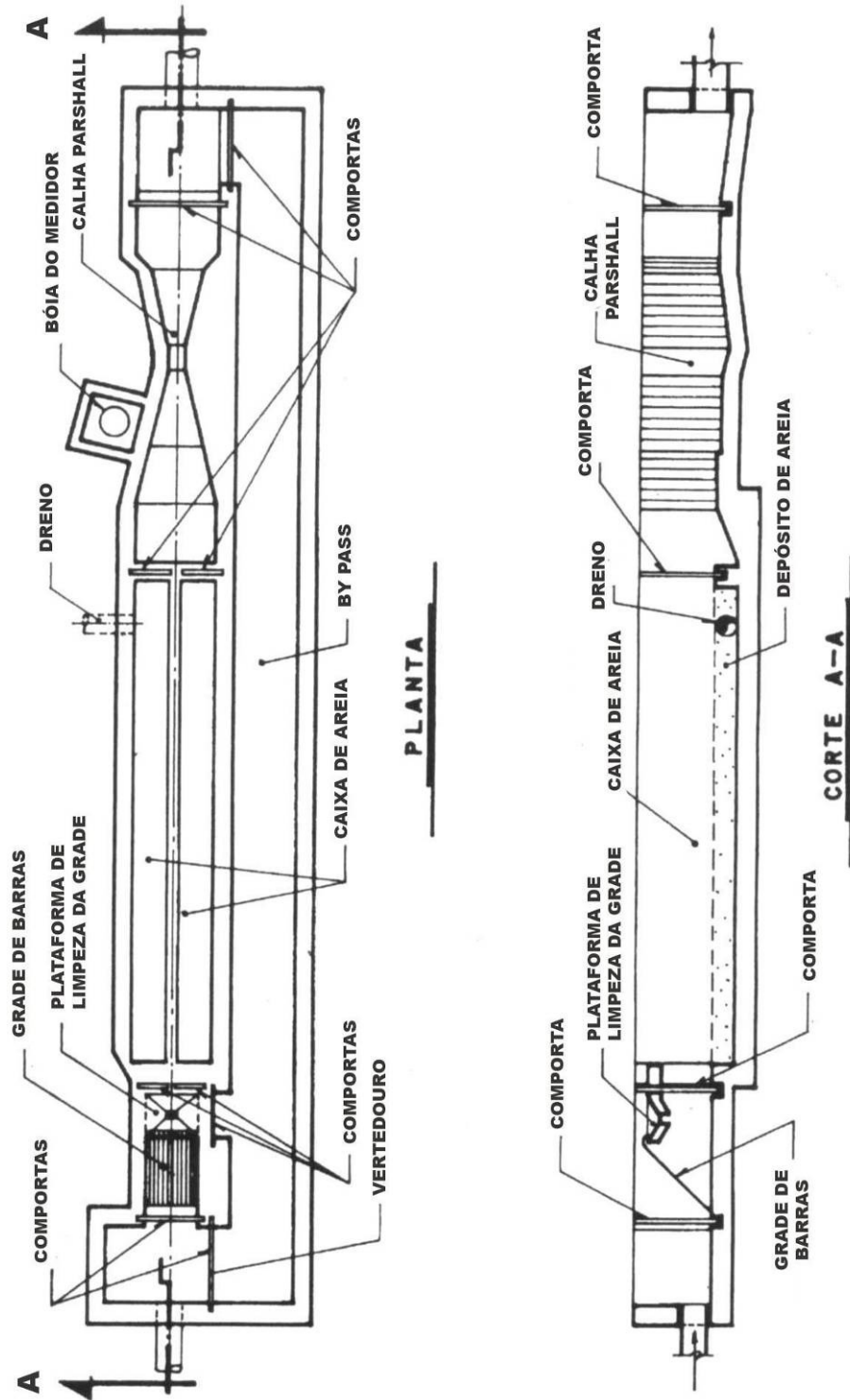


Figura 2.13 – Desarenador prismático retangular de câmaras paralelas

Fonte: Adaptado de JORDÃO; PESSOA (2005)

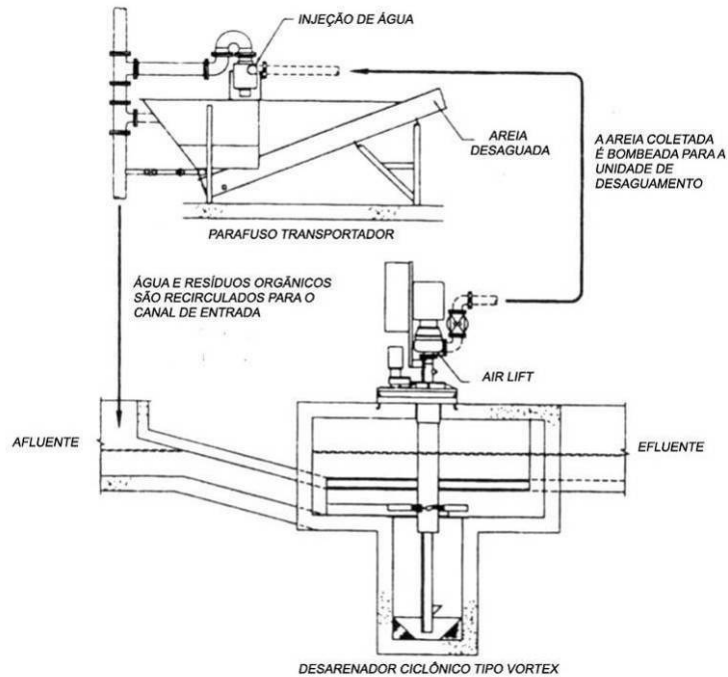


Figura 2.14 – Desarenador ciclônico tipo vortex

Fonte: Adaptado de QASIM (1999)

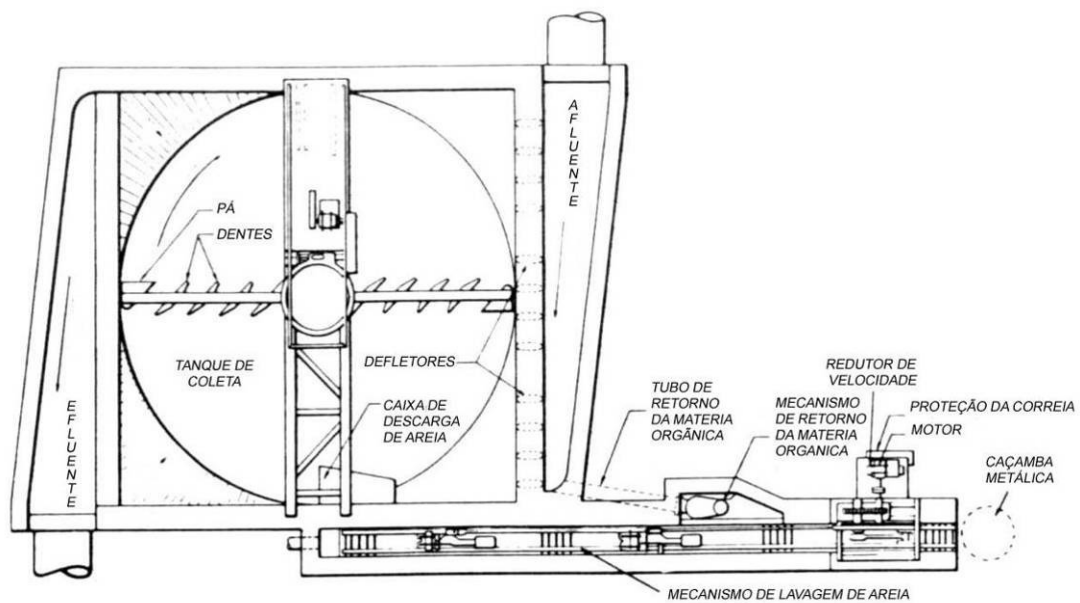


Figura 2.15 – Desarenador prismático quadrado

Fonte: Adaptado de WEF (1994)

Geralmente o que é removido pelo desarenador é predominantemente um material inerte e relativamente seco. Entretanto, a composição do resíduo do desarenador pode ser altamente variável, com a umidade variando de 13 a 65% e os sólidos voláteis de 1 a 56%. Resíduos do

desarenador não lavados podem conter até 50% ou mais de matéria orgânica, tendo assim um odor desagradável e, se não forem prontamente dispostos, podem atrair insetos e roedores (METCALF & EDDY, 2003).

Assim como os resíduos do gradeamento, as quantidades dos resíduos do desarenador podem ter grande variação de um local para outro, influenciadas pelos seguintes fatores:

- ✓ Tipo de sistema coletor: se o sistema é combinado ou separador absoluto.
- ✓ Condições climáticas: tais como regiões de alta ou baixa pluviometria.
- ✓ Tipo de solo da região: solos arenosos ou argilosos.
- ✓ Tipo das contribuições industriais.
- ✓ Grau de conservação do sistema coletor.
- ✓ Proximidade com regiões litorâneas ou com solo arenoso fino.
- ✓ Uso de trituradores de resíduos orgânicos domésticos (muito utilizado nos Estados Unidos).
- ✓ Costumes locais.

É difícil interpretar dados de taxas de remoção de areia, pois esta é insuficientemente caracterizada e também por não existir dados relativos à eficiência de remoção. A informação sobre as características do resíduo do desarenador deriva do que é removido como areia. Análises granulométricas não são comumente realizadas no influente e efluente dos canais do desarenador. Por estas razões, as eficiências dos sistemas de remoção de areia não podem ser comparadas (METCALF & EDDY, 2003).

Mesmo assim existem alguns valores de referência para a avaliação do desempenho da unidade de desarenação. Tais indicadores são apresentados a seguir (JORDÃO; PESSOA, 2005):

- ✓ Quantidade de areia: o valor médio do volume de areia removida em função do volume de esgoto tratado deve estar compreendido entre 20 a 40 litros de areia por 1.000 m³ de esgoto tratado. Valores acima de 150 litros por 1.000 m³ indicam prováveis infiltrações excessivas na rede de esgoto contribuinte ou fatores irregulares influentes ao longo da rede, tais como avarias, ligações clandestinas de esgotos pluviais e industriais. Valores abaixo de 10 litros por 1.000 m³ indicam prováveis falhas de projeto ou operação inadequada ou outros fatores influentes.

- ✓ Teor de sólidos voláteis: o valor limite tolerável é 30%. Valores acima desse limite indicam excesso de lodo sedimentado devido a problemas operacionais ou falha de projeto.
- ✓ Teor de umidade: em condições normais o teor de umidade deve estar compreendido entre 20 a 30% e o peso específico da areia deve estar entre 1.400 a 1.700 kg/m³.

Geralmente nos projetos são adotadas taxas de geração de resíduos no desarenador da ordem de, no mínimo, 30 litros por 1.000 m³ para a vazão média, sendo que para regiões litorâneas ou localizadas em regiões com solos arenosos, tal valor pode ser muito maior, dependendo dos critérios e da margem de segurança adotada pelo projetista do sistema de tratamento preliminar de esgotos.

Como exemplo disso, a SANEPAR tem adotado em seus projetos taxas de geração de resíduos do desarenador de até 60 litros por 1.000 m³ para a vazão média, em estações de tratamento de esgotos projetadas para cidades localizadas sobre a formação geológica Arenito Caiuá, que possui solos superficiais predominantemente arenosos. Nesses locais a indicação de projeto é a utilização de tubulações em PVC com junta elástica, com o intuito de se diminuir a infiltração de águas pluviais na rede coletora e conseqüentemente a geração de resíduos do desarenador.

Alguns valores a respeito das taxas de geração de resíduos no desarenador são apresentados nas Tabelas 2.9 e 2.10 a seguir:

Tabela 2.9 – Remoção de areia segundo várias referências de literatura

Fonte: JORDÃO; PESSOA (2005)

Autor ou referência	Origem	Faixa		Média
		1 / 1.000 m ³		
		mínimo	máximo	1 / 1.000 m ³
Mara, D.	Escocesa	-	170	50 a 100
Metcalf & Eddy	Americana	0,3	180	-
Imhoff, K. (1)	Alemã	68	160	-
Dégremont (1)	Francês	-	160	-
Azevedo & Hess	Brasileira	13	40	15 a 29
ETE Pinheiros (2)	Brasileira	3	73	41
ETE Vila Leopoldina (2)	Brasileira	-	22	12

(1) Valores transformados com base em 200 l/hab.d

(2) Valores reais medidos entre jan/76 e mar/77

Tabela 2.10 – Quantidade de areia removida em sistemas de coleta de esgoto do tipo separador absoluto

Fonte: adaptado de WEF (1998)

ETE's dos EUA	Vazão m ³ / dia	Volume de areia	
		1 / 1.000 m ³	1 / dia
Norwalk	44.474	25,0	1.112
Portsmouth	36.715	3,0	110
East Hartford	15.140	18,0	273
Oklahoma City	94.625	15,0	1.419
Waterbury	56.775	30,0	1.703
Duluth	45.420	6,0	273
East Bay	484.480	9,5	4.578
Chicago	3.440.000	3,1	10.578
New York (Jamaica)	378.500	16,8	6.359
New York (Port Richmond)	227.100	3,8	852
New York (North River)	832.700	11,3	9.368
Boston	423.920	5,1	2.162
St. Louis	632.095	20,2	12.753
Passaic Valley Treatment Plant	851.625	28,7	24.399
Allegheny County	757.000	24,9	18.849
Forth Worth	170.325	9,7	1.648
County of Milwaukee	454.200	3,6	1.635
Twin City Metro	825.130	36,2	29.828
San Jose	541.255	18,8	10.149
Los Angeles (Hyperion)	1.589.700	15	23.846
Santa Rosa	45.420	37,5	1.703
Livermore	23.656	7,5	177

Embora apresentem características distintas, os resíduos do desarenador podem sofrer alguns tipos de tratamentos similares aos realizados nos resíduos do gradeamento, com o objetivo de se reduzir o seu volume, controlar seus aspectos negativos tais como exalação de odores e proliferação de moscas, facilitar seu manuseio e destinação final. Tais operações são listadas a seguir:

- ✓ Lavagem: como estes resíduos podem conter 50% ou mais de material orgânico putrescível pode-se realizar a lavagem dos mesmos através de dispositivos mecânicos, principalmente com o intuito de diminuir o seu volume e amenizar outras características indesejáveis. Tais operações são realizadas por equipamento denominado lavador de areia, ilustrado na Figura 2.16 a seguir.

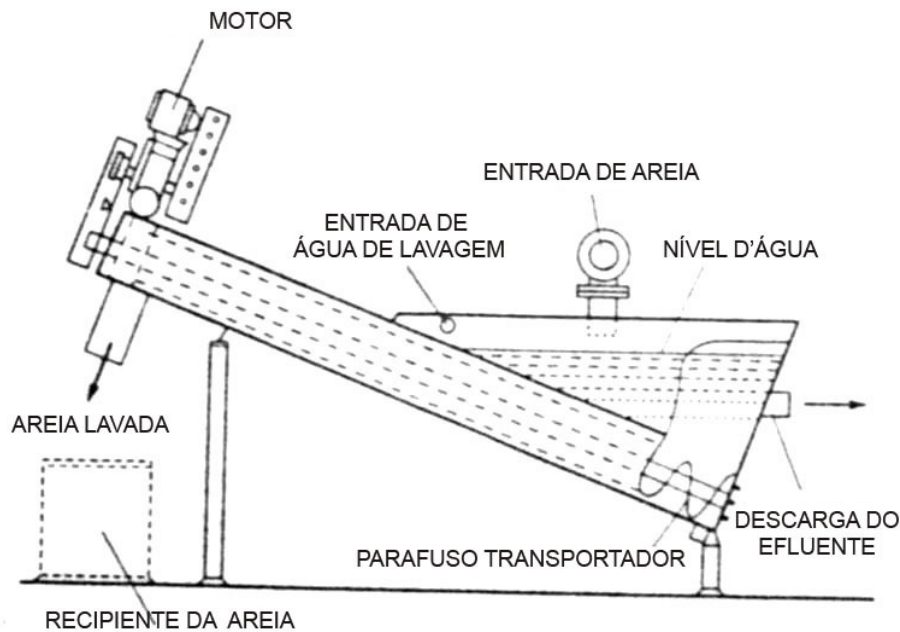


Figura 2.16 – Exemplo de lavador e separador de areia

Fonte: Adaptado de METCALF & EDDY (2003)

- ✓ Secagem (desaguamento): a água livre presente na areia, lavada ou não, pode ser retirada através de secagem natural, com a utilização de caixas de areia, ou através de dispositivos mecânicos (geralmente incorporados ao sistema de lavagem) em estações maiores. A finalidade de tal operação é a redução do volume e dos inconvenientes do transporte do material úmido além de diminuir o potencial de corrosão dos recipientes e caçambas metálicas usadas para a estocagem.
- ✓ Estocagem temporária: geralmente recebe o mesmo tratamento que é dado aos resíduos do gradeamento e, assim como o material gradeado, o período de estocagem, se possível, não deve ser superior a 2 dias para ETE's e estações elevatórias de esgoto (SANEPAR, 2005b).
- ✓ Controle de odor e de proliferação de insetos: geralmente os resíduos do desarenador não deveriam ser foco de grande geração de odor, pelo fato da sua constituição ser essencialmente inerte. No entanto, caso ocorram problemas com odores desagradáveis ou proliferação de insetos, podem-se usar as mesmas técnicas aplicadas aos resíduos do gradeamento.

No entanto, se o resíduo do desarenador ficar depositado em containeres, assim como os resultantes do gradeamento, os mesmos podem tornam-se uma fonte de odor pois, embora

tipicamente mais inerte que os resíduos do gradeamento, os resíduos do desarenador podem conter alguma matéria orgânica que pode sofrer decomposição nos containeres (EPA, 1987).

Assim como os resíduos do gradeamento, o transporte dos resíduos do desarenador até sua destinação final geralmente é realizado por caminhão, para caçambas ou caminhonetes, para tambores.

As possibilidades de reutilização ou reaproveitamento desses resíduos em estado bruto, ou seja, sem lavagem, secagem e classificação, assim como os resíduos do gradeamento, são praticamente inexistentes.

Geralmente, a destinação final desejável para esse tipo de resíduo é um aterro sanitário licenciado pelo órgão ambiental pertinente, conjuntamente com os resíduos do gradeamento e até com lodo biológico estabilizado.

Em algumas grandes estações de tratamento de esgoto, nos Estados Unidos, o resíduo do desarenador é incinerado conjuntamente com outros sólidos tais como material gradeado e lodos biológicos diversos. Em alguns estados americanos existem leis ambientais exigindo que o resíduo do gradeamento e do desarenador devam ser estabilizados com cal antes da disposição em aterro sanitário (METCALF & EDDY, 2003).

No Brasil, assim como os resíduos do gradeamento, a prática comum é enterrar esses resíduos no próprio terreno da estação de tratamento.

Assim como os resíduos do gradeamento, a resolução nº 375 de 29 de agosto de 2006 (CONAMA, 2006), em seu inciso 2º do artigo nº 3, veta a utilização agrícola dos resíduos do desarenador.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nos últimos anos vários foram os trabalhos desenvolvidos sobre tratamento e destinação final de lodos biológicos de estações de tratamento de esgoto, denominados biosólidos, mas pouco foi produzido especificamente sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos gerados no tratamento preliminar de esgotos sanitários.

Tal fato se deve, primeiramente, à elevada quantidade de biosólidos gerados, principalmente em ETE's com tratamentos aeróbios, em relação ao volume gerado de resíduos do tratamento preliminar, como também ao maior interesse despertado nos pesquisadores das potencialidades de reuso dos biosólidos para aplicações agrícolas ou na construção civil.

Um dos maiores desafios encontrados no desenvolvimento desta dissertação foi o de encontrar trabalhos que tratassem do assunto, direta ou indiretamente, e, diante da escassez de referências, a seguir, além de se apresentar alguns dados de autores sobre o resíduo estudado também será apresentado outros, referentes à biosólidos, que servirão como parâmetro para discussões posteriores.

3.1 HIGIENIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DO DESARENADOR

Segundo Chernicharo (2001) a higienização refere-se à destruição seletiva de organismos causadores de doenças sem que seja necessária a eliminação de todos os organismos.

Yamane (2007) desenvolveu um trabalho sobre a higienização de resíduos oriundos do desarenador por meio da avaliação da remoção de bactérias do grupo coliforme e de ovos de helmintos. Os objetivos do seu trabalho foram, a determinação de algumas características físicas, físico-químicas e biológicas do resíduo do desarenador, testar métodos de higienização do resíduo tais como caleagem, cloração e insolação natural, avaliar a eficiência do melhor método testado e avaliar o resíduo higienizado do desarenador como material alternativo na construção civil.

Em seus experimentos a autora concluiu que o melhor método de higienização dentre os estudados era a caleação. Os resultados dos principais parâmetros utilizados em seu trabalho são apresentados a seguir, nas Tabelas 3.1 a 3.4:

Tabela 3.1 – Resultados obtidos nas análises de CT e E. Coli

Fonte: adaptado de YAMANE (2007)

Pilhas	Coliformes Totais (NMP*/100g de areia seca)			E.Coli (NMP*/100g de areia seca)		
	0h	48h	1 semana	0h	48h	1 semana
	Areia controle	3,6x10 ⁷	1,9x10 ⁷	1,2x10 ⁸	5,2x10 ⁶	<1
Areia + Cal 15%	-	<1	<1	-	<1	<1
Areia + Cal 20%	-	<1	<1	-	<1	<1
Areia + Cal 25%	-	<1	<1	-	<1	<1
Areia + Cal 30%	-	<1	<1	-	<1	<1

(*) = número mais provável

Tabela 3.2 – Resultados obtidos nas análises de ovos de helmintos

Fonte: adaptado de YAMANE (2007)

Pilhas	Ovos de helmintos (ovos/gMS**)		
	0h	48h	1 semana
Areia controle	2,40	-	2,18
Areia + Cal 15%	-	0,00	0,00
Areia + Cal 20%	-	0,00	0,00
Areia + Cal 25%	-	0,00	0,00
Areia + Cal 30%	-	0,00	0,00

(**) = massa seca

Tabela 3.3 – Resultados das análises de umidade

Fonte: adaptado de YAMANE (2007)

Pilhas	Umidade (%)		
	0h	48h	1 semana
Areia controle	16,68	10,02	8,32
Areia + Cal 15%	-	10,59	8,29
Areia + Cal 20%	-	14,66	11,46
Areia + Cal 25%	-	15,79	11,71
Areia + Cal 30%	-	23,27	13,77

Tabela 3.4 – Resultados das análises de pH

Fonte: adaptado de YAMANE (2007)

Pilhas	pH		
	0h	48h	1 semana
Areia controle	7,07	6,60	6,47
Areia + Cal 15%	-	11,48	11,50
Areia + Cal 20%	-	11,51	11,51
Areia + Cal 25%	-	11,52	11,54
Areia + Cal 30%	-	11,54	11,51

Para verificar as potencialidades de utilização do resíduo do desarenador na construção civil a autora realizou o ensaio de granulometria, com o resíduo do desarenador em estado bruto e com incorporações de cal hidratada de 10 e 15%. Seus resultados são apresentados na Figura 3.1 a seguir:

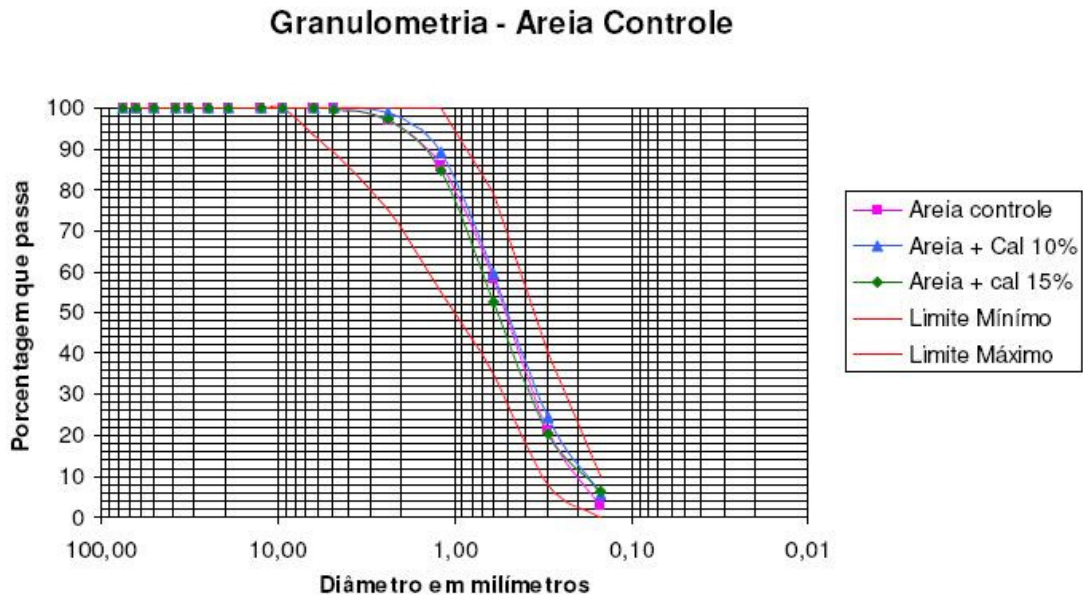


Figura 3.1 – Análise granulométrica das amostras de areia controle e areia higienizada com cal nas proporções 10% e 15%

Fonte: Adaptado de YAMANE (2007)

Em seu estudo e de acordo com o estabelecido na NBR 7.211 (ANBT, 1983), a autora enquadrou o resíduo do desarenador, com ou sem adição de cal, na curva granulométrica para agregado miúdo, como areia média-fina.

Em suas conclusões a autora relata que a caleagem a partir da concentração de 10% foi considerada eficiente na remoção de bactérias e ovos de helmintos, após uma semana de tratamento, resultando num material higienizado, com possibilidades de ser utilizado na construção civil, em substituição às areias convencionais, incorporado a argamassas em geral.

3.2 TRATAMENTO ALCALINO DE LODO DE ESGOTOS (BIOSÓLIDO)

Desde o final do século passado sabe-se que a adição de produtos alcalinos tem efeito estabilizante no lodo de esgoto. A cal é um dos produtos alcalinos mais baratos e mais utilizados no saneamento: ela é usada para elevar o pH nos digestores, remover fósforo nos

tratamentos avançados de efluentes, condicionar o lodo para desaguamento mecânico e estabilizar quimicamente o lodo (ANDREOLI, 2001).

Enquanto a cal é o mais utilizado, outros materiais alcalinos tais como pó de forno de cimento, pó de forno de cal, cimento portland e cinzas também têm sido usados na estabilização de biosólidos (EPA, 1999).

Por outro lado, a higienização de lodos por meio de produtos alcalinos, associada à existência de solos predominantemente ácidos na maioria das regiões brasileiras, permite também adotar essa prática, agregando valor ao biosólido produzido, o que pode substituir total ou parcialmente o uso de corretivos agrícolas (ANDREOLI, 2001). É um processo que converte o lodo em um produto apropriado para recobrimento de aterros sanitários ou para aplicação em solo agrícola. Durante a estabilização química, ocorre uma série de reações químicas entre componentes do lodo de esgoto e/ou produtos aplicados. O produto resultante é química, biológica e fisicamente estável. Tem baixo potencial para exalar odores, contém baixos níveis de patógenos e os metais no lodo são imobilizados (IDE et al, 1993).

A estabilização com cal é um processo muito simples. Essencialmente, o pH do lodo é aumentado pela adição de cal e é proporcionado um tempo de contato adequado. As características químicas e físicas do lodo também são alteradas pelas reações que ocorrem. A química do processo não é bem entendida, embora seja aceito que ocorra alguma quebra de moléculas complexas por reações, tais como hidrólises e saponificações, e neutralização de ácidos devido ao ambiente altamente alcalino criado pela adição de cal (WEF, 1985; WEF, 1986).

Algumas características físicas e químicas do lodo são alteradas pela adição de cal. Fisicamente, o lodo pode formar uma capa mais dura e branca ao ser exposto ao ar livre. Quimicamente, além da fixação dos metais pesados, pode haver insolubilização do fósforo e perdas de nitrogênio por volatilização da amônia (ANDREOLI et al, 2001).

Outro efeito do pH alto, segundo Lotito et al (1991), é suprimir a emissão de sulfetos voláteis e ácidos graxos, enquanto que as aminas e a amônia aumentarão.

Segundo WEF (1985) as mudanças químicas que ocorrem no lodo, durante o processo de estabilização com cal incluem:

- ✓ Redução na concentração de sólidos suspensos voláteis de 10 a 35%, resultante da diluição com cal e alguma perda de compostos orgânicos voláteis para a atmosfera. Porém, se ocorrer alguma destruição dos sólidos voláteis a perda será pequena.

- ✓ Aumento na concentração de sólidos suspensos totais, devido à adição de sólidos da cal e precipitação de sólidos dissolvidos.
- ✓ Redução nos valores de fósforos solúveis por causa da reação com o ortofosfato para formar precipitado de fosfato de cálcio.

As dosagens necessárias de cal para se atingir o pH da ordem de 12 no lodo, dependem de uma série de condições, tais como teor de sólidos, o tipo de lodo, as condições de tamponamento e outros (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001).

A cal virgem (CaO) é o produto mais indicado quando aplicado em lodos já na fase sólida, pela sua capacidade de reagir com a umidade e liberar calor. Vários estudos (OORSCHOT et al., 2000; ANDREOLI et al., 1999; EPA, 1992,1994) mostram que dosagens de CaO entre 30% a 50% da massa seca de lodo são capazes de alcançar as características necessárias para a produção de biossólido com a concentração de microrganismos patogênicos abaixo dos limites de detecção (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001).

Além do pH acima de 12, outro fator importante é o tempo de contato, pois o efeito desinfetante da cal não é imediato (ANDREOLI et al, 2001).

Segundo Qasim (1999) as dosagens de cal variam conforme o tipo do lodo, e de sua concentração de sólidos. Se a concentração de sólidos aumenta, a dosagem de cal diminui. As dosagens típicas de cal para diferentes tipos de lodo podem variar de 6% a 43%.

Alguns problemas existem nesta alternativa de processo. É conhecida a liberação de fortes odores do lodo, causada pela volatilização (“stripping”) da amônia quando da elevação do pH. Isto é mais sentido em lodos digeridos anaerobicamente, devido à alta concentração de amônia gerada neste processo. Embora a amônia também seja um fator que auxilia na desinfecção (SANEPAR, 1999), a permanência desses odores no ambiente causa problemas à saúde dos trabalhadores. O segundo problema está relacionado ao acréscimo de sólidos para disposição. Se por um lado a maioria dos solos brasileiros requer correção de pH, por outro, a aplicação de cal incorpora uma quantidade maior de sólidos para transporte e disposição, que pode trazer algum inconveniente (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001).

3.2.1 Imobilização de metais

Do ponto de vista ambiental, o metal pesado pode ser entendido como aquele metal que, em determinadas concentrações e tempo de exposição, oferece risco à saúde humana e ao ambiente, prejudicando a atividade dos organismos vivos. Os principais elementos químicos

enquadrados neste conceito são: prata (Ag), arsênio (As), cádmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), mercúrio (Hg), chumbo (Pb), antimônio (Sb), selênio (Se) e zinco (Zn) (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001).

Dentre esses, segundo Fytili e Zabaniotou (2006), metais pesados tais como zinco (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni), cádmio (Cd), chumbo (Pb), mercúrio (Hg) e cromo (Cr), são os principais elementos que restringem o uso agrícola dos lodos biológicos.

As concentrações em que os metais ocorrem nos lodos biológicos são apresentadas na Tabela 3.5 a seguir:

Tabela 3.5 – Concentração média de metais no lodo de esgoto no Brasil

Fonte: adaptado de MACHADO (2001)

Metal	Massa seca (mg/kg)		
	Média	Desvio padrão	Mediana
Arsênio	14,69	31,14	2,70
Cádmio	10,75	17,69	0,74
Chumbo	80,37	95,42	38,80
Cobre	255,39	256,93	199,50
Cromo	143,72	212,84	62,80
Mercúrio	2,35	4,11	0,85
Molibdênio	112,88	188,08	8,62
Níquel	41,99	73,85	11,60
Selênio	27,24	47,17	0,01
Zinco	688,83	814,80	207,00

Em um experimento controlado, Xirokostas et al (2001), conseguiram reter, por meio de tratamento alcalino, com adição de cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) em várias soluções contendo cada uma um tipo de metal dissolvido, as seguintes quantidades de metais: 86,53% do cobre (Cu), 98,20% do níquel (Ni), 92,20% do zinco (Zn), 50,00% do cádmio (Cd), 50,00% do cromo (Cr) e 46,56% do ferro (Fe). Nesse mesmo experimento os autores concluíram que os principais mecanismos de retenção de metais do tratamento alcalino com cal são, a sorção (absorção e adsorção) e a precipitação.

Hsiau e Lo (1998) realizaram estudos sobre a imobilização de metais em lodos de esgotos tratados por processos alcalinos por meio da extração desses metais do lodo bruto, e do lodo submetido aos tratamentos alcalinos. Os resultados obtidos para o lodo tratado com cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) a 10% são apresentados na Tabela 3.6 a seguir:

Tabela 3.6 – Características básicas de lodo de esgotos tratados quimicamente

Fonte: adaptado de HSIAU e LO (1998)

Parâmetro	Lodo bruto	Lodo tratado c/ 10% Ca (OH) ₂
pH	7,65	12,05
Umidade (%)	1,5	6,99
Massa específica (g/ml)	0,62	0,70
Chumbo (mg/kgMS*)	89,89	52,16
Cobre (mg/kgMS*)	138,4	81,12
Cromo (mg/kgMS*)	1089	621,6
Zinco (mg/kgMS*)	202,0	119,4

(*) MS = massa seca

Wong e Selvam (2005) realizaram estudos sobre a especiação de metais durante a compostagem de lodos de esgotos com serragem e adição de cal hidratada em várias taxas. A serragem foi adicionada na proporção de 1:2 (v/v), sendo 1 parte de serragem para 2 partes de lodo fresco. A aeração da mistura foi realizada mecanicamente durante o período do experimento de 100 dias, e a umidade da mistura variou entre 60% a 70% no período. Os valores que os mesmos encontraram para a imobilização de metais são apresentados na Tabela 3.7 a seguir:

Tabela 3.7 – Teor de metais em lodo de esgotos compostado com serragem e diferentes taxas de incorporação de cal hidratada

Fonte: WONG e SELVAM (2005)

Metal	Cal hidratada incorporada (%MS*)			
	0,00	0,63	1,00	1,63
Cobre (mg/kgMS*)	176	166	152	141
Manganês (mg/kgMS*)	141	130	124	110
Níquel (mg/kgMS*)	64,0	59,4	53,8	49,0
Chumbo (mg/kgMS*)	85,6	87,3	88,7	75,3
Zinco (mg/kgMS*)	1415	1402	1397	1327

(*) MS = massa seca

Ide et al (1993) realizaram um trabalho sobre a inativação de organismos patogênicos e a imobilização de metais pela cal em lodos de esgotos. O experimento consistiu na dosagem de cal até que valores de pH entre 12,0 a 12,5 fossem atingidos, monitorado em um período de 2 horas após a incorporação. As amostras que atingiram essa faixa de pH foram submetidas a análises físico-químicas, ensaios de lixiviação e solubilização e, conseqüentemente de metais.

Os principais valores encontrados nessas análises são apresentados nas Tabelas 3.8 e 3.9 a seguir:

Tabela 3.8 – Características de lodo bruto e tratado com cal

Fonte: adaptado de IDE et al (2005)

Parâmetro	Lodo bruto	Lodo + Cal
pH	6,76	>12
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /l)	3.926	19.674
Sólidos Totais (%)	7,41	8,45
Óleos e graxas (%)	13,28	9,09
Amônia (mg/kgMS*)	6.578	1.338
Nitrato (mg/kgMS*)	6	10
Sulfatos totais (mg/kgMS*)	9.610	15.250

(*) MS = massa seca

Tabela 3.9 – Teor de metais do lodo bruto e tratado com cal

Fonte: adaptado de IDE et al (2005)

Metal	Lodo bruto			Lodo + Cal		
	Total (mg/kgMS*)	Solubilização (mg/l)	Lixiviação (mg/l)	Total (mg/kgMS*)	Solubilização (mg/l)	Lixiviação (mg/l)
Cádmio	140,05	0,1697	0,1904	121,95	0,1662	0,2387
Cálcio	1.072,10	4,1529	7,1903	12.502,85	9,4259	11,5804
Chumbo	218,00	0,0960	0,1080	194,00	0,1120	0,1480
Cobre	2.126,50	0,8369	1,1905	1.901,10	1,2931	3,1179
Cromo	76,15	0,1266	0,1523	69,35	0,1357	0,1387
Ferro	21.499,50	1,1132	2,4531	19.439,95	1,3613	2,1553
Zinco	2.337,55	0,1342	1,1291	890,00	0,1713	0,4783

(*) MS = massa seca

Wong e Fang (1999) estudaram a imobilização de metais em um experimento de tratamento de lodo por compostagem e adição de várias taxas de cal hidratada. Concluíram que a calagem reduziu significativamente o teor de metais solúveis e extraíveis no lodo composto. As máximas reduções foram de 60% a 40% para o cobre (Cu), 80% a 40% para o manganês (Mn), 55% a 10% para o zinco (Zn) e 25% para o níquel (Ni), ao final do período de compostagem, que em seu experimento foi de 100 dias.

Chagas (2000) realizou estudos sobre patógenos e metais, em lodo digerido bruto e higienizado para fins agrícolas, em duas ETE's do Rio de Janeiro. Em seu experimento de calagem foi utilizada cal virgem (CaO), com incorporação de 50% do peso seco do lodo

biológico. Os resultados encontrados para imobilização de metais nos lodos biológicos tratados das duas ETE's são apresentados na Tabela 3.10 a seguir:

Tabela 3.10 – Determinação de metais analisados nas ETE's Penha e Ilha - RJ

Fonte: adaptado de CHAGAS (2000)

Metal	ETE Penha (RJ)						ETE Ilha (RJ)					
	Sem cal			Com cal			Sem cal			Com cal		
	(mg/kgMS*)			(mg/kgMS*)			(mg/kgMS*)			(mg/kgMS*)		
	1A	2A	3A	1A	2A	3A	1B	2B	3B	1B	2B	3B
Cádmio	10	5	15	2,7	3	-	10	7	9	6	4	-
Chumbo	1.409	632	1.758	364	359	-	1.045	623	808	385	291	-
Cobre	1.715	578	1.592	353	391	-	1.225	866	1.132	420	395	-
Cromo	670	266	796	137	152	-	125	80	106	33	33	-
Níquel	479	203	533	112	125	-	205	136	149	95	64	-
Zinco	2.692	1.369	3.931	721	734	-	2.710	1.944	2.471	1.220	826	-

(*) MS = massa seca

De acordo com a revisão bibliográfica a incorporação de cal nos resíduos do desarenador e no lodo biológico de esgotos apresentou resultados positivos tanto nos aspectos biológicos quanto nos físico-químicos.

Tal premissa e os dados da literatura apresentada servirão de referência para as discussões dos capítulos subsequentes deste trabalho.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão abordados o estudo de caso e as etapas metodológicas utilizadas neste trabalho. Esquemáticamente o organograma do mesmo pode ser visualizado na Figura 4.1 a seguir.

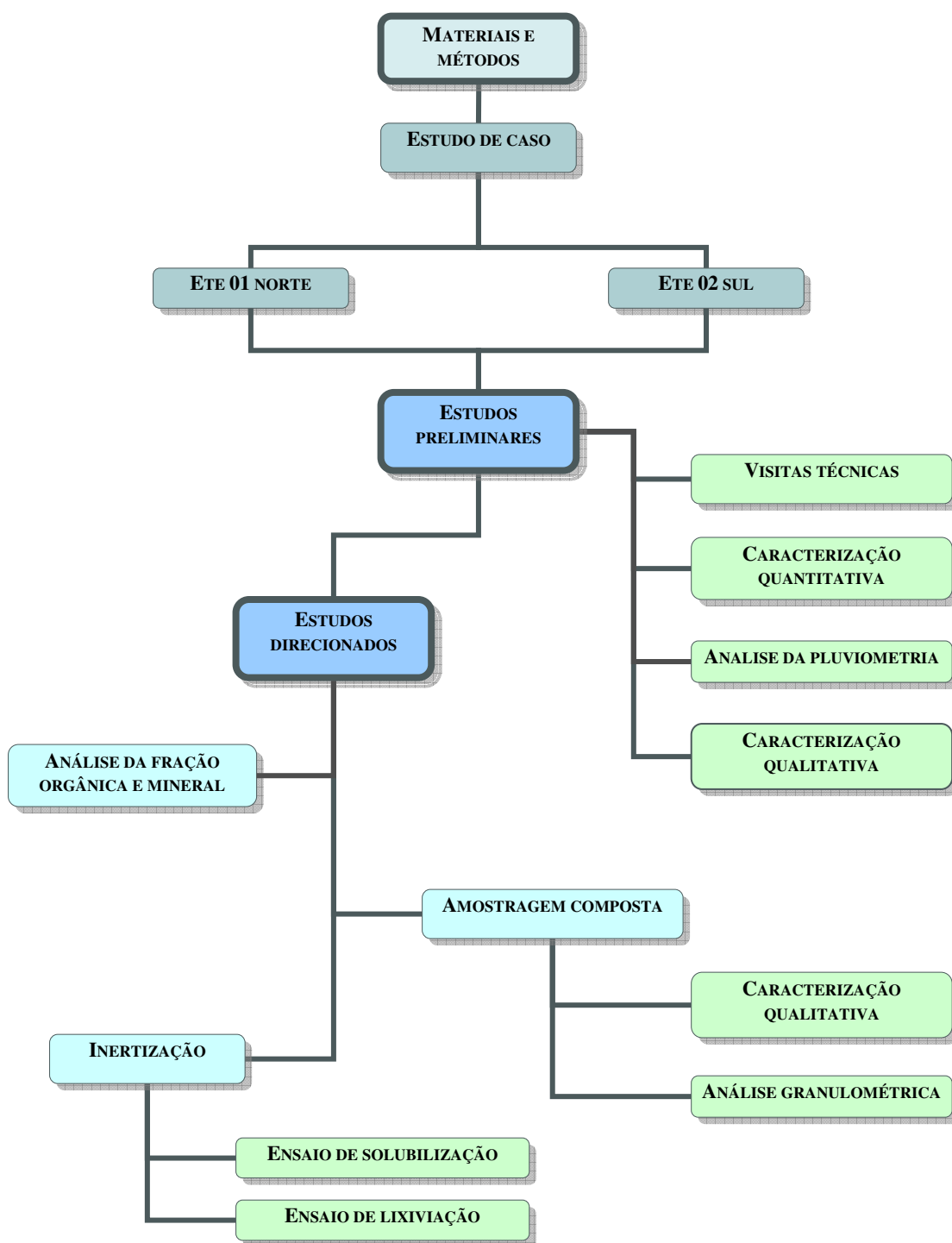


Figura 4.1 – Organograma de atividades desenvolvidas nesse capítulo

4.1 ESTUDO DE CASO

O estudo consistiu na caracterização dos resíduos gerados no tratamento preliminar de esgotos sanitários, originados no gradeamento e principalmente no desarenador, e na proposta de uma destinação final adequada para os mesmos.

Para tanto, realizou-se uma pesquisa de campo em estações de tratamento de esgotos sanitários operadas pela SANEPAR na cidade de Maringá - PR. Ao longo desse capítulo, serão descritos os procedimentos adotados para a realização desse estudo.

A idéia inicial era de se propor uma metodologia de gestão que contemplasse tanto os resíduos do gradeamento quanto os do desarenador, com propostas para tratamento e reutilização de ambos. Porém, devido às características encontradas nos resíduos do gradeamento que praticamente inviabilizam qualquer modalidade de reaproveitamento, o foco do estudo concentrou-se nos resíduos do desarenador.

O plano experimental compreendeu a realização de duas etapas complementares, a saber:

A primeira etapa, denominada Estudos Preliminares, teve como objetivo principal a determinação de quais ETE's apresentavam melhores condições para fazer parte do estudo. Os parâmetros analisados levaram em consideração não apenas os dados obtidos com as pesquisas de laboratório mas também aspectos operacionais envolvidos nos processos de geração de resíduos encontrados nas visitas técnicas. Também nessa etapa foram realizados estudos da correlação entre pluviometria e geração de resíduos.

A segunda, denominada Estudos Direcionados, teve como objetivo principal avaliar mais detalhadamente a composição dos resíduos do desarenador por meio de amostragens compostas e de outras análises específicas, investigações das frações orgânicas e ensaios de solubilização, segundo a NBR 10.005 (ABNT, 2004b), e de lixiviação, segundo a NBR 10.006 (ABNT, 2004c), com o resíduo do desarenador em estado bruto e tratado por processo alcalino, com vistas ao enquadramento do mesmo como inerte segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004a).

4.2 ESTUDOS PRELIMINARES

Os Estudos Preliminares foram desenvolvidos no período de maio a julho de 2007 e dividiram-se em 4 fases, conforme descrição a seguir:

- ✓ Fase 1: visitas técnicas às ETE 01 Norte e ETE 02 Sul.

- ✓ Fase 2: caracterização quantitativa dos resíduos do gradeamento e do desarenador das ETE 01 Norte e ETE 02 Sul.
- ✓ Fase 3: análise da pluviometria do período da caracterização quantitativa dos resíduos do gradeamento e do desarenador da ETE 01 Norte e da ETE 02 Sul.
- ✓ Fase 4: caracterização qualitativa dos resíduos do desarenador da ETE 01 Norte e ETE 02 Sul.

4.2.1 Visitas técnicas às ETE 01 Norte e ETE 02 Sul

O objetivo dessas visitas técnicas foi obter informações sobre as estações, conhecer as rotinas operacionais e identificar os pontos para coleta das amostras, além de definir a maneira como essas amostras seriam coletadas, acondicionadas e transportadas até o laboratório.

As ETE's primeiramente escolhidas para fazer parte deste estudo foram as ETE 01 Norte e ETE 02 Sul, ambas pertencentes ao sistema de esgotamento sanitário de Maringá – PR.

4.2.2 Caracterização quantitativa dos resíduos do gradeamento e do desarenador das ETE 01 Norte e ETE 02 Sul

Os objetivos da caracterização quantitativa foram determinar as quantidades de resíduos gerados no gradeamento e no desarenador e sua correlação com a vazão afluyente à estação.

O monitoramento da vazão afluyente à ETE e da geração de resíduos no gradeamento e no desarenador foram realizadas por meio de uma planilha, que se encontra no Apêndice A, na qual os operadores da ETE anotavam a vazão acumulada, obtida diretamente do dispositivo de medição eletrônica, cada vez em que a caçamba de resíduo, de volume conhecido, estava sendo trocada por estar completamente cheia.

Como a correlação entre vazão afluyente e volume de resíduo gerado não é proporcional, o monitoramento foi realizado por um período com o intuito de se identificar fatores que poderiam influenciar essa geração como também calcular uma média de resultados.

4.2.3 Análise da pluviometria do período da caracterização quantitativa dos resíduos do gradeamento e do desarenador da ETE 01 Norte e da ETE 02 Sul

Alguns autores indicam que a taxa de geração de resíduos no gradeamento e no desarenador pode ser influenciada pela contribuição de vazões parasitárias (águas de infiltração, clandestinas e irregulares) na rede coletora sem, no entanto, citar dados quantitativos.

Segundo Jordão e Pessoa (2005), períodos de estiagem seguidos de períodos de chuvas geralmente causam um acréscimo na geração desses resíduos na medida em que o aumento das vazões no sistema de coleta, ocasionado principalmente pelo aumento nas vazões parasitárias, acarreta uma “lavagem” da rede e diversos materiais que nela estavam depositados são carreados para a ETE.

Com o intuito de investigar se existe uma relação entre a geração de resíduos no tratamento preliminar e a ocorrência ou não de chuvas no período, os dados obtidos no monitoramento quantitativo foram correlacionados com a pluviometria do período em que as ETE's foram monitoradas. Os dados referentes à pluviometria do período foram obtidos em Inmet (2007) e são referentes à estação meteorológica automática MARINGÁ-A835.

4.2.4 Caracterização qualitativa dos resíduos do desarenador da ETE 01 Norte e ETE 02 Sul

A amostragem do resíduo do desarenador foi realizada segundo os procedimentos descritos na norma NBR 10.007 – Amostragem de resíduos sólidos (ABNT, 2004d).

Como as ETE's estudadas na análise qualitativa possuíam armazenamento do resíduo do desarenador em caçamba metálica, utilizaram-se os seguintes tipos de amostradores e recipientes para coleta e transporte da amostra:

- ✓ ETE 01 Norte: como o resíduo possuía grande umidade, utilizou-se um recipiente plástico de 1 litro amarrado a um tubo metálico de 2,00 metros e um balde plástico de 10 litros. A coleta da amostra foi realizada em 01/06/07 e as análises em laboratório foram realizadas em 01 e 02/06/07.
- ✓ ETE 02 Sul: utilizou-se pá de jardineiro e um recipiente plástico de 10 litros. A coleta da amostra foi realizada em 16/06/07 e as análises em laboratório foram realizadas em 16 e 17/06/07.

Como as análises eram preliminares não se procurou obter uma grande quantidade de resíduos, coletando-se apenas volume tal que permitisse as análises em laboratório, sendo que este era de aproximadamente 3 litros. A amostragem foi realizada em vários pontos da caçamba e em três níveis: fundo, meio e topo, obtendo-se assim uma amostra composta.

Os parâmetros analisados para a caracterização preliminar dos resíduos brutos do desarenador e suas respectivas metodologias são apresentados na Tabela 4.1 a seguir:

Tabela 4.1 – Parâmetros investigados e metodologias utilizadas nas análises qualitativas dos resíduos do desarenador da ETE 01 Norte e ETE 02 Sul

Parâmetro	Metodologia
Porcentagem de umidade (Umidade)	KIEHL (1985)
Matéria Orgânica Total (MO _t)	KIEHL (1985)
Resíduo Mineral Total (RM _t)	KIEHL (1985)
Carbono Orgânico Total (CO _t)	KIEHL (1985)
Sólidos Totais (ST)	APHA (1998)
Sólidos Fixos (SF)	APHA (1998)
Sólidos Voláteis (SV)	APHA (1998)
Potencial Hidrogeniônico (pH)	APHA (1998)
Densidade (D _r)	KIEHL (1985)
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	HACH (1996)

4.3 ESTUDOS DIRECIONADOS

Os Estudos Direcionados foram desenvolvidos no período de julho a dezembro de 2007 e dividiram-se em 3 fases, conforme descrição a seguir:

- ✓ Fase 1: amostragem composta dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul.
- ✓ Fase 2: análise das frações orgânicas dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul.
- ✓ Fase 3: inertização dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul.

O objetivo principal dessa etapa do trabalho foi determinar características específicas dos resíduos do desarenador para avaliar a variação da sua composição e suas possibilidades de destinação.

Na Fase 1, procurou-se verificar por meio de um experimento direcionado e monitorado, variações nas características físico-químicas, analisadas anteriormente nos Estudos Preliminares de maneira pontual, em amostragens diárias por um determinado período de tempo. Além dessa verificação foi realizado um ensaio de granulometria da amostra composta com o intuito de verificar as possibilidades de utilização desse material em outras aplicações, substituindo a areia comum ou outro material inerte.

Na Fase 2, procurou-se analisar, por meio de uma nova amostragem, a composição da fase orgânica e mineral dos resíduos do desarenador após o seu fracionamento em um ensaio de granulometria.

Na Fase 3, procurou-se classificar os resíduos do desarenador segundo a norma NBR 10.004 (ABNT, 2004a), por meio da realização de ensaios de lixiviação e solubilização. Ainda nessa fase foi realizada a investigação das variações dos parâmetros que classificam esses resíduos,

após submetê-los a um tratamento alcalino com o intuito de classificá-los como inertes, segundo a referida norma.

A ETE 02 Sul foi escolhida para o experimento por apresentar maior número de operadores, com operação contínua de 24 horas em três turnos de 8 horas, e, conseqüentemente, melhor controle operacional.

4.3.1 Amostragem composta dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

Basicamente a amostragem consistiu numa coleta, durante 7 dias, de uma amostra composta de aproximadamente 5 litros de resíduos do desarenador, armazenamento em pátio coberto, protegido de radiação solar direta e intempéries, com circulação de ar natural, sobre uma lona plástica preta com a função de proteger o material da umidade do piso, em 7 pilhas isoladas.

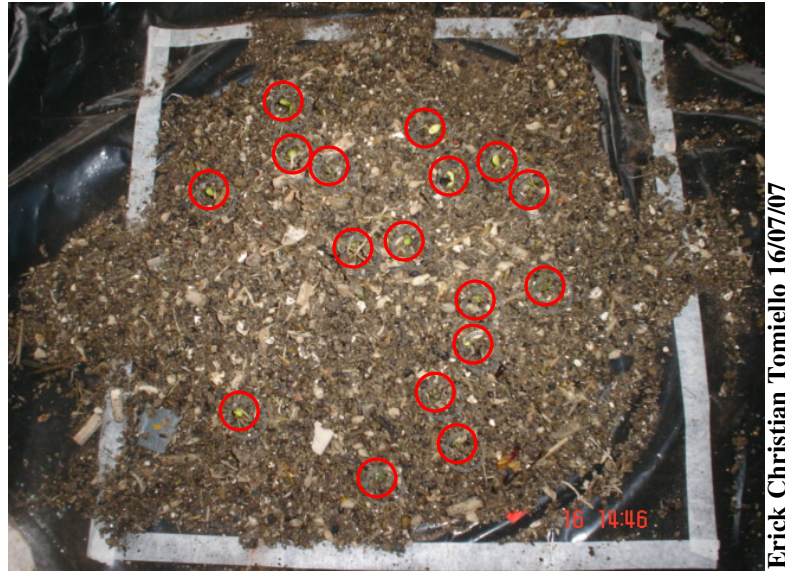
Por meio do monitoramento da geração de resíduos no desarenador da ETE 02 Sul, verificou-se que a taxa de geração por dia foi de, aproximadamente, $0,25 \text{ m}^3$, fato este que gerou a opção pela coleta de 5 litros de resíduo, ou seja, de 2% do volume total gerado em um dia.

Os resíduos foram coletados no período de 06/07/07 a 12/07/07, o método de secagem pode ser visualizado na Figura 4.2 a seguir:



Figura 4.2 – Secagem das amostras de resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

A cada 2 dias todos os montes de resíduos eram revolvidos, de maneira que o resíduo em contato com a lona ficasse, ao final da operação, na parte superior do monte. Essa operação proporcionou uma melhora na qualidade do resíduo, na medida em que retirou consideravelmente sua umidade mas, mesmo com esse cuidado, algumas sementes presentes no resíduo germinaram, conforme visualizado na Figura 4.3 a seguir:



Erick Christian Tomiello 16/07/07

Figura 4.3 – Pequenos brotos germinando em amostra dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

Após o término de todas as coletas, em 12/07/07, foi dado um período de 8 dias para que pudesse ocorrer a secagem natural das últimas amostras coletadas, no caso das amostras nº 6 e 7 que apresentam cor escura devido à umidade, conforme se verifica na Figura 4.4 a seguir:



Erick Christian Tomiello 16/07/07

Figura 4.4 – Amostras 6 e 7 dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul com umidade elevada (cor escura)

Após esse período de secagem foi efetuado o quarteamento das amostras, de maneira que uma parte foi utilizada para as análises físico-químicas e uma outra parte foi utilizada para a constituição de uma amostra composta geral, que também foi analisada em laboratório e

utilizada para a análise granulométrica. Tal operação pode ser verificada na série de Figuras 4.5, 4.6 e 4.7 a seguir.



Figura 4.5 – Amostras dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul após 8 dias de secagem natural



Figura 4.6 – Quarteamento das amostras dos resíduos da ETE 02 Sul



Figura 4.7 – Coleta alternada no sentido anti-horário de parcela das amostras para a composição da amostra composta dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

As amostras de cada um dos dias foram numeradas e acondicionadas em sacos plásticos com fecho de pressão e a amostra composta foi acondicionada em um recipiente de 10 litros, conforme apresentado na Figura 4.8 a seguir:



Figura 4.8 – Amostras acondicionadas para transporte e ensaios de laboratório dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

Após o acondicionamento as amostras foram levadas para laboratório. O restante do material que não foi utilizado neste trabalho foi devolvido à caçamba metálica existente na ETE para tal resíduo.

4.3.1.1 *Análise qualitativa da amostragem composta dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul*

Em laboratório, todas as amostras foram analisadas seguindo a mesma metodologia aplicada nos Estudos Preliminares, inclusive com a análise físico-química da amostra composta.

Os parâmetros analisados nas amostras foram:

- ✓ Porcentagem de umidade (umidade), matéria orgânica total (MO_t), resíduo mineral total (RM_t), carbono orgânico total (CO_t).
- ✓ Sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF), sólidos voláteis (SV).
- ✓ Potencial hidrogeniônico (pH).
- ✓ Densidade (D_r).
- ✓ Demanda química de oxigênio (DQO).

4.3.1.2 *Análise granulométrica da amostragem composta dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul*

Com vistas a investigar a potencialidade de reuso dos resíduos como areia ou materiais inertes para outras aplicações, foi efetuada a análise granulométrica do resíduo seco, utilizando-se a série de peneiras estabelecidas pela norma NBR 7.211 (ABNT, 1983).

De maneira a se obter um universo amostral bem caracterizado, foi utilizada para a análise granulométrica a amostra composta, obtida no experimento anteriormente descrito, que possui aproximadamente 10 litros de resíduo do desarenador em estado bruto.

Como para o ensaio de granulometria era necessário que o material esteja totalmente seco, foi efetuada a secagem do material em estufa, por um período mínimo de 16 horas, conforme apresentado nas Figuras 4.9 e 4.10 a seguir:



Erick Christian Tomiello 21/07/07

Figura 4.9 – Amostra composta dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul acondicionada em bandejas para secagem em estufa



Erick Christian Tomiello 21/07/07

Figura 4.10 – Amostra composta dos resíduos da ETE 02 Sul secando em estufa

Depois do período de secagem fez-se necessário o armazenamento da amostra seca por um período de 24 horas, até a realização da análise granulométrica. Para se conservar o material livre de umidade os sacos utilizados para armazenar os mesmos foram embalados a vácuo, conforme visualizado na Figura 4.11 e depositadas em um dessecador.



Erick Christian Tomiello 22/07/07

Figura 4.11 – Amostra composta dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul seca e embalada a vácuo para ensaio de granulometria

Para a realização do ensaio de granulometria foi utilizado o conjunto de peneiras circulares sucessivas que atendem a NBR 5.734 (ABNT, 1997), tanto as da série métrica quanto as da série intermediária, conforme apresentado na Figura 4.12.



Erick Christian Tomiello 23/07/07

Figura 4.12 – Conjunto de peneiras circulares com malha quadrada montado com fundo

O ensaio foi realizado conforme a NBR 7.181 (ABNT, 1984) e consistiu na pesagem da amostra seca, obtendo-se um peso total, e posterior passagem dessa amostra pela série de peneiras. A passagem da amostra pelas peneiras foi acompanhada de agitação manual. A

fração que ficou contida em cada peneira foi separada e pesada. Com o peso de todas as frações retidas em cada peneira foi calculada a porcentagem em relação ao peso total da amostra que fica retida naquela malha de peneira, conforme ilustrado nas Figuras 4.13 e 4.14 a seguir.



Figura 4.13 – Ensaio de granulometria - separação das quantidades retidas em cada peneira



Figura 4.14 – Ensaio de granulometria - pesagem de fração retida em uma peneira

Com a obtenção das frações retidas nas malhas de peneiras foi construída uma curva granulométrica do material. Essa foi comparada às curvas limites de classificação de areia

presentes na NBR 7.211 (ABNT, 1983), verificando-se em qual faixa de classificação o resíduo melhor se enquadra.

Na Tabela 4.2 são apresentadas às aberturas das peneiras utilizadas para o ensaio.

Tabela 4.2 – Aberturas das peneiras de malha metálica quadrada

Fonte: NBR 5.734 (ABNT, 1997)

Série Normal	Série Intermediária
76 mm	-
-	64 mm
-	50 mm
38 mm	-
-	32 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,8 mm	-
2,4 mm	-
1,2 mm	-
0,600 mm	-
0,300 mm	-
0,150 mm	-

4.3.2 Análise da fração orgânica e mineral dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

Com o intuito de se investigar qual a composição das várias frações retidas no ensaio de granulometria realizou-se análises das porcentagens de matéria orgânica total (MO_t) e do resíduo mineral total (RM_t) das mesmas.

Realizou-se uma nova amostragem composta, segundo a NBR 10.007 (ABNT, 2004d), seguida de secagem, conforme realizado anteriormente, ensaio de granulometria, usando a mesma série de peneiras anteriormente apresentadas, mas desta vez com a separação das várias frações obtidas após pesagem em sacos plásticos individuais, por peneira.

Dessas mesmas frações foram extraídas amostras representativas e ensaiadas, segundo a metodologia de Kiehl (1985), para a obtenção das frações orgânicas e minerais de cada uma delas.

4.3.3 Inertização dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

Por se tratar de um resíduo em estado sólido, o mesmo foi submetido a análises objetivando classificá-lo segundo os critérios da norma NBR 10.004 (ABNT, 2004a).

Para tanto, foram realizados ensaios de lixiviação, segundo a NBR 10.005 (ABNT, 2004b), para classificar o resíduo como perigoso ou não perigoso e ensaios de solubilização, segundo a NBR 10.006 (ABNT, 2004c), para classificar o resíduo como inerte ou não inerte.

Realizou-se uma nova amostragem composta, segundo a NBR 10.007 (ABNT, 2004d), de uma quantidade significativa de resíduo do desarenador para se realizar todas as análises prescritas nos ensaios de lixiviação e solubilização.

4.3.3.1 Ensaio de lixiviação dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

Realizou-se seguindo a metodologia descrita na norma NBR 10.005 (ABNT, 2004b) com o resíduo totalmente seco em estufa, por no mínimo 16 horas, e em estado bruto. O procedimento foi realizado em duplicata e os dados obtidos no procedimento foram:

- ✓ Teor de sólidos secos, em porcentagem.
- ✓ pH do extrato lixiviado.
- ✓ Tempo total de lixiviação.
- ✓ Volume dos líquidos obtidos.

O extrato lixiviado obtido foi conservado de acordo com APHA (1998), os parâmetros analisados e as respectivas metodologias são apresentados na Tabela 4.3 a seguir:

Tabela 4.3 – Parâmetros investigados e metodologias utilizadas no ensaio de lixiviação dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

Parâmetro	Técnica utilizada	Metodologia
Fluoreto	Método colorimétrico SPADNS	APHA (1998)
Alumínio (Al)	Espectrometria de absorção atômica	APHA (1998)
Bário (Ba)	Espectrometria de absorção atômica	APHA (1998)
Cádmio (Cd)	Espectrometria de absorção atômica	APHA (1998)
Cálcio (Ca)	Espectrometria de absorção atômica	APHA (1998)
Chumbo (Pb)	Espectrometria de absorção atômica	APHA (1998)
Cobre (Cu)	Espectrometria de absorção atômica	APHA (1998)
Cromo total (Cr)	Espectrometria de absorção atômica	APHA (1998)
Ferro (Fe)	Espectrometria de absorção atômica	APHA (1998)
Manganês (Mn)	Espectrometria de absorção atômica	APHA (1998)
Prata (Ag)	Espectrometria de absorção atômica	APHA (1998)
Sódio (Na)	Espectrometria de absorção atômica	APHA (1998)

Não foram realizadas as análises de pesticidas, outros compostos orgânicos e dos seguintes metais: arsênio (As), mercúrio (Hg) e selênio (Se), todos constantes do anexo F da NBR 10.004 (ABNT, 2004a).

Para a determinação de metais utilizou-se o espectrofotômetro de absorção atômica modelo Spect AA – 10 Plus da Varian, seguindo as recomendações de análises especificadas no manual do equipamento, após digestão ácida a quente das amostras.

A digestão a quente da amostra é necessária para descomplexar o metal e eliminar a matéria orgânica presente. A metodologia utilizada foi baseada em Malavolta et al (1997), e consistiu na separação de 100 ml de amostra em um becker graduado, adição de 12 ml de solução de digestão na proporção 2:1 (v/v) de HNO₃ e HCl, aquecimento gradual até 150° C até que o volume fosse reduzido para menos de 50 ml.

Após, a amostra foi retirada da chapa, resfriada naturalmente, filtrada em papel filtro e transferida para um balão volumétrico de 50 ml, e teve seu volume completado até 50 ml com água deionizada. O volume então foi transferido para um frasco, foi etiquetado e encaminhado para leitura.

4.3.3.2 Ensaio de solubilização dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

Baseando-se em trabalhos desenvolvidos por Andreoli (2001), Chagas (2000), Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001), Ide et al (1993), Mader Netto et al (2003), sobre tratamento de lodos biológicos por meio de adição de cal, virgem (CaO) ou hidratada (Ca(OH)₂), e principalmente no trabalho de Yamane (2007), sobre higienização de resíduos do desarenador, também por adição de cal, foi montado um experimento para analisar a capacidade da cal hidratada (Ca(OH)₂) em imobilizar os elementos que classificam os resíduos do desarenador segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004a).

Para tanto, foi realizado o ensaio de solubilização, segundo a NBR 10.006 (ABNT, 2004c), para o resíduo do desarenador seco, em estado bruto, conforme anteriormente citado, e com a adição de cal hidratada (Ca(OH)₂) em proporções em peso de 10, 20 e 30%. Tais porcentagens foram escolhidas levando-se em consideração as eficiências analisadas para a higienização desse tipo de resíduo obtidas em Yamane (2007) e o fato de ser indesejável grande aumento de volume, pela incorporação de cal, no resíduo tratado para a sua disposição final.

Com vistas a investigar se o tempo de contato do resíduo do desarenador com a cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) também influenciaria na imobilização dos elementos que o classificam, o experimento foi dividido em períodos de tempo, segundo a Tabela 4.4 a seguir:

Tabela 4.4 – Composição do experimento sobre inertização de elementos com adição de cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul para ensaio de solubilização

Amostra	Tempo de espera antes do ensaio	Cal hidratada adicionada (%)	Discriminação
S-0h-1A	0 hora	0	Ensaio de solubilização em resíduo bruto
S-0h-1B	0 hora	0	Duplicata do anterior
S-24h-C	24 horas	0	Amostra controle
S-24h-10%	24 horas	10	Amostra + 10% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + 24 h de contato
S-24h-20%	24 horas	20	Amostra + 20% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + 24 h de contato
S-24h-30%	24 horas	30	Amostra + 30% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + 24 hr de contato
S-72h-C	72 horas	0	Amostra controle
S-72h-10%	72 horas	10	Amostra + 10% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + 72 h de contato
S-72h-20%	72 horas	20	Amostra + 20% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + 72 h de contato
S-72h-30%	72 horas	30	Amostra + 30% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + 72 h de contato
S-7d-C	7 dias	0	Amostra controle
S-7d-10%	7 dias	10	Amostra + 10% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + 7 dias de contato
S-7d-20%	7 dias	20	Amostra + 20% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + 7 dias de contato
S-7d-30%	7 dias	30	Amostra + 30% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + 7 dias de contato

A cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) utilizada para a incorporação no experimento foi a do tipo comercial, tipo CH-III, conforme NBR 7.175 (ABNT, 2003), vendida em sacos de 20 kg. A mesma foi incorporada em peso à amostra seca, misturada e armazenada em 04 recipientes plásticos com tampa, com capacidade de 10 litros, com quantidade representativas de amostras e porcentagens de incorporação de 0, 10, 20 e 30%. Os recipientes foram acondicionados em local seco e arejado, com ventilação natural, protegidos de intempéries e da radiação solar direta. As amostras foram revolvidas uma vez a cada 24 horas no período do experimento e nos tempos de contato de 24 h, 72 h e 7 dias foi retirada, de cada recipiente, uma amostra para ensaio de solubilização, conforme NBR 10.006 (ABNT, 2004c).

Os dados obtidos no procedimento foram os seguintes:

- ✓ Teor de umidade, em porcentagem.
- ✓ pH do extrato solubilizado.

O extrato solubilizado obtido foi conservado de acordo com APHA (1998), os parâmetros analisados e as respectivas metodologias são apresentados na Tabela 4.5 a seguir:

Tabela 4.5 – Parâmetros investigados e metodologias utilizadas no ensaio de solubilização dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

Parâmetro	Técnica utilizada	Metodologia
Cianeto	Fotométrico – Method 8027	HACH (1996)
Cloreto	Argentométrico	APHA (1998)
Cor real	Fotométrico	APHA (1998)
Dureza	Complexométrico de EDTA	APHA (1998)
Fenóis	Extração com clorofórmio – Method 8047	HACH (1996)
Fluoreto	Método colorimétrico SPADNS	APHA (1998)
Nitrato	Fotométrico – Method 8039	HACH (1996)
SDT	Filtração, evaporação, secagem a 103° C	APHA (1998)
Sulfato	Fotométrico – Method 8051	HACH (1996)
Surfactantes	Azul de metileno	APHA (1998)
Turbidez	Fotométrico	APHA (1998)
Alumínio (Al)	Espectrometria de absorção atômica	APHA (1998)
Bário (Ba)	Espectrometria de absorção atômica	APHA (1998)
Cádmio (Cd)	Espectrometria de absorção atômica	APHA (1998)
Cálcio (Ca)	Espectrometria de absorção atômica	APHA (1998)
Chumbo (Pb)	Espectrometria de absorção atômica	APHA (1998)
Cobre (Cu)	Espectrometria de absorção atômica	APHA (1998)
Cromo total (Cr)	Espectrometria de absorção atômica	APHA (1998)
Ferro (Fe)	Espectrometria de absorção atômica	APHA (1998)
Manganês (Mn)	Espectrometria de absorção atômica	APHA (1998)
Prata (Ag)	Espectrometria de absorção atômica	APHA (1998)
Sódio (Na)	Espectrometria de absorção atômica	APHA (1998)
Zinco (Zn)	Espectrometria de absorção atômica	APHA (1998)

Não foram realizadas as análises de pesticidas, outros compostos orgânicos e dos seguintes metais: arsênio (As), mercúrio (Hg) e selênio (Se), todos constantes do anexo G da NBR 10.004 (ABNT, 2004a).

Para a determinação de metais utilizou-se a mesma metodologia aplicada ao extrato lixiviado, citada anteriormente.

Para a realização de alguns procedimentos laboratoriais utilizados nas análises de Dureza, Cloreto e SDT foi utilizada, como material de apoio, a apostila da USP (2004).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados e a discussão sobre o estudo de caso e as etapas metodológicas utilizadas nesse trabalho.

5.1 ESTUDOS PRELIMINARES

Utilizou-se a forma gráfica para se condensar os dados obtidos no monitoramento e nas análises efetuadas para facilitar a visualização das variações nos dados e conseqüentemente otimizar a análise dos parâmetros estudados.

5.1.1 Visitas técnicas às ETE 01 Norte e ETE 02 Sul

Na Tabela 5.1 a seguir são apresentados os principais dados obtidos sobre o sistema de esgotamento sanitário de Maringá – PR.

Tabela 5.1 – Dados básicos do SES de Maringá

Fonte: PROENSI (1989) e SANEPAR (2007)

Ano de início da exploração	1976
População urbana total (hab.)	318.306
Índice de coleta de esgoto (%)	78,02
Extensão da rede coletora (m)	877.590
Índice de tratamento de esgoto (%)	100
Número de bacias esgotadas	3
Número de estações de tratamento	3
Número de elevatórias de esgoto	1
Número de economias coletadas	90.836
Vazões coletadas (m ³ /mês)	1.246.186

Conforme ilustrado na Figura 5.1, o sistema de esgotamento sanitário de Maringá – PR é composto por 3 grandes bacias coletoras, sendo que 2 estão localizadas na vertente norte e 1 na vertente sul da cidade.

As bacias da vertente norte são coletadas pelas ETE 01 Norte e ETE 03 Norte e a bacia da vertente sul é coletada pela ETE 02 Sul.

Todo o esgoto coletado pelos 877.590 metros de rede coletora é encaminhado a essas ETE's para tratamento. Atualmente o índice de coleta é de aproximadamente 78,02% e o índice de tratamento é de 100 % do esgoto coletado.



Figura 5.1 – Sistema de esgotamento sanitário de Maringá – PR

Fonte: adaptado de GOUVEIA DA COSTA (2000)

As redes coletoras da cor marrom coletam esgoto bruto encaminhado a ETE 01 Norte, as redes em azul claro encaminham esgoto para a ETE 03 Norte e as redes em vermelho encaminham esgoto para a ETE 02 Sul.

As unidades de tratamento originalmente concebidas no projeto de implantação das ETE's são apresentadas na cor azul e as unidades em laranja fazem parte do projeto de ampliação da capacidade de tratamento das ETE's.

A ETE 02 Sul implantou, recentemente, as unidades em laranja, previstas no projeto de ampliação, com a construção de unidades de pós-tratamento aeróbio e de lodos biológicos, os mesmos sistemas serão implantados nas ETE 01 Norte e ETE 03 Norte.

As ETE's escolhidas para fazer parte do Estudo de caso foram a ETE 01 Norte e ETE 02 Sul.

A ETE 03 Norte não pôde fazer parte desse estudo por não possuir medidor eletrônico de vazões acumuladas, fato este que inviabilizou o monitoramento das vazões afluentes.

5.1.1.1 ETE 01 Norte de Maringá

A ETE 01 Norte recebe, aproximadamente, metade dos esgotos coletados na bacia norte do município de Maringá, tem uma capacidade nominal de tratamento de 255 l/s e é composta de tratamento preliminar, secundário e desidratação de lodo biológico, sendo os mesmos constituídos de:

- ✓ Tratamento preliminar: gradeamento grosso por meio de grade metálica de barras retas, seguido de gradeamento mecanizado por meio de grade média metálica de barras curvas com limpeza através de rastelo duplo e dois desarenadores tipo ciclônico vortex com remoção mecanizada de areia por meio de *air lift*, com disposição de resíduos separadamente em caçambas metálicas.
- ✓ Tratamento secundário: realizado por meio de três reatores anaeróbios circulares tipo RALF ou UASB e tubulações para descarga de lodo.
- ✓ Desidratação de lodo biológico: realizado por quatorze leitos de secagem compostos de camadas filtrantes de material graduado.

Tais unidades do sistema podem ser visualizadas esquematicamente na Figura 5.2 a seguir:

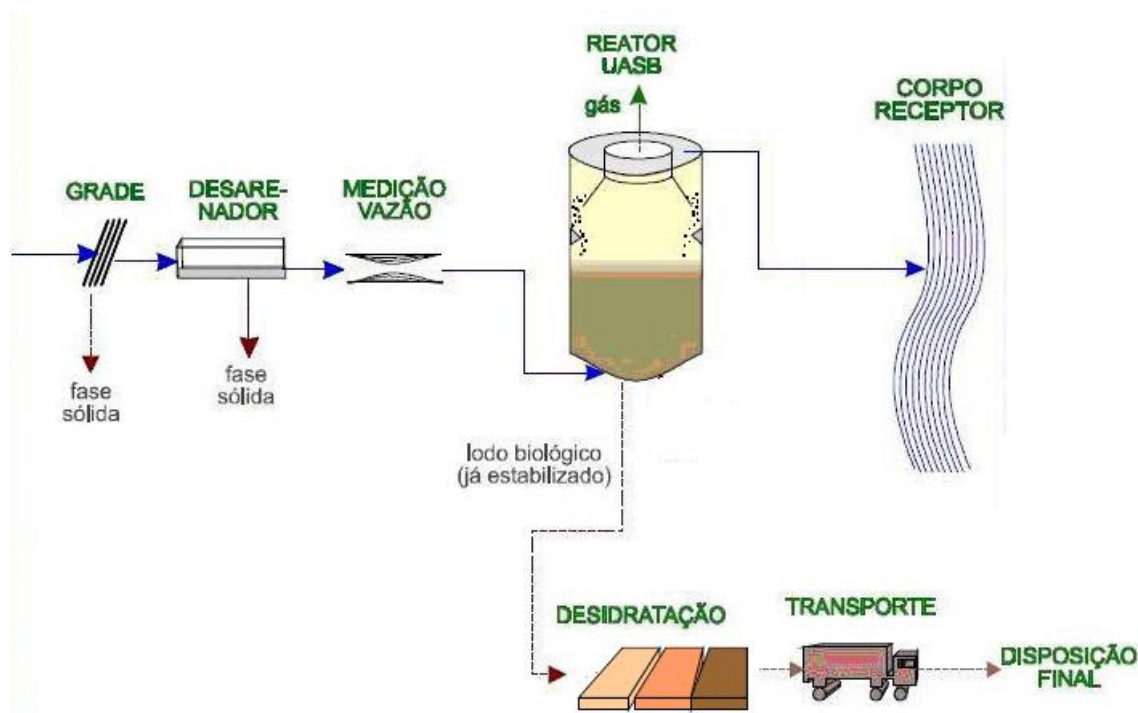


Figura 5.2 - Sistema UASB (RALF)

Fonte: adaptado de VON SPERLING (2005)

A ETE 01 Norte é a única estação do SES de Maringá que recebe efluentes provenientes de caminhões auto-fossa de empresas credenciadas pela SANEPAR. Para tal operação possui um tanque de equalização de vazão que encaminha o efluente ao sistema preliminar de tratamento de esgotos da ETE.

A seguir são apresentados na Tabela 5.2 os principais dados sobre a ETE 01 Norte:

Tabela 5.2 – Dados gerais sobre a ETE 01 Norte do SES de Maringá

Fonte: GOUVEIA DA COSTA (2000)

NOME		ETE 01 - Norte
Ano de início de operação:		1996
Localização:		Ribeirão Maringá – na confluência do Ribeirão Maringá e Mandacaru
Tipo de tratamento:		RALF (Reator Anaeróbico de Leito Fluidizado)
Capacidade nominal (l/s):		255,00
Vazão de operação (l/s):		Máxima 312,30 Média 242,60 Mínima 198,70

Sobrecarga admissível - dado de projeto (l/s):		360,00
Grau de eficiência do tratamento (em percentagem de remoção de DBO)	Máxima	85,13%
	Média	78,49%
	Mínima	66,67%
Efluente Final: DBO (mg/l):	Máxima	90
	Média	64
	Mínima	40
Como são dispostos os resíduos sólidos	No terreno da própria ETE	
Problemas operacionais	Variação de vazão Manutenção de equipamentos Destinação de resíduos sólidos	

As unidades que compõem o seu sistema de tratamento preliminar possuem as seguintes características:

- ✓ Gradeamento: possui gradeamento grosseiro mecanizado por meio de uma unidade com barras curvas de 10 mm de espessura e espaçamento entre barras de 20 mm, com limpeza por meio de rastelo duplo mecanizado com armazenamento do material gradeado em uma caçamba metálica de 2,0 m³, conforme apresentado na Figura 5.3. Na entrada do desarenador possui ainda gradeamento médio com barras retas de 10 mm de espessura e espaçamento entre barras de 15 mm, com limpeza manual por meio de ancinho.
- ✓ Desarenador: possui dois desarenadores do tipo ciclônico vortex, operando em paralelo, com sistema de remoção de areia mecanizada por meio da utilização de *air lift* e armazenamento do material em caçamba metálica de 3,5 m³, conforme apresentado na Figura 5.4.
- ✓ Medição de vazão: por meio de duas calhas tipo *Parshall* operando em paralelo, com garganta de 30,5 cm e medição de vazão por meio de sensor de nível ultrassônico com painel digital indicando vazão instantânea e acumulada, conforme apresentado na Figura 5.5.



Erick Christian Tomiello 19/05/07

Figura 5.3 – Gradeamento grosseiro e mecanizado – ETE 01 Norte



Erick Christian Tomiello 19/05/07

Figura 5.4 – Desarenador Ciclônico com remoção mecânica de areia – ETE 01 Norte



Figura 5.5 – Painel digital do equipamento para medição de vazões – ETE 01 Norte

5.1.1.2 ETE 02 Sul de Maringá

A ETE 02 Sul recebe os esgotos coletados na bacia sul do município de Maringá, tem uma capacidade nominal de tratamento de 320 l/s e é composta de tratamento preliminar, secundário, pós-tratamento, desidratação e tratamento de lodo, sendo os mesmos constituídos de:

- ✓ Tratamento preliminar: gradeamento grosso por meio de grade metálica de barras retas, gradeamento mecanizado por meio de grade média com correntes e dentes plásticos, e um desarenador quadrado por gravidade com remoção e lavagem mecanizada de areia, com disposição de resíduos separadamente em caçambas metálicas.
- ✓ Tratamento secundário: realizado por meio de oito reatores anaeróbios circulares tipo RALF ou UASB, com coleta e queima de gases e tubulações para descarga de lodo.
- ✓ Pós-tratamento: utiliza dois filtros biológicos percoladores aerados, por meio de aeração natural, com distribuidor rotativo hidráulico e meio suporte em pedra britada nº 4, e ainda dois decantadores secundários circulares à gravidade com

raspadores mecanizados de lodo e recirculação por bombeamento para os reatores anaeróbios.

- ✓ Tratamento de lodo: composto por um adensador de lodo circular, desidratação mecânica por uma centrífuga de alta rotação, com um misturador mecânico de cal para desinfecção e pátio de cura coberto para estabilização do lodo, para posterior utilização na agricultura.

Tais unidades do sistema podem ser visualizadas esquematicamente na Figura 5.6 a seguir:

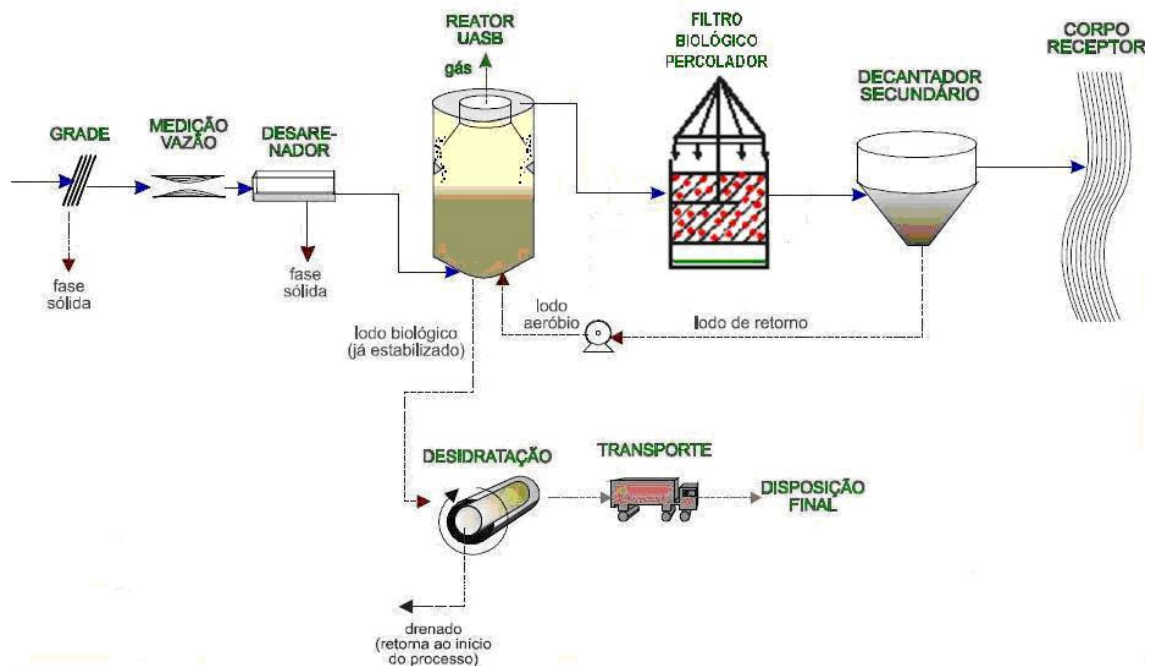


Figura 5.6 - Sistema UASB (RALF) seguido de Filtro biológico percolador

Fonte: adaptado de VON SPERLING (2005)

Na Tabela 5.3 são apresentados os principais dados sobre a ETE 02 Sul:

Tabela 5.3 – Dados gerais sobre a ETE 02 Sul do SES de Maringá

Fonte: GOUVEIA DA COSTA (2000)

NOME	ETE 02 - Sul
Ano de início de operação:	1994
Localização:	Ribeirão Pingüim
Tipo de tratamento:	RALF (Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado) + Filtro Biológico Percolador Aerado + Decantador Secundário
Capacidade nominal (l/s):	320,00

Vazão de operação (l/s):	Máxima	159,00
	Média	145,00
	Mínima	123,40
Sobrecarga admissível - dado de projeto (l/s):		560,00
Grau de eficiência do tratamento (em porcentagem de remoção de DBO)	Máxima	94,87%
	Média	87,61%
	Mínima	77,87%
Efluente Final: DBO (mg/l):	Máxima	52
	Média	23
	Mínima	10
Como são dispostos os resíduos sólidos	No terreno da própria ETE	
Problemas operacionais	Variação de vazão Manutenção de equipamentos Destinação de resíduos sólidos	

As unidades que compõem o seu sistema de tratamento preliminar possuem as seguintes características:

- ✓ Gradeamento: possui gradeamento grosseiro com barras retas de 10 mm de espessura e espaçamento entre barras de 30 mm, com limpeza manual com ancinho e gradeamento médio mecanizado por meio de unidade de corrente transportadora com dentes plásticos, com 3 mm de espessura e 15 mm de espaçamento entre dentes; possui ainda armazenamento do material do gradeamento grosseiro e médio em uma caçamba metálica de 2,0 m³, conforme apresentado na Figura 5.7.
- ✓ Desarenador: possui um desarenador quadrado à gravidade com sistema de remoção de areia mecanizada por meio de raspagem de fundo com braços duplos de movimento circular até depósito lateral, elevação da areia por meio de rastelo excêntrico mecânico, com dispositivo de lavagem de areia incorporado e trabalhando com recirculação de lodo do decantador secundário com armazenamento do material em caçamba metálica de 3,5 m³, conforme apresentado na Figura 5.8.
- ✓ Medição de vazão: através de calha tipo *Parshall*, com garganta de 61 cm, e medição de vazão por meio de sensor de nível ultra sônico com painel digital indicando vazão instantânea e acumulada, conforme apresentado na Figura 5.9.



Figura 5.7 – Gradeamento grosseiro e mecanizado – ETE 02 Sul



Figura 5.8 – Desarenador com remoção mecânica de areia – ETE 02 Sul



Figura 5.9 – Painel digital do equipamento para medição de vazões – ETE 02 Sul

5.1.2 Análise quantitativa dos resíduos do gradeamento e do desarenador das ETE 01 Norte e ETE 02 Sul

A seguir são apresentados os resultados encontrados no monitoramento das taxas de geração dos resíduos do tratamento preliminar de esgotos das ETE’s 01 Norte e 02 Sul.

5.1.2.1 ETE 01 Norte de Maringá

Os dados obtidos no período do monitoramento referentes às taxas de geração de resíduos do gradeamento e do desarenador são apresentados e 5.11 a seguir.

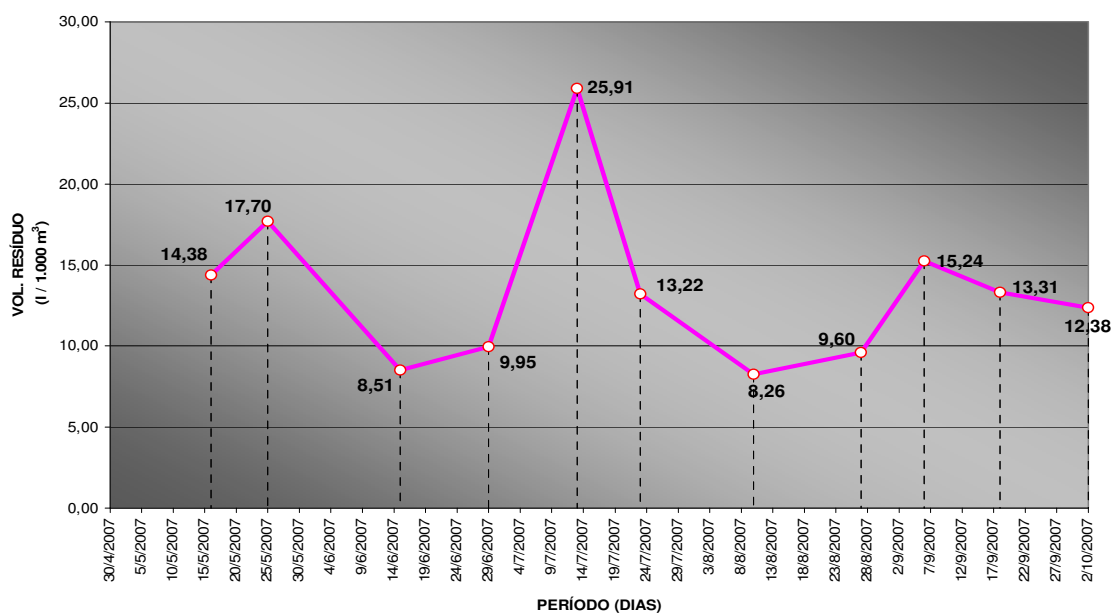


Figura 5.10 – Taxas de geração dos resíduos do gradeamento da ETE 01 Norte de Maringá - PR

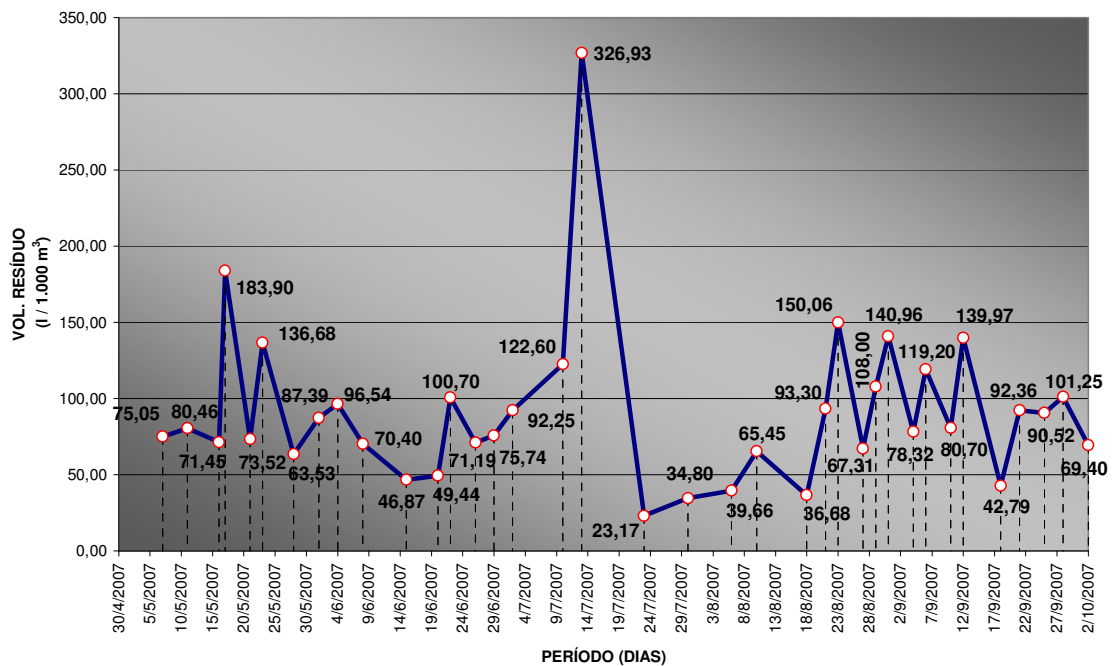


Figura 5.11 – Taxas de geração dos resíduos do desarenador da ETE 01 Norte de Maringá - PR

Verifica-se um pico de geração de resíduos do gradeamento e do desarenador próximo ao dia 14/07/2007, divergente das encontradas no restante do monitoramento, tal fato pode ter sido ocasionado por duas hipóteses:

- ✓ Erro de medição ou falha no equipamento, pois nesse mesmo período o operador relatou que houve uma queda de energia na ETE, ocasionada por uma descarga atmosférica. Esse fato pode ter feito com que o sistema de medição eletrônico ficasse inativo, uma vez que o mesmo não possui fonte de energia auxiliar, e, por um período de tempo, o mesmo não mediu-se a vazão afluente a ETE.
- ✓ Existência de um período chuvoso posterior a um período seco. Tal situação pode gerar um transporte dos resíduos que ficam retidos nas tubulações quando as mesmas trabalham com vazões baixas, que geralmente ocorre em épocas de estiagem. A probabilidade de ter ocorrido tal situação é remota, uma vez que no monitoramento das taxas de geração subseqüentes não houve outros valores próximos ao ocorrido.

Diante da dúvida em relação ao pico de geração tal valor foi suprimido da análise da taxa média de geração de resíduos do gradeamento e do desarenador.

Assim as taxas de geração de resíduos do gradeamento e do desarenador da ETE 01 Norte são apresentadas na Tabela 5.4 a seguir:

Tabela 5.4 – Relação das taxas de geração de resíduos da ETE 01 Norte

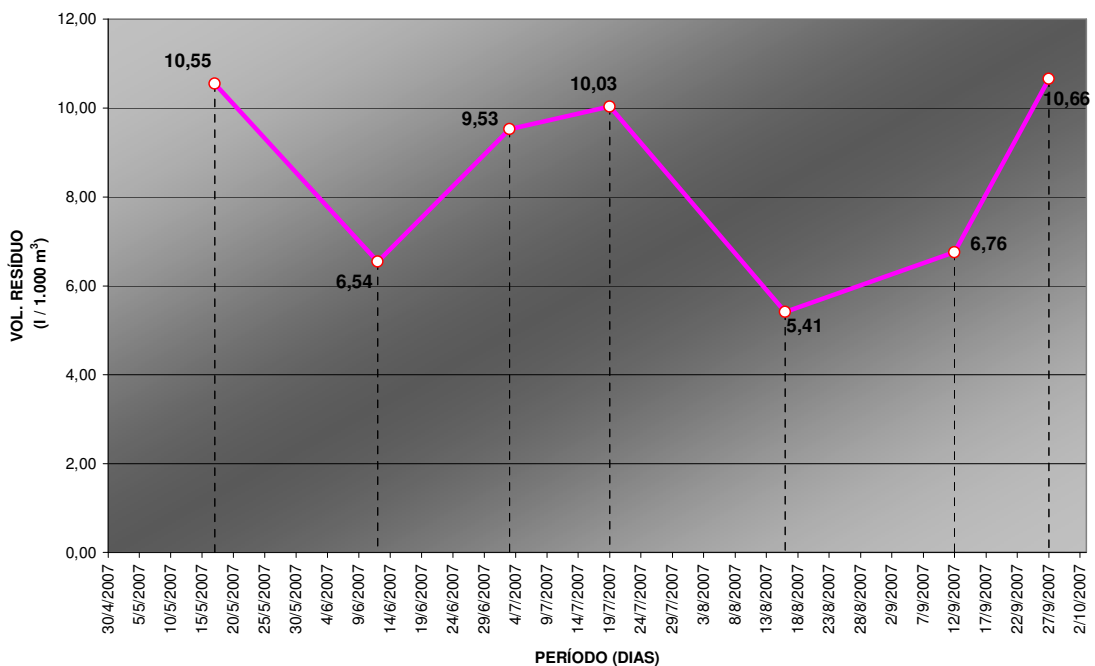
ETE	Volume de sólidos gerados (l / 1.000m ³)					
	Gradeamento			Desarenador		
	Faixa	Média	m ³ / dia	Faixa	Média	m ³ / dia
01 Norte	8,26 – 17,70	12,26	0,14	23,17 – 183,90	85,32	0,23

A taxa de média de geração do gradeamento se encontra dentro da faixa apresentada por Dacach (1991) de 10 a 25 l / 1.000 m³, mas não condiz com os valores apresentados para o espaçamento de 15 a 20 mm por Jordão e Pessoa (2005), de aproximadamente 38 a 50 l / 1.000m³, por Metcalf & Eddy (2003), de aproximadamente 22 a 50 l / 1.000m³ e por Qasim (1999) de 40 l / 1.000m³.

A taxa média de geração do desarenador se encontra acima da faixa especificada por Jordão e Pessoa (2005) para projeto de ETE's de 20 a 40 l / 1.000m³, dentro da faixa especificada por Imhoff (1978) de 68 a 160 l / 1.000m³, e Mara D. In: Jordão e Pessoa (2005) de 50 a 100 l / 1.000m³, no entanto esta muito acima dos valores encontrados para as ETE's Leopoldina e Pinheiros, em Jordão e Pessoa (2005) e das ETE's americanas In: Wef (1998).

5.1.2.2 ETE 02 Sul de Maringá

As taxas de geração de resíduos do gradeamento e do desarenador da ETE 02 Sul são apresentadas na Figura 5.12 e 5.13 a seguir.

**Figura 5.12 – Taxas de geração do resíduo do gradeamento da ETE 02 Sul de Maringá - PR**

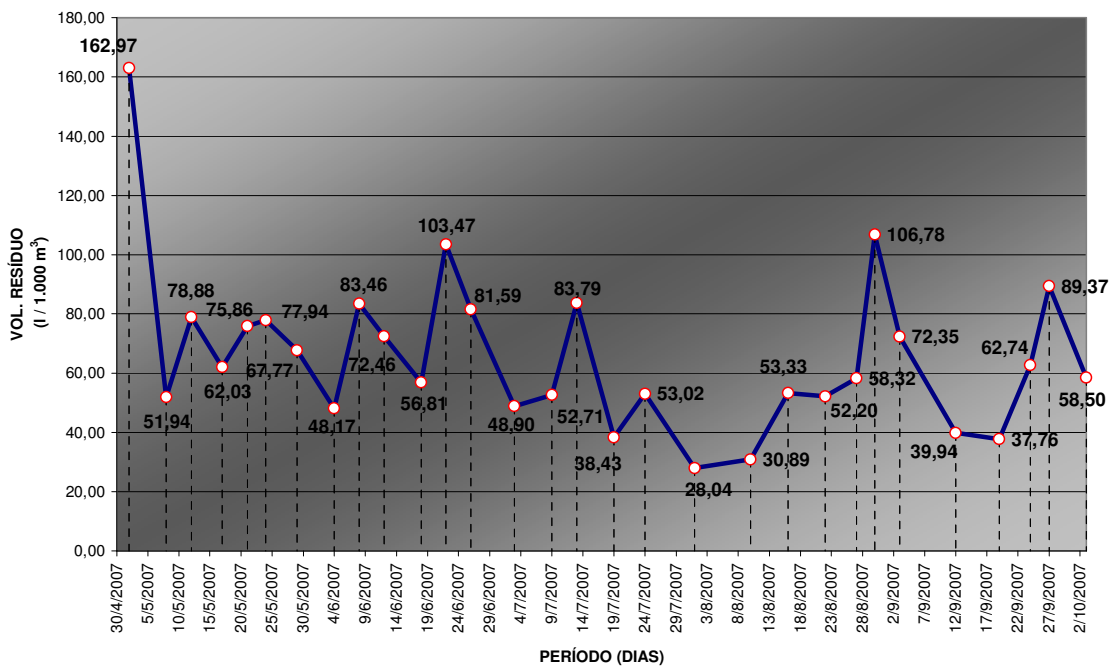


Figura 5.13 – Taxas de geração do resíduo do desarenador da ETE 02 Sul de Maringá - PR

Da mesma forma que na ETE 01 Norte verifica-se um pico na taxa de geração de resíduos do desarenador no início do monitoramento, que pode também ter sido ocasionado por um período chuvoso posterior a um período seco.

A hipótese de falha humana de anotação da medição também não pode ser descartada, visto que se tratava do primeiro valor a ser anotado no período do experimento. A hipótese de falha elétrica, como ocorreu na ETE 01 Norte, foi descartada visto que o equipamento de medição de vazão da ETE 02 Sul possui fonte de energia auxiliar.

Como, posteriormente ao pico, não foi verificado outro valor semelhante, a hipótese do valor ter sido ocasionado por um período chuvoso posterior a um período seco é remota. Assim o dado duvidoso foi suprimido do cálculo da taxa média de geração de resíduos do desarenador.

As taxas de geração de resíduos do gradeamento e do desarenador da ETE 02 Sul são apresentadas na Tabela 5.5 a seguir:

Tabela 5.5 – Relação das taxas de geração de resíduos da ETE 02 Sul

ETE	Volume de sólidos gerados (l / 1.000m ³)					
	Gradeamento			Desarenador		
	Faixa	Média	m ³ / dia	Faixa	Média	m ³ / dia
02 Sul	5,41 – 10,66	8,50	0,09	28,04 – 106,78	63,02	0,23

A taxa média de geração do gradeamento se encontra abaixo da faixa apresentada por Dacach (1991) de 10 a 25 l / 1.000 m³, mas não condiz com os valores especificados para o espaçamento de 15 a 20 mm por Jordão e Pessoa (2005), de aproximadamente 38 a 50 l / 1.000m³, por Metcalf & Eddy (2003), de aproximadamente 22 a 50 l / 1.000m³ e por Qasim (1999) de 40 l / 1.000m³.

A taxa média de geração do desarenador se encontra ligeiramente acima da faixa especificada por Jordão e Pessoa (2005) para projeto de ETE's de 20 a 40 l / 1.000m³, abaixo da faixa especificada por Imhoff (1978), de 68 a 160 l / 1.000m³, dentro da faixa de Mara D. In: Jordão e Pessoa (2005) de 50 a 100 l / 1.000m³, e acima dos valores encontrados para as ETE's Leopoldina e Pinheiros, em Jordão e Pessoa (2005), e das ETE's americanas In: Wef (1998).

5.1.2.3 Discussão sobre os resultados da análise quantitativas dos resíduos do gradeamento e do desarenador da ETE 01 Norte e da ETE 02 Sul

Os valores encontrados na análise quantitativa das ETE's 01 Norte e 02 Sul apesar de diferentes em relação à literatura encontrada não podem ser considerados divergentes devido à quantidade de variáveis envolvidas e as características singulares de cada ETE estudada, motivos estes que não permitem a comparação com valores encontrados em outras estações.

Comparando-se unicamente os valores encontrados nas duas ETE's pode-se constatar que:

- ✓ Era esperado que a taxa de geração do resíduo do desarenador da ETE 01 Norte fosse maior que a da ETE 02 Sul pelo fato da mesma receber efluentes de caminhões auto-fossa que possuem uma grande quantidade de detritos retirados no processo de sucção da lateral e fundo das fossas negras por ele esgotadas.
- ✓ Como a medição das taxas de geração foi realizada em volume, esperava-se que a ETE 01 Norte apresentasse taxas de geração maiores que a ETE 02 Sul pelo fato do controle operacional da mesma ser menos eficiente e mais sujeito a falhas. Os equipamentos da ETE 02 Sul foram recentemente reformados e/ou trocados, enquanto que os da ETE 01 Norte já apresentam um maior período de uso.

5.1.3 Análise da pluviometria do período da caracterização quantitativa dos resíduos do gradeamento e do desarenador da ETE 01 Norte e da ETE 02 Sul

A Figura 5.14 apresenta dados da pluviometria do período de monitoramento das taxas de geração de resíduos nas ETE's estudadas.

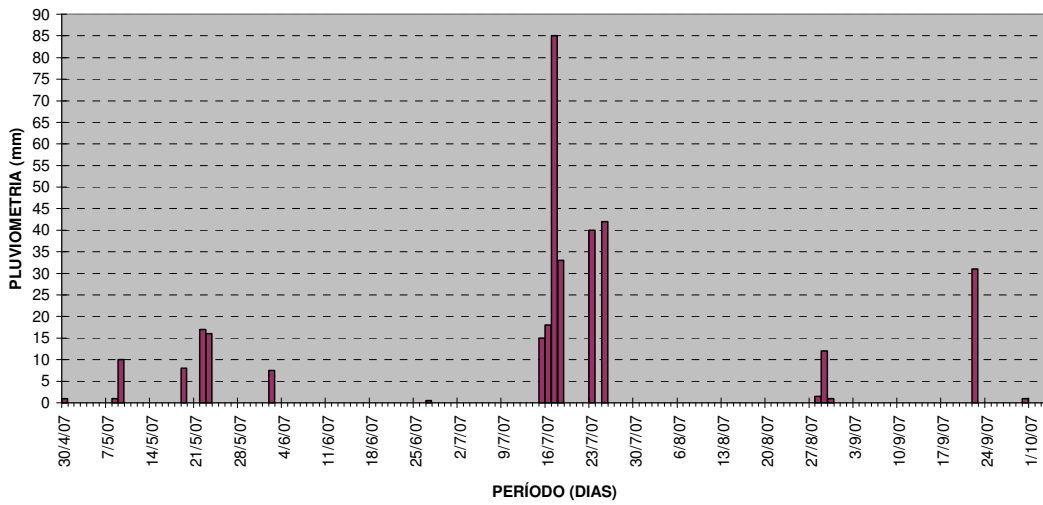


Figura 5.14 – Pluviometria do período de monitoramento das ETE’s – Maringá - PR

5.1.3.1 ETE 01 Norte de Maringá

Nas Figuras 5.15 e 5.16 são apresentados os dados das taxas de geração de resíduos da ETE 01 Norte sobrepostos com os dados da pluviometria acumulada, entre os dias em que foram realizadas as trocas das caçambas com os resíduos.

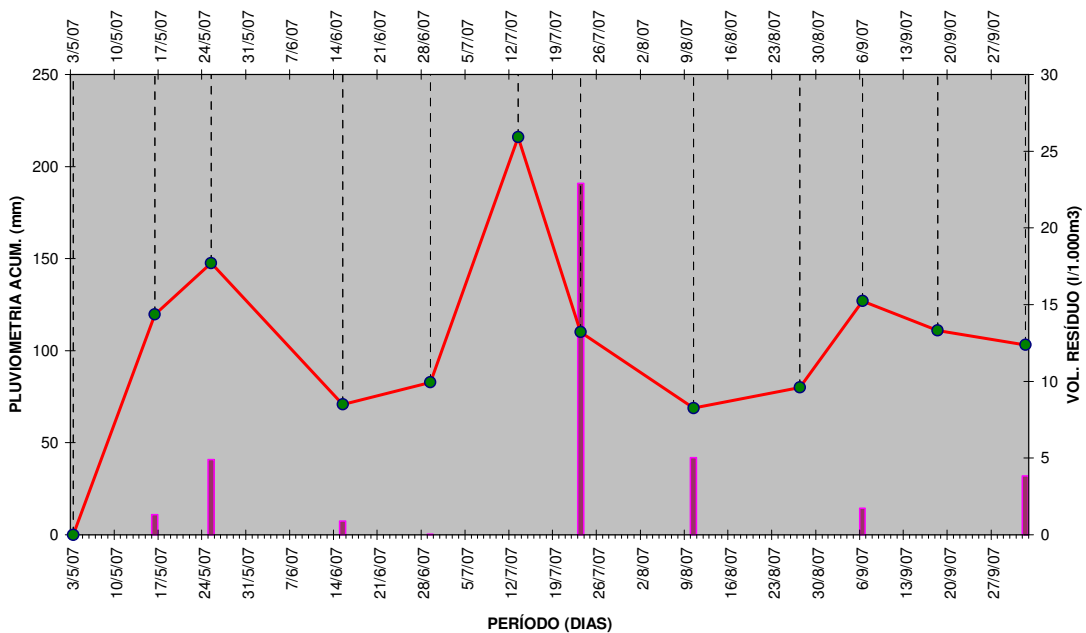


Figura 5.15 – Pluviometria acumulada X Taxas de geração dos resíduos do gradeamento da ETE 01 Norte

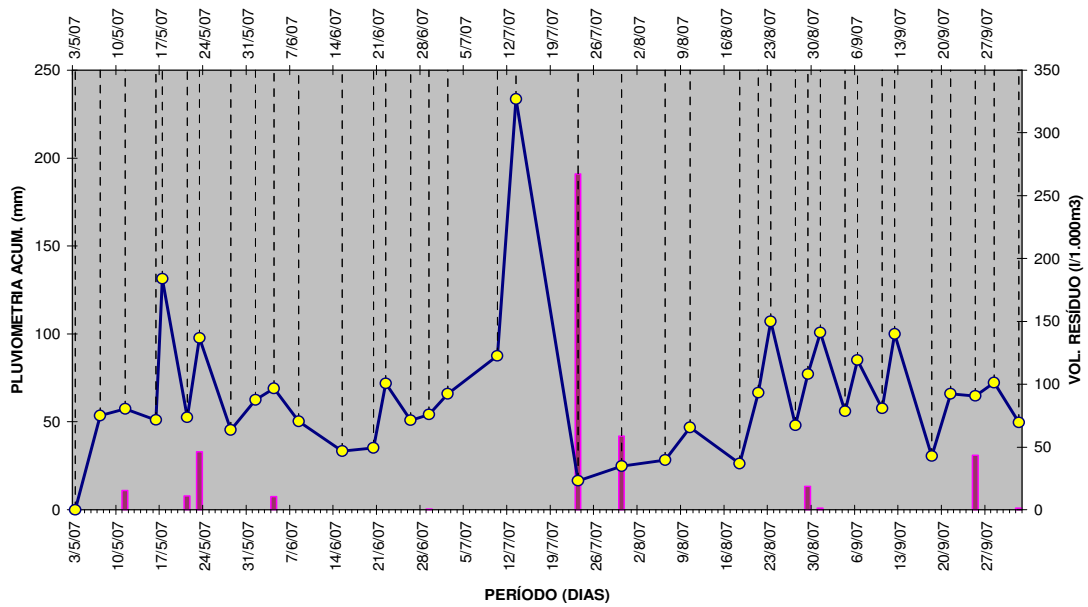


Figura 5.16 – Pluviometria acumulada X Taxas de geração dos resíduos do desarenador da ETE 01 Norte

5.1.3.2 ETE 02 Sul de Maringá

Nas Figuras 5.17 e 5.18 são apresentados os dados das taxas de geração de resíduos da ETE 02 Sul sobrepostos com a pluviosometria acumulada entre as medições do período do monitoramento.

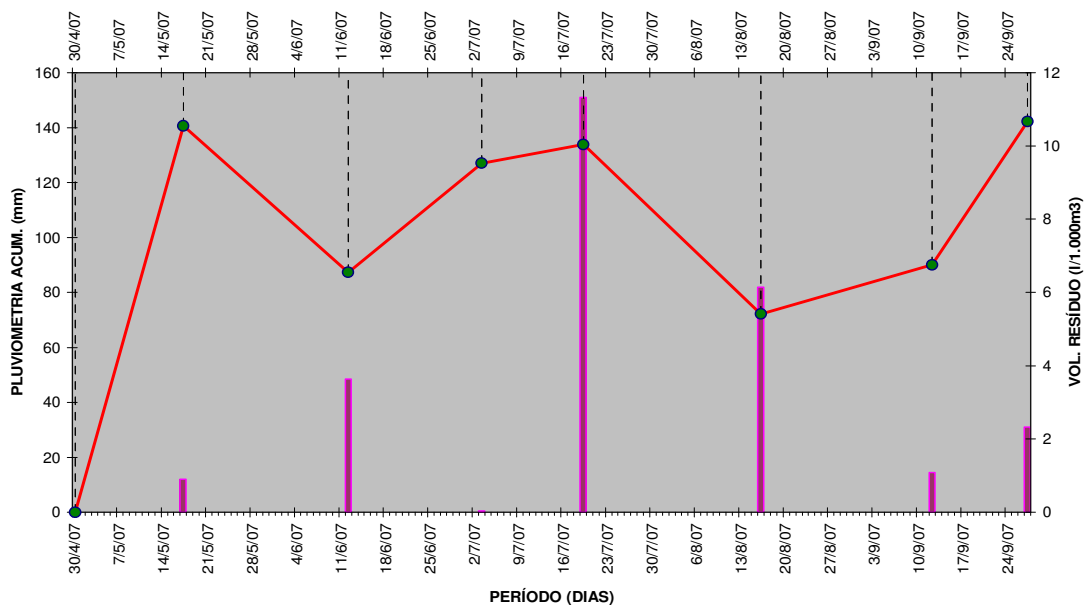


Figura 5.17 – Pluviometria acumulada X Taxas de geração dos resíduos do gradeamento da ETE 02 Sul

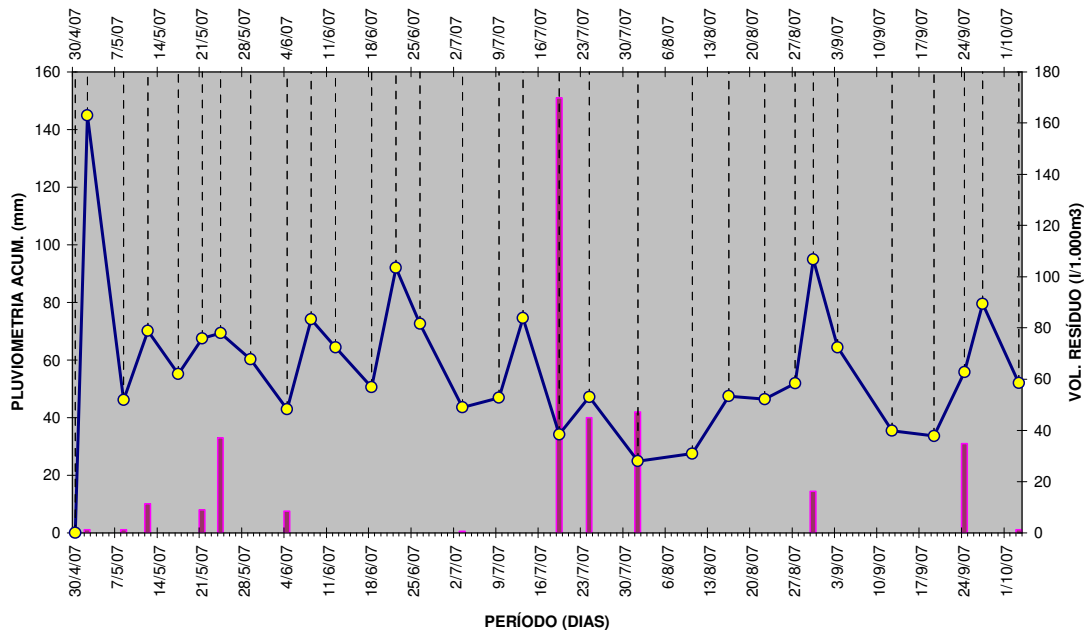


Figura 5.18 – Pluviometria acumulada X Taxas de geração dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

5.1.3.3 Discussão sobre a comparação das taxas de geração dos resíduos do gradeamento e do desarenador das ETE 01 Norte e ETE 02 Sul com a pluviosidade do período

Conforme pôde ser verificado nas figuras apresentadas houve poucos pontos nos quais a pluviosidade do período aumentou a taxa de geração de resíduos. Não se encontrou nenhuma relação direta entre a pluviosidade do período e taxa de geração de resíduos.

Como a composição da taxa de geração é realizada entre a quantidade de resíduo sólido gerado e a vazão afluente a ETE no período, a comparação da pluviosidade do período com essa taxa de geração pode mascarar o aumento na quantidade de resíduos sólidos, uma vez que esse aumento também é acompanhado de um aumento na vazão afluente a ETE.

Como as medições foram realizadas por meio de vazões acumuladas não pôde ser detectado o aumento da quantidade de sólidos presentes no afluente a ETE nas primeiras horas após uma chuva, o que caracterizaria a “lavagem” da rede, e a sua diminuição, no caso de uma chuva prolongada, após a “lavagem” da rede, o que caracterizaria a contribuição de águas de infiltração, ligações irregulares e clandestinas.

5.1.4 Análise qualitativa dos resíduos do desarenador da ETE 01 Norte e da ETE 02 Sul

5.1.4.1 ETE 01 Norte de Maringá

O material obtido na amostragem pontual realizada da ETE 01 Norte foi analisado em laboratório, os resultados dos parâmetros investigados são apresentados na Tabela 5.6 a seguir.

Tabela 5.6 – Parâmetros analisados na amostra dos resíduos do desarenador da ETE 01 Norte

Parâmetro	UD	Valor
Porcent. de umidade (umidade)	%	84,18
Porcent. de matéria orgânica total (MO _t)	%	85,63
Porcent. de resíduo mineral total (RM _t)	%	14,37
Porcent. de carbono orgânico total (CO _t)	%	47,57
Teor de sólidos totais (ST)	mg/l	143.016
Teor de sólidos fixos totais (SF)	mg/l	23.352
Teor de sólidos voláteis totais (SV)	mg/l	119.664
Relação SV/ST	%	83,67
Densidade (D _r)	g/ml	1,0061
Demanda química de oxigênio (DQO)	mg/l	30.312
Potencial hidrogeniônico (pH)	-	5,5

5.1.4.2 ETE 02 Sul de Maringá

Assim como realizado para a ETE 01 Norte, o material obtido na amostragem pontual realizada da ETE 02 Sul foi analisado em laboratório, os resultados dos parâmetros investigados são apresentados na Tabela 5.7 a seguir.

Tabela 5.7 – Parâmetros analisados na amostra dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

Parâmetro	UD	Valor
Porcent. de umidade (umidade)	%	58,93
Porcent. de matéria orgânica total (MO _t)	%	58,07
Porcent. de resíduo mineral total (RM _t)	%	41,93
Porcent. de carbono orgânico total (CO _t)	%	32,26
Teor de sólidos totais (ST)	mg/l	240.719
Teor de sólidos fixos totais (SF)	mg/l	100.913
Teor de sólidos voláteis totais (SV)	mg/l	139.806
Relação SV/ST	%	58,07
Densidade (D _r)	g/ml	1,0015
Demanda química de oxigênio (DQO)	mg/l	8.100
Potencial hidrogeniônico (pH)	-	7,0

5.1.4.3 *Discussão sobre os resultados da análise qualitativas dos resíduos do desarenador da ETE 01 Norte e da ETE 02 Sul*

Por meio da análise dos resultados ficou evidente a má qualidade do resíduo do desarenador da ETE 01 Norte em relação ao resíduo da ETE 02 Sul, pois o mesmo apresenta grande porcentagem de umidade, grande quantidade de matéria orgânica e, conseqüentemente, de carbono orgânico, baixa quantidade de sólidos totais, DQO três vezes maior que a encontrada para o resíduo da ETE 02 Sul e pH baixo, ou seja, ácido.

Segundo Jordão e Pessoa (2005) o limite tolerável para o teor de sólidos voláteis (SV/ST) é de 30%, valores acima desse indicam excesso de matéria orgânica sedimentada, devido à problemas operacionais ou falhas de projeto, fato esse que acontece tanto com a ETE 02 Sul, SV/ST = 58,07%, como, em maior proporção para ETE 01 Norte, SV/ST = 83,67%.

Segundo os mesmos autores o teor de umidade dos resíduos do desarenador em condições normais de operação deve estar compreendido entre 20 a 30%. Na ETE 02 Sul esse teor foi de 58,93%, praticamente o dobro do valor máximo indicado, e na ETE 01 Norte foi de 84,18%, ou seja, a maior parte do resíduo é líquida.

Como os valores encontrados para as duas ETE's estudadas divergiram dos da literatura fez-se necessário a análise dos resíduos de outra ETE para verificação dos resultados. A mesma consta no Apêndice B, e pertence ao SES de Umuarama – PR.

Essa ETE apresentava, além de melhores condições operacionais, um sistema simples de lavagem e drenagem dos resíduos do desarenador, fatores esses que explicam a melhor qualidade de seus resíduos. O seu teor de umidade foi de 34,59%, ligeiramente superior limite encontrado em Jordão e Pessoa (2005), e a sua relação SV/ST foi de 17,93%, abaixo do valor limite apresentado pelos mesmos autores.

Diante dessas análises ficou evidente que a ETE 02 Sul e, principalmente, a ETE 01 Norte, apresentam problemas operacionais. Sendo assim, as análises subseqüentes dos Estudos Direcionados, foram desenvolvidas somente com os resíduos do desarenador da ETE 02 Sul que, mesmo apresentado algumas qualidades indesejáveis, apresentou-se em melhores condições que os da ETE 01 Norte.

5.2 ESTUDOS DIRECIONADOS

Assim como nos Estudos Preliminares utilizou-se a forma gráfica para se condensar os dados obtidos nos experimentos e nas análises efetuadas para facilitar a visualização das variações nos dados e conseqüentemente otimizar a análise dos parâmetros estudados.

5.2.1 Amostragem composta dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

Após as análises e ensaios em laboratório, as amostras individuais e a amostra composta tiveram os resultados apresentados a seguir.

5.2.1.1 *Análise qualitativa da amostragem composta dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul*

Os parâmetros investigados em laboratório são apresentados esquematicamente nas Figuras 5.19 a 5.26. Cada amostra investigada em laboratório corresponde a uma amostra diária coletada na ETE, ou seja, foram analisadas 7 amostras, denominadas Amostra 01 a 07, correspondentes ao período de 06/07/07 a 12/07/07. A Amostra 08 analisada em laboratório corresponde à amostra composta originada da soma da quarta parte de cada uma das 7 amostras coletadas no período.

Todos os ensaios foram realizados em duplicata, ou seja, cada amostra foi dividida em duas séries de amostras denominadas série A e B. Nos gráficos apresentados a seguir os parâmetros analisados de cada amostra são apresentados pela média dos valores encontrados nas séries A e B.

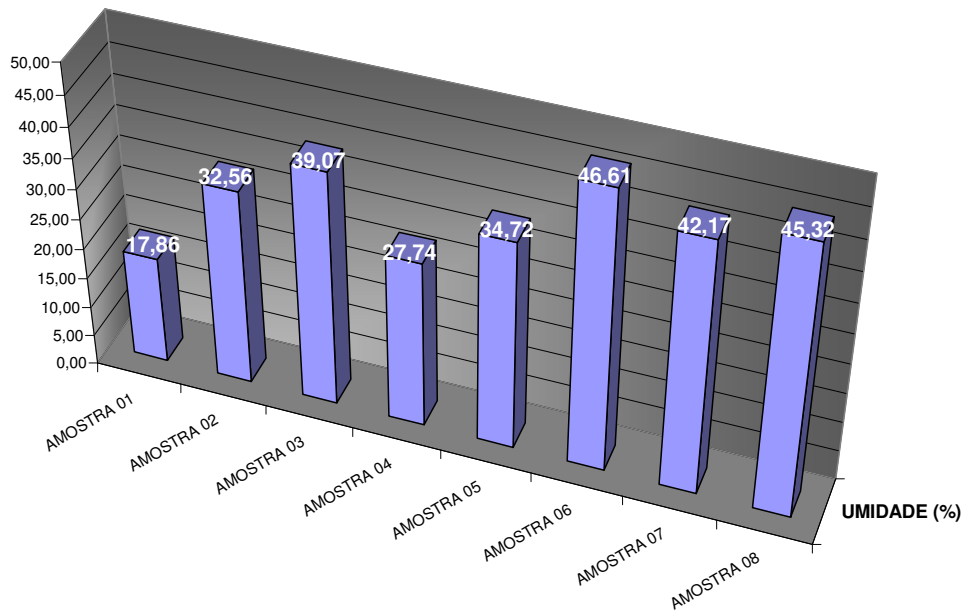


Figura 5.19 – Porcentagem de umidade das amostras coletadas dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

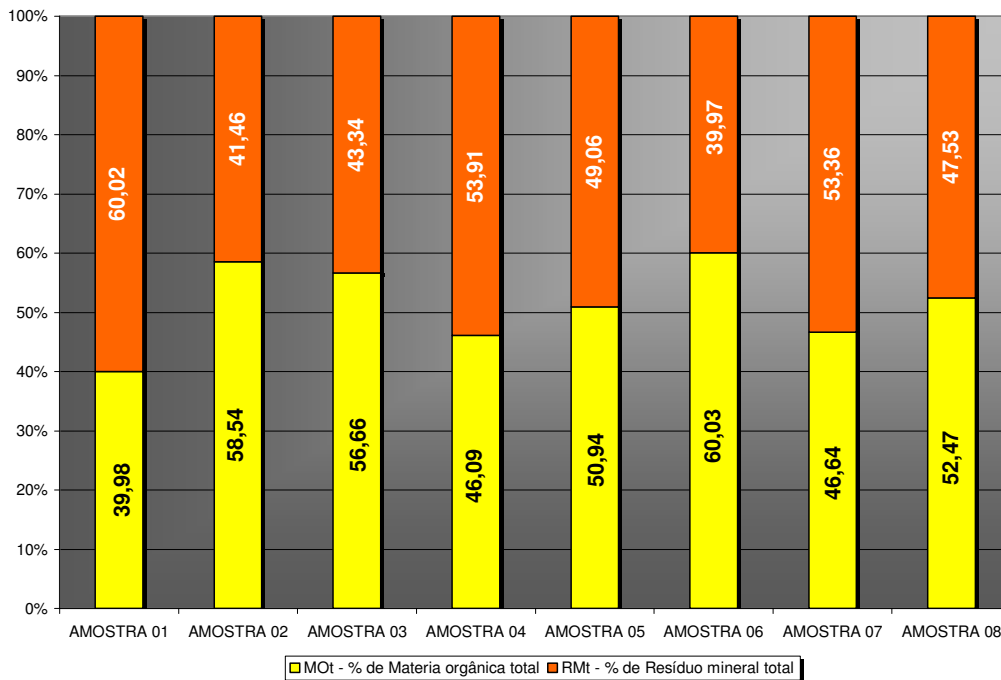


Figura 5.20 – Porcentagem de matéria orgânica e resíduo mineral das amostras coletadas dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

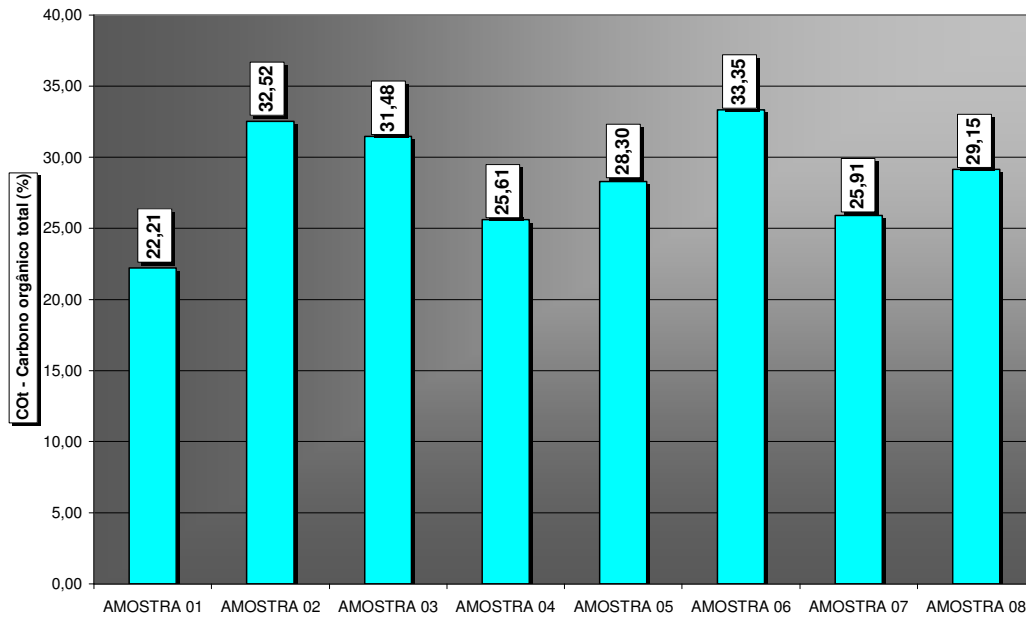


Figura 5.21 – Porcentagem de carbono orgânico total das amostras coletadas dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

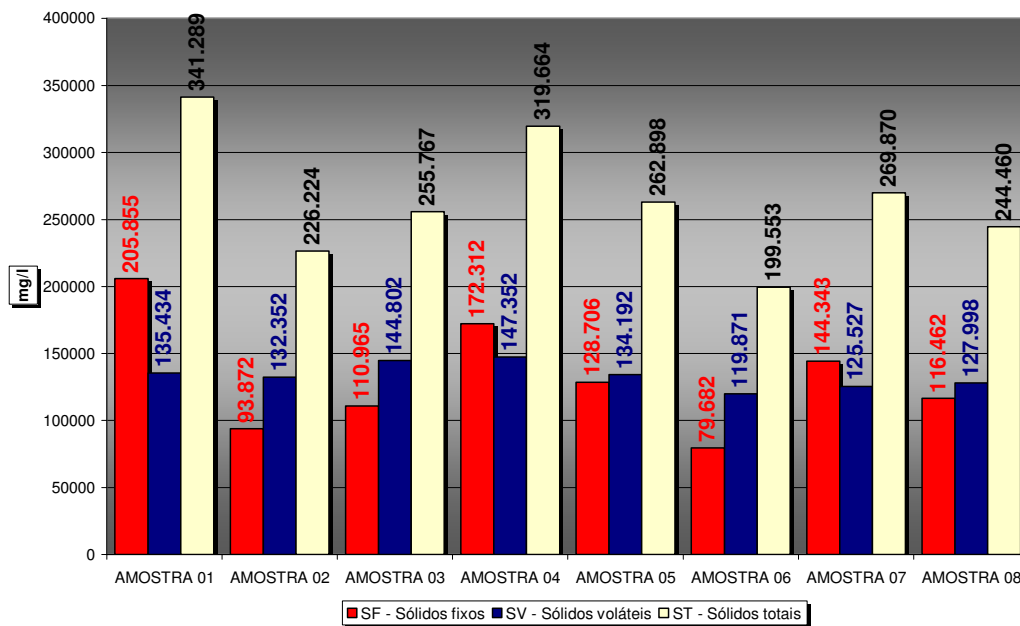


Figura 5.22 – Teor de sólidos totais, fixos e voláteis das amostras coletadas dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

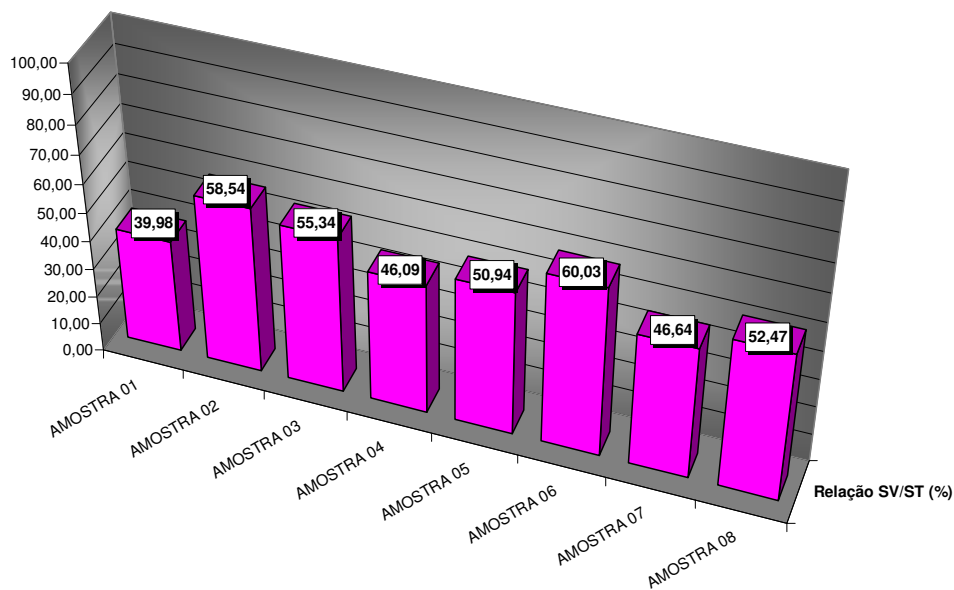


Figura 5.23 – Relação SV/ST (%) das amostras coletadas dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

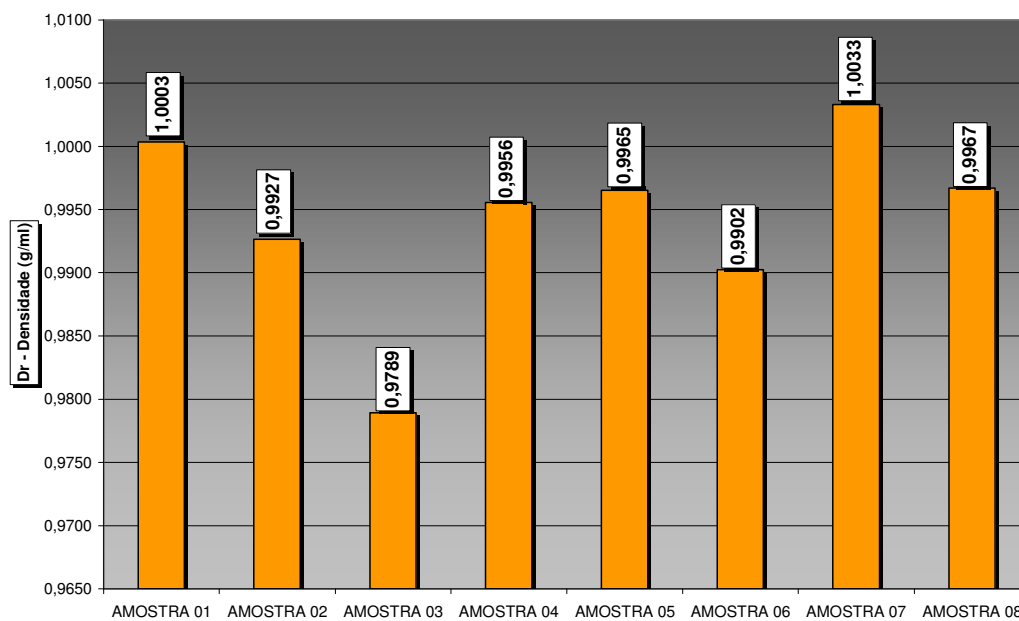


Figura 5.24 – Densidade das amostras coletadas dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

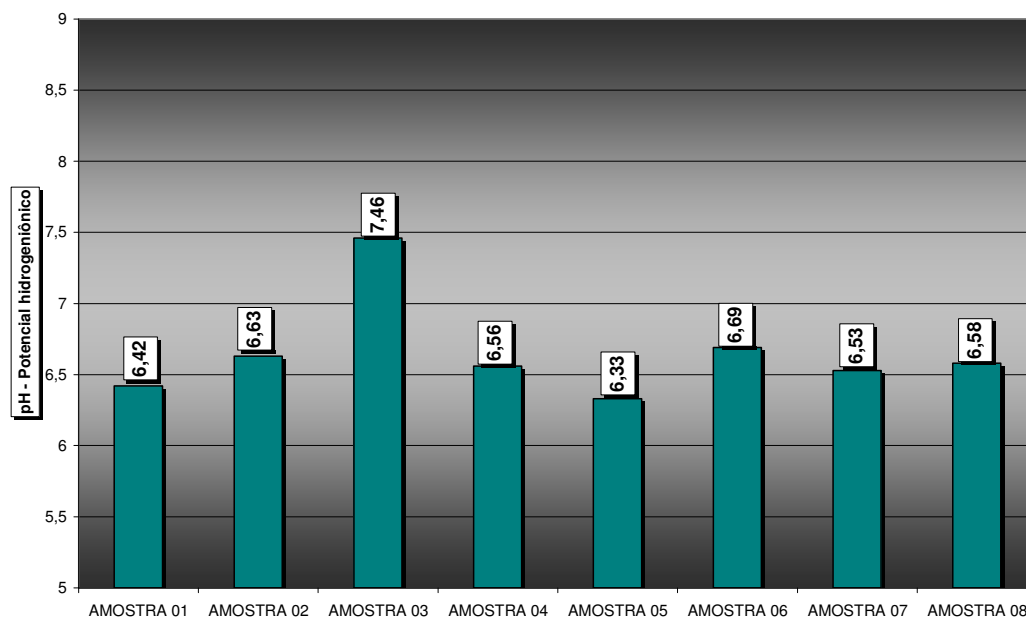


Figura 5.25 – Potencial hidrogeniônico das amostras coletadas dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

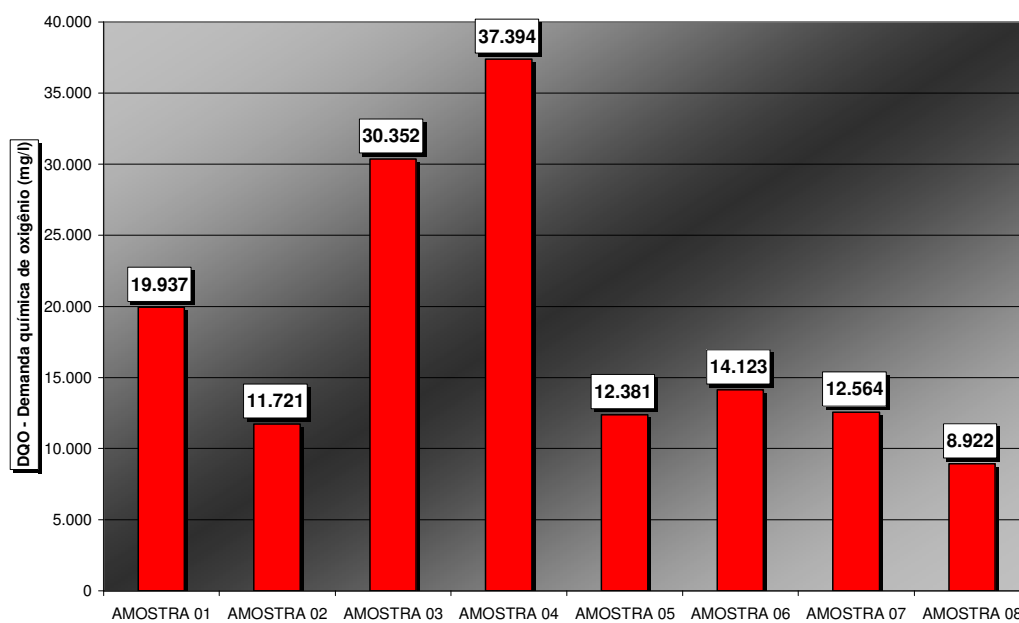


Figura 5.26 – Demanda química de oxigênio das amostras coletadas dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

5.2.1.2 Análise granulométrica da amostra composta dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

A amostra composta utilizada para a análise granulométrica tinha peso total seco de 2.214,74 gramas e passou totalmente pela série de peneiras até a malha 9,5 mm, conforme apresentado na Tabela 5.8 a seguir.

Tabela 5.8 – Porcentagem média retida nas peneiras do ensaio de granulometria da amostra composta dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

Peneiras ABNT (mm)	12,5	9,5	6,3	4,8	2,4	1,2	0,600	0,300	0,150	FUNDO
Porcentagem média retida acumulada (%)	0,00	1,47	6,57	11,04	41,27	61,25	75,22	89,95	98,78	100,00

Por meio das porcentagens encontradas foi elaborada a curva granulométrica do resíduo seco da amostra composta do desarenador, apresentada na Figura 5.27.

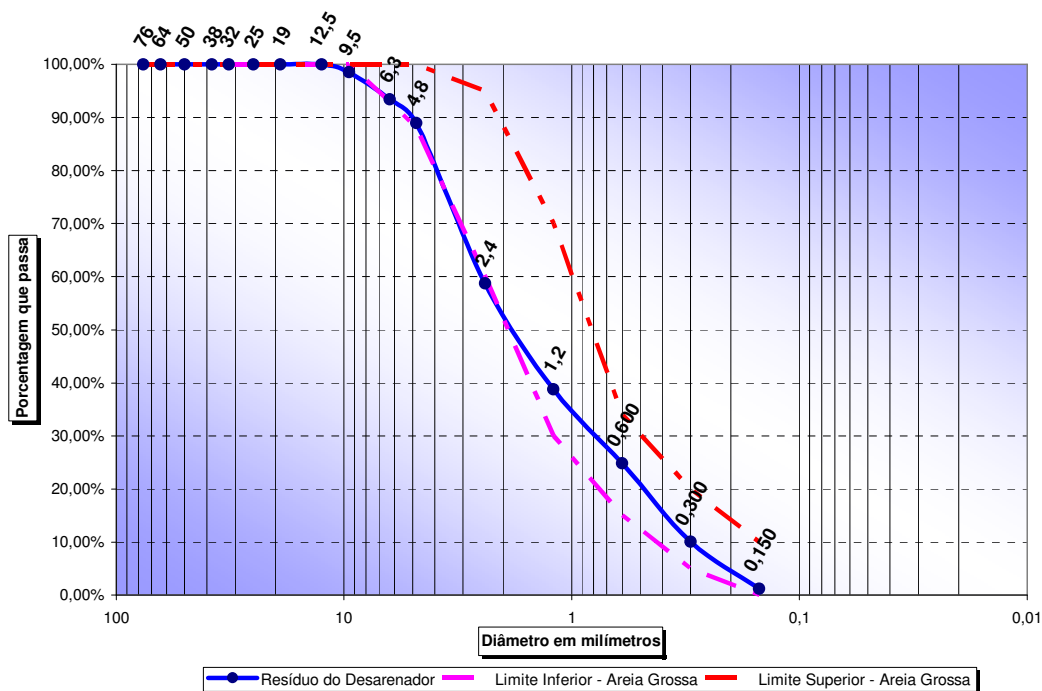


Figura 5.27 – Análise granulométrica da amostra composta dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

O resultado apresentado na Figura 5.27 permite enquadrar o resíduo do desarenador na curva granulométrica para agregado miúdo, como areia grossa, de acordo com o estabelecido na NBR 7.211 (ABNT, 1983).

5.2.1.3 *Discussão sobre os resultados das análises e ensaios das amostras dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul*

Esperava-se que com a secagem natural das pilhas de resíduos do desarenador o teor de umidade diminuísse com o tempo, fato esse que se confirmou com algumas amostras (01, 04, 05 e 06) mas não com outras (02 e 03). Confrontando-se os valores da umidade com os encontrados na análise de matéria orgânica, observa-se estreita relação entre a umidade da amostra e a quantidade de matéria orgânica presente na mesma.

As amostras 02, 03 e 06, além de apresentarem uma quantidade de matéria orgânica ligeiramente maior que as demais, apresentaram também uma DQO elevada em relação às demais, exceto a amostra 06 que apresentou uma DQO baixa, esse fato pode ter ocorrido devido à heterogeneidade do material.

O experimento esclareceu que a qualidade dos resíduos do desarenador tem estreita relação com a quantidade de matéria orgânica presente no mesmo e que, apesar de se tratar de um resíduo heterogêneo, os seus parâmetros não tiveram variação considerável comparando-se as amostras coletadas diariamente e a amostra composta.

5.2.2 **Análise da fração orgânica e mineral dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul**

Para a análise da fração orgânica e mineral das porcentagens retidas nas peneiras, uma nova amostragem composta, seguindo a metodologia da NBR 10.007 (ABNT, 2004c), foi realizada em 14/11/2007. Os resultados das suas análises são apresentados a seguir.

5.2.2.1 *Análise granulométrica para análise das frações orgânicas dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul*

A amostra utilizada para a análise granulométrica tinha um peso total seco de 2.512,28 gramas e passou totalmente pela série de peneiras até a malha 12,5 mm, ao contrário da análise anterior, conforme apresentado na Tabela 5.9 a seguir.

Tabela 5.9 – Porcentagem média retida nas peneiras do ensaio de granulometria para análise da fração orgânica e mineral dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

Peneiras ABNT (mm)	19,0	12,5	9,5	6,3	4,8	2,4	1,2	0,600	0,300	0,150	FUNDO
Porcentagem média retida acumulada (%)	0,00	1,46	3,69	6,56	9,40	31,60	40,02	64,12	80,50	96,33	100,00

Por meio das porcentagens encontradas foi elaborada a curva granulométrica do resíduo seco da amostra do desarenador, apresentada na Figura 5.28.

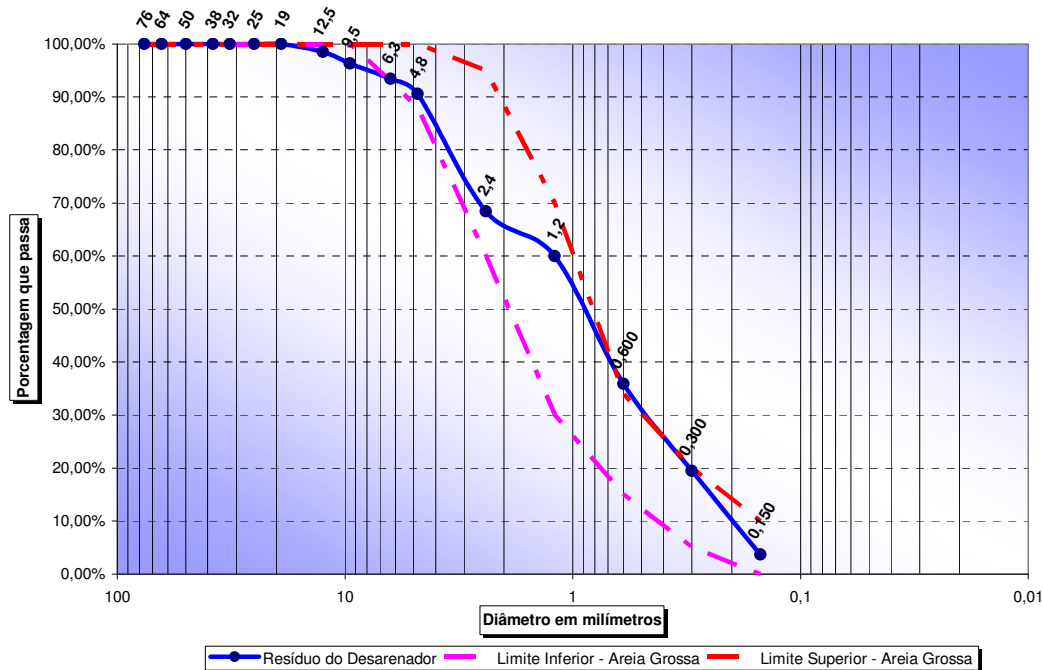


Figura 5.28 – Análise granulométrica para análise da fração orgânica e mineral dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

Assim como a análise granulométrica da amostra composta e de acordo com o estabelecido na NBR 7.211 (ABNT, 1983), o resultado apresentado na Figura 5.28 permite enquadrar o resíduo do desarenador na curva granulométrica para agregado miúdo, como areia grossa.

5.2.2.2 Análise qualitativa para análise da fração orgânica e mineral dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

Para cada fração retida nas peneiras em um novo ensaio de granulometria foi extraída uma amostra representativa e essa foi submetida à análise da fração orgânica (MO_t) e mineral (RM_t), conforme metodologias anteriormente citadas.

Os valores encontrados nas análises e os respectivos pesos das frações retidas nas peneiras são apresentados no gráfico da Figura 5.29 a seguir:

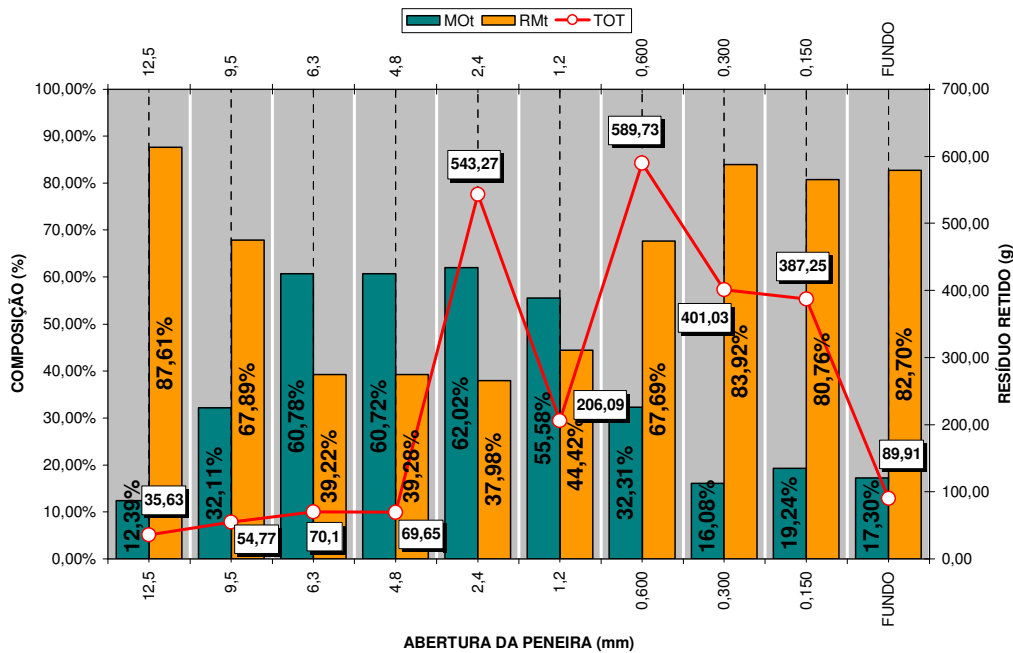


Figura 5.29 – Análise da composição das frações orgânicas e minerais retidas nas peneiras no ensaio de granulometria dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

5.2.2.3 Discussão sobre os resultados da análise da fração orgânica e mineral das amostras dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

A concentração de resíduos minerais nas frações retidas nas peneiras de abertura maior, menor e no fundo era esperada, uma vez que nas peneiras maiores ficam retidos resíduos como pedras e seixos e nas peneiras menores e no fundo são retidos a areia, silte e argila.

A maior quantidade de resíduo ficou retida na peneira com abertura de 0,600 mm, seguida da peneira com abertura de 2,4 mm, fração essa que apresenta uma grande quantidade de matéria orgânica, 62,02%.

Caso fosse possível executar um gradeamento ultrafino no esgoto afluente que retirasse as partículas com tamanho superior a 2,4 mm, o resíduo resultante no desarenador teria as seguintes características:

- ✓ Redução de 30,78% na quantidade gerada.
- ✓ Redução da quantidade de matéria orgânica média de 36,91% para apenas 27,46%.

A redução da quantidade de resíduo gerada seria significativa no entanto, à pequena redução no teor de matéria orgânica, não justificaria a implantação da redução do espaçamento entre

as grades, para se obter uma melhoria nas características do resíduo, pois causariam vários transtornos operacionais.

5.2.3 Inertização dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

A seguir são apresentados os resultados e a discussão dos ensaios de lixiviação e solubilização.

5.2.3.1 Ensaio de lixiviação dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

Seguindo a metodologia da NBR 10.005 (ABNT, 2004b), o ensaio foi realizado em duplicata (amostras L-A1 e L-A2), com 100 gramas de resíduo seco em cada amostra, e possuiu ainda um branco (B) constituído somente da solução de lixiviação. O equipamento utilizado para realizar a agitação dos frascos para o teste de lixiviação, conforme NBR 10.004 (ABNT, 2004a), foi o agitador rotativo para não voláteis, da marca TECNAL, modelo TE-743. O mesmo pode ser visualizado em operação na Figura 5.30 a seguir:



Figura 5.30 – Agitador rotatório de frascos utilizado no ensaio de lixiviação

Não houve a necessidade de se abrir os frascos nos períodos determinados na norma, caso houvesse o aumento da pressão, fato esse que não ocorreu.

O aparelho de filtração montado utilizou pré-filtros de fibra vidro de porosidade aproximada de $0,70\mu\text{m}$, modelo 13400-47-Q, da marca SARTORIUS.

A seguir são apresentados os dados obtidos no procedimento:

- ✓ Data inicial: 23/11/2007 às 16:30 h

- ✓ Data final: 24/11/2007 às 10:30 h
- ✓ Tempo total de lixiviação: 18 h
- ✓ Teor de sólidos secos: 60,99 %
- ✓ pH do extrato lixiviado: 5,10 (B), 5,50 (L-A1) e 5,40 (L-A2)
- ✓ Volume dos líquidos obtidos: 2.000 ml (B), 1.600 ml (L-A1) e 1.600 ml (L-A2)

Na Tabela 5.10, são apresentados os valores obtidos nas análises do extrato lixiviado:

Tabela 5.10 – Parâmetros analisados no extrato lixiviado dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

Parâmetro	UD	L-A1	L-A2	Média	Valor limite NBR 10.004/2004
Fluoreto	mg/l F ⁻	0,99	1,01	1,00	150,0
Alumínio (Al)	mg/l	1,884	1,801	1,843	-
Bário (Ba)	mg/l	2,154	2,208	2,181	70,0
Cádmio (Cd)	mg/l	0,074	0,010	0,042	0,5
Cálcio (Ca)	mg/l	123,003	126,855	124,929	-
Chumbo (Pb)	mg/l	0,026	0,032	0,029	1,0
Cobre (Cu)	mg/l	0,049	0,059	0,054	-
Cromo total (Cr)	mg/l	0,133	0,145	0,139	5,0
Ferro (Fe)	mg/l	2,018	1,921	1,969	-
Manganês (Mn)	mg/l	1,044	1,057	1,050	-
Prata (Ag)	mg/l	0,263	1,065	0,664	5,0
Sódio (Na)	mg/l	1.374,480	1.921,975	1.828,228	-

De acordo com o estabelecido na NBR 10.004 (ABNT, 2004a), os resultados apresentados na Tabela 5.10 permitem enquadrar o resíduo do desarenador como resíduo não perigoso Classe II, pois nenhum de seus parâmetros excedem os valores limites constantes no anexo F.

5.2.3.2 Ensaio de solubilização dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

Para a realização do ensaio de solubilização a metodologia da NBR 10.004 (ABNT, 2004a) foi adaptada e ao invés de ser utilizado um becker fechado com filme de PVC no período da solubilização de 7 dias, utilizou-se garrafas tipo PET de 1,5 e 2,0 litros, devidamente etiquetadas e lacradas, conforme visualizado na Figura 5.31 a seguir:



Figura 5.31 – Garrafas tipo PET utilizadas no ensaio de solubilização dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

Houve a necessidade de centrifugação de todas as amostras do extrato solubilizado pois as mesmas entupiam facilmente a membrana filtrante no processo de filtração. A centrifugação foi realizada a 5.000 RPM por 5 minutos. O aparelho de centrifugação usado e a amostra antes e depois da centrifugação podem ser visualizados nas Figuras 5.32 e 5.33 a seguir:



Figura 5.32 – Equipamento de centrifugação utilizado no extrato solubilizado dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul



Figura 5.33 – Amostra antes e depois da centrifugação do extrato solubilizado dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

A seguir, na Tabela 5.11, são apresentados os dados obtidos no procedimento do ensaio de solubilização:

Tabela 5.11 – Dados obtidos no procedimento do ensaio de solubilização dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

Amostra	Data da caleação	Data inicial do ensaio	Data final do ensaio	Teor de umidade (%)
S-0h-1A	-	23/11/07	30/11/07	
S-0h-1B	-	23/11/07	30/11/07	
S-24h-C	-	25/11/07	02/12/07	
S-24h-10%	24/11/07	25/11/07	02/12/07	
S-24h-20%	24/11/07	25/11/07	02/12/07	
S-24h-30%	24/11/07	25/11/07	02/12/07	
S-72h-C	-	28/11/07	03/12/07	
S-72h-10%	24/11/07	28/11/07	03/12/07	39,01
S-72h-20%	24/11/07	28/11/07	03/12/07	
S-72h-30%	24/11/07	28/11/07	03/12/07	
S-7d-C	-	01/12/07	08/12/07	
S-7d-10%	24/11/07	01/12/07	08/12/07	
S-7d-20%	24/11/07	01/12/07	08/12/07	
S-7d-30%	24/11/07	01/12/07	08/12/07	

A membrana filtrante utilizada no aparelho de filtração foi o mesmo pré-filtro utilizado para a filtração do extrato lixiviado, sendo assim com porosidade superior a exigida pela NBR 10.006 (ABNT, 2004c) de $0,45\mu\text{m}$. Tal opção foi verificada posteriormente, com filtração do restante das amostras na membrana especificada pela norma e comparação dos resultados. Os

mesmos apresentaram-se com um erro considerado amostral, inerente ao método de análise. Segundo consulta ao fabricante da membrana, esse fato se justifica pelo pré-filtro possuir, em sua composição, um binder que aumenta sua capacidade de retenção de partículas.

No período de contato entre as amostras e as várias quantidades de cal hidratada não houve a germinação de sementes nas amostras do resíduo do desarenador, como havia acontecido no experimento de amostragem composta. Tal fato se deve ao ambiente alcalino da mistura inibir a germinação e crescimento da maioria das espécies vegetais. Já nas amostras sem adição de cal, assim como no experimento anterior, houve a germinação de sementes.

Devido a grande quantidade de amostras, os resultados do ensaio de solubilização serão apresentados na forma gráfica. Os valores limites preconizados pela NBR 10.004 (ABNT, 2004a) serão indicados em vermelho nos gráficos.

Na Figura 5.34 é apresentado o resultado das análises de pH do extrato solubilizado.

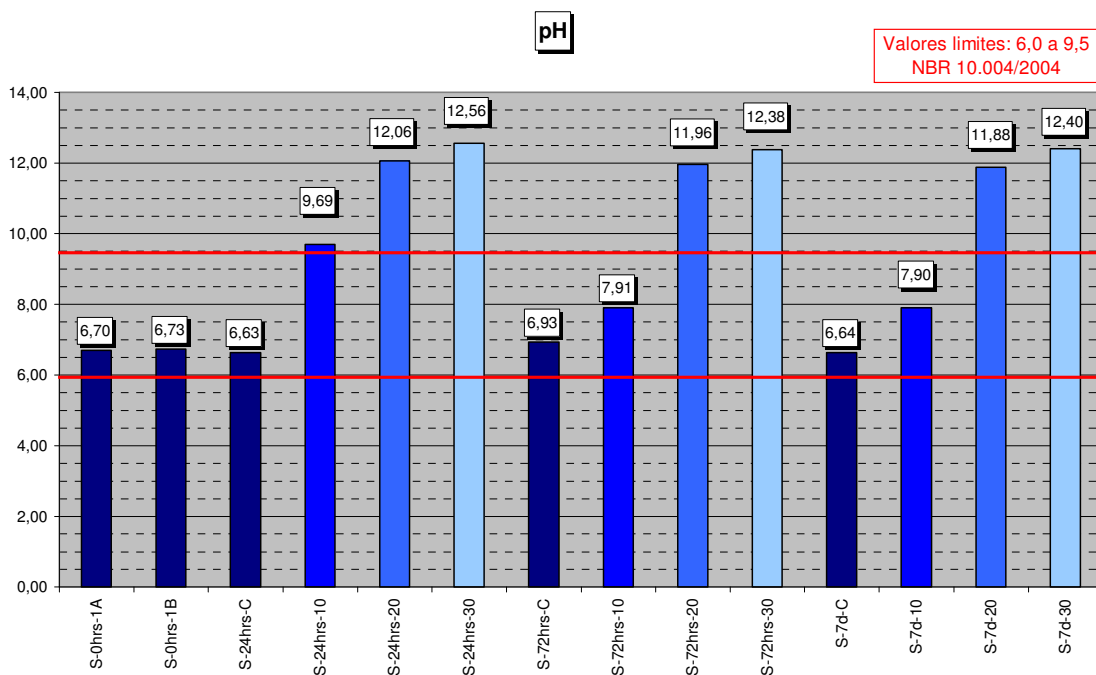


Figura 5.34 – pH do extrato solubilizado dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

A seguir serão apresentados os resultados das análises físico-químicas, nas Figuras 5.35 a 5.45.

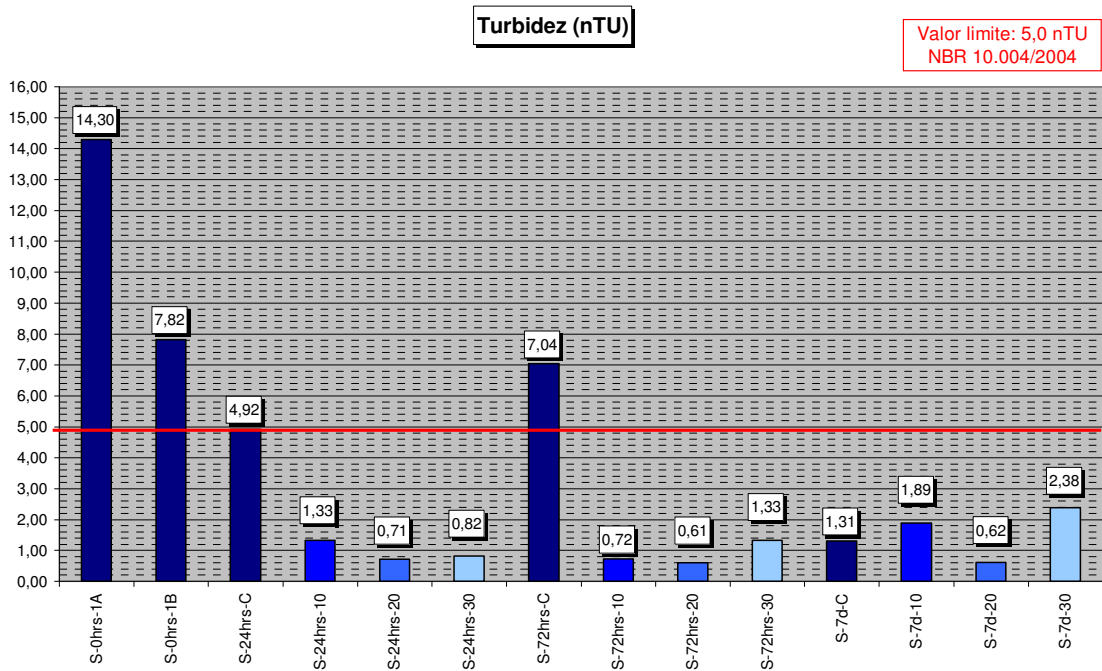


Figura 5.35 – Turbidez do extrato solubilizado dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

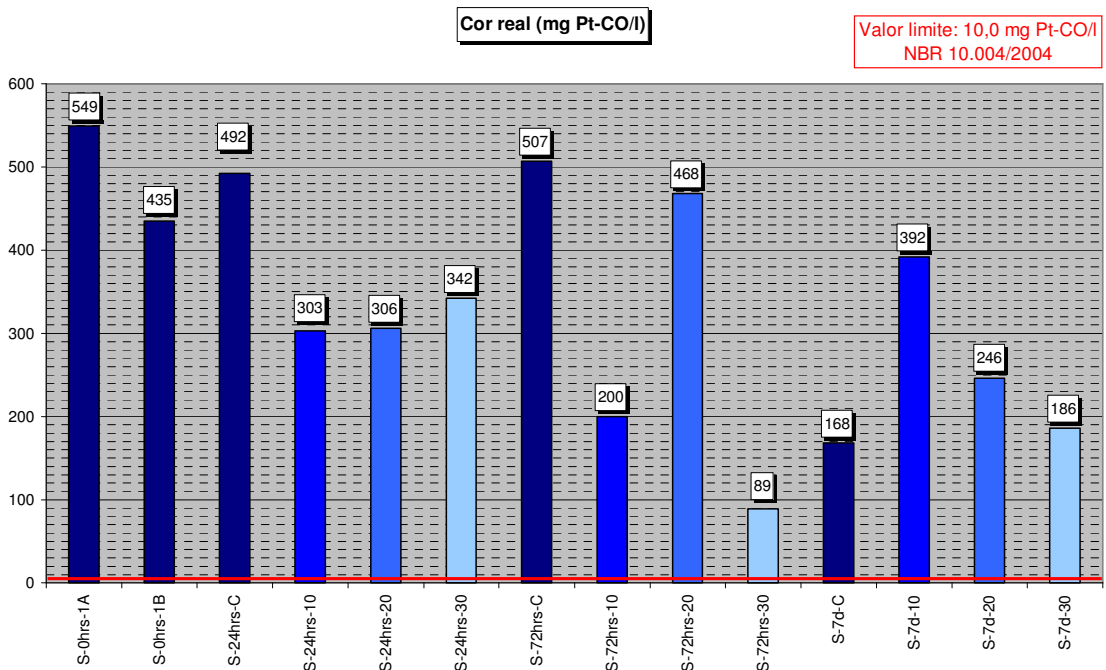


Figura 5.36 – Cor real (Hz) do extrato solubilizado dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

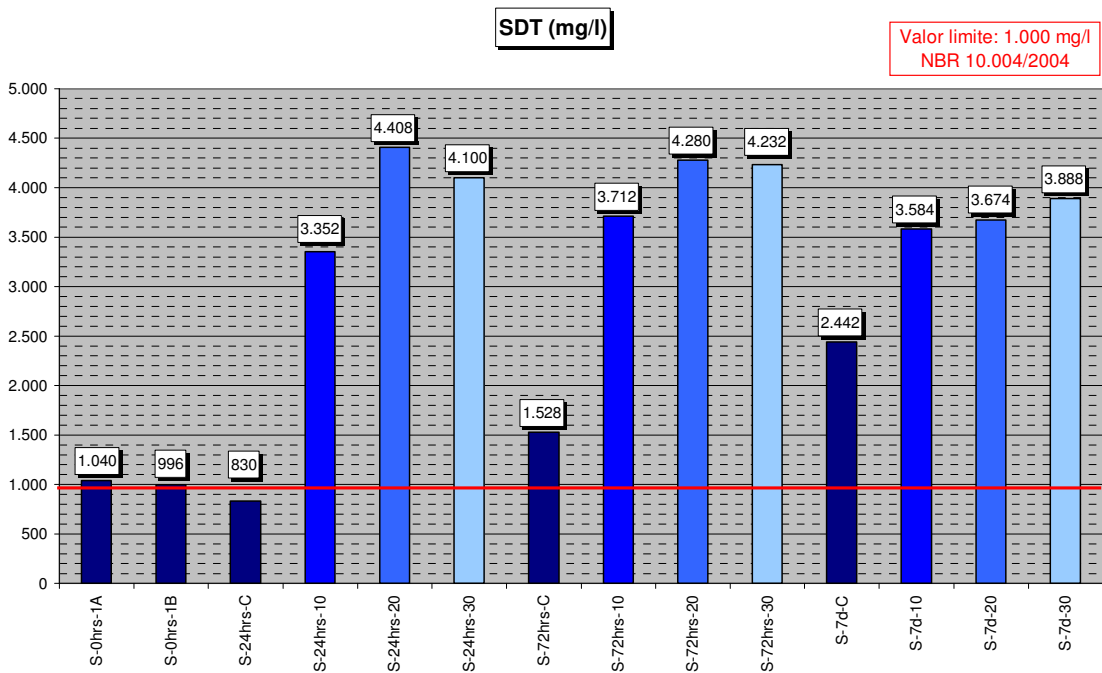


Figura 5.37 – SDT do extrato solubilizado dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

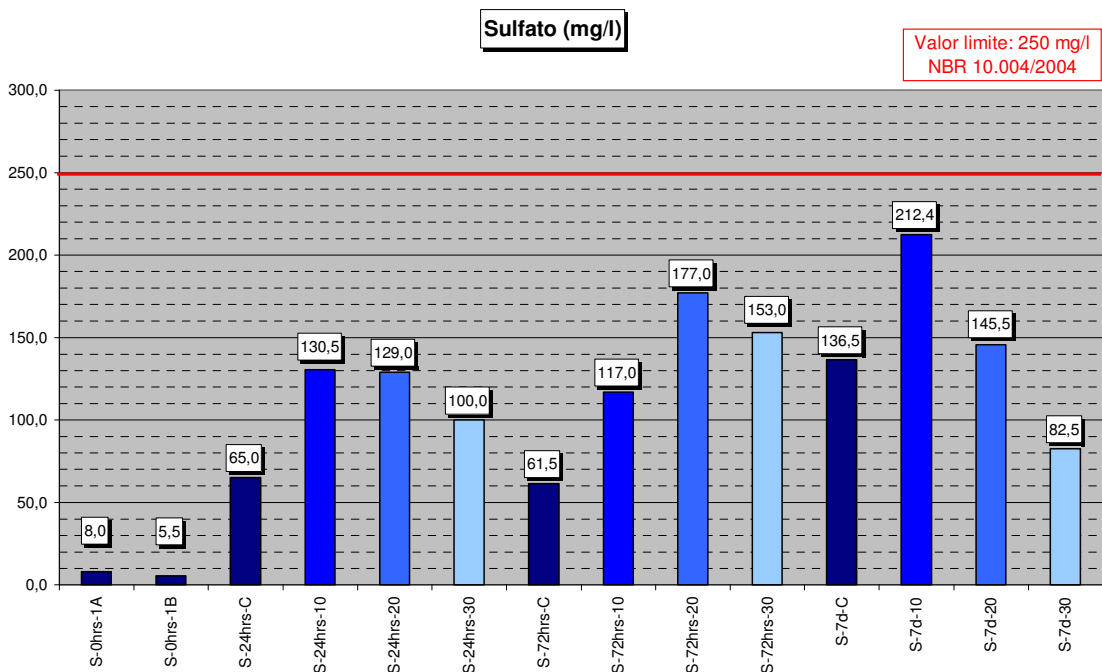


Figura 5.38 – Concentração do Sulfato (SO_4^{2-}) do extrato solubilizado dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

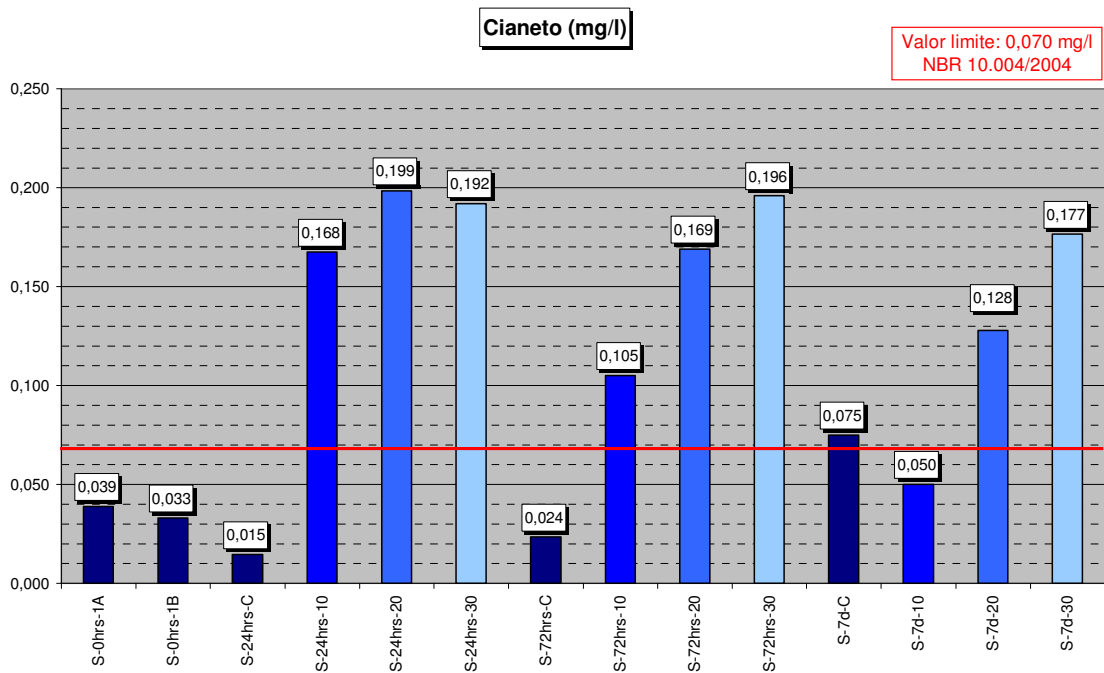


Figura 5.39 – Concentração do Cianeto (CN⁻) do extrato solubilizado dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

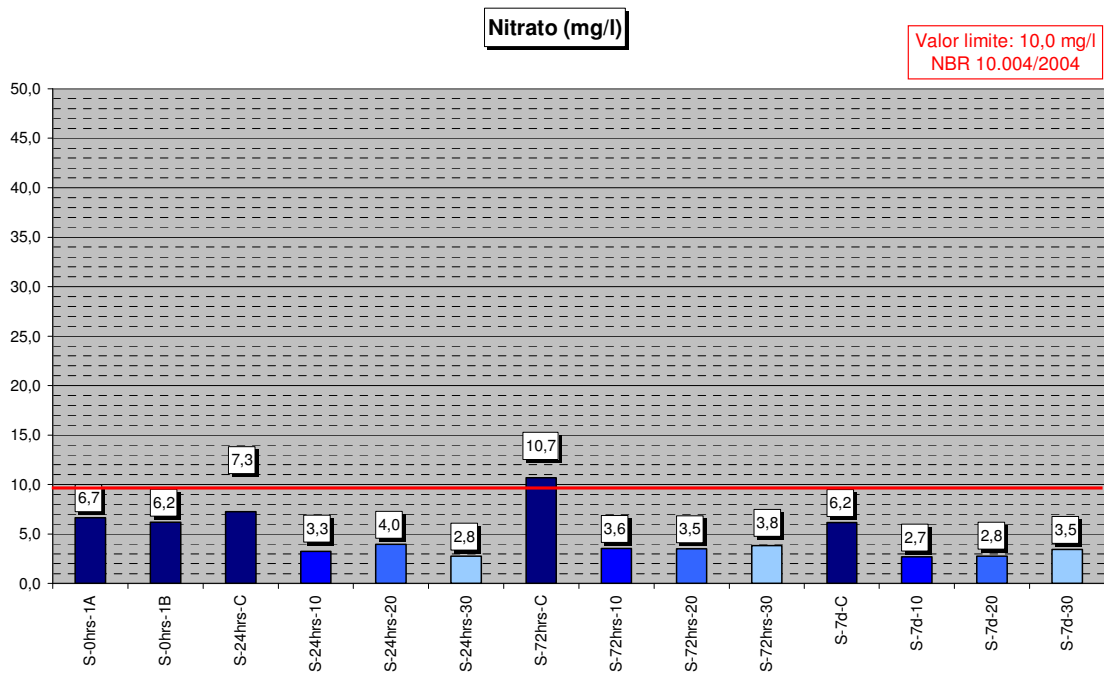


Figura 5.40 – Concentração do Nitrato (N-NO₃) do extrato solubilizado dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

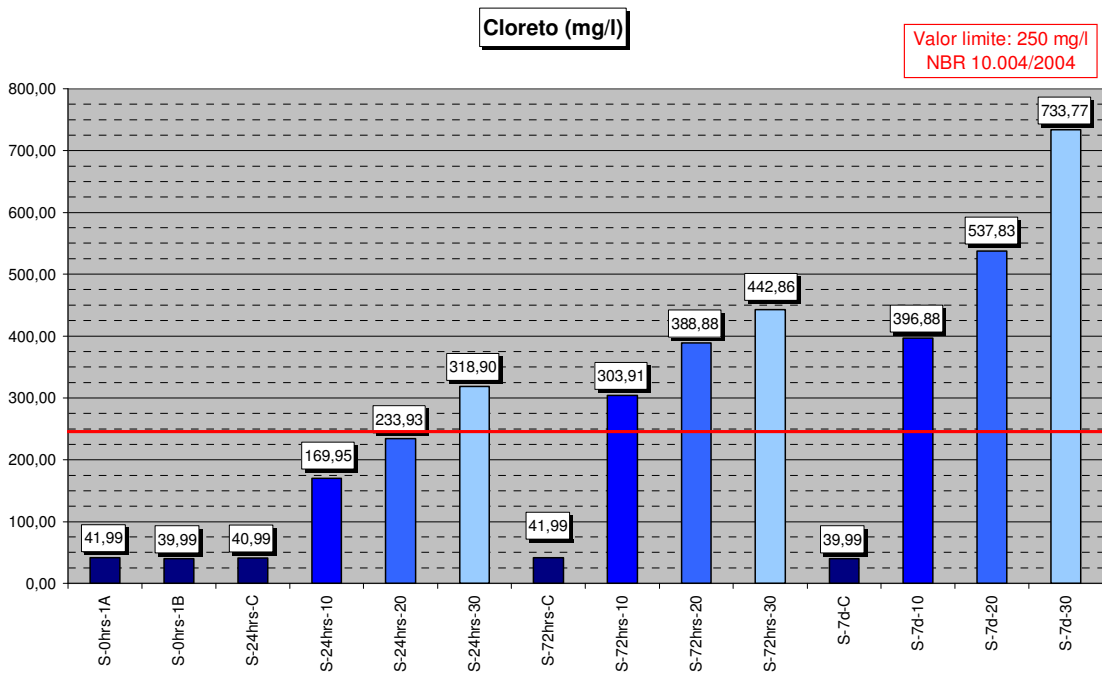


Figura 5.41 – Concentração do Cloreto (Cl) do extrato solubilizado dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

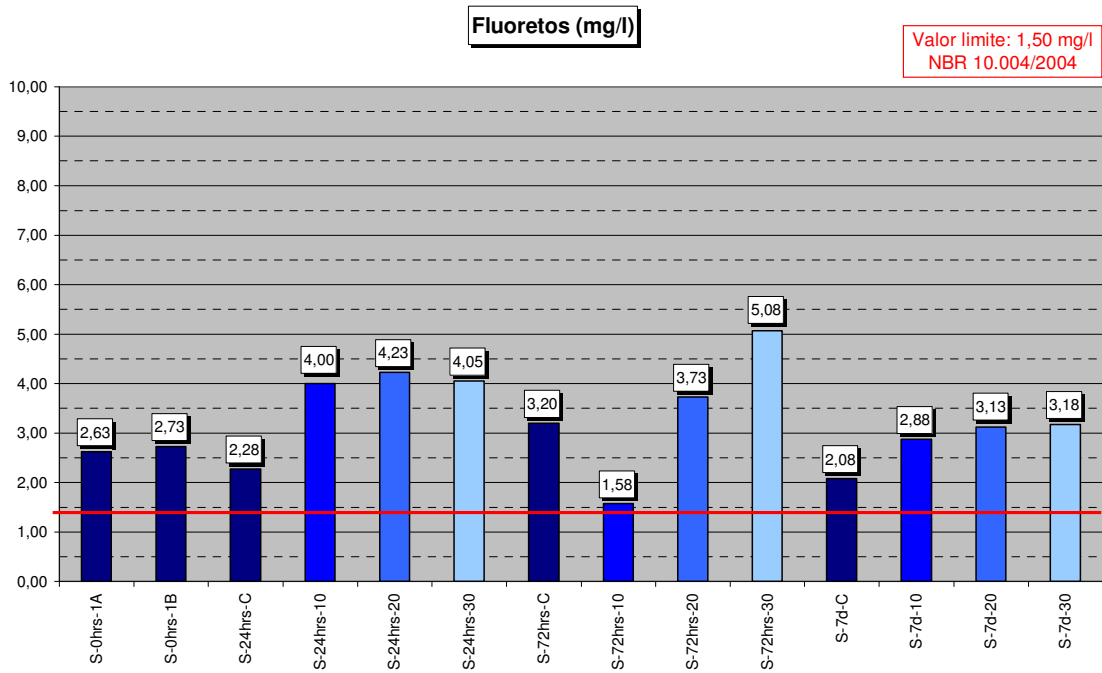


Figura 5.42 – Concentração do Fluoreto (F) do extrato solubilizado dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

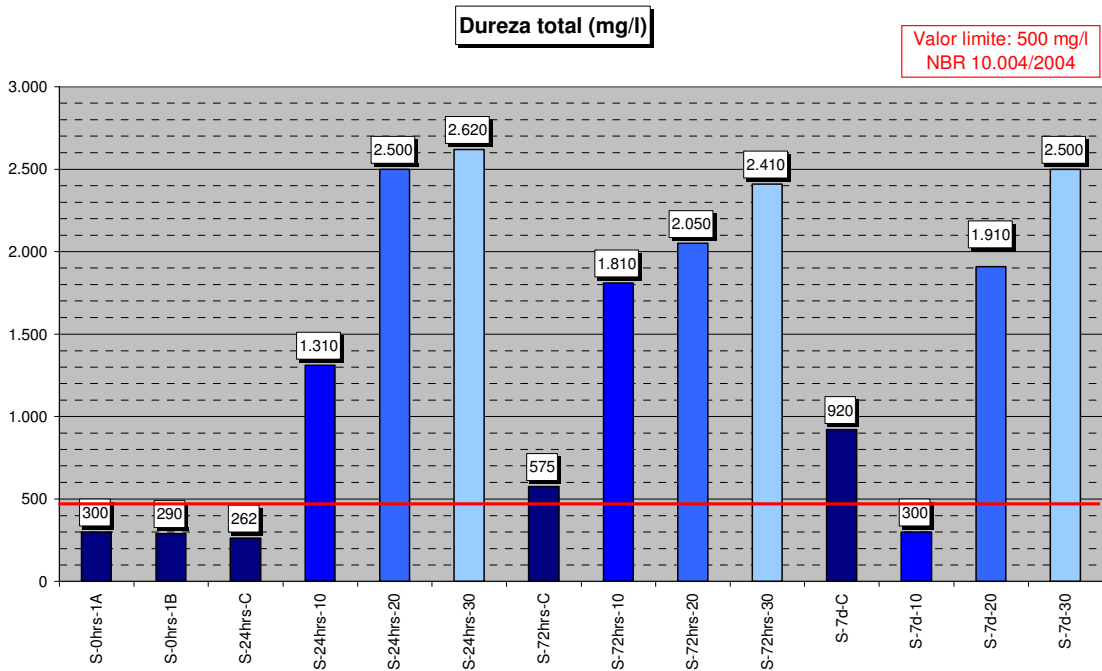


Figura 5.43 – Dureza total (CaCO₃) do extrato solubilizado dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

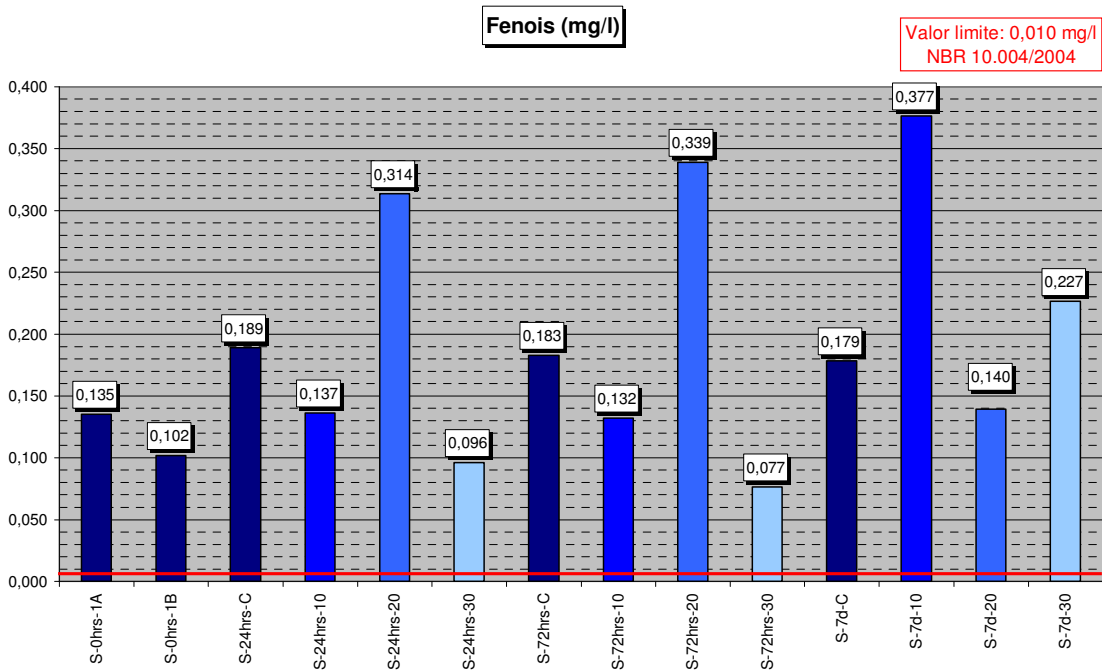


Figura 5.44 – Concentração do Fenol (C₆H₅OH) do extrato solubilizado dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

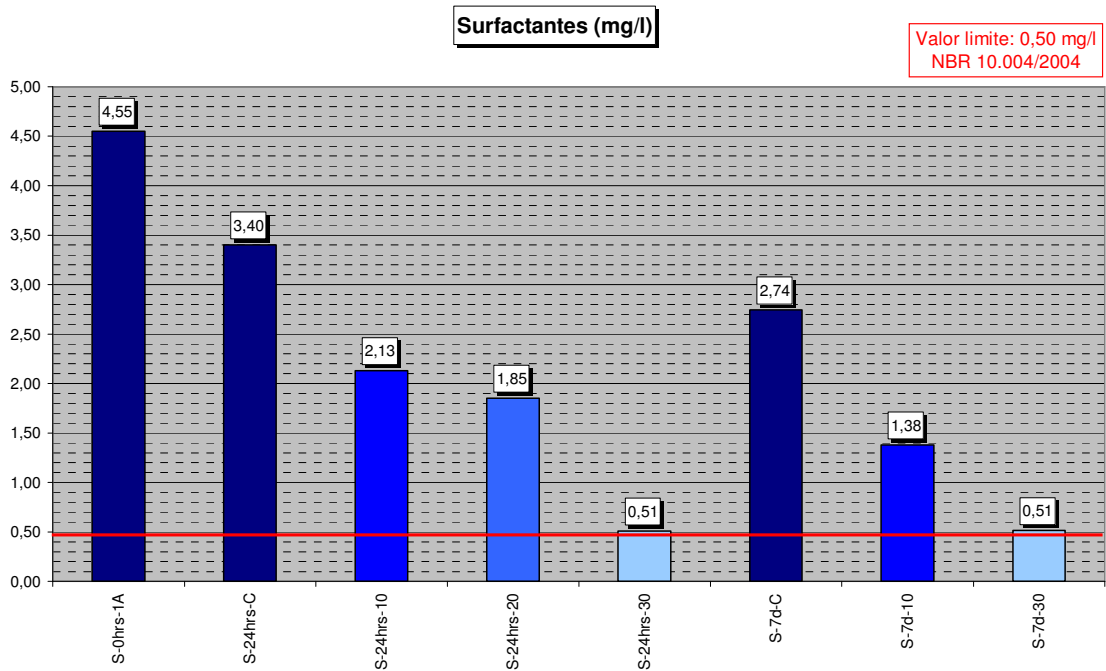


Figura 5.45 – Concentração do Surfactante (MBAS) do extrato solubilizado dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

Nas Figuras 5.46 a 5.57 a seguir, são apresentadas as análises dos metais. As que não puderam ser realizadas estão indicadas no eixo das abscissas com a sigla “NR” e as que não tiveram o parâmetro detectado estão com a sigla “nd”.

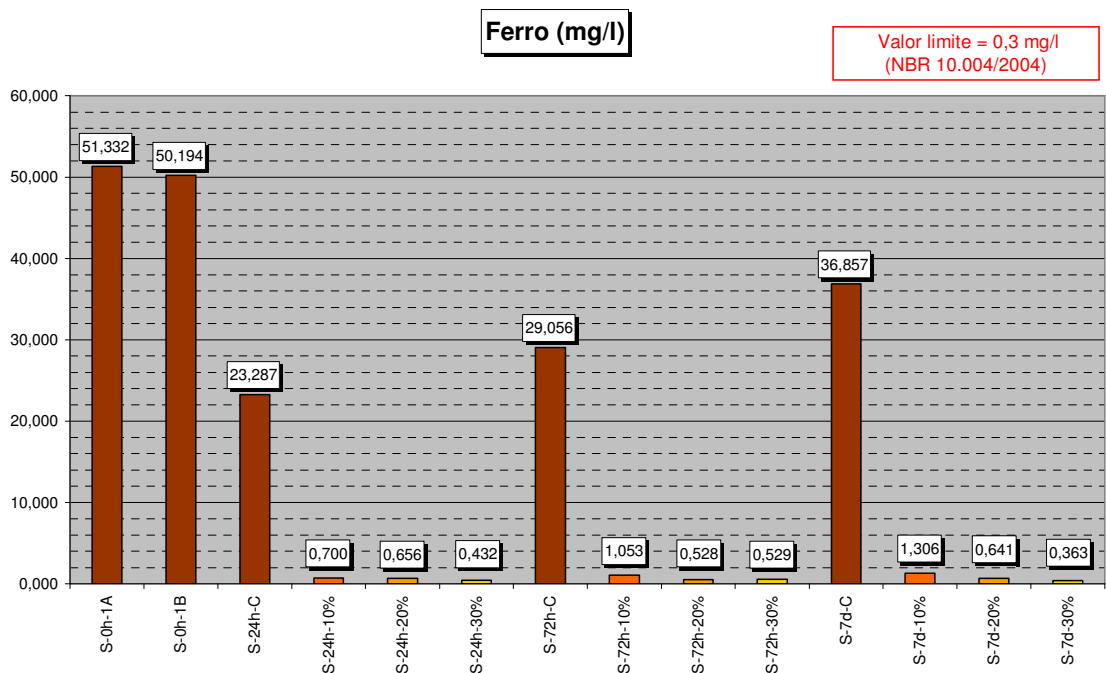


Figura 5.46 – Concentração de Ferro (Fe) no extrato solubilizado dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

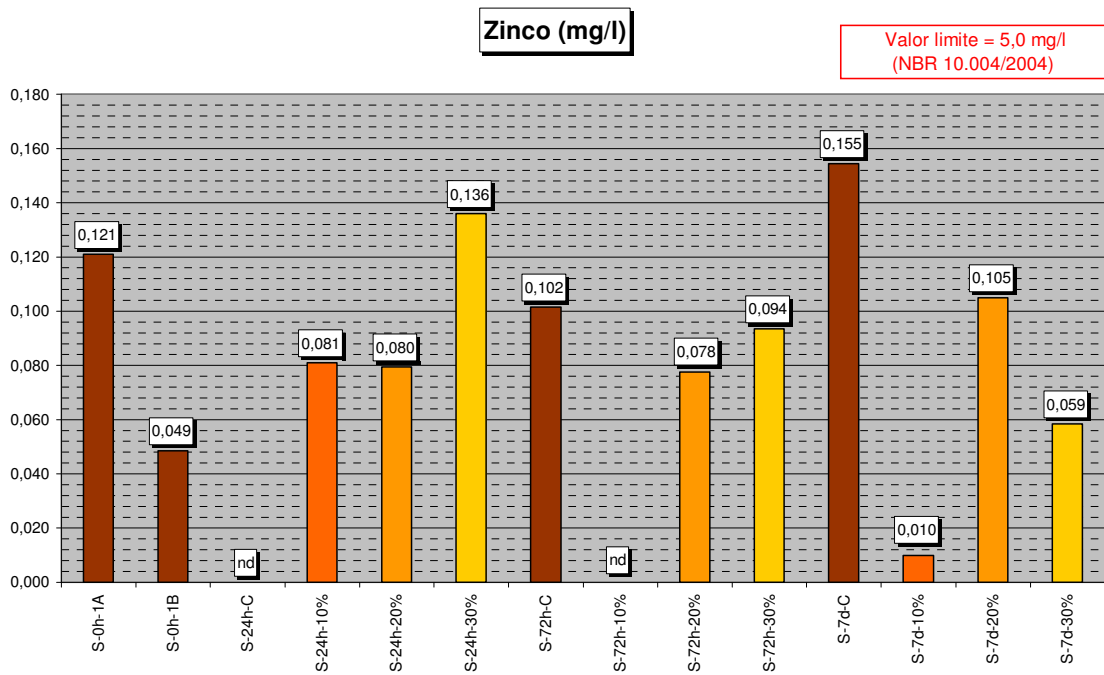


Figura 5.47 – Concentração de Zinco (Zn) no extrato solubilizado dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

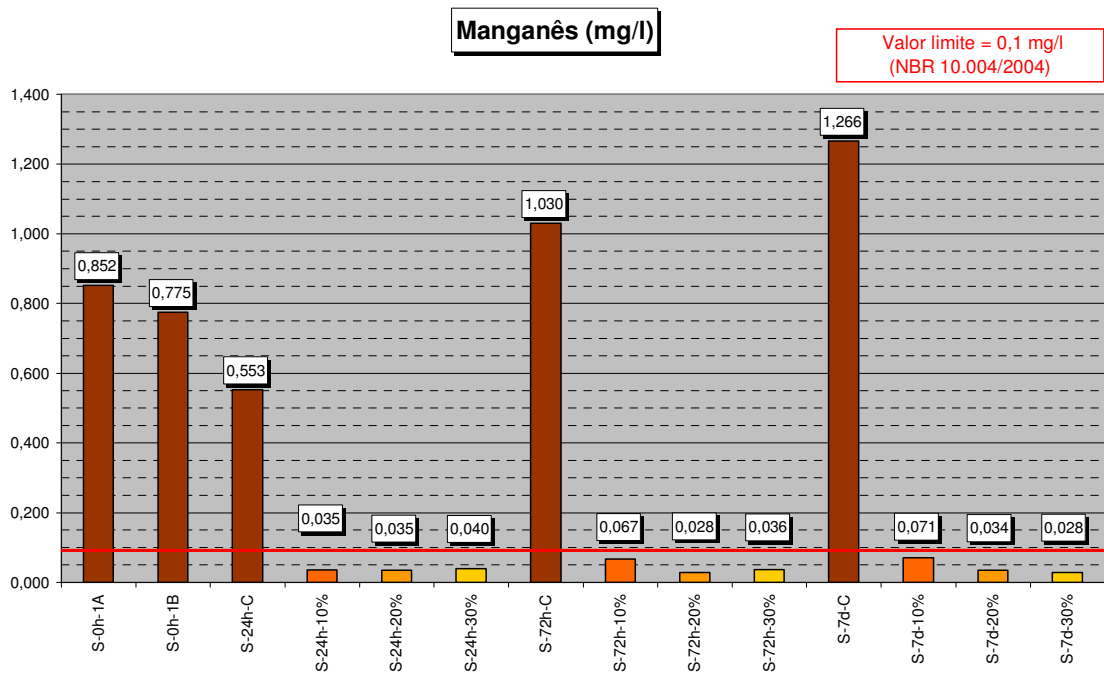


Figura 5.48 – Concentração de Manganês (Mn) no extrato solubilizado dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

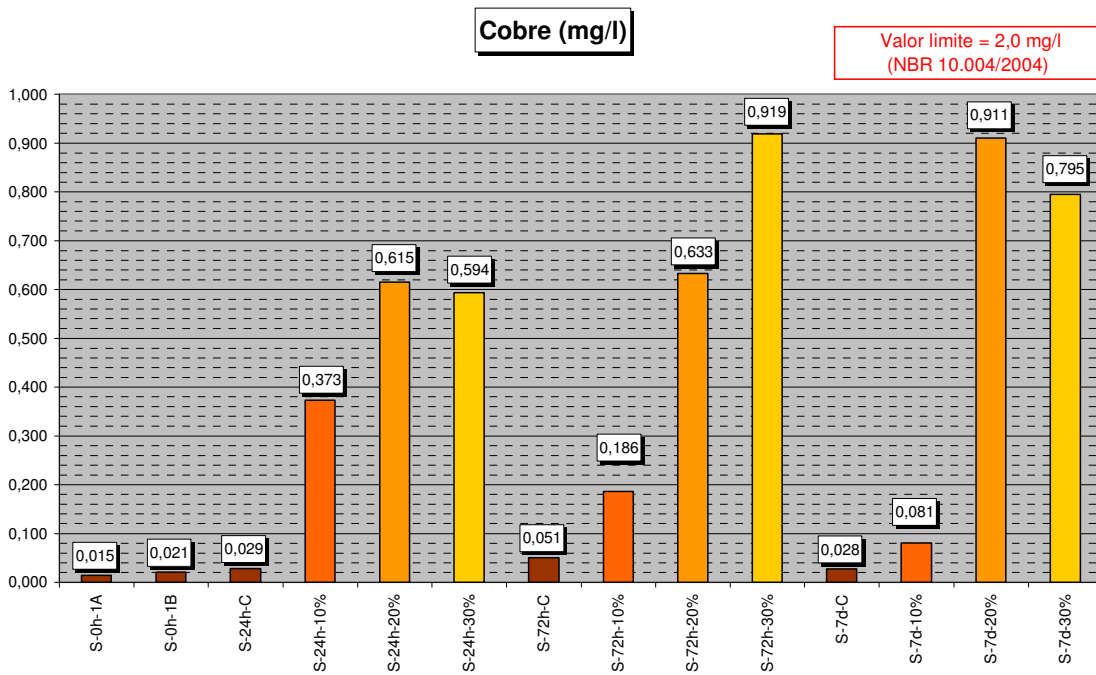


Figura 5.49 – Concentração de Cobre (Cu) no extrato solubilizado dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

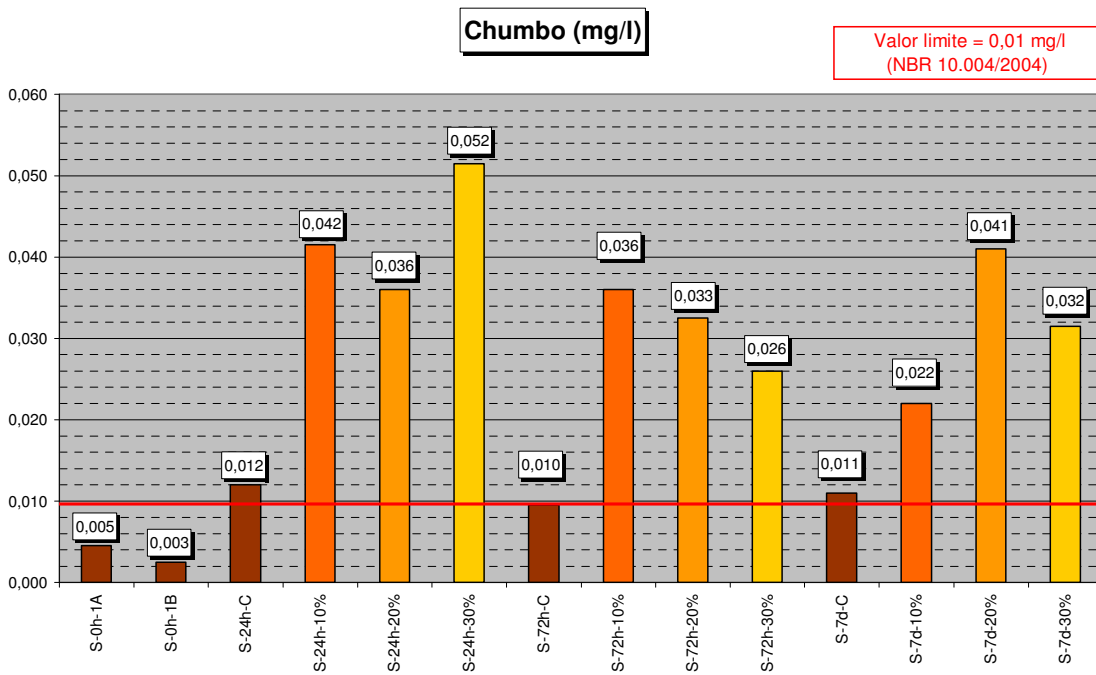


Figura 5.50 – Concentração de Chumbo (Pb) no extrato solubilizado dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

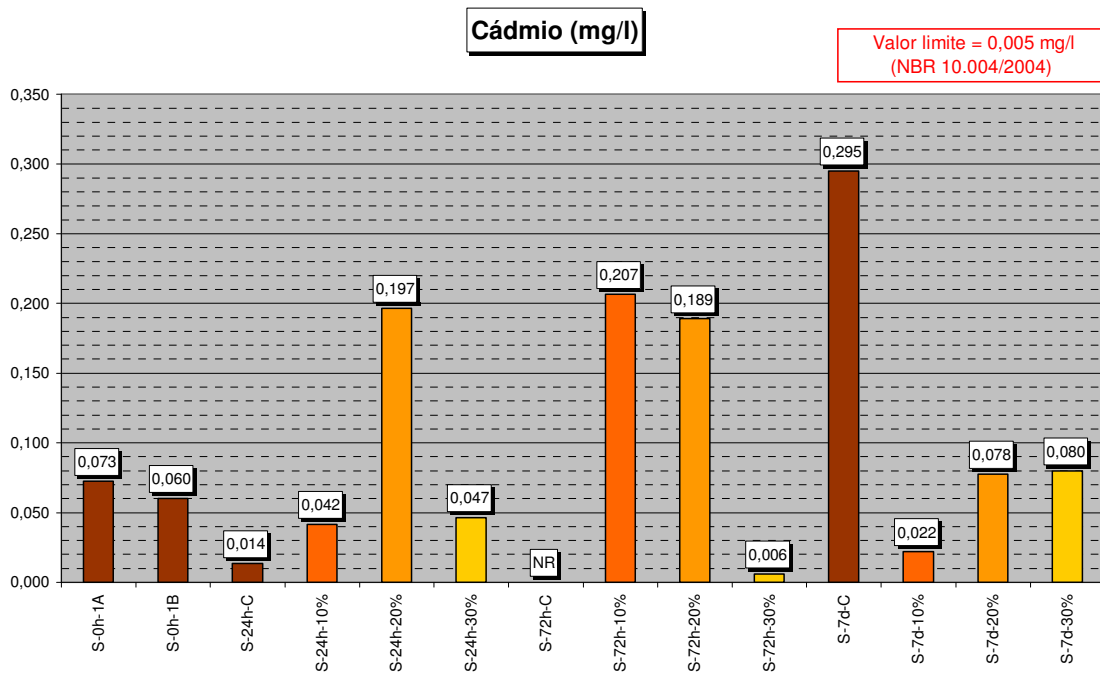


Figura 5.51 – Concentração de Cádmio (Cd) no extrato solubilizado dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

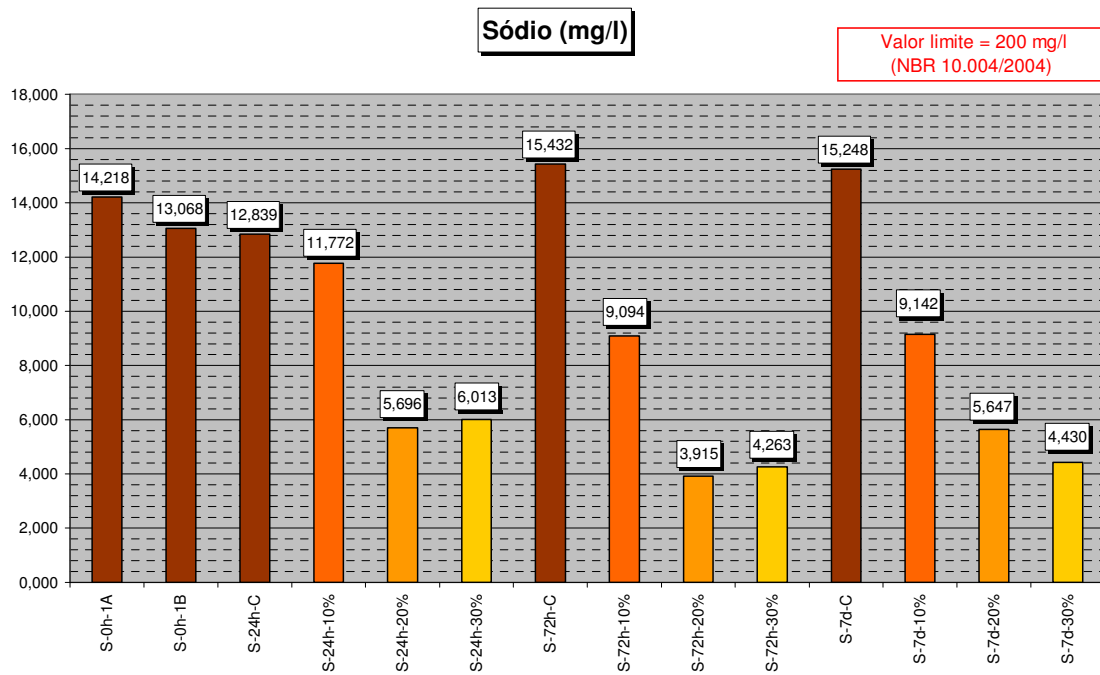


Figura 5.52 – Concentração de Sódio (Na) no extrato solubilizado dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

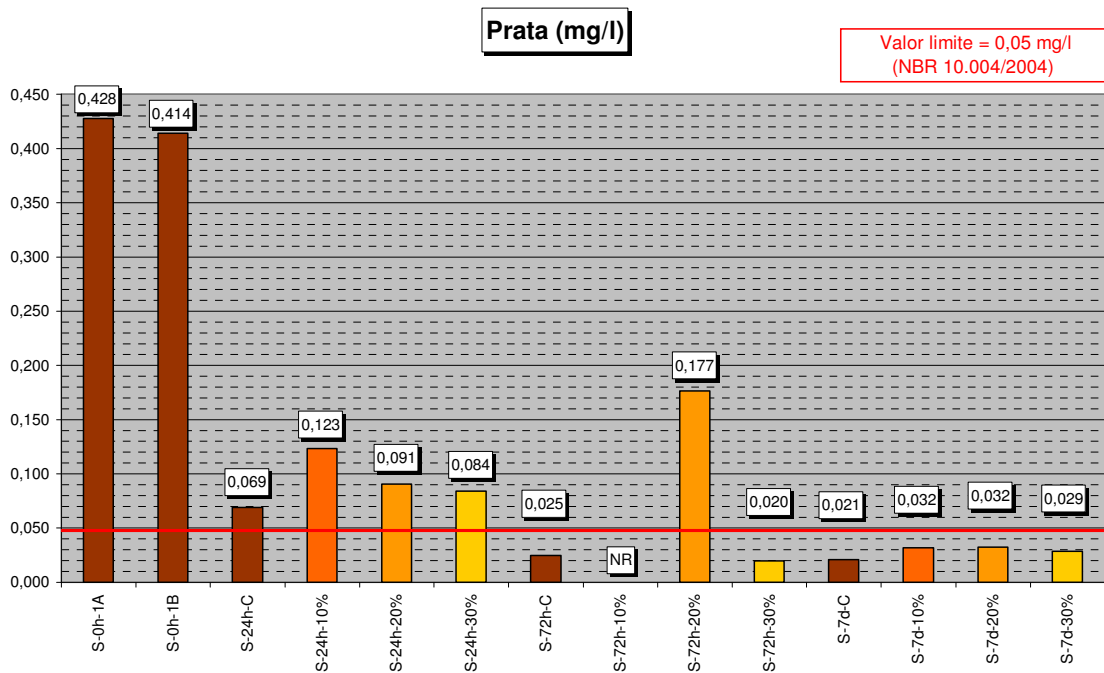


Figura 5.53 – Concentração de Prata (Ag) no extrato solubilizado dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

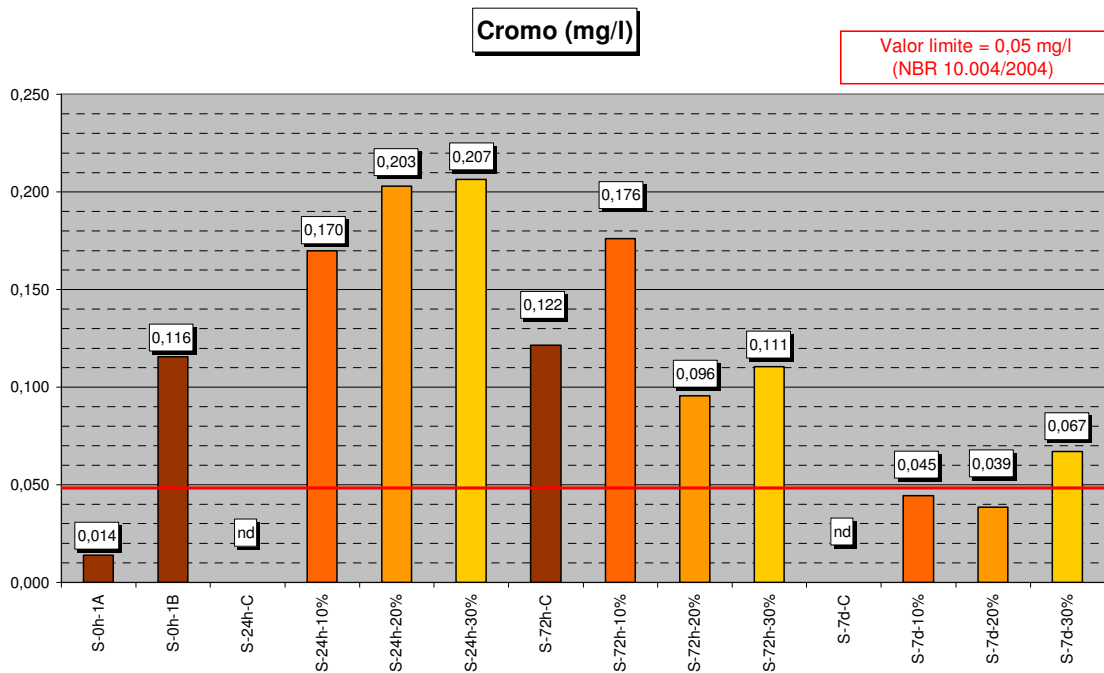


Figura 5.54 – Concentração de Cromo (Cr) no extrato solubilizado dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

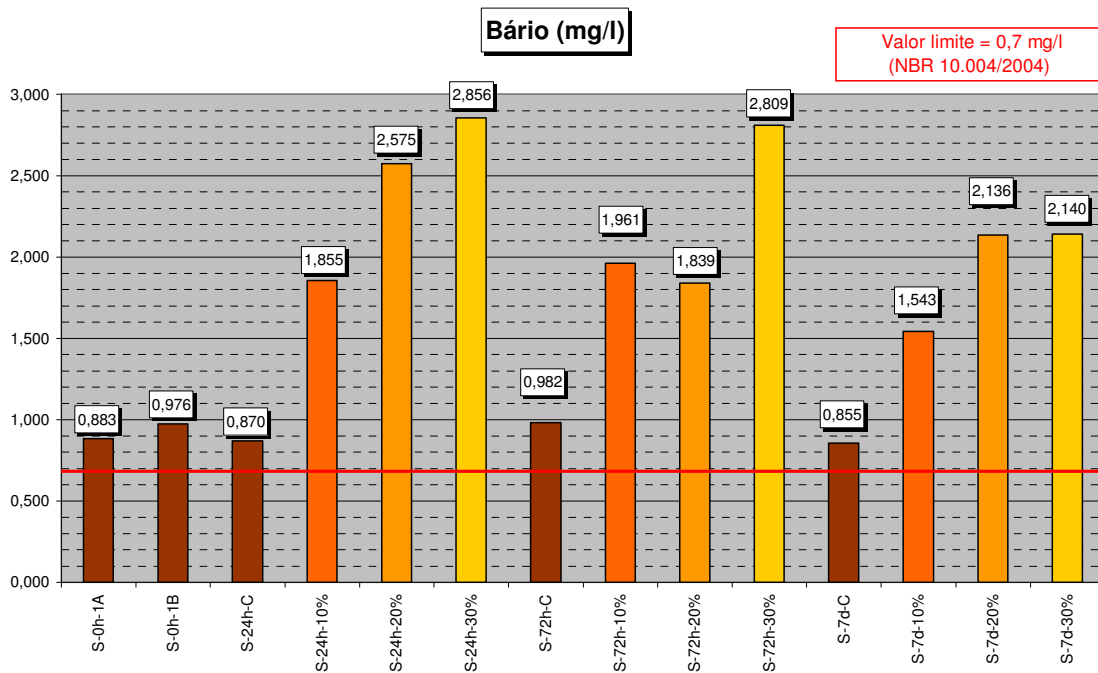


Figura 5.55 – Concentração de Bário (Ba) no extrato solubilizado dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

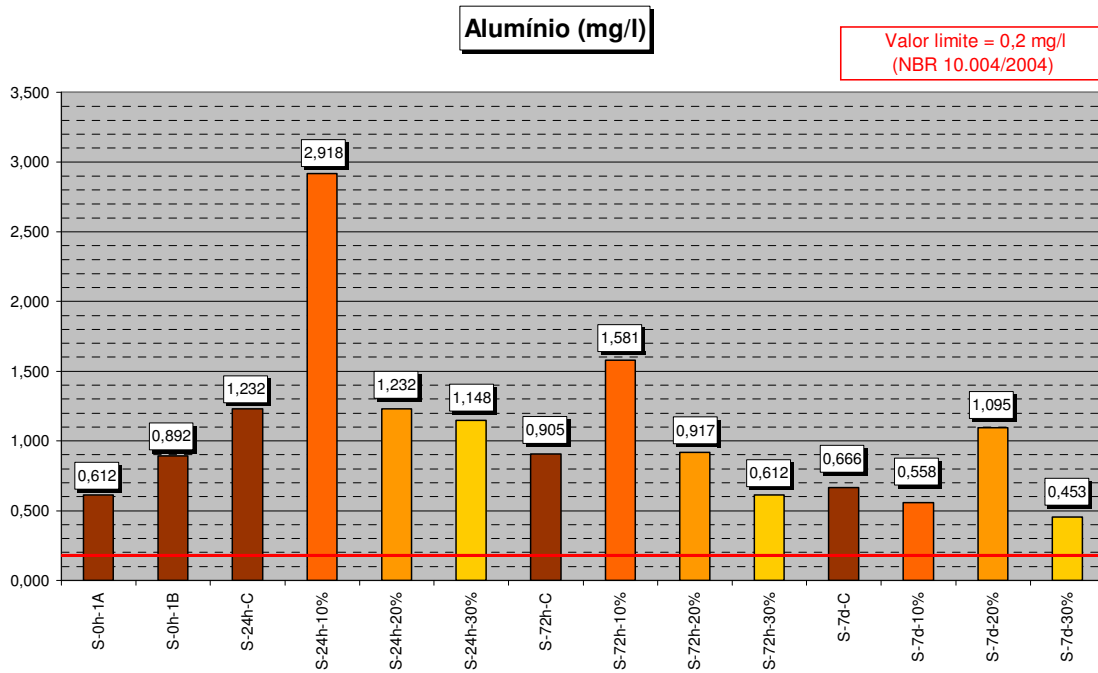


Figura 5.56 – Concentração de Alumínio (Al) no extrato solubilizado dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

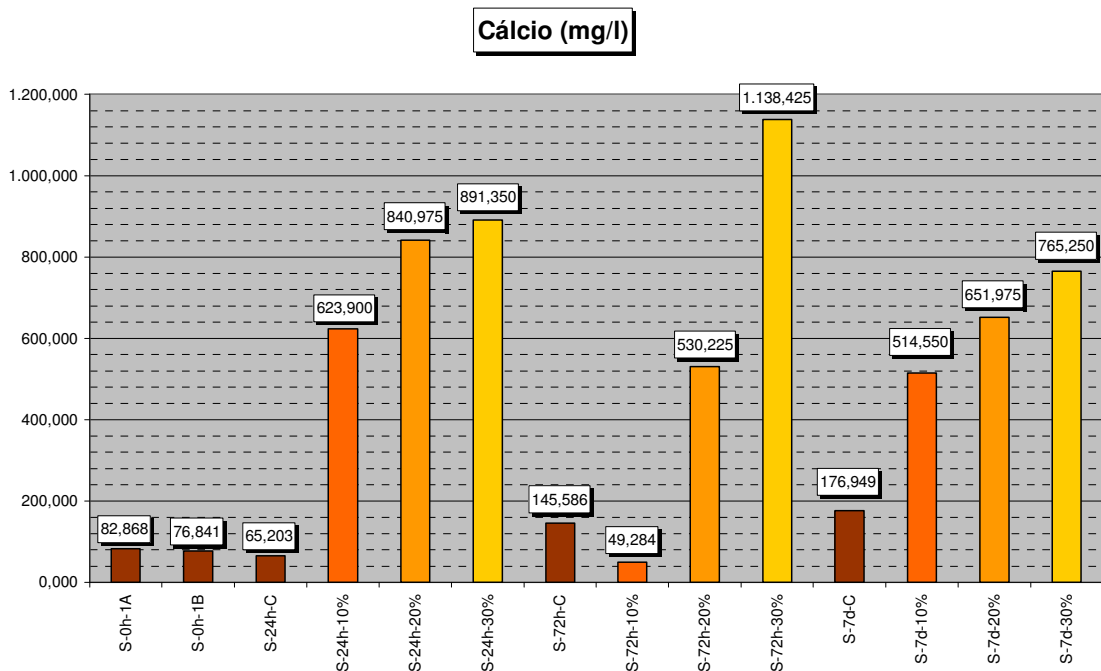


Figura 5.57 – Concentração de Cálcio (Ca) no extrato solubilizado dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

Os resultados permitem enquadrar o resíduo do desarenador, de acordo com a NBR 10.004 (ABNT, 2004a), como resíduo não perigoso, tanto aquele em estado bruto, como aquele tratado com cal hidratada, no entanto, como alguns parâmetros investigados excederam os valores limites especificados no anexo G, da referida norma, os mesmos devem ser classificados como Classe IIA – Não inertes.

5.2.3.3 Discussão sobre os resultados dos ensaios de lixiviação e solubilização dos resíduos do desarenador da ETE 02 Sul

A seguir é apresentada a análise e a comparação dos parâmetros físico-químicos estudados no extrato solubilizado do ensaio de solubilização com os valores limite indicados pela NBR 10.004 (ABNT, 2004a):

- ✓ pH: os valores do pH das amostras sem adição de cal ou com adição em doses de até 10% apresentaram-se dentro da faixa especificada pela norma, para dosagens de 20 a 30% de cal o limite de pH = 9,5 foi excedido.
- ✓ Turbidez: os valores de turbidez das amostras sem adição de cal, exceto a amostra S-7d-C, excederam o valor de 5,0 nTU preconizado pela norma. A adição de cal em todas as dosagens teve bons resultados e manteve o parâmetro dentro da faixa especificada pela norma.

- ✓ Cor real: a cal hidrata conseguiu reduzir modestamente o valor do parâmetro em algumas amostras, mas todas as amostras ficaram acima do valor preconizado pela norma. Como os valores ficaram muito acima dos preconizados pela norma, existe a possibilidade da metodologia utilizada ter influenciado nos resultados.
- ✓ SDT: conforme encontrado em Ide et al (1993), era esperado que os valores de sólidos dissolvidos totais aumentassem devido à adição de sólidos presentes na cal e a precipitação de sólidos dissolvidos. Todas as amostras com adição de cal excederam o valor limite preconizado pela norma de 1.000 mg/l. No entanto, as amostras sem adição de cal também apresentaram valores próximos ao limite, ligeiramente abaixo ou acima do mesmo.
- ✓ Sulfato: a adição de cal nas diversas porcentagens aumentou a concentração de sulfato, não excedendo em nenhuma amostra o valor preconizado pela norma, de 250 mg/l. Tal fator, segundo Lotito et al (1991), se deve ao fato da emissão de sulfetos voláteis ser suprimida em condições de pH alto.
- ✓ Cianeto: a adição de cal nas diversas porcentagens aumentou a concentração de cianeto para valores acima do preconizado pela norma, de 0,070 mg/l. Para as amostras sem adição de cal tal parâmetro não foi excedido.
- ✓ Nitrato: somente uma amostra (S-72h-C) ultrapassou o valor preconizado pela norma, de 10,0 mg/l. A adição de cal causou ligeira melhora no parâmetro na medida em que reduziu as concentrações de nitrato. Segundo Jordão e Pessoa (2005) tal fator pode ser explicado pelo fato do aumento do pH causar a volatilização do nitrogênio como amônia.
- ✓ Cloreto: a adição de cal e o tempo de contato com o mesmo aumentaram a concentração de cloretos no extrato solubilizado para valores acima do preconizado pela norma, de 250 mg/l. As amostras sem adição de cal permaneceram com concentrações dentro do parâmetro preconizado.
- ✓ Fluoretos: todas as amostras excederam o valor limite preconizado pela norma, de 1,50 mg/l de fluoreto. As amostras com adição de cal possuíram uma concentração de fluoreto ligeiramente acima das amostras sem adição.
- ✓ Dureza total: como era esperado, segundo Ide et al (1993), a adição de cal elevou a concentração de CaCO_3 para valores superiores ao limite de 500 mg/l, preconizado pela norma. Os valores deste parâmetro para amostras que não sofreram

incorporação de cal atenderam o limite da norma, exceto as amostras S-72h-C e S-7d-C.

- ✓ Fenóis: os picos de concentração ocorreram com amostras que tiveram incorporação de cal, mas não houve uma relação linear entre a adição de cal e a concentração de fenóis. Todas as amostras excederam o valor limite preconizado pela norma, de 0,010 mg/l.
- ✓ Surfactantes: não foi possível realizar a análise de surfactantes para todas as amostras devido à complexidade do ensaio, nas amostras analisadas fica evidente que quanto maior a adição de cal diminui a concentração de surfactantes no extrato solubilizado. Mesmo assim todas as amostras apresentaram-se com valores acima do limite preconizado pela norma, de 0,5 mg/l.

A seguir é apresentada a análise dos metais estudados no extrato solubilizado do ensaio de solubilização:

- ✓ Ferro: todas as amostras analisadas excederam o valor limite preconizado pela norma, de 0,3 mg/l. Mesmo assim nota-se um nítido decaimento da concentração de ferro no extrato solubilizado nas amostras com adição de cal.
- ✓ Zinco: todas as amostras analisadas não excederam o valor limite indicado pela norma, de 5,0 mg/l, no entanto não foi possível detectar diferença na variação desse metal entre as amostras com e sem adição de cal.
- ✓ Manganês: todas as amostras sem a adição de cal excederam a concentração limite determinada na norma, de 0,1 mg/l. A adição de cal obteve grande êxito na imobilização desse metal.
- ✓ Cobre: todas as amostras analisadas não excederam o valor limite preconizado pela norma, de 2,0 mg/l, no entanto a adição de cal aumentou a concentração desse parâmetro no extrato solubilizado, com uma relação não-linear à quantidade adicionada.
- ✓ Chumbo: nas amostras sem adição os valores encontrados situaram-se abaixo ou ligeiramente acima da concentração limite preconizada na norma, de 0,01 mg/l. Nas amostras com adição de cal em todas as proporções tal parâmetro foi excedido.

- ✓ Cádmio: todas as amostras analisadas excederam o valor limite preconizado pela norma, de 0,005 mg/l. Não foi possível detectar diferença na variação desse metal entre as amostras com e sem adição de cal.
- ✓ Sódio: todas as amostras analisadas não excederam o valor limite preconizado pela norma, de 200 mg/l. Não se detectou diferença entre a concentração desse metal e a presença ou não de cal.
- ✓ Prata: algumas amostras excederam o valor limite preconizado pela norma, de 0,05 mg/l mas, devido à variabilidade de resultados, não foi possível identificar a ação da cal na imobilização desse metal.
- ✓ Cromo: a maior parte das amostras com cal analisadas excederam o valor limite preconizado pela norma, de 0,05 mg/l mas, devido à variabilidade de resultados, não foi possível detectar a ação da cal na imobilização desse metal.
- ✓ Bário: todas as amostras analisadas excederam o valor limite indicado pela norma, de 0,7 mg/l. Detectou-se que o aumento da adição de cal gerou um aumento na concentração desse metal no extrato solubilizado.
- ✓ Alumínio: todas as amostras analisadas excederam o valor limite preconizado pela norma, de 0,2 mg/l. Não se detectou diferença entre a concentração desse metal e a presença ou não de cal.
- ✓ Cálcio: apesar desse metal não constar na lista preconizada pela norma a sua análise foi realizada com o intuito de se investigar a disponibilidade do mesmo no extrato solubilizado. A sua concentração aumentou conforme se aumentou a dosagem de cal, exceto na amostra S-72h-10.

Comparando-se os valores encontrados para as concentrações de metais antes e depois das adições de cal no extrato solubilizado das amostras com os encontrados em Xirokostas et al (2001), Hsiao e Lo (1998), Wong e Selvam (2005), Wong e Fang (1999) e Chagas (2000) para lodo biológico tratado com cal, verificam-se divergências, pois nos trabalhos de todos os autores citados a concentração dos diferentes metais analisados decaiu com a adição de cal, enquanto que para os valores encontrados nas análises desse trabalho somente o ferro (Fe) e o manganês (Mn) são parcialmente imobilizados pela adição de cal.

Tal discrepância se deve a dois fatores: em primeiro lugar todos os autores citados trabalharam com lodos biológicos de esgotos, material que possui características

completamente diferentes das do resíduo do desarenador; e em segundo lugar, todos os autores calcularam a concentração de metais, antes e após a adição de cal, em massa seca de lodo biológico, ou seja, comparando a quantidade em peso do metal, na unidade grama, com a quantidade de lodo em peso, na unidade quilograma. Sendo assim, conforme a incorporação de cal aumentava, a massa de lodo seco diminuía. Seus trabalhos foram citados somente como referência, pois não foi encontrada literatura específica sobre imobilização de elementos pela adição de cal para o resíduo do desarenador.

A diferença em relação à unidade em que é feita a análise do teor de metais, antes e após a caleação, pode ser verificada em Ide et al (1993). Nos resultados do seu experimento nota-se que quando o teor de metais, das amostras sem cal e com cal, é analisado em relação à massa seca, há um decaimento nos valores da concentração de todos os metais, exceto do cálcio, mas, quando se analisa o extrato solubilizado nota-se um aumento da concentração dos metais, exceto do cádmio.

Sendo assim, ao se comparar os valores encontrados por Ide et al (1993) para o extrato solubilizado do lodo biológico, com e sem adição de cal, com os encontrados nas análises do resíduo do desarenador, com e sem a adição de cal, verificam-se valores similares para o cobre, chumbo e cromo.

Comparando-se os resultados encontrados nas análises com os constantes no Anexo I, dos resíduos do desarenador das ETE's Belém e Atuba Sul de Curitiba – PR, verificam-se algumas diferenças entre os mesmos, fato esse que denota a heterogeneidade do resíduo, apesar de todos serem classificados como Classe IIA – Não inertes pela NBR 10.004 (ABNT, 2004a).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em consonância com os objetivos desse trabalho e a partir dos resultados das análises e dos experimentos apresentados no capítulo anterior, nesse capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho e as propostas para estudos futuros.

6.1 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que os resíduos do desarenador do tratamento preliminar de esgotos sanitários das ETE's 01 Norte e 02 Sul de Maringá – PR possuem características tais que inviabilizaram a proposição de alternativas para a sua reutilização, mesmo depois de tratados através de processo alcalino e, como os mesmos foram classificados como Classe II-A Não inertes, segundo a norma NBR 10.004 (ABNT, 2004a), a destinação final adequada para os mesmos, em conjunto com os resíduos do gradeamento, é sua disposição em um aterro exclusivo a ser construído, preferencialmente, na própria ETE.

De forma mais específica pode-se citar outras conclusões do trabalho:

- ✓ As visitas técnicas com levantamento de dados de projeto sobre as ETE's pesquisadas tiveram crucial importância para se conhecer as particularidades dos sistemas de tratamento preliminar de cada ETE pesquisada.
- ✓ Era esperado que as taxas de geração de resíduos do gradeamento e, principalmente, do desarenador do ETE 01 Norte fossem maiores que os da ETE 02 Sul pelo fato da mesma receber efluentes de caminhões auto-fossa.
- ✓ Não foi identificada uma correlação entre os dados da pluviometria do período e a taxa de geração de resíduos do gradeamento e do desarenador as ETE's pesquisadas.
- ✓ As análises qualitativas evidenciaram a má qualidade do resíduo do desarenador da ETE 01 Norte, principalmente em relação ao seu alto teor de umidade e grande quantidade de matéria orgânica. As possíveis causas dessas características indesejáveis são problemas operacionais e/ou falha ou falta de equipamentos.
- ✓ Os resultados encontrados evidenciaram a necessidade da implantação e operação adequada de um dispositivo de lavagem e/ou secagem da areia do desarenador das

ETE's estudadas, com vistas a se reduzir seu teor de umidade como também quantidade de matéria orgânica, diminuindo assim seu volume e putrescibilidade.

- ✓ A análise da amostragem composta mostrou que o teor de umidade depende muito da quantidade de matéria orgânica presente no resíduo do desarenador e que após totalmente seco o resíduo pode ser classificado, segundo NBR 7.211 (ABNT, 1983) e a análise granulométrica de agregado miúdo, como areia grossa, cabendo ainda outras análises complementares para comprovar essa possível utilização.
- ✓ Pela análise das frações orgânicas das porcentagens retidas nas peneiras do ensaio de granulometria conclui-se que a diminuição do espaçamento entre as grades do gradeamento causaria reduções modestas na quantidade de matéria orgânica do resíduo do desarenador, não justificando assim a sua implantação.
- ✓ A adição de cal nas diversas porcentagens e tempos de contato não conseguiu imobilizar efetivamente os elementos que determinam à classificação do resíduo do desarenador. Sendo assim tanto o resíduo em estado bruto quanto o resíduo com incorporação de cal podem ser classificados como Classe IIA – Não inertes, segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004a).

6.2 PROPOSTAS PARA ESTUDOS FUTUROS

A partir das observações ao longo da realização desse trabalho, algumas questões foram levantadas e abaixo são listadas como propostas para estudos futuros:

- ✓ Estudar outros processos de tratamento e disposição final para os resíduos do desarenador.
- ✓ Realizar estudos das características dos resíduos do desarenador após serem submetidos a sistemas de lavagem e secagem.
- ✓ Após tratamento, estudar a incorporação desse resíduo em materiais da construção civil tais como materiais cerâmicos e artefatos de cimento.
- ✓ Estudar novamente a incorporação de cal nos resíduos do desarenador, com dosagens e tempos de contato diferentes ou complementares aos estudados nesse trabalho.

7 REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos sólidos – classificação – NBR 10.004**. Rio de Janeiro, 2004a.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Amostragem de resíduos sólidos – NBR 10.007**. Rio de Janeiro, 2004d.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cal hidratada para argamassas - requisitos – NBR 7.175**. Rio de Janeiro, 2003.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário – NBR 9.648**. Rio de Janeiro, 1986.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos – NBR 10.005**. Rio de Janeiro, 2004b.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos – NBR 10.006**. Rio de Janeiro, 2004c.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário – NBR 12.209**. Rio de Janeiro, 2002a.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estações elevatórias de esgoto sanitário – NBR 12.208**. Rio de Janeiro, 2002b.
- ANDREOLI, C. V. (Coordenador). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. 1 ed. Curitiba, 2001.
- ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.; FERNANDES, F. **Reciclagem de biossólidos – transformando problemas em soluções**. Ed. Sanepar, Curitiba, 1999.
- ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. UFMG, Belo Horizonte, 2001.

- APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association. 20th ed., New York, 1998.
- CHAGAS, W. F. **Estudo de Patógenos e metais em lodo digerido bruto e higienizado para fins agrícolas, das estações de tratamento de esgotos da Ilha do Governador e da Penha no Estado do Rio de Janeiro**. 2000. Dissertação (Mestrado em Ciências em Saúde Pública) – Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro.
- CHERNICHARO, C. A. L. (Coordenador). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbicos**. PROSAB, Rio de Janeiro, 2001.
- CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 357 de 17 de Março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005.
- CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 375 de 29 de Agosto de 2006**. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Brasília, 2006.
- DACACH, N. G. **Tratamento primário de esgoto**. 1º ed. Rio de Janeiro, EDC, 1991.
- EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **A plain English guide to the EPA part 503 biosolids rule**. EPA/832/R-93/003, 1994.
- EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Biosolids generation, use and disposal in the United States**. Washington, EUA, 1999.
- EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge**. EPA/625/R-92/013, 1992.
- EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Preliminary treatment facilities – design and operational considerations**. Washington, EUA, 1987.

- FYTILI, D.; ZABANIOTOU, A. **Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods – a review**. Renewable & Sustainable Energy Reviews, vol. 12, pag. 116-140, 2008.
- GOUVEIA DA COSTA – CONSULTORIA E PROJETOS DE ENGENHARIA S/C. **Projeto de Engenharia da Ampliação e Pós Tratamento, Disposição de Lodo e Lançamento de Efluentes das ETE's de Maringá - PR**. SANEPAR, Maringá, 2000.
- HACH COMPANY. **Hach spectrophotometer handbook**. EUA, 1996.
- HSIAU, P. C.; LO, S. L. **Extractabilities of heavy metals in chemically-fixed sewage sludge**. Journal of Hazardous Materials, vol. 58, pag. 73-82, 1998.
- IAP – INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. **Diagnóstico da atual situação da disposição de resíduos sólidos urbanos e hospitalares do Estado do Paraná**. Curitiba, 2003.
- IDE, C. N.; DEUS, A. B. S.; LUCA, S. J.; BIDONE, F. R. **Tratamento de lodo bruto com cal - influência na sobrevivência de patógenos e na imobilização de metais pesados**. 17º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Natal, Rio Grande do Norte, 1993.
- IMHOFF, K. **Manual de tratamento de águas residuárias**. 21 ed. São Paulo, 1978.
- INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Dados da Estação Meteorológica MARINGÁ-A835**. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 07 de Novembro de 2007.
- JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4º ed. Rio de Janeiro, SEGRAC, 2005.
- KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Editora agronômica – CERES, São Paulo, 1985.
- LOTITO, V.; SPINOSA, L.; SANTORY, M. **Influence of digestion on sludge characteristics**. In: COLIN, F.; NEWMAN, P. J.; PUOLANNE, Y. J. Recent developments in sewage sludge processing. Brussels, Commission of the European Communities, pag. 32-40, 1991.

- MACHADO, M. F. DE S. **A situação brasileira dos biossólidos**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Campinas.
- MADER NETTO, O. S.; ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C.; TAMANINI, C. R.; FRANÇA, M. **Estudo das variações de pH no lodo caledado em função de diferentes dosagens de óxido de cálcio e teores de umidade**. Anais do 22º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Joinville, Santa Catarina, 2003.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; LIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas – princípios e aplicação**. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Ed. Piracicaba, 2 ed., São Paulo, 1997.
- METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**. 4º ed. New York, MacGraw-Hill, 2003.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº 518 de 25 de Março de 2004**. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília, 2004.
- NUVOLARI, A. (Coordenador). **Esgoto sanitário – coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. 1 ed. São Paulo, 2003.
- OORSCHOT, R. VAN; WAAL, D.; SEMPLE, L. **Options for beneficial reuse of biosolids in Victoria**. Water Science and Technology, vol. 41, nº 8, pag. 115-122, 2000.
- PRADO, G. S. **Concepção e estudo de uma unidade compacta para tratamento preliminar de esgoto sanitário composta por separador hidrodinâmico por vórtice e grade fina de fluxo tangencial**. 2006. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos.
- PROENSI – PROJETOS E ENGENHARIA DE SISTEMAS LTDA. **Projeto técnico do sistema de esgotos sanitários de Maringá – PR**. SANEPAR, Maringá, 1989.
- QASIM, S. R. **Wastewater treatment plants – planning, design, and operation**. 2 ed. Lancaster, EUA, 1999.

- SANEPAR – COMPANHIA DE SANEAMENTO DO ESTADO DO PARANÁ. **Relatório de classificação de resíduos sólidos.** TECLAB, São José dos Pinhais, 2005a.
- SANEPAR – COMPANHIA DE SANEAMENTO DO ESTADO DO PARANÁ. **Resíduos gerados no tratamento de esgoto.** Programa de Educação e Qualificação – Tratando o Esgoto – Ambiente Legal, Apostila 6, 2005b.
- SANEPAR – COMPANHIA DE SANEAMENTO DO ESTADO DO PARANÁ. **SIS – sistema de informação da Sanepar.** SANEPAR, Maringá, 2007.
- SANEPAR – COMPANHIA DE SANEAMENTO DO ESTADO DO PARANÁ. **Tratamento preliminar.** Programa de Educação e Qualificação – Tratando o Esgoto – Ambiente Legal, Apostila 2, 2005c.
- SANEPAR – COMPANHIA DE SANEAMENTO DO ESTADO DO PARANÁ. **Uso e manejo do lodo de esgotos na agricultura.** Ed. PROSAB/FINEP, 1999.
- SANTOS, A. D. **Estudo das possibilidades de reciclagem dos resíduos de tratamento de esgoto da região metropolitana de São Paulo.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo – Escola Politécnica.
- SOARES, P. F. **Sistemas de abastecimento de água.** UEM, PEU, Notas de aula, 2006.
- USP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Manual de procedimentos e técnicas laboratoriais voltado para análises de águas e esgotos sanitário e industrial.** Laboratório de Saneamento prof. Lucas Nogueira Garcez, Apostila, 2004.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 2 ed. Belo Horizonte, DESA-UFMG, 1996.
- VON SPERLING, M. **Lodos ativados, lagoas de estabilização e lagoas de polimento.** Seminário sobre tratamento de esgoto, SANEPAR, Curitiba, 2005.
- WEF – WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION. **Design of municipal wastewater treatment plants – manual of practice.** 4 ed. Alexandria, EUA, 1998.
- WEF – WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION. **Preliminary treatment for wastewater facilities - manual of practice – MOP 2.** 1 ed. Alexandria, EUA, 1994.

- WEF – WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION. **Sludge disinfection: a review of the literature.** Alexandria, EUA, 1986.
- WEF – WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION. **Sludge stabilization – manual of practice n° FD-9.** Prepared by Task force on sludge stabilization, Washington, EUA, 1985.
- WONG, J. W. C.; SELVAM, A. **Speciation of heavy metals during co-composting of sewage sludge with lime.** Chemosphere – Science for Environmental Technology, vol. 63, cap. 6, pag. 980-986, 2006.
- WONG, J. W. C.; FANG, M. **Effects of lime amendment on availability of heavy metals and maturation in sewage sludge composting.** Environmental Pollution, vol. 106, pag. 83-89, 1999.
- YAMANE, L. H. **Avaliação da higienização do resíduo de caixa de areia de estações de tratamento de esgoto.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo.
- XIROKOSTAS, N.; KORKOLIS, A.; DIAMANTOPOULOU, L. ZARKATHOULA, T.; MOUSATSOS, A. **Characterization of metal retention agents and study of their application in liquid wastes.** 7th Conference on Environmental Science and Technology, Ermoupolis, Syros Island, Greece, 2001.

8 APÊNDICES

8.1 APÊNDICE A



CONTROLE DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO TRATAMENTO PRELIMINAR							
TÉCNICOS RESPONSÁVEIS:		LUIZ G. B. TONELE / URMA		3263-9393	LOCAL:	ETE XX	
		ERICK C. TOMIELLO / USPONO		3261-1144			
RESÍDUO DO GRADEAMENTO							
MEDIÇÃO	DATA	INTERV. (DIAS)	HORÁRIO	VOLUME DE RESÍDUO (m3)	VOLUME ACUMULADO (m3)	DIFERENÇA (m3)	NOME DO(A) OPERADOR(A)
1	/ /		:				
2	/ /		:				
3	/ /		:				
4	/ /		:				
5	/ /		:				
6	/ /		:				
7	/ /		:				
8	/ /		:				
9	/ /		:				
10	/ /		:				
11	/ /		:				
12	/ /		:				
13	/ /		:				
14	/ /		:				
15	/ /		:				
16	/ /		:				
17	/ /		:				
18	/ /		:				
19	/ /		:				
20	/ /		:				
	nº dias		VT (m3)		VOL. DE ESG. TOTAL (m3)		
GER. P/ DIA (m3/dia)				VAZÃO. P/ DIA (m3/dia)			

Figura 8.1 – Planilha exemplo utilizada no monitoramento da geração de resíduos

8.2 APÊNDICE B

8.2.1 Caracterização qualitativa dos resíduos do desarenador da ETE Pinhalzinho do SES de Umuarama - PR

A ETE Pinhalzinho coleta esgotos sanitários do município de Umuarama e possui as seguintes unidades no sistema de tratamento preliminar:

- ✓ Gradeamento: possui gradeamento grosseiro com barras retas de 10 mm de espessura e espaçamento entre barras de 30 mm, com limpeza manual com ancinho e gradeamento médio mecanizado por meio de unidade de corrente transportadora com dentes plásticos, com 3 mm de espessura e 15 mm de espaçamento entre dentes. Possui armazenamento do material do gradeamento grosseiro e médio em uma caçamba metálica de 3,5 m³. Na entrada do desarenador possui gradeamento médio com barras retas de 10 mm de espessura e espaçamento entre barras de 15 mm, com limpeza manual através de ancinho, conforme apresentado na Figura 8.2.
- ✓ Desarenador: possui dois desarenadores do tipo ciclônico vortex, operando em paralelo, com sistema de remoção de areia mecanizada por meio da utilização de *air lift* e armazenamento do material em caçamba metálica de 3,5 m³, conforme apresentado na Figura 8.3.



Erick Christian Tomiello 06/06/07

Figura 8.2 – Gradeamento grosseiro e mecanizado da ETE Pinhalzinho



Erick Christian Tomiello 06/06/07

Figura 8.3 – Desarenador Ciclônico com remoção mecânica de areia da ETE Pinhalzinho

A amostragem do resíduo do desarenador foi realizada segundo os procedimentos descritos na norma NBR 10.007 – Amostragem de resíduos sólidos (ABNT, 2004c).

Como a ETE possui armazenamento dos resíduos do desarenador em caçamba metálica, utilizou-se pá de jardineiro e uma embalagem plástica para a coleta da amostra. A coleta da amostra foi realizada em 06/06/07 e as análises de laboratório foram realizadas em 06 e 07/06/07.

Os parâmetros analisados são apresentados na Tabela 8.1 a seguir:

Tabela 8.1 – Parâmetros analisados na amostra do resíduo do desarenador da ETE Pinhalzinho

Parâmetro	UD	Valor
Porcent. de umidade (umidade)	%	34,59
Porcent. de matéria orgânica total (MO _t)	%	17,93
Porcent. de resíduo mineral total (RM _t)	%	82,07
Porcent. de carbono orgânico total (CO _t)	%	9,96
Teor de sólidos totais (ST)	mg/l	628.627
Teor de sólidos fixos totais (SF)	mg/l	516.023
Teor de sólidos voláteis totais (SV)	mg/l	112.604
Relação SV/ST	%	17,93
Densidade (D _r)	g/ml	1,0214
Demanda química de oxigênio (DQO)	mg/l	14.749
Potencial hidrogeniônico (pH)	-	5,68

9 ANEXOS

9.1 ANEXO A

Tabela 9.1 – Resultado dos ensaios de lixiviação e solubilização dos resíduos do desarenador das ETE's Belém e Atuba Sul do SES de Curitiba - PR

Fonte: SANEPAR (2005a)

Parâmetro	ETE Belém		ETE Atuba Sul	
	Extrato Lixiviado	Extrato Solubilizado	Extrato Lixiviado	Extrato Solubilizado
Volume (ml)	1.600	-	1.800	-
Tempo de lixiviação (h)	18	-	18	-
Umidade (%)	44	-	20	-
pH	5,10	6,52	5,20	6,43
Turbidez (nTU)	-	2,0	-	20,0
Cor real (mg Pt-CO/l)	-	4,0	-	31,0
SDT (mg/l)	-	394,0	-	880,0
Sulfato (mg/l)	-	20,9	-	15,0
Cianeto (mg/l)	-	0,005	-	0,073
Nitrato (mg/l)	-	39,6	-	215,8
Cloreto (mg/l)	-	42,6	-	142,0
Fluoretos (mg/l)	0,41	<0,1	30,0	8,7
Dureza total (mg/l)	-	215,0	-	629,0
Fenóis (mg/l)	-	0,07	-	0,13
Surfactantes (mg/l)	-	0,08	-	0,12
Arsênio (mg/l)	0,012	0,003	0,022	0,002
Bário (mg/l)	<1	<0,7	<1	<0,7
Cádmio (mg/l)	0,08	0,009	0,0073	0,0007
Chumbo (mg/l)	0,081	0,012	0,084	0,011
Cromo (mg/l)	0,038	0,014	0,043	0,017
Mercúrio (mg/l)	0,0011	0,0008	0,0024	0,0003
Prata (mg/l)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Selênio (mg/l)	-	0,0007	-	0,0005
Alumínio (mg/l)	-	0,45	-	0,39
Cobre (mg/l)	-	0,23	-	0,52
Ferro (mg/l)	-	6,4	-	6,10
Manganês (mg/l)	-	0,5	-	<0,1
Sódio (mg/l)	-	43,1	-	40,2
Zinco (mg/l)	-	1,46	-	1,69

As amostras do resíduo do desarenador das ETE's Belém e Atuba Sul foram enquadradas, segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004a), como resíduo Classe IIA – Não inertes.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)