

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
E AMBIENTAL

AVALIAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS PRODUZIDOS EM
ÁREAS URBANAS: IMPACTOS SOBRE AS REDES DE
ÁGUAS PLUVIAIS

ELMAGNO CATARINO SANTOS SILVA

ORIENTADOR: NEWTON MOREIRA DE SOUZA, DSc.

TESE DE DOUTORADO EM GEOTECNIA

PUBLICAÇÃO: GTD-086/13

BRASÍLIA / DF: AGOSTO/ 2013

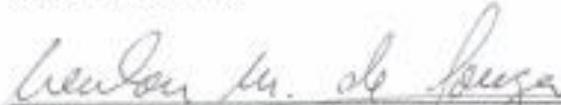
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
E AMBIENTAL

AVALIAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS PRODUZIDOS EM
ÁREAS URBANAS: IMPACTOS SOBRE AS REDES DE
ÁGUAS PLUVIAIS

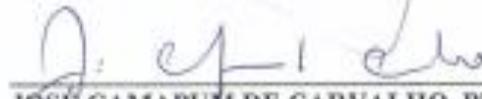
ELMAGNO CATARINO SANTOS SILVA

TESE SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE DE
BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
DOUTOR EM GEOTECNIA.

APROVADA POR:



NEWTON MOREIRA DE SOUZA, D.Sc (ENC - UnB)
ORIENTADOR



JOSE CAMAPUM DE CARVALHO, Ph.D (ENC - UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)



HERNAN MARTINEZ CARVAJAL, D.Sc (ENC - UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)



MARCIA MARIA DOS ANJOS MASCARENHAS, D.Sc (EEC - UFG)
(EXAMINADORA EXTERNA)



CLAUDIO FERNANDO MAHLER, D.Sc (COPPE - UFRJ)
(EXAMINADOR EXTERNO)

DATA: BRASÍLIA/DF, 02 de AGOSTO de 2013.

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, ELMAGNO CATARINO SANTOS

Avaliação dos Resíduos Sólidos Produzidos em Áreas Urbanas: Impactos sobre as Redes de Águas Pluviais.

xix, 115p..201X 297 mm (ENC/FT/UnB, Doutor, Geotecnia, 2013)

Tese de Doutorado - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil

1. Resíduos Sólidos

2. Geoprocessamento

3. Redes de águas pluviais

4. Boca de lobo

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, E.C.S. (2013). Avaliação dos Resíduos Sólidos Produzidos em Áreas Urbanas: Impactos sobre as Redes de Águas Pluviais. Tese de Doutorado, Publicação GTD - 086/13, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 115p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Elmagno Catarino Santos Silva

TÍTULO: Avaliação dos Resíduos Sólidos Produzidos em Áreas Urbanas: Impactos sobre as Redes de Águas Pluviais.

GRAU: Doutor / ANO: 2013

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Elmagno Catarino Santos Silva
SQN 404 Apto: 108 C Asa Norte
CEP: 70845-030 – Brasília/DF - Brasil
e-mail: elcatarino@yahoo.com.br

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Antônio Elmo da Silva e Magda Batista Santos Silva pelo incentivo e oportunidade que tem me dado no decorrer de toda a vida.

A minha tia Ana Margaret Santos Ferraz por ter contribuído desde minha infância no meu aprendizado, ensinando juntamente com minha mãe as primeiras letras do alfabeto.

A Maria Ferreira da Silva, Manoel Catarino da Silva, Zezita Ferreira de Araújo e Jean Hudson Santos (in memoriam) pelas experiências concedidas enquanto aqui nessa terra permaneceram.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao nosso Senhor Jesus Cristo pelas bênçãos concedidas e por cada dia ter me concedido forças para lutar e superar as dificuldades.

Agradeço ao professor Newton Moreira de Souza pela orientação, amizade, confiança e experiência compartilhada.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília.

Ao amigo Paulo Roberto Farias Falcão pelo convite para estudar na IESPlan e pela bolsa de estudos concedida.

Aos amigos Bernardo Cristóvão Colombo da Cunha, Carlos Petrônio Leite da Silva e Matheus Vinnicius da Silva Alves.

A minha namorada Zélia da Paz Pereira por estar sempre ajudando em todos os sentidos e pela companhia do dia a dia.

Aos funcionários da NOVACAP: Manoel Galvão Nunes, Paulo César da Conceição, Edvaldo Silva, Hilton dos Santos, Edinei Neves de Souza, Edson Batista, Cícero Francinaldo Pereira da Silva, Aparecido Donizette de Souza, Francisco das Chagas Gonçalves, Doriedson Manuel Barbosa e Nilton Alves da Matas, por ajudar diretamente ou indiretamente nas coletas dos materiais encontrados nas bocas de lobo. Agradecer também a Charles Silva de Aguiar, Ângelo Tiveron Junior e o ex-diretor da NOVACAP Fauzi Nacfur Júnior, por fornecer o laboratório da empresa para execução de alguns ensaios, designar alguns funcionários e liberar os caminhões da empresa para ajudar nas coletas e transportes dos materiais.

Ao funcionário Gustavo Fernandes de Araújo da Construção e Terraplenagem LTDA – Conter, por fornecer alguns dos materiais utilizados na revisão bibliográfica.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela bolsa de estudos fornecida ao longo dos quatro anos.

*“O Senhor é meu pastor e nada me faltará. Certamente
que a bondade e a misericórdia me seguirão
todos os dias de minha vida; e habitarei
na casa do Senhor por longos dias”*

AVALIAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS PRODUZIDOS EM ÁREAS URBANAS: IMPACTOS SOBRE AS REDES DE ÁGUAS PLUVIAIS

RESUMO

Os alagamentos são problemas recorrentes em áreas urbanas, devido principalmente a obstruções nos elementos de microdrenagens como as bocas de lobo, gerando problemas sociais, de saúde, ambientais e econômicos à população. Alguns estudos foram realizados sobre a influência de resíduos sólidos em sistemas de coleta de redes de águas pluviais, bem como sua caracterização e potencial chance de entupir bocas de lobo. O presente estudo objetivou descrever e analisar o panorama do Plano Piloto de Brasília e algumas cidades satélites (Ceilândia, Samambaia, Recanto das Emas). Foi realizada a coleta de resíduos sólidos nas bocas de lobo das cidades satélites e também de duas bocas de lobo localizadas na Asa Norte do Plano Piloto de Brasília, onde a partir das frações mais finas desses resíduos foi possível fazer ensaios de granulometria e verificar possíveis elementos que caracterizasse corrosividade e toxicidade por meio do ensaio de lixiviação. Também foi possível estimar o tempo de enchimento das bocas de lobo estudadas na Asa Norte por meio dos índices pluviométricos, quantidade de resíduos depositados. Foram analisadas as características das bacias de captação, como declividade, altitude, climas e uso e cobertura do solo. Os resultados e análises mostraram diversos tipos de classes de resíduos, entre eles, predominaram em todas as bocas de lobo os finos (matéria orgânica, silte, areia e argila) que podem ser considerados sedimentos. O perfil de resultados das cidades satélites de Ceilândia, Samambaia e Recanto das Emas foi diferenciado dos resultados dos dois pontos do Plano Piloto de Brasília, onde houve menor registro de plásticos nas bocas de lobo. De acordo com a média de pluviosidade anual fornecida pelo INMET e as medidas de resíduos acumulados, seriam necessários dois anos e dois meses para provocar o enchimento do volume total da boca de lobo do Iate Clube e cinco anos da UnB. Não foi registrada contaminação por hidrocarbonetos aromáticos e nem por toxicidade e corrosividade nos sedimentos coletados das bocas de lobo da Asa Norte do Plano Piloto de Brasília. No entanto, apesar de pequenas quantidades, foi registrada a presença de benzeno nos sedimentos coletados da boca de lobo da bacia de captação UnB. Este estudo contribui para o conhecimento do tipo de resíduo encontrado nas bocas de lobo de diferentes locais do Distrito Federal e sua possível influência no processo de enchimento das mesmas. Ressalta-se a importância de estudos como este para busca de soluções aos problemas de alagamentos, frequentes em regiões urbanizadas. Estudos futuros podem ser realizados com maior número de pontos por bacia estudada, além de pesquisas em outros elementos de microdrenagem.

EVALUATION OF SOLID WASTES PRODUCED IN URBAN AREAS: IMPACTS ON THE STORM DRAINAGE NETWORKS

ABSTRACT

The floods are recurring problems in urban areas, mainly due to obstructions in the minor drainage elements as gutter of streets, generating social, health, environmental and economic problems to the population. Some studies have been conducted on the influence of solid wastes in stormwater networks collection systems, as well as their characterization and potential chance of filling the gutter of streets. This study aimed to describe and to analyze the Plano Piloto of Brasilia city and some satellite cities (Ceilândia, Samambaia, Recanto das Emas) places of Distrito Federal. The sampling was done in gutter of streets of satellite cities as well as two gutter of streets located in the Asa Norte of the Brasilia Plano Piloto, which from the easily degradable fractions was possible to test and verify, using the leaching test, possible elements that characterize corrosivity and toxicity. Also, it was possible to estimate the time of filling the gutter of streets in the Asa Norte in Plano Piloto studied by means of rainfall, amount of waste disposed. Moreover, it was analyzed characteristics of the watershed, such as slope, altitude, climate and land use and cover. The results and analysis showed various classes of waste, with a predominance of easily degradable (organic matter, silt, sand and clay) which can be considered sediments. The profile results of the satellite cities of Ceilândia, Samambaia and Recanto das Emas was differentiated from results of the two points of the Brasília Plano Piloto, which was lower record plastic items in gutter of streets. According to average annual rainfall by INMET and amount of accumulated wastes, would be required two years and two months to cause the filling of Iate Clube gutter of streets and five years for UnB. It was not recorded aromatic hydrocarbon contamination nor toxicity and corrosiveness of sediment in gutter of streets studied in the Brasília Plano Piloto. Although low quantities, it was record the presence of benzene in the sediments collected in gutter of streets of UnB basin. This study contributes to the knowledge type of wastes found in the gutter of streets of different locations of the Distrito Federal and its possible influence on the process of filling them. We emphasize the importance of studies like this to find solutions to the problems of flooding, frequent in urbanized regions. Future studies can be conducted with the highest number of points for the study area, as well as research in other elements of minor drainage.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVO GERAL	3
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.3. ÁREA DE ESTUDO.....	3
2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. DRENAGEM URBANA.....	6
2.2. VISÃO GERAL DOS SEDIMENTOS	8
2.3. EROÇÃO E PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM ÁREAS URBANAS	9
2.4. TRANSPORTES DE SEDIMENTOS.....	10
2.5. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS SEDIMENTOS.....	11
2.6. MEDIDAS DE CONTROLE PARA RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	12
2.7. CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	12
2.7.1. ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA	13
2.7.2. ENSAIO DE GRANULOMETRIA	13
2.7.3. ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL – LIXIVIAÇÃO.....	14
2.7.4. ENSAIO DE CROMATOGRÁFIA GASOSA.....	15
2.8. MEIOS QUE TRAZEM CONTAMINAÇÃO PARA OS CORPOS D’ ÁGUA	15
2.8.1. CONTAMINAÇÃO ADVINDA DE ESGOTOS SANITÁRIOS.....	15
2.8.2. CONTAMINAÇÃO DECORRENTE DE ATIVIDADES AGRÍCOLAS	15
2.8.3. CONTAMINAÇÃO PROVENIENTE DA EXPLORAÇÃO DE RECURSOS E VAZAMENTO DE COMBUSTÍVEIS	16
2.9. PROBLEMAS ENCONTRADOS NAS REDES DE ÁGUAS PLUVIAS DO DISTRITO FEDERAL E CIDADES SATÉLITES	16
2.9.1. PLANO PILOTO	16
2.9.2. CIDADE DE SOBRADINHO	23
2.9.3. CIDADE DE CEILÂNDIA.....	24
2.9.4. CIDADES QUE JÁ FORAM VIDEOINSPECIONADAS DEVIDO A PROBLEMAS ENCONTRADOS NOS ELEMENTOS DE MICRODRENAGENS	26

2.10. CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS.....	27
3. MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1. DEFINIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO	29
3.2. DIGITALIZAÇÃO DAS REDES DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	30
3.3. PROCEDIMENTOS ADOTADOS PARA ELABORAÇÃO DE CARTAS POR MEIO DO PROGRAMA COMPUTACIONAL SPRING 5.1.8	30
3.3.1. CARTA BASE.....	30
3.3.2. IMAGEM DA ÁREA DE ESTUDO	30
3.3.3. CARTA DAS REDES DE ÁGUAS PLUVIAIS	31
3.3.4. CARTA HIPSOMÉTRICA	31
3.3.5. CARTA DE DECLIVIDADE	31
3.3.6. CARTA DE USO E COBERTURA DO SOLO	32
3.4. ETAPA DE CAMPO E LABORATÓRIO	32
3.4.1. RECONHECIMENTO DOS DOIS EXUTÓRIOS.....	32
3.4.2. DESOBSTRUÇÃO APLICADA NOS ELEMENTOS DE MICRODRENAGENS.....	33
3.4.3. DESTINO DOS SEDIMENTOS RETIRADOS NOS ELEMENTOS DE MICRODRENAGENS	34
3.4.4. COLETA DOS RESÍDUOS PARA CARACTERIZAÇÃO FÍSICA	35
3.4.4.1. RESÍDUOS COLETADOS NA CIDADE DE CEILÂNDIA.....	36
3.4.4.2. RESÍDUOS COLETADOS NA CIDADE DE SAMAMBAIA.....	36
3.4.4.3. RESÍDUOS COLETADOS NA CIDADE DO RECANTO DAS EMAS.....	37
3.4.4.4. RESÍDUOS COLETADOS NA BOCA DE LOBO QUE DÁ ACESSO A GALERIA DENOMINADA UNB.....	37
3.4.4.5. RESÍDUOS COLETADOS NA BOCA DE LOBO QUE DÁ ACESSO A GALERIA DENOMINADA IATE CLUBE.....	38
3.4.5. NO LABORATÓRIO	39
3.4.5.1. OBTENÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA E DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE ÚMIDA E SECA	39
3.4.5.2. OBTENÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA, MASSA ÚMIDA E DO VOLUME DOS RESÍDUOS PARA ESTIMATIVA DO ENCHIMENTO DAS BOCAS DE LOBO	40

3.4.5.3. REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE CROMATOGRAFIA GASOSA	42
3.4.5.4. REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE CUNHO AMBIENTAL – LIXIVIAÇÃO	43
4. ANÁLISES E RESULTADOS	44
4.1. ÁREAS DE LANÇAMENTO – CARACTERIZAÇÃO VISUAL	44
4.2. CARTAS GERADAS A PARTIR DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA SPRING 5.1.6 ...	45
4.2.1. CARTA DAS REDES DE ÁGUAS PLUVIAIS – ASA NORTE DO PLANO PILOTO.....	45
4.2.2. CARTA HIPSOMÉTRICA - ASA NORTE DO PLANO PILOTO.....	47
4.2.3. CARTA DE DECLIVIDADE – ASA NORTE DO PLANO PILOTO	48
4.2.4. CARTA DE USO E COBERTURA DO SOLO - ASA NORTE DO PLANO PILOTO.....	51
4.3. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS RESÍDUOS – CIDADE DE CEILÂNDIA.....	54
4.4. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS RESÍDUOS – CIDADE DE SAMAMBAIA	56
4.4.1. CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA - SAMAMBAIA.....	58
4.5. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS RESÍDUOS – CIDADE DO RECANTO DAS EMAS.....	58
4.5.1. CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA – RECANTO DAS EMAS.....	60
4.6. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS RESÍDUOS - BOCA DE LOBO QUE DÁ ACESSO A GALERIA DENOMINADA DE IATE CLUBE	61
4.6.1. CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA - AMOSTRA DO PONTO 03.....	63
4.7. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS RESÍDUOS - BOCA DE LOBO QUE DÁ ACESSO A GALERIA DENOMINADA UNB	64
4.7.1. CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA - AMOSTRA DO PONTO 04 (UnB)	66
4.8. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS RESÍDUOS APLICANDO O QUARTEAMENTO – BOCAS DE LOBO DOS PONTOS 03 (IATE CLUBE) E 04 (UnB).....	67
4.9. ESTIMATIVA DE ENCHIMENTO PARA A BOCA DE LOBO QUE DÁ ACESSO A GALERIA IATE CLUBE (PONTO 03)	68
4.10. ESTIMATIVA DE ENCHIMENTO PARA A BOCA DE LOBO QUE DÁ ACESSO A GALERIA DENOMINADA DE UNB (PONTO 04).....	79
4.11. ANÁLISE DO ENSAIO DE CROMATOGRAFIA GASOSA	87
4.12. REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE CUNHO AMBIENTAL – LIXIVIAÇÃO	89
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	91

5.1. CONCLUSÕES.....	91
5.2. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
APÊNDICE.....	101
PRECIPITAÇÃO ACUMULADA A CADA 5 DIAS (ANO 2003).....	102
PRECIPITAÇÃO ACUMULADA A CADA 5 DIAS (ANO 2004).....	103
PRECIPITAÇÃO ACUMULADA A CADA 5 DIAS (ANO 2005).....	104
PRECIPITAÇÃO ACUMULADA A CADA 5 DIAS (ANO 2006).....	105
PRECIPITAÇÃO ACUMULADA A CADA 5 DIAS (ANO 2007).....	106
PRECIPITAÇÃO ACUMULADA A CADA 5 DIAS (ANO 2008).....	107
PRECIPITAÇÃO ACUMULADA A CADA 5 DIAS (ANO 2009).....	108
PRECIPITAÇÃO ACUMULADA A CADA 5 DIAS (ANO 2010).....	109
PRECIPITAÇÃO ACUMULADA A CADA 5 DIAS (ANO 2011).....	110
PRECIPITAÇÃO ACUMULADA A CADA 5 DIAS (ANO 2012).....	111
PRECIPITAÇÃO ACUMULADA A CADA 5 DIAS (ANO 2013).....	112
RESULTADO DO ENSAIO DE CROMATOGRAFIA GASOSA PARA A MOSTRA COLETADA DA BOCA DE LOBO DA BACIA DE CAPTAÇÃO IATE CLUBE.....	113
RESULTADO DO ENSAIO DE CROMATOGRAFIA GASOSA PARA A MOSTRA COLETADA DA BOCA DE LOBO DA BACIA DE CAPTAÇÃO UNB.....	114
RESULTADO DO ENSAIO DE CUNHO AMBIENTAL - LIXIVIAÇÃO: BOCAS DE LOBO DA BACIA DE CAPTAÇÃO IATE CLUBE E UNB.....	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 2. 1 - Grupo de substâncias dos RSU (Resíduos Sólidos Urbanos)	13
Tabela 4. 1 - Intervalos de classes e áreas correspondentes para a bacia de captação UnB ...	47
Tabela 4. 2 - Intervalos de classes e áreas correspondentes para a bacia de captação Iate Clube	47
Tabela 4. 3 - Classes de declividade e áreas correspondentes para a bacia de captação UnB	48
Tabela 4. 4 - Classes de declividade e áreas correspondentes para a bacia de captação Iate Clube	48
Tabela 4. 5 - Classes de uso e cobertura do solo e áreas correspondentes para a bacia de captação Iate Clube	51
Tabela 4. 6 - Classes de uso e cobertura do solo e áreas correspondentes para a bacia de captação UnB	52
Tabela 4. 7 - Composição gravimétrica dos sedimentos e resíduos de Ceilândia (% base úmida).....	55
Tabela 4. 8 - Composição gravimétrica dos sedimentos e resíduos de Ceilândia (% base seca)	55
Tabela 4. 9 - Composição gravimétrica dos sedimentos e resíduos de Samambaia (% base úmida).....	56
Tabela 4. 10 - Composição gravimétrica dos sedimentos e resíduos de Samambaia (% base seca).....	57
Tabela 4. 11 - Granulometria obtida para os sedimentos da cidade de Samambaia	58
Tabela 4. 12 - Composição gravimétrica dos sedimentos e resíduos do Recanto das Emas (% base úmida)	60
Tabela 4. 13 - Composição gravimétrica dos sedimentos e resíduos do Recanto das Emas (% base seca).....	60
Tabela 4. 14 - Granulometria obtida para os sedimentos da cidade do Recanto das Emas	60
Tabela 4. 15 - Composição gravimétrica dos sedimentos e resíduos da boca de lobo do ponto 03 (% base úmida).....	62
Tabela 4. 16 - Percentuais obtidos do ensaio de granulometria para amostra do ponto 03 (Iate Clube).....	63
Tabela 4. 17 - Composição gravimétrica dos sedimentos e resíduos da boca de lobo do ponto 04 (% base úmida).....	65

Tabela 4. 18 - Composição gravimétrica dos sedimentos e resíduos da boca de lobo do ponto 04 (% base seca).....	66
Tabela 4. 19 - Percentuais obtidos do ensaio de granulometria para amostra do ponto 04 (UnB).....	66
Tabela 4. 20 - Composição gravimétrica da primeira coleta ao atingir a marcação dos 10 cm (% base úmida).....	70
Tabela 4. 21 - Composição gravimétrica da primeira coleta ao atingir a marcação dos 10 cm (% base seca).....	71
Tabela 4. 22 - Composição gravimétrica da segunda coleta ao atingir a marcação dos 5 cm (% base úmida).....	73
Tabela 4. 23 - Composição gravimétrica da primeira coleta ao atingir a marcação dos 5 cm (% base seca).....	73
Tabela 4. 24 - Composição gravimétrica da terceira coleta ao atingir a marcação dos 5 cm (% base úmida)	75
Tabela 4. 25 - Composição gravimétrica da terceira coleta ao atingir a marcação dos 5 cm (% base seca).....	75
Tabela 4. 26 - Parâmetros para estimativa de enchimento da boca de lobo (Iate Clube).....	77
Tabela 4. 27 - Volume anual carreado e estimativa de enchimento	77
Tabela 4. 28 - Parâmetros para estimativa de enchimento da boca de lobo (Iate Clube) considerando valores de precipitação maiores que cinco milímetros	78
Tabela 4. 29 - Parâmetros para estimativa de enchimento da boca de lobo (Iate Clube) considerando valores de precipitação maiores que dez milímetros	78
Tabela 4. 30 - Volume anual carreado e estimativa de enchimento (Iate Clube) considerando valores de precipitação maiores que cinco milímetros.....	79
Tabela 4. 31 - Volume anual carreado e estimativa de enchimento (Iate Clube) considerando valores de precipitação maiores que dez milímetros.....	79
Tabela 4. 32 - Parâmetros para estimativa de enchimento da boca de lobo do ponto 04 (UnB)	85
Tabela 4. 33 - Volume anual carreado e estimativa de enchimento para o ponto 04 (UnB)...	85
Tabela 4. 34 - Parâmetros para estimativa de enchimento da boca de lobo (UnB) considerando valores de precipitação maiores que cinco milímetros	86
Tabela 4. 35 - Parâmetros para estimativa de enchimento da boca de lobo (UnB) considerando valores de precipitação maiores que dez milímetros	86

Tabela 4. 36 - Volume anual carreado e estimativa de enchimento (UnB) considerando valores de precipitação maiores que cinco milímetros.....	87
Tabela 4. 37 - Volume anual carreado e estimativa de enchimento (UnB) considerando valores de precipitação maiores que dez milímetros.....	87
Tabela 4. 38 - Resultado do ensaio de cromatografia gasosa para o ponto 03 (Iate Clube) ...	88
Tabela 4. 39 - Resultado do ensaio de cromatografia gasosa para o ponto 04 (UnB)	88
Tabela 4. 40 - Resultados obtidos para o ensaio de cunho ambiental	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. 1 - Vista parcial das áreas de estudo da Asa Norte.....	5
Figura 2. 1 - Feição erosiva tipo ravina.....	9
Figura 2. 2 - Fontes de sedimentos.....	11
Figura 2. 3 - Processo de lixiviação	14
Figura 2. 4 - Local de ocorrência de infiltração de esgoto na rede	17
Figura 2. 5 - Trecho em bom estado com presença de esgoto na UnB	17
Figura 2. 6 - Robô utilizado nas inspeções	18
Figura 2. 7 - Pedras e lixo na rede/PV 01	18
Figura 2. 8 - Vestígio de esgoto sanitário caindo na galeria denominada Iate Clube.....	19
Figura 2. 9 - Armaduras expostas: galeria denominada de Iate Clube.....	19
Figura 2. 10 - Patologia causa por desgaste a abrasão	20
Figura 2. 11 - Vestígio de esgoto sanitário e surgimento de trincas: galeria denominada de UnB	20
Figura 2. 12 - Enxurrada entrando em anfiteatro do ICC da UnB em evento de alagamento em 2011	21
Figura 2. 13 - Panorama dos estragos causados por evento de alagamento na Universidade de Brasília. Adaptado do Correio Braziliense (2011)	21
Figura 2. 14 - Mancha de óleo espalhando no Lago Paranoá	22
Figura 2. 15 - Vista do trecho de nº 2.....	23
Figura 2. 16 - PV 02 com rachadura	23
Figura 2. 17 - Local de ocorrência da obstrução	24
Figura 2. 18 - Rede obstruída por lixo e pedras	24
Figura 2. 19 - Localização da rede	25
Figura 2. 20 - Presença de lixo após 1,70 metros do início da inspeção.....	25
Figura 2. 21 - Obstrução na Rede A por lixo	25
Figura 2. 22 - Trecho assoreado e com lama devido erosão local	26
Figura 2. 23 - Áreas videoinspecionadas em Planaltina	27
Figura 2. 24 - Áreas videoinspecionadas em Brazlândia	27
Figura 2. 25 - Variação da capacidade de infiltração real de um solo e distribuição de.....	28
Figura 3. 1 - Imagem do satélite IKONUS II representativa da área de estudo.....	31
Figura 3. 2 - Contribuinte da galeria que dá acesso ao lançamento UnB	33
Figura 3. 3 - Caminhão pipa abastecendo o caminhão desobstruidor.....	33

Figura 3. 4 - Desobstrução da rede.....	34
Figura 3. 5 - Local provisório dos sedimentos dragados	35
Figura 3. 6 - Sarjeta (esquerda) e resíduos coletados (direita)	36
Figura 3. 7 - Local de coleta dos resíduos da cidade de Samambaia	37
Figura 3. 8 - Local de coleta (esquerda) e resíduos retirados da boca de lobo (direita)	37
Figura 3. 9 - Funcionários ajudando na coleta dos resíduos (esquerda) e visão da boca de lobo UnB (direita)	38
Figura 3. 10 - Resíduos (direita) e coleta com a ajuda dos funcionários da NOVACAP (esquerda)	38
Figura 3. 11 - Tela instalada na boca de lobo	40
Figura 3. 12 - Boca de lobo (ponto 03 - Iate Clube) com as marcações internas	41
Figura 3. 13 - Equipamento utilizado para detecção de concentração de gases	43
Figura 4. 1 - Galeria denominada de UnB	44
Figura 4. 2 - Exutório da galeria denominada de Iate Clube	45
Figura 4. 3 - Carta de Rede de Águas Pluviais	46
Figura 4. 4 - Carta hipsométrica.....	49
Figura 4. 5 - Carta de declividade	50
Figura 4. 6 - Carta de uso e cobertura do solo	53
Figura 4. 7 - Percentual apresentado por cada classe de sedimentos e resíduos.....	54
Figura 4. 8 - Finos (esquerda) e plásticos (direita) coletados	54
Figura 4. 9 - Comparativo quantitativo em percentuais dos sedimentos e resíduos da cidade de Samambaia	57
Figura 4. 10 - Resíduos secando com auxílio de lâmpadas em recinto próprio na NOVACAP	57
Figura 4. 11 - Resultados obtidos para a amostra de sedimentos coletada na cidade de Samambaia	58
Figura 4. 12 - Percentual representativo por classe de sedimentos e resíduos.....	59
Figura 4. 13 - Classes com maiores percentuais: plásticos (esquerda) e finos (direita).....	59
Figura 4. 14 - Resultados obtidos para a amostra de sedimento coletada na cidade do Recanto das Emas.....	61
Figura 4. 15 - Materiais das classes pedregulhosos (brita) (esquerda) e finos (direita).....	62
Figura 4. 16 - Representação da massa (base úmida) para o ponto 03	63
Figura 4. 17 - Representação da massa (base seca) para o ponto 03	63
Figura 4. 18 - Resultados obtidos para a amostra do ponto 03 (Iate Clube).....	64

Figura 4. 19 - Materiais das classes finos (esquerda) e plásticos (direita)	65
Figura 4. 20 - Representação da massa e dos percentuais (base úmida) para o ponto 04 (UnB)	65
Figura 4. 21 - Representação da massa e dos percentuais (base seca) para o ponto 04 (UnB)	66
Figura 4. 22 - Curva granulométrica obtida para a amostra do ponto 04 (UnB)	67
Figura 4. 23 - Sedimentos e resíduos caracterizados pós quarteamento (ponto 03 – Iate Clube).....	68
Figura 4. 24 - Sedimentos e resíduos caracterizados pós quarteamento (ponto 04 - UnB)	68
Figura 4. 25 - Dados pluviométricos registrados pelo INMET de 21 a 28/09/2012.....	69
Figura 4. 26 - Massa retirada da boca de lobo do ponto 03	69
Figura 4. 27 - Valor de massa úmida obtida (ponto 03).....	70
Figura 4. 28 - Primeiros sedimentos e resíduos coletados ao atingirem a marcação dos 10 cm	71
Figura 4. 29 - Coleta dos resíduos no dia 24 de novembro.....	72
Figura 4. 30 - Dados pluviométricos registrados pelo INMET de 09/10 a 23/11/2012.....	72
Figura 4. 31 - Massa úmida coletada no dia 24 de novembro.....	73
Figura 4. 32 - Resíduos encontrados e coletados em 07 de fevereiro de 2013	74
Figura 4. 33 - Dados pluviométricos registrados pelo INMET de 26/11/12 a 06/02/2013.....	74
Figura 4. 34 - Valor de massa úmida obtido da coleta.....	75
Figura 4. 35 - Resumo das precipitações, massa úmida e altura para análise comparativa	76
Figura 4. 36 - Dados pluviométricos registrados pelo INMET de 21/09 a 23/10/2012.....	79
Figura 4. 37 - Sedimento ocupando a altura de 5 cm dentro da boca de lobo	80
Figura 4. 38 - Valor de massa úmida obtida (ponto 04 - UnB).....	80
Figura 4. 39 - Sedimentos coletado após atingir na boca de lobo 5 cm de altura	81
Figura 4. 40 - Sedimento coletado em 16/12/2012	81
Figura 4. 41 - Dados pluviométricos registrados pelo INMET de 01/11 a 14/12/2012.....	82
Figura 4. 42 - Valor de massa úmida obtida em 16/12/2012	82
Figura 4. 43 - Sedimentos coletados em 01/04/2013	83
Figura 4. 44 - Dados pluviométricos registrados pelo INMET de 15/12/2012 a 31/03/2013. 83	
Figura 4. 45 - Resumo das precipitações, massa úmida e altura atingida pelo material	84

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

% - Por cento

$\mu\text{g/L}$ - Micrograma por litro

μL - Microlitro

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AGNPS - *Agricultural Nonpoint Source Pollution*

BMP - *Best Management Practices*

CAD – *Computer Aided Design*

cm - Centímetros

Conter - Construção e Terraplanagem LTDA

COV – Compostos Orgânicos Voláteis

DEMA - Delegacia do Meio Ambiente

DF - Distrito Federal

EPI - Equipamento de Proteção Individual

g - Gramas

GPS - Sistema de Posicionamento Global

h - Altura da boca de lobo

ha - Hectare

HRAN - Hospital Regional da Asa Norte

IBAM - Instituto Brasileiro de Administração Municipal

IBRAM - Instituto Brasília Ambiental

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

KINEROS - *Kinematic Runoff and Erosion Model*

km^2 - Quilômetros quadrados

L - litro

m - Metros

m^3 - Metros cúbicos

mL - Mililitros

mm - Milímetros

MNT - Modelo Numérico de Terreno

MUSLE - Equação Universal de Perda dos Solos Modificada

NaOH - Hidróxido de sódio

NOVACAP - Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil

° - Graus

pH - Potencial Hidrogeniônico

PI - Plano de Informação

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

s - Segundos

SCS - Soil Conservation Service (*serviço de conservação dos solos dos Estados Unidos da America do Norte*)

SICAD - Sistema Cartográfico do Distrito Federal

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas

SUDECAP - Superintendência de Desenvolvimento da Capital

SWAT - *Soil and Water Assessment Tool*

SWMM - Storm Water Management Model

UESPA - United States Environmental Protection Agency

UnB - Universidade de Brasília

USDA-ARS - Departamento de Agricultura dos Estados Unidos-Serviço de Pesquisa na Agricultura

w - Massa úmida

WEPP - *Water Erosion Prediction Project*

WGS 84 - *World Geodetic System 1984*

WGr - Oeste de Greenwich

y - Massa específica aparente úmida

ys - Massa específica aparente seca

µg/L - Micrograma por litro

1. INTRODUÇÃO

Bacia hidrográfica é a área ocupada por um rio principal e todos os seus tributários, cujos limites constituem as vertentes, que por sua vez, limitam outras bacias (Oliveira, 1993). Associada a uma dada seção fluvial ou exutório, uma bacia hidrográfica é individualizada pelos seus divisores de água e pela rede fluvial de drenagem (ponto de vista cartográfico) (Deffontaines & Chorowicz, 1991; Oliveira, 1993). Os divisores de água são as cristas das elevações do terreno que separam a drenagem da precipitação entre duas bacias adjacentes, e a rede de drenagem constitui um conjunto de superfícies topográficas subaéreas, as quais são contíguas com pendentes ladeiras acima, em todos os lados, à exceção da direção do fluxo da água (Deffontaines & Chorowicz, 1991).

No contexto da urbanização, fatores como impermeabilização do solo, aterros, drenagens inadequadas e assoreamento, prejudicam as redes de drenagem e microdrenagem, acarretando em obstrução das mesmas e eventos de inundação (Tucci, 2008). Um dos fatores que mais contribui para obstrução das redes de drenagem urbana é o aumento da produção de sedimentos (materiais finos) pela falta de proteção das superfícies e aumento de resíduos sólidos (materiais que podem trazer riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública), como lixo (Tucci, 2008).

Estudos sobre resíduos em sistemas de coleta de redes de águas pluviais possuem grande relevância, pois têm o papel de elucidar e contribuir com soluções a problemas como assoreamento de lagos e reservatórios, contaminação, entre outros. Os sedimentos e resíduos podem ser levados em suspensão ou por arraste até lagos e reservatórios ou acumulados em poços de visitas e bocas de lobo. Esses poços e bocas de lobo correspondem aos elementos principais das redes de microdrenagens construídas nas áreas urbanas, os quais são responsáveis pela retenção de resíduos e sedimentos.

A determinação das concentrações de sedimentos e resíduos em poços de visitas (local de acesso aos condutos, para sua manutenção, que funciona como caixa de ligação aos ramais secundários), bocas de lobo e em suspensão ou depositados nos reservatórios e lagos são de suma importância para avaliação de seus impactos sobre uma dada bacia hidrográfica. Para

essa determinação pode-se coletar amostras físicas de sedimentos e resíduos, as quais permitirão verificar por meio de estudo de contaminantes os principais “elementos” que chegam a um determinado lago ou reservatório.

Atualmente a erosão do solo é globalmente considerada como uma das formas mais sérias de degradação da paisagem, visto que os seres humanos são considerados os principais agentes causadores da erosão no planeta, resultando em diferentes tipos de impactos ambientais (Booth & Jackson, 1997). Um dos impactos diretos da aceleração dos processos erosivos é o aumento da produção de sedimentos, originados de fontes diversas, como por exemplo, desmatamentos, uso e ocupação inadequada dos solos, crescente urbanização, entre outros (Booth & Jackson, 1997; Montgomery & MacDonald, 2002).

Um das preocupações atuais não só no Brasil, mas no mundo, são os impactos que os sedimentos e resíduos podem causar em áreas urbanas e rurais. Um exemplo é o aumento do número de reservatórios artificiais para diversos usos, principalmente para geração de energia elétrica e abastecimento humano, onde as cargas de sedimentos podem diminuir a vida útil dos mesmos (Tucci, 2004).

Em áreas urbanas, como a do Plano Piloto no Distrito Federal, ocorrem problemas como enchentes, alagamentos e inundações. Isso se deve ao fato do escoamento superficial sofrer alterações substanciais em decorrência do processo de urbanização desordenada, principalmente como consequência da impermeabilização da superfície, o que produz maiores picos de vazões (Silveira *et al.*, 2003; Tucci, 2004). Vale ressaltar que o escoamento superficial da água transporta o material solto ou solúvel até os corpos d’água, levando cargas poluidoras bastante significativas (Tucci, 2008).

As redes de drenagem urbanas funcionam como “veículo” de cargas poluidoras, tendo como consequência o acúmulo excessivo de sedimentos e resíduos que leva a danificação das redes (Silveira *et al.*, 2003). A presença destes sedimentos na rede de drenagem como também nos cursos d’água, requer a realização de estudos de caracterização e quantificação dos sedimentos nas áreas urbanas.

Tais estudos são de fundamental importância para as bacias urbanas, pela complexidade do fenômeno e principalmente devido a sua propagação no decorrer do tempo e espaço. Além

disso, a quantificação dos resíduos sólidos é essencial para uma adequada gestão de suas fontes e redução do impacto dos mesmos sobre os sistemas hídricos.

1.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi caracterizar e quantificar a produção de resíduos sólidos presentes nos elementos de microdrenagem.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

As atividades desenvolvidas neste trabalho visam atingir os seguintes objetivos específicos:

- Verificar os principais problemas existentes nos elementos de microdrenagem em Brasília e nas cidades satélites do Distrito Federal;
- Identificar os procedimentos adotados para manutenção do sistema de drenagem urbana das águas pluviais;
- Estudar as características dos resíduos encontrados nas bocas de lobo de diversas localidades do DF;
- Estimar o tempo de enchimento das bocas de lobo das áreas chaves, levando em consideração a precipitação dos meses chuvosos e o volume de resíduos acumulados nas bocas de lobo;
- Analisar por meio do ensaio de cromatografia gasosa se as amostras coletadas apresentam contaminação advinda de combustíveis; e
- Analisar a partir do ensaio de lixiviação se as amostras coletadas nas bocas de lobo do Plano Piloto de Brasília apresentam concentrações que caracterizem ou não os elementos como tóxico e corrosivo.

1.3. ÁREA DE ESTUDO

O Distrito Federal situa-se no Planalto Central do Brasil, dentro de um quadrilátero de 5.814 km², limitado ao norte pelo paralelo 15°30'S, ao sul pelo paralelo 16°03'S, a leste pelo rio Preto e a oeste pelo rio Descoberto. Esse posicionamento permite que o DF seja um dos divisores de água das três principais bacias hidrográficas do Brasil: Paraná, São Francisco e Tocantins.

Situado no Distrito Federal, as regiões administrativas conhecidas como “cidades satélites” são cidades que se formaram em torno de Brasília durante sua construção pela população trabalhadora de menor renda. Localizadas a aproximadamente 25 quilômetros do Plano Piloto, as cidades satélites como Ceilândia, Recanto das Emas e Samambaia são áreas habitacionais que cresceram desordenadamente (sem planejamento) e hoje tem apresentado vários problemas, como os alagamentos e as inundações.

Realizou-se um estudo preliminar acompanhando os atendimentos realizados pela NOVACAP para desobstrução das bocas de lobo naquelas cidades onde frequentemente estavam ocorrendo alagamentos, nas quais foram avaliados os resíduos encontrados. Posteriormente, também acompanhando a NOVACAP, se analisou os elementos de microdrenagens (bocas de lobo) da Asa Norte do Plano Piloto de Brasília.

Além das cidades satélites, a Região Administrativa de Brasília se divide em Lago Sul, Lago Norte, Asa Sul e Asa Norte, sendo esses dois últimos e o Eixo Monumental integrantes do Plano Piloto de Brasília. O primeiro elemento de microdrenagem (boca de lobo) que acumula os resíduos decorrentes do processo de carreamento e que foi objeto de estudo está localizado nas proximidades das quadras 602/603 e 802/803 da Asa Norte. Essa tem como saída (exutório) das redes de águas pluviais a galeria denominada Lançamento Iate Clube (latitude de 15°46'50.10" Sul e longitude 47°51'33.18" WGr). A segunda boca de lobo localiza-se nas proximidades das quadras 605/606 e 805/806 da Asa Norte e dá acesso para a galeria denominada de Lançamento UnB (latitude 15°45'34.78" Sul e longitude 47°51'40.14" WGr).

Vale ressaltar que os resíduos que não ficam depositados ao longo dos elementos (bocas de lobo, poços de visitas, entre outros), percorrem diretamente as redes e são lançados no Lago Paranoá. A Figura 1.1 mostra uma vista parcial das áreas de estudo localizadas na Asa Norte do Plano Piloto de Brasília.

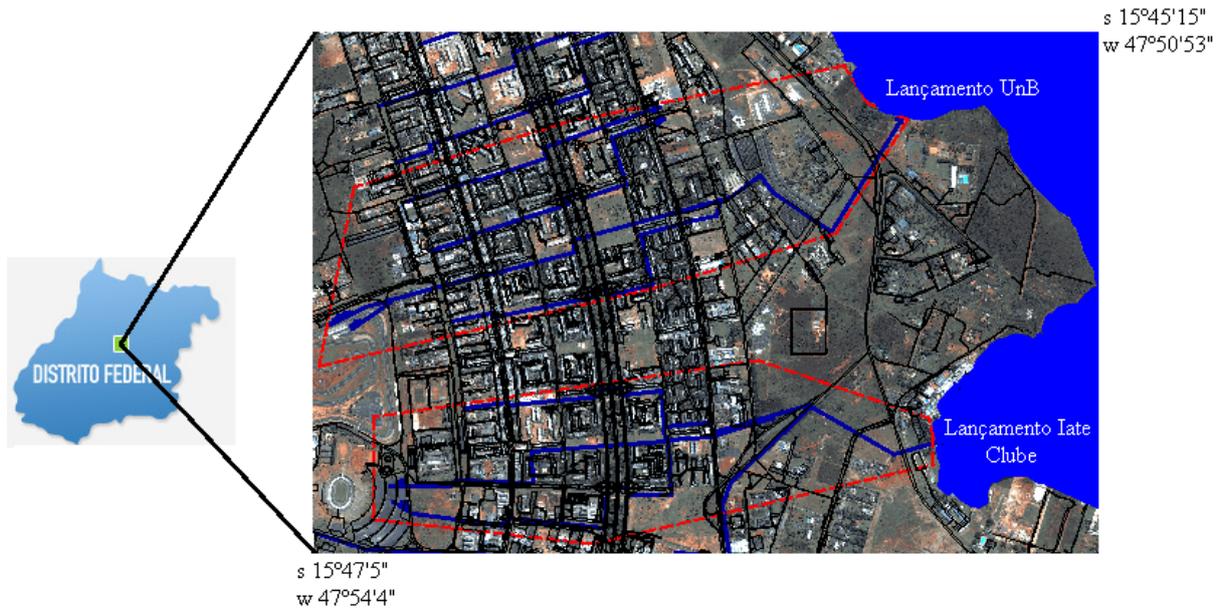


Figura 1. 1 - Vista parcial das áreas de estudo da Asa Norte

2. MARCO TEÓRICO

Os conceitos e princípios adotados nesta pesquisa constituíram as bases teóricas e técnicas operacionais do estudo desenvolvido.

2.1. DRENAGEM URBANA

O estudo dos sistemas de drenagem urbana é um meio eficaz para o acesso às informações como capacidade da rede e atualização de estratégias que visem evitar fenômenos de inundações e até mesmo poluição ambiental (Tucci, 2008). Neste sentido, diversos estudos foram realizados com o objetivo de otimizar a eficiência dos sistemas de drenagem urbana, além da verificação e avaliação da influência dos resíduos e sedimentos nestes sistemas e no regime de escoamento pluvial nos mesmos (Funke, 1975; Silveira, 2001; Cembrano *et al*, 2004).

Quando se modifica uma área de um ecossistema natural para uma área urbana, a superfície passa a ser ocupada por sarjetas, ruas e estacionamentos, alterando, de forma significativa, todo o sistema natural de drenagem. Desta forma a água que antes se infiltrava ajudando no desenvolvimento das plantas e evapotranspirava para atmosfera, agora se transforma em escoamento superficial. É devido ao volume de água acima do normal associado a problemas de drenagem urbana na Asa Norte e também a diminuição de escoamento, entre outros, que ocorrem constantes alagamentos nas passagens por baixo do eixo rodoviário (tesourinhas).

O escoamento superficial em áreas urbanas gera poluição proveniente da deposição de substâncias tóxicas, sendo as redes de drenagens as principais formas de veiculação destes poluentes. Segundo Tucci (2007), a poluição das águas pluviais pode ocorrer pela lavagem de superfícies urbanas, acumulação de poluentes em sistemas de escoamento ou qualquer tipo de sistema de condução e lavagem de depósitos de conteúdos contaminados. Vale ressaltar que esses fatores dependem do tipo de superfície e também dos materiais depositados, como por exemplo, metais pesados, matéria orgânica, entre outros.

No contexto internacional, Cembrano *et al.* (2004) registraram o estudo de caso da cidade de Barcelona, na Espanha, onde é frequente o uso de técnicas de controle sobre os sistemas de drenagem urbana, como sistemas de telemetria. O uso deste e outros tipos de técnicas permitem o acesso rápido às informações de cada ponto do sistema de drenagem e sua situação. Isto contribui para o estabelecimento de melhores estratégias de controle e redução dos eventos de inundações e possíveis descargas poluentes no meio ambiente (Cembrano *et al.*, 2004).

A poluição ambiental tem sido tema de preocupação em todo mundo, especialmente no contexto de possibilidade de ocorrência de desastres que atinjam a população humana e o meio ambiente (Tucci, 2008). Nesse sentido, a rede de drenagem de águas pluviais tem sido apontada como a maior fonte de poluição hídrica urbana (Marshall *et al.*, 2012). Na África, por exemplo, um estudo pioneiro demonstrou a presença de metais pesados em águas pluviais, cujo escoamento advinha de regiões industriais e era transportado em afluentes de esgoto e redes pluviais urbanas (Funke, 1975). Até a atualidade ainda é registrada tal situação. Na Austrália foram encontrados altos níveis de contaminação por metais pesados e hidrocarbonetos nestes sistemas (Marshall *et al.*, 2012).

No que se refere à prática da drenagem urbana nos países em desenvolvimento, é possível encontrar problemas mais sérios, pois a mesma está associada ao desenvolvimento urbano, que nestes locais ocorre sob complexas condições socioeconômicas, tecnológicas e climáticas (Silveira, 2001).

Silveira (2001) afirma que o fator socioeconômico de países em desenvolvimento torna mais difícil a resolução de problemas relacionados à rede de drenagem urbana, comparado aos países que estão em desenvolvimento avançado. Neste sentido, inclui-se: dominância da filosofia de drenagem urbana do século XIX; contaminação da água das enxurradas por esgotos, sedimentos e lixo; falta de base tecnológica para gestão de drenagem adequada; falta de interação entre a comunidade e a administração da cidade, entre outros (Silveira, 2001).

2.2. VISÃO GERAL DOS SEDIMENTOS

A construção e operação de sistemas de drenagem têm sido historicamente orientadas pelos objetivos de manter a higiene pública e evitar inundações e alagamentos (Rauch *et al.*, 2002). Apesar da urbanização poder diminuir as taxas de erosão superficial locais, pelo fato de grandes áreas serem cobertas por superfícies impermeáveis (Wolman, 1967), ela pode aumentar indiretamente a sedimentação nos canais de rede de águas pluviais devido ao aumento do fluxo nestas redes em períodos de fortes chuvas (Leopold, 1968; Hammer, 1972). Fontes de acúmulo de sedimentos são principalmente áreas de agricultura, madeiras florestais, áreas de construções, aterros e pedreiras (Nelson & Booth 2002). No entanto, a atividade de construção é o principal fator de contribuição de aumento de produção de sedimentos em várias ordens de magnitude em bacias hidrográficas (Wolman, 1967; Wolman & Schick, 1967).

Para entender o processo de transporte de sedimentos é necessário, inicialmente, partir do princípio da identificação, descrição e quantificação dos principais mecanismos que causam sua movimentação, como a erosão e a movimentação das partículas. Por meio desses princípios é possível realizar uma análise de viabilidade de diversas atividades econômicas que ocorrem numa dada bacia hidrográfica. Segundo Carvalho (1994) os sedimentos podem vir a impedir o aproveitamento de um reservatório para abastecimento de água potável e geração de energia elétrica e também causar o assoreamento do mesmo.

A variabilidade espacial e temporal das características de sedimentos são aspectos críticos que contribuem também com efeitos danosos nas redes de drenagem urbana (Rauch *et al.*, 2002). Sedimentos erodidos em solos agrícolas apresentam tamanho entre 2 e 60 mm (Foster *et al.*, 1985), enquanto que no escoamento urbano, as partículas encontradas têm cerca de 23 e 60 mm (Deletic & Orr 2003, Xanthopoulos & Hahn, 1993). Assim, sedimentos finos ou mais grossos podem resultar em diferentes tipos de problemas quando transportados pela água. Os sedimentos finos geralmente causam problemas de qualidade da água, tanto em canais e corpos de água receptores (Deletic, 2005). Além das preocupações com entupimento dos elementos de microdrenagem, devido à característica destes sedimentos ocuparem espaços porosos dos canais (Bjornn e Reiser, 1991), poluentes podem formar complexos com os minerais de argila, contribuindo para eutrofização e toxicidade de exutórios e lagos (Novotny e Olem, 1994). Em contraste, o aumento de sedimentos grosseiros não levam preocupações

químicas, mas pode causar assoreamento do canal, o que resulta na redução da capacidade de fluxo, provocando problemas como alagamento e instabilidade do canal (Deletic, 2005).

2.3. EROSÃO E PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM ÁREAS URBANAS

O termo erosão pode ser definido como um conjunto de processos pelos quais os materiais terrosos e rochosos da crosta terrestre são desagregados, desgastados ou dissolvidos e transportados pela ação dos agentes erosivos como água, vento e gelo (IPT, 1986).

A evolução das erosões ao longo do tempo depende de fatores como questões climáticas (intensidade de chuvas e ventos), características geológicas e geomorfológicas do local, presença de falhas de origem tectônica e evolução físico-química e mineralógica do solo (Lima, 2003; Camapum de Carvalho *et al.*, 2002).

De acordo com a forma como se processa o escoamento superficial, ao longo de uma encosta, podem-se desenvolver dois tipos de erosão: erosão laminar, causada pelo escoamento difuso das águas das chuvas, resultando na remoção progressiva e uniforme dos horizontes superficiais do solo, sendo a erosão menos notada e, por isso, muito perigosa; e a erosão linear (Figura 2.1), causada pela concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial, resultando em incisões na superfície do terreno, em forma de sulcos, que pode evoluir, por aprofundamento, para ravinas e voçorocas (Infanti Junior & Fornasari Filho, 1998 *apud* Arcaya, 2007).

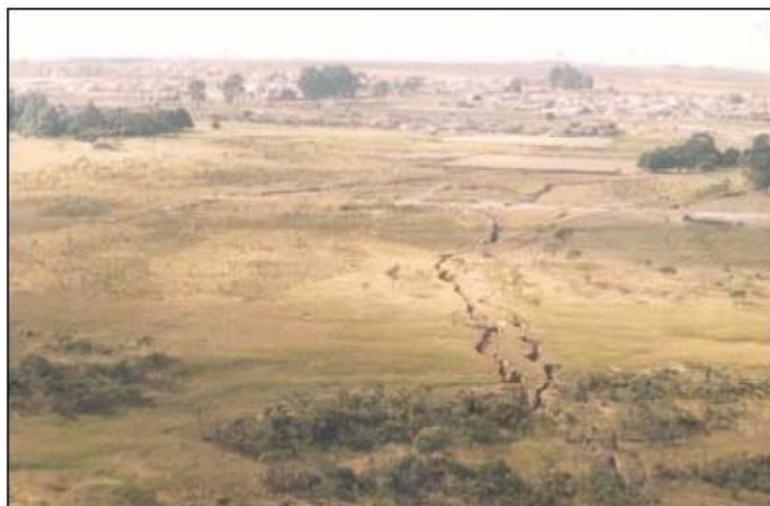


Figura 2. 1 - Feição erosiva tipo ravina
Fonte: (Souza, 1996 *apud* Arcaya, 2007)

Segundo Paiva & Villela (1995), os diversos problemas causados pelos sedimentos dependem da quantidade e da natureza dos mesmos, fatores estes que são dependentes dos processos de produção, transporte e deposição, o que equivale a dizer que os sedimentos causam diferentes prejuízos nos locais de origem, no trecho onde transitam e no local de sua deposição.

O conhecimento da concentração de sedimentos em suspensão (massa de sedimento em suspensão na água por unidade de volume) é importante para a avaliação das consequências da intervenção humana na bacia hidrográfica (erosão devido ao desmatamento, atividades agrícolas ou de mineração), no assoreamento de barragens e para regiões de estuários (Bandeira & Aun, 1989).

No desenvolvimento urbano são observados três estágios distintos da produção de material sólido na drenagem urbana: o inicial, o intermediário e o final (Tucci, 2004). O estágio inicial ocorre a partir do momento que a cobertura da bacia é modificada, ou seja, ações antrópicas destroem sua proteção natural, deixando o solo desprotegido (exposto), fazendo com que essa bacia se torne mais suscetível a erosões, principalmente em períodos chuvosos. Nas áreas urbanas isso pode ocorrer em locais previstos para grandes construções ou na fase de implantação de loteamentos, onde a movimentação de terra com uso de máquinas (escavadeiras, entre outras) e caminhões é constante. No estágio intermediário, há uma movimentação de terra devido ao surgimento de novas construções. Já no estágio final, as superfícies urbanas estão estabilizadas, restando apenas produção de resíduos sólidos urbanos com pequenos percentuais no que se refere a áreas de construção.

2.4. TRANSPORTES DE SEDIMENTOS

A taxa de sedimentação de uma partícula é medida por sua resistência ao transporte. Em um estado de dispersão, as partículas mais finas dos sedimentos são carregadas em suspensão pelas forças naturais do fluxo tendendo a se mover para fora da área de drenagem de onde foram originadas. Em contrapartida, as partículas maiores são transportadas em suspensão por distâncias muito curtas, ou são arrastadas no leito dos rios (Guy, 1970).

Para Butler & Clark (1995) o movimento dos sedimentos em uma bacia hidrográfica é bastante complexo e por isso torna-se necessário conhecer as fontes destes sedimentos, que por sua vez acabam causando inundações, enchentes e alagamentos nos grandes centros

urbanos. Entre estas fontes cita-se: material oriundo da superfície de estradas e obras nas mesmas, veículos, lavagem de áreas adjacentes (permeáveis e impermeáveis), construção civil, atividades comerciais e industriais, lixo, vegetação, poluição advindo de esgoto, solo junto às estruturas de microdrenagem, telhados e deposição atmosférica (Butler & Clark, 1995). A Figura 2.2 mostra as fontes de sedimentos provenientes do meio urbano.

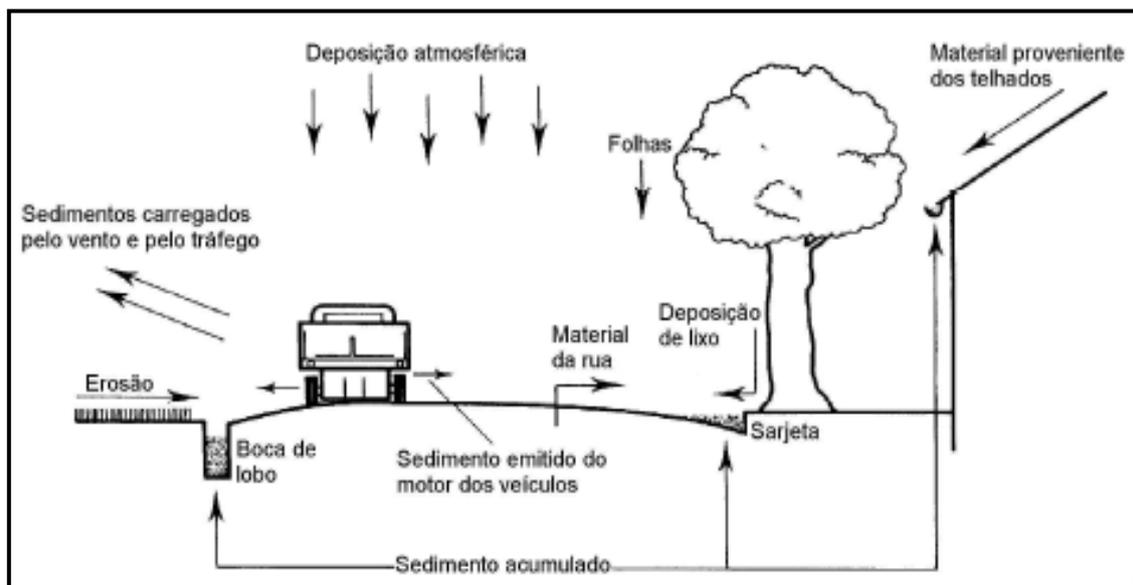


Figura 2. 2 - Fontes de sedimentos
Fonte: Butler & Clark (1995)

2.5. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS SEDIMENTOS

O tamanho das partículas e a densidade são de fundamental importância para a compreensão e entendimento dos processos que estão ocorrendo em um determinado local envolvendo o transporte de sedimentos, pois o tamanho do grão (pode ser argila, silte, areias ou pedregulhos) é uma das propriedades mais utilizadas em estudos ambientais. Juntamente com essas partículas podem ser encontrados materiais indesejáveis, como garrafas PET, copos plásticos e outros materiais, caracterizando de certa forma o grau de desenvolvimento econômico. Estes materiais indesejáveis se enquadram segundo a NBR 10.004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2004) como Resíduos Classe I - Perigosos e Resíduos Classe II – Não Perigosos.

2.6. MEDIDAS DE CONTROLE PARA RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Sabe-se que a população presente em uma dada bacia hidrográfica gera vários tipos de resíduos. Para reduzi-los podem-se tomar dois tipos de medidas: o primeiro tipo são medidas estruturais preventivas, no qual se colocam estruturas na entrada dos elementos da microdrenagem ou instaladas dentro dos canais de drenagem para separar e conter os resíduos mais grosseiros; e o segundo tipo são medidas não estruturais, que envolvem um tema bastante discutido ultimamente, a educação ambiental (a qual se refere às mudanças de atitude por parte da comunidade local com o meio em que vivem) (Allison *et al.*, 1998).

As medidas estruturais preventivas têm sido utilizadas em maior quantidade em países, como a África do Sul, Austrália e Nova Zelândia, com uso da BMP (*Best Management Practices*) que envolve o controle da quantidade de água, sedimentos e qualidade da água com ações distribuídas na bacia hidrográfica. Nesses países o controle ocorre antes que as águas atinjam as redes de águas pluviais, como por exemplo, constroem-se reservatórios no início do loteamento cuja função primeira será reter os sedimentos gerados na etapa crítica de abertura de ruas, remoção da camada vegetal e movimentação de volumes para aterro (Tucci & Genz, 1995). Também são construídas bacias de infiltração (permite que o escoamento recupere suas condições de infiltração), trincheiras e pavimentos permeáveis.

Como resultado do uso de medidas estruturais um estudo realizado na Nova Zelândia no ano de 1994 mostrou que a eficácia dessas medidas reduziu os grânulos de plástico virgem e fragmentos de plásticos cortados em máquinas em 75% (Cornelius *et al.*, 1994). Além disso, estas medidas reduziram substancialmente a quantidade de papel, cigarros, madeiras, bolsas/pedaços de plásticos, plástico rígido e itens de alumínio (Cornelius *et al.*, 1994).

2.7. CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Segundo o IBAM (2001), a caracterização dos resíduos de uma dada região se dá desde a determinação da composição gravimétrica até a identificação de suas características. Para o mesmo autor o objetivo principal da caracterização é identificar os componentes e propriedades dos resíduos a fim de tornar possível a coleta, o transporte, o tratamento e a disposição final, evitando problemas indesejáveis à população de uma determinada cidade.

2.7.1. ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA

O ensaio utilizado para determinação da composição gravimétrica é a ferramenta que possibilita analisar a fase sólida dos resíduos, onde se realiza a identificação, separação e quantificação dos materiais. Segundo IBAM (2001) a composição gravimétrica é importante, pois permite identificar as classes de resíduos, como plásticos, matéria orgânica, entre outros, possibilitando a venda destes ao mercado de recicláveis e aproveitamento da matéria orgânica, uma vez que por meio desta é possível produzir compostos orgânicos e no caso do plástico, este pode ser reciclado e posteriormente aproveitado. A Tabela 2.1 mostra alguns exemplos básicos dos grupos de substâncias dos RSU (Resíduos Sólidos Urbanos).

Tabela 2. 1 - Grupo de substâncias dos RSU (Resíduos Sólidos Urbanos)

CATEGORIA	EXEMPLOS
Materia orgânica putrescível:	Restos alimentares, flores, podas de árvores, entre outros
Plástico:	Sacos, sacolas, embalagens, recipientes
Papelão e papel:	Caixas, revistas, jornais, cartões
Vidro:	Copos, garrafas de bebidas
Metal ferroso:	Palha de aço, alfinetes e agulhas
Metal não ferroso:	Latas de bebidas, restos de cobre e chumbo
Madeira:	Caixas, tábuas, palito de fósforo
Panos, trapos, couro e borracha:	Roupas, panos de limpeza e bolsas
Contaminante químico:	Pilhas, medicamentos, lâmpadas e inseticidas
Contaminante biológico:	Papel higiênico, cotonetes e algodão
Pedra, terra e cerâmica:	Vasos de flores, pratos, resto de construção e terra
Diversos:	Velas de cera, carvão, lixas e lápis de cera

Fonte: Adaptado de Monteiro *et.al* (2001)

2.7.2. ENSAIO DE GRANULOMETRIA

O ensaio de granulometria é o processo utilizado para a determinação da percentagem em massa que cada faixa especificada de tamanho de partículas representa na massa total ensaiada. Com base nos resultados obtidos é possível construir a curva de distribuição granulométrica, importante para a classificação dos sedimentos bem como a estimativa de parâmetros para filtros, bases estabilizadas, permeabilidade, capilaridade, entre outros. A determinação da granulometria de um sedimento pode ser alcançada apenas por peneiramento ou por peneiramento e sedimentação, se necessário.

2.7.3. ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL – LIXIVIAÇÃO

A caracterização ambiental dos sedimentos tem como objetivo verificar a capacidade de lixiviação e de solubilização dos produtos encontrados nos elementos de microdrenagens (bocas de lobo, galerias e poços de visita), os quais em contato direto com o meio ambiente estão sujeitos aos vários processos intempéricos, causando problemas como contaminação por elementos pesados (chumbo, níquel, zinco, cromo, cobre, entre outros) em rios, córregos e lagos.

Após um evento chuvoso as substâncias que estão sobre a camada superficial do solo, carregam consigo produtos na forma dissolvida (solutos) em direção às regiões mais profundas do solo, geralmente, rumo ao aquífero freático. Esse processo de transporte de solutos (que podem ser nutrientes, poluentes, e outras substâncias dissolvidas) rumo às camadas mais profundas do solo é denominado lixiviação. A Figura 2.3 ilustra esse processo.

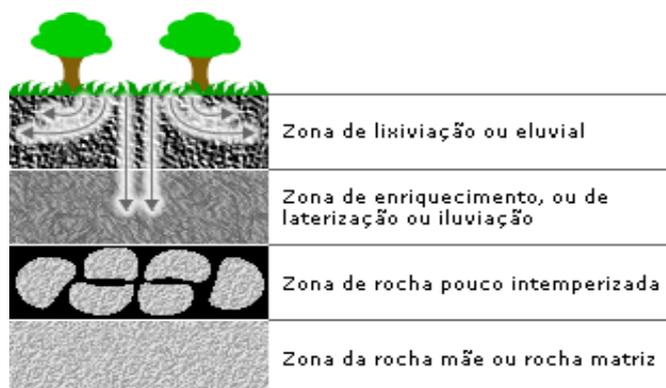


Figura 2.3 - Processo de lixiviação
Fonte: Silva (2011)

Análises de cunho ambiental são realizadas com o intuito de se avaliar com maior precisão a toxicidade (possível contaminação dos rios e lagos) e corrosividade (possível rompimento e perfuração das redes de águas pluviais) do resíduo. Para avaliar a toxicidade e corrosividade utilizam-se os critérios prescritos nas normas brasileiras NBR 10004 – Resíduos Sólidos: Classificação, NBR 10005 – Lixiviação de Resíduos e Resíduos 10007 – Amostragem de Resíduos.

Vale ressaltar que a avaliação ambiental dos resíduos serve como subsídio para a tomada de decisão quanto ao grau de investigações das ocorrências solicitadas por moradores e também na necessidade de limpeza dos elementos de microdrenagens ao longo do ano.

2.7.4. ENSAIO DE CROMATOGRÁFIA GASOSA

Degani *et.al.*, (1998) define cromatografia como sendo um método físico-químico de separação, a qual está fundamentada na migração diferencial dos componentes de uma mistura, que ocorre devido a diferentes interações, entre duas fases imiscíveis: a fase móvel e a fase estacionária. Sabendo-se que a contaminação de solos, águas subterrâneas e reservatórios por compostos orgânicos voláteis tem sido destaque nas últimas décadas, principalmente em função das frequentes contaminações ocorridas e da gravidade com que o meio ambiente é afetado, torna-se necessário ensaiar os sedimentos encontrados nas bocas de lobo estudadas.

2.8. MEIOS QUE TRAZEM CONTAMINAÇÃO PARA OS CORPOS D' ÁGUA

Existem várias fontes de contaminação no mundo em que vivemos e estas estão presentes cada vez mais no nosso dia a dia, a tal ponto de parecer não oferecer riscos às fontes de recursos naturais. As fontes de contaminação mais comuns serão descritas a seguir.

2.8.1. CONTAMINAÇÃO ADVINDA DE ESGOTOS SANITÁRIOS

Ao contrário do que se acredita, as residências em áreas urbanas não só possuem sistema de canalização de esgoto sanitário, mas um grande número também possui as chamadas fossas sépticas que são usadas para dispor resíduos provenientes do esgotamento sanitário de residências. Isso tem contribuindo diretamente para a contaminação dos solos e dos corpos d'água, pois a maioria não passa por tratamento. Além disso, águas provenientes de sanitários, pias, chuveiros e cozinhas, assim como de produtos de limpeza, também são fontes que contaminam os solos e corpos d'água. Por muitas vezes são registradas ligações clandestinas deste sistema com a rede de águas pluviais, o que contribui para maiores contaminações.

2.8.2. CONTAMINAÇÃO DECORRENTE DE ATIVIDADES AGRÍCOLAS

Sabe-se que nas áreas urbanas existem propriedades (sítios e chácaras) nas quais seus proprietários reservam parte da mesma para plantações de diversos cultivares, as quais ao irrigá-las a água percola, transportando sedimentos (materiais finos), substâncias químicas presentes em pesticidas e fertilizantes, que são aplicados para um melhor aproveitamento do

solo ou para o controle de pragas. Estes produtos e sedimentos acabam sendo transportados para os sistemas de microdrenagens, onde a partir daí poderão acumular-se nas bocas de lobo e poços de visitas e em decorrência da percolação contaminar os corpos d'água.

2.8.3. CONTAMINAÇÃO PROVENIENTE DA EXPLORAÇÃO DE RECURSOS E VAZAMENTO DE COMBUSTÍVEIS

Atualmente existe uma constante exploração de matérias primas para produção de combustíveis, gás e energia. Isso tem ocasionado não só no Brasil, mas no mundo, problemas relacionados com contaminações graves e danos sérios ao meio ambiente (principalmente aos corpos d'água). A má operação desta exploração ou a má conservação e manutenção dos equipamentos empregados neste processo pode causar acidentes que tenham por consequência o vazamento de produtos nocivos e sua percolação no solo. O vazamento de tanques de combustível enterrados em postos de abastecimento tem ocorrido com frequência e por isso é motivo de preocupação (Duarte, 2003).

2.9. PROBLEMAS ENCONTRADOS NAS REDES DE ÁGUAS PLUVIAS DO DISTRITO FEDERAL E CIDADES SATÉLITES

2.9.1. PLANO PILOTO

A Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil – NOVACAP realiza inspeção nas redes de águas pluviais por demanda, ou seja, assim que é feita uma reclamação por parte da comunidade de uma dada área, a empresa registra o fato e busca atender tal demanda. A Empresa envia técnicos e agentes especializados, além de usar oito caminhões, seis da própria empresa e dois particulares, sendo que todos participam da coleta de resíduos e desobstrução da rede.

Durante uma das várias inspeções realizadas pela NOVACAP (dia 02 de setembro de 2010) na Asa Norte do Plano Piloto verificou-se no Setor Bancário Norte QD.01 BL.A no trecho nº 01 de PV 03 a PV 04 (Figura 2.4) um problema de infiltração de esgoto na rede a 0,40m do início da inspeção.



Figura 2. 4 - Local de ocorrência de infiltração de esgoto na rede
Fonte: Conter (2010)

O mesmo problema (infiltração de esgoto) foi identificado na Faculdade de Medicina da Universidade de Brasília no dia 14 de Julho de 2010. A Figura 2.5 mostra a presença do esgoto sanitário na rede a 28,5 m após o início da inspeção.



Figura 2. 5 - Trecho em bom estado com presença de esgoto na UnB
Fonte: Conter (2010)

Vale ressaltar que durante as inspeções foi utilizado um robô (Figura 2.6), cuja função foi de filmar e tirar fotografias das redes, identificando assim o problema. Um dos robôs possui 40 cm de comprimento e é utilizado em redes que apresentam diâmetros de 100 a 150 mm. O segundo robô tem 60 cm de comprimento e é utilizado para redes de diâmetro entre 150 e

1500 mm. Para cada diâmetro (150, 200 a 400, 400 a 1500 mm) é utilizado um tipo de pneu diferente.



Figura 2. 6 - Robô utilizado nas inspeções
Fonte: Conter (2010)

Outro problema foi verificado no dia 20 de abril de 2010 no Setor de Oficinas Norte, QD. 04 Conjunto F Loja 46, porém devido ao assoreamento. Neste período verificou-se a 0,40 m após o início da inspeção da rede a presença de pedras e lixo (Figura 2.7).



Figura 2. 7 - Pedras e lixo na rede/PV 01
Fonte: Conter (2010)

No dia 13 de setembro de 2011 pode-se verificar na galeria denominada de Iate Clube, a presença de esgoto sanitário caindo na rede de águas pluviais (Figura 2.8) e na mesma ocasião

também se verificou um desgaste na estrutura de concreto armado, expondo as armaduras (Figura 2.9).

Segundo Aguiar (2000), esses problemas nas estruturas são patologias, cujas causas prováveis são desgaste por abrasão e cavitação, onde a primeira é caracterizada sempre que for verificada uma redução na espessura da estrutura, a partir da superfície de contato interna da galeria, motivada pela passagem de líquidos, com ou sem partículas sólidas, que por fricção causam o desgaste da superfície de concreto (Figura 2.10). A segunda, por cavitação, é caracterizada sempre que for verificada uma redução na espessura da estrutura, a partir da superfície de contato interna da galeria, provocado pela formação de bolhas de vapor sobre pressão, nas regiões de degraus, que junto ao fluxo de água em alta velocidade e pressão, causam impactos na superfície do concreto (Aguiar, 2000).



Figura 2. 8 - Vestígio de esgoto sanitário caindo na galeria denominada Iate Clube



Figura 2. 9 - Armaduras expostas: galeria denominada de Iate Clube



Figura 2. 10 - Patologia causa por desgaste a abrasão

Também no dia 13 de setembro de 2011 foi verificado na galeria denominada de UnB a presença de esgoto sanitário caindo na rede de águas pluviais (Figura 2.11) e o surgimento de trincas nas proximidades da manilha responsável pelo transporte do fluído.



Figura 2. 11 - Vestígio de esgoto sanitário e surgimento de trincas: galeria denominada de UnB

No dia 10 de abril de 2011 foram registradas fortes chuvas no Distrito Federal que inundaram o principal prédio de aulas da Universidade de Brasília, o ICC (Instituto Central de Ciências). A chuva começou por volta das 12h30 e finalizou às 14h, acumulando 36,4 mm (Correio Braziliense, 2011). O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) informou que o volume seria considerado normal se não houvesse caído todo em curto período de tempo e em uma única região (UnB, 2011). Segundo funcionários que estavam na UnB durante o ocorrido,

estima-se que a água tenha atingido cerca de três metros de altura, em anfiteatros (Figura 2.12) e salas (Correio Braziliense, 2011).



Figura 2.12 - Enxurrada entrando em anfiteatro do ICC da UnB em evento de alagamento em 2011

Segundo a prefeitura do Campus, nunca havia acontecido um estrago como este, muitos equipamentos foram danificados por causa da água. Anfiteatros, laboratórios, computadores, e móveis (Figura 2.13) ficaram submersos (Correio Braziliense, 2011; UnB, 2011).



Figura 2.13 - Panorama dos estragos causados por evento de alagamento na Universidade de Brasília. Adaptado do Correio Braziliense (2011)

A Defesa Civil considerou a situação da UnB como grave, houve possibilidade de queda de paredes, sendo que muitos locais foram interditados para o trânsito de pessoas e aulas foram canceladas. Houve uma denúncia de funcionários afirmando à reportagem do Correio

Braziliense que uma obra próxima ao local estaria atrapalhando todo o escoamento da água, além da grama que havia sido aparada recentemente, provocando o entupimento dos canos que dão vazão as chuvas (Correio Braziliense, 2011).

O diretor do Centro de Planejamento Oscar Niemeyer (Ceplan), Alberto Alves de Faria, adotou medidas para melhorar a capacidade da rede de drenagem que coleta água da chuva. Segundo o diretor, as enxurradas carregam folhas e lixo da L2 até a UnB, que está localizada em uma área mais baixa em relação às quadras comerciais e residenciais da Asa Norte (UnB, 2011).

No dia 17 de junho de 2012 foi observada, no Lago Paranoá, uma mancha de óleo nas proximidades do Iate Clube de Brasília, o qual, segundo os frequentadores do clube, só apareceu após a chuva do dia anterior (16 de junho). A substância se dispersou pelo espelho d'água e provocou a morte de alguns animais, além de ter contaminado a grama da margem e gerado sujeira nas embarcações que estavam na água (Figura 2.14).



Figura 2. 14 - Mancha de óleo espalhando no Lago Paranoá
Fonte: Elza Fiúza/Agência Brasil (2012)

No dia 20 de junho do mesmo ano, segundo o Correio Braziliense, os agentes da Delegacia do Meio Ambiente (DEMA) constataram o derramamento de óleo em uma das caldeiras do estabelecimento de saúde do HRAN (Hospital Regional da Asa Norte). O acontecimento levou o IBRAM (Instituto Brasília Ambiental) a notificar o hospital por crime ambiental.

2.9.2. CIDADE DE SOBRADINHO

Assim como no Plano Piloto a Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil – NOVACAP realiza inspeções nas redes de águas pluviais da cidade de Sobradinho. No dia 29 de fevereiro de 2008 observou-se no trecho de número 2 de PV 02 (Figura 2.15) uma rachadura na geratriz superior do mesmo (Figura 2.16), causando obstrução do fluxo na rede.

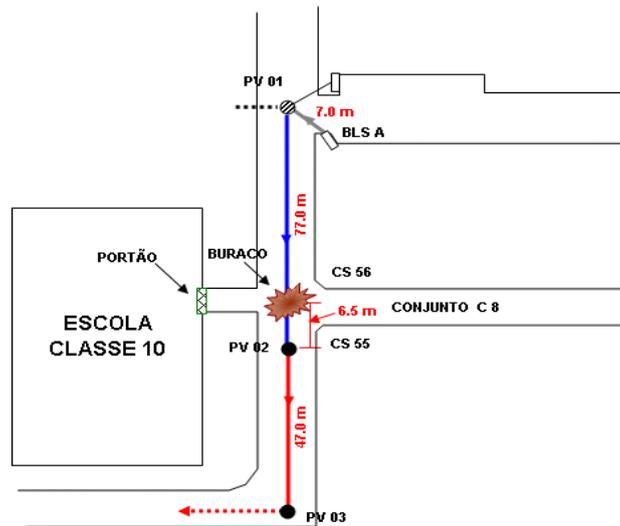


Figura 2. 15 - Vista do trecho de nº 2
Fonte: Conter (2008)



Figura 2. 16 - PV 02 com rachadura
Fonte: Conter (2008)

Outro problema ocorreu no dia 19 de março de 2008, quando a 29,70 m do início da inspeção (Figura 2.17) verificou-se no trecho de nº 6 de PV 07 uma total obstrução da rede devido à presença de resíduos (Figura 2.18).

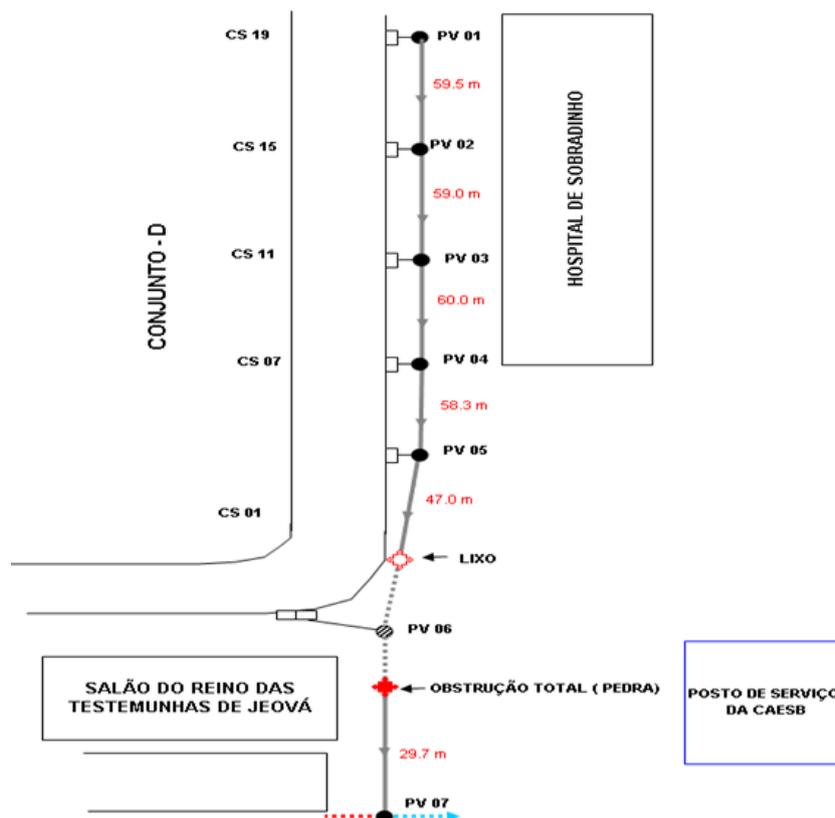


Figura 2. 17 - Local de ocorrência da obstrução
 Fonte: Conter (2008)



Figura 2. 18 - Rede obstruída por lixo e pedras
 Fonte: Conter (2008)

2.9.3. CIDADE DE CEILÂNDIA

Em 16 de dezembro de 2006 a NOVACAP pode verificar na cidade de Ceilândia após inspeção da rede de água pluvial localizada na QNM 36 CJ C Casa 31 (Figura 2.19) que o Trecho nº 1 de PV 01 a PV 02 encontrava-se obstruído por lixo (Figura 2.20).

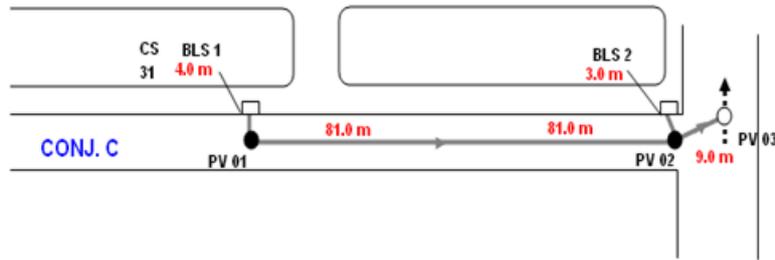


Figura 2. 19 - Localização da rede
 Fonte: Conter (2006)



Figura 2. 20 - Presença de lixo após 1,70 metros do início da inspeção
 Fonte: Conter (2006)

Na área especial nº 01/fórum próximo ao shopping popular encontrou-se a Rede A totalmente obstruída por lixo (Figura 2.21), fato ocorrido no dia 03 de dezembro de 2007. Em 26 de dezembro de 2006 verificou-se na QNM 10 CJ D Casa 10 (Figura 2.22) um problema na rede de água pluvial (afundamento e assoreamento), onde segundo o técnico responsável pela inspeção o principal motivo foram os processos erosivos locais.



Figura 2. 21 - Obstrução na Rede A por lixo
 Fonte: Conter (2006)

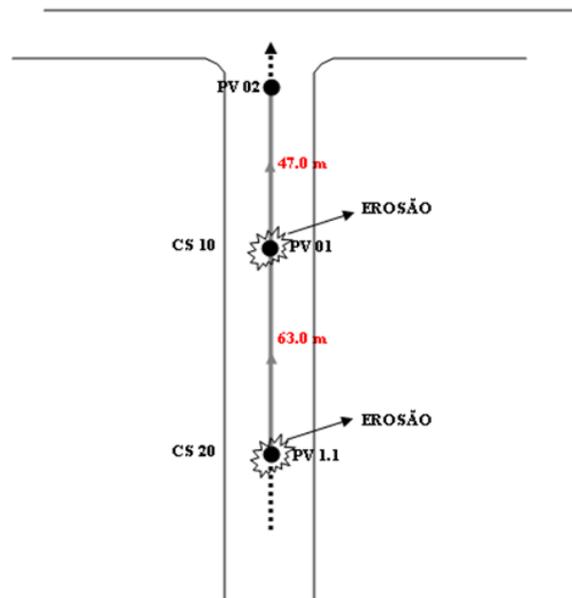


Figura 2. 22 - Trecho assoreado e com lama devido erosão local
 Fonte: Conter (2006)

2.9.4. CIDADES QUE JÁ FORAM VIDEOINSPECIONADAS DEVIDO A PROBLEMAS ENCONTRADOS NOS ELEMENTOS DE MICRODRENAGENS

Durante vários anos a NOVACAP tem monitorado as redes de águas pluviais, porém a partir do ano de 2002 a empresa tem usado tecnologias que estão ajudando e contribuindo para a solução de problemas ocorridos nas redes. As redes têm sido videoinspecionadas pela Conter Construção e Terraplenagem LTDA, empresa contratada pela NOVACAP. Abaixo seguem algumas das regiões administrativas/cidades que já foram inspecionadas por meio de vídeo (uso de robô):

Águas claras, Brasília, Brazlândia, Candangolândia, Ceilândia, Cruzeiro-Sudoeste, Gama, Guará, Lago Sul, Lago Norte, Planaltina, Paranoá, Recanto das Emas, Riacho Fundo, Samambaia, Santa Maria, Sobradinho, São Sebastião e Taguatinga.

As Figuras 2.23 e 2.24 mostram as áreas (cor vermelha) que foram videoinspecionadas nas cidades de Planaltina e Brazlândia respectivamente.

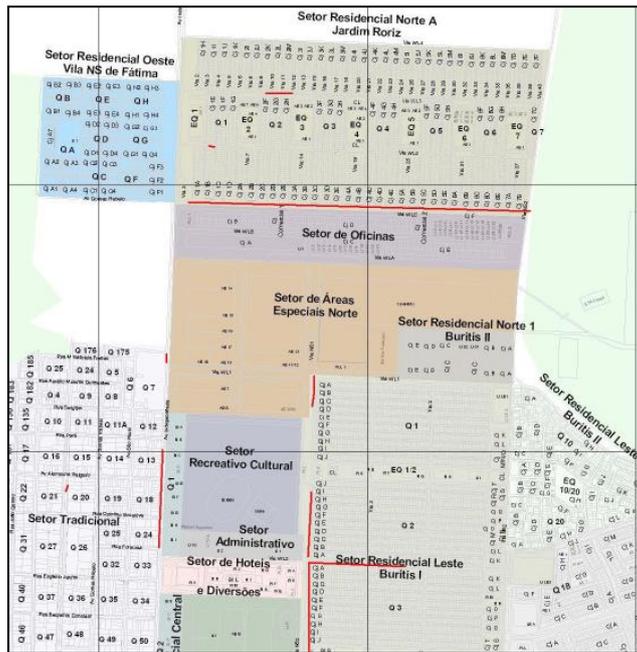


Figura 2. 23 - Áreas videoinspeccionadas em Planaltina
Fonte: SICAD (1997)



Figura 2. 24 - Áreas videoinspeccionadas em Brazlândia
Fonte: SICAD (1997)

2.10. CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS

Segundo Tucci (1998), o escoamento superficial é a parcela do ciclo hidrológico em que a água se desloca na superfície da bacia até encontrar uma drenagem definida. Além disso, esse tipo de escoamento atinge sua taxa máxima para pequenas bacias em apenas alguns minutos, porém podem ser necessários vários dias para que atinjam áreas de drenagem maiores (Colby,

1963). Vale ressaltar que para atingir uma taxa máxima de tempo para um determinado volume de água dependerá das características da bacia de drenagem, como por exemplo, a área, as condições topográficas e o tipo de solo.

O escoamento em áreas urbanas é caracterizado pela mudança na direção de fluxos devido ao sistema viário e de esgotos pluviais, além de predominarem as superfícies impermeáveis que podem aumentar o fluxo superficial (Tucci, 1998).

O escoamento superficial ocorre de várias maneiras, sendo que uma das formas de ocorrência se dá em toda ocasião em que a intensidade de chuva for superior à capacidade de infiltração do solo. Devido à capacidade de infiltração do solo ser função da umidade, que por sua vez varia no tempo de acordo com as entradas e saídas de água no mesmo, a curva de capacidade de infiltração real (Figura 2.25) pode apresentar-se bastante sinuosa (Rennó & Soares, 2000).

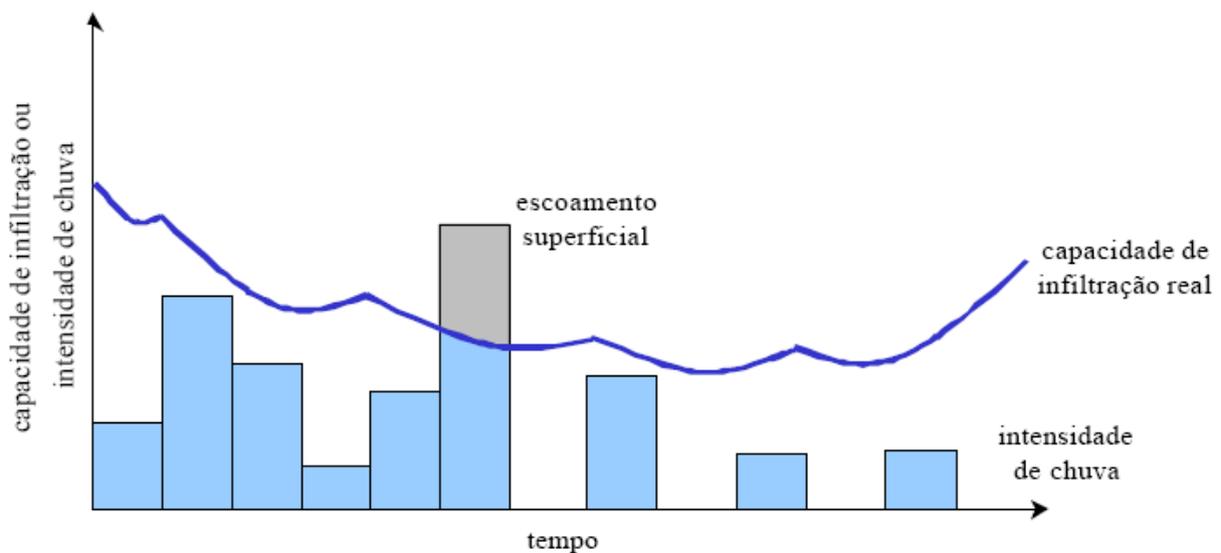


Figura 2. 25 - Variação da capacidade de infiltração real de um solo e distribuição de chuva.

Fonte: Rennó & Soares (2000)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são descritos os principais métodos, procedimentos e materiais utilizados nas etapas de elaboração do inventário (aquisição de informações), assim como para obtenção dos resultados preliminares da área de estudo, onde para desenvolver parte desta pesquisa foi utilizado o ambiente SIG, ou seja, utilizou-se dos recursos do aplicativo do programa computacional SPRING 5.1.8 (desenvolvido e disponibilizado gratuitamente pelo INPE) para as operações temáticas referentes ao processamento digital de dados orbitais através de técnicas de sensoriamento remoto.

3.1. DEFINIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

As áreas analisadas foram definidas a partir da necessidade de realização de um estudo detalhado referente aos resíduos encontrados nos elementos de microdrenagens das cidades satélites e do Plano Piloto. As cidades satélites foram escolhidas em função dos trabalhos realizados pela NOVACAP e os pontos de coleta em cada cidade foram definidos conforme autorização da mesma empresa e da dimensão do problema (alagamento) que estava ocorrendo nas cidades. Nesse sentido, Samambaia, Ceilândia e Recanto das Emas foram as cidades estudadas para efeito de caracterização física dos sedimentos (materiais finos como argila, silte e areia, gerados pela erosão do solo sobre influência da precipitação e do sistema de escoamento) e resíduos sólidos (materiais como plástico, madeira, vidro, papel, papelão e outros, gerados pela população) encontrados nos elementos de microdrenagens. Esses por sua vez têm contribuído para as constantes enchentes, alagamentos e inundações locais.

No caso do Plano Piloto, o arraste dos resíduos pode levar possíveis contaminantes para o Reservatório (Lago) da Barragem do Paranoá, responsável futuramente por parte do abastecimento de água potável das Regiões Administrativas de Brasília e entorno. Ao longo das quadras que envolvem os lançamentos Iate Clube e lançamento UnB da Asa Norte do Plano Piloto foram escolhidas duas bocas de lobo, uma em cada bacia de captação, para monitoramento dos resíduos e consequente quantificação e caracterização dos mesmos.

3.2. DIGITALIZAÇÃO DAS REDES DE ÁGUAS PLUVIAIS

Inicialmente fotografou-se as plantas topográficas (Escala 1:500) pertencentes a NOVACAP. Para isso utilizou-se uma maquina fotográfica Nikon 10.2 MP lente 28/135. Em seguida as mesmas foram corrigidas automaticamente no Microsoft Office Picture Manager e levadas para o ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica). Posteriormente com a ajuda do programa computacional Spring versão 5.1.8 estas imagens foram georreferenciadas e em seguida digitalizadas. Para georreferenciar as imagens utilizou-se um banco de dados contendo informações como vias, blocos, quadras, escolas, entre outros.

3.3. PROCEDIMENTOS ADOTADOS PARA ELABORAÇÃO DE CARTAS POR MEIO DO PROGRAMA COMPUTACIONAL SPRING 5.1.8

3.3.1. CARTA BASE

A primeira etapa consistiu na criação do projeto no Spring 5.1.8, em escala 1:2000, com Datum *World Geodetic System* 1984 (WGS 84), meridiano 45° WGr (Oeste de Greenwich), zona 23.

Para elaborar a carta base foram utilizadas simbologias que representassem o Lago Paranoá, com linhas tracejadas formando polígonos para identificar as bacias de captação e linhas para representar as vias pavimentadas. Para cada item foi criado um plano de informação (PI) diferente, em categorias correspondentes.

3.3.2. IMAGEM DA ÁREA DE ESTUDO

A imagem empregada na pesquisa foi obtida pelo satélite IKONOS II (Figura 3.1): bandas azul, verde, vermelho e infravermelho próximo, com resolução espacial de 4 metros, passagem de março de 2009. A mesma proporciona uma visão geral dos componentes da paisagem, tais como relevo, vegetação, lagos, edificações, além de permitir o reconhecimento das feições erosivas.

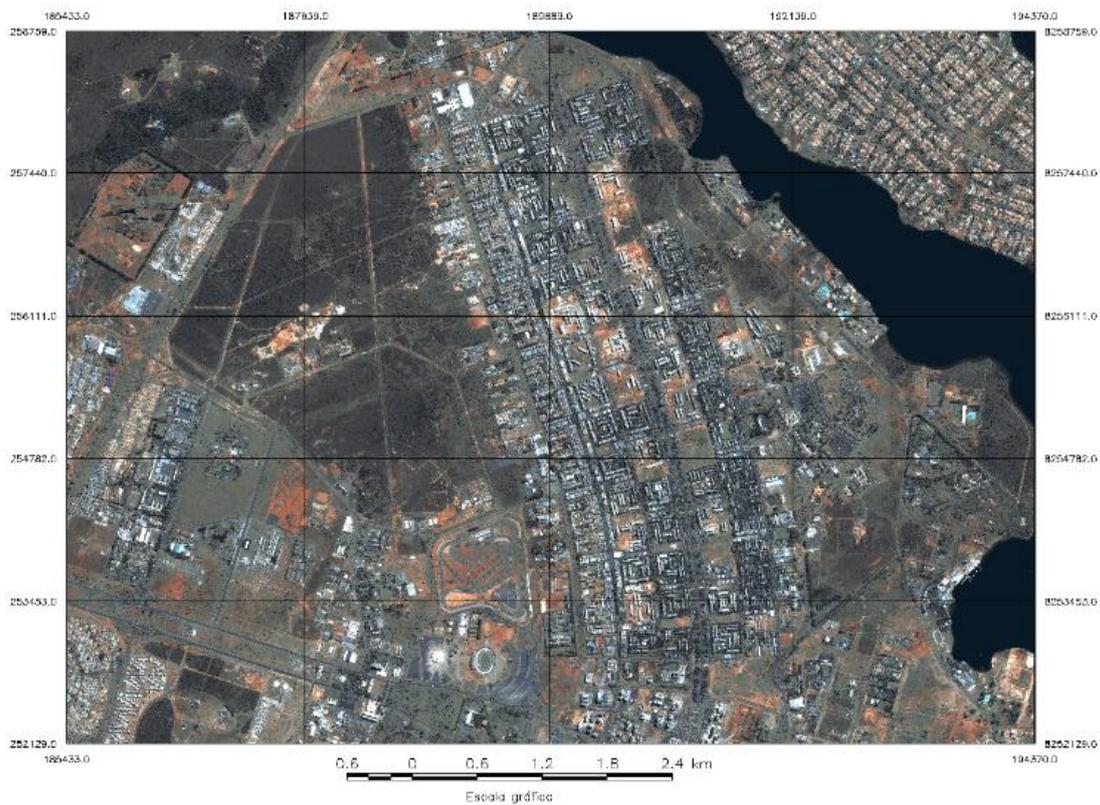


Figura 3. 1 - Imagem do satélite IKONUS II representativa da área de estudo

3.3.3. CARTA DAS REDES DE ÁGUAS PLUVIAIS

A carta foi gerada a partir do programa computacional SPRING versão 5.1.8. Nesta carta são mostradas as galerias de águas pluviais, as duas bocas de lobo do Plano Piloto e as delimitações correspondentes às bacias de captação Iate Clube e UnB.

3.3.4. CARTA HIPSOMÉTRICA

A carta foi gerada a partir da grade do modelo numérico de terreno (MNT) representativo da topografia da superfície. Inicialmente a grade passou por um processo de fatiamento (consiste em gerar uma imagem temática) e em seguida se estabeleceu intervalos de classes hipsométricas de 25 em 25 metros assim definidos: 1000 a 1025, 1025 a 1050, 1050 a 1075, 1075 a 1100, 1100 a 1125, 1125 a 1150 e 1150 a 1175.

3.3.5. CARTA DE DECLIVIDADE

Assim como a carta hipsométrica, a carta de declividade foi gerada a partir da grade do modelo numérico de terreno (MNT), representativo da topografia da superfície, com auxílio

do programa Spring 5.1.8. Inicialmente gerou-se uma grade de declividade também no formato de MNT. Em seguida efetuou-se o fatiamento da mesma para obter uma carta temático que representasse os intervalos: 0 a 2, 2 a 5, 5 a 10, 10 a 15, 15 a 20, e > 20%, correspondentes às inclinações do terreno.

3.3.6. CARTA DE USO E COBERTURA DO SOLO

A carta de uso e cobertura de solo foi elaborada com base nas informações extraídas da imagem do satélite IKONOS II do ano de 2009 e em constantes visitas de campo. Para classificar a imagem e conseqüentemente identificar os tipos de uso e cobertura foi utilizado o programa computacional Spring 5.1.8. A classificação utilizada foi a do tipo pixel a pixel, na qual se utiliza apenas a informação espectral de cada pixel para reconhecer regiões homogêneas. Já a técnica utilizada para a classificação multiespectral foi o treinamento supervisionado, que consiste no reconhecimento da assinatura espectral das classes.

Para identificar as classes utilizadas na carta de uso e cobertura do solo, foi necessário obter na imagem uma área representativa de cada classe, onde se procurou adquirir mais de uma área de treinamento, utilizando o maior número de informações disponíveis.

A principal finalidade desta carta foi à análise das relações de uso e cobertura do solo com as bocas de lobo, onde foram descritas as seguintes classes: edificações, solo exposto (vegetação rala), vegetação arbustiva e vegetação arbórea, além dos símbolos cartográficos (Lago Paranoá e vias).

3.4. ETAPA DE CAMPO E LABORATÓRIO

3.4.1. RECONHECIMENTO DOS DOIS EXUTÓRIOS

O reconhecimento dos exutórios (lançamento UnB e lançamento Iate Clube) foi realizado em um dia, sendo marcados quatro pontos no decorrer do trajeto. Desses, um ponto dá acesso direto ao lançamento UnB, onde se verificou a presença da erva daninha, causando obstrução da rede (Figura 3.2). Para obter as coordenadas precisas dos locais utilizou-se um GPS de navegação e o programa Google Earth para apoio de campo. A visita ocorreu no dia 26 de Julho de 2010. Ao final, foram escolhidas duas bocas de lobo, ponto 03 (Iate Clube) e

ponto 04 (UnB), as quais escoam águas pluviais para os lançamentos Iate Clube e UnB, respectivamente.



Figura 3. 2 - Contribuinte da galeria que dá acesso ao lançamento UnB

3.4.2. DESOBSTRUÇÃO APLICADA NOS ELEMENTOS DE MICRODRENAGENS

Inicialmente um caminhão pipa é abastecido em um local chamado viveiro, localizado nas proximidades do parque Água Mineral. Este caminhão tem capacidade para 7.000 litros de água. Em seguida o caminhão segue para o local onde se encontra o problema (rede obstruída). Estando no local (desobstrução acompanhada na Cidade de Samambaia - DF) o mesmo abastece o caminhão desobstruidor (Figura 3.3) com capacidade para 5.000 litros, sendo que destes 3.000 litros são para preenchimento com água e 2.000 litros para retenção de sedimentos mais finos. Estes sedimentos são coletados por meio de uma mangueira de dragagem.



Figura 3. 3 - Caminhão pipa abastecendo o caminhão desobstruidor

Posteriormente um funcionário da NOVACAP retira um pouco dos sedimentos presentes na rede de águas pluviais, isso se a rede estiver muito obstruída. O mesmo funcionário então retira do caminhão desobstruidor o hidrojato cujo comprimento é de 120 metros, colocando em seguida na rede. Por fim é ligada a válvula responsável por liberar a água do caminhão, dando início a desobstrução da rede (Figura 3.4).



Figura 3. 4 - Desobstrução da rede

É importante ressaltar que no entorno do local onde ocorreu a desobstrução foi verificado um numero elevado de processos erosivos (sulcos), podendo ser um dos motivos que levou a obstrução da rede. Além disso, nas bocas de lobo e em poços de visita é utilizada, na maioria das vezes, apenas a mangueira de dragagem para coleta dos sedimentos e a coleta manual para os mais grosseiros.

3.4.3. DESTINO DOS SEDIMENTOS RETIRADOS NOS ELEMENTOS DE MICRODRENAGENS

Após os sedimentos serem coletados pela mangueira de dragagem (material mais fino), toda sexta-feira os mesmos são lavados dentro do próprio caminhão e depositados em uma área pré-definida (Figura 3.5) localizada na latitude 15°49'00.84" Sul e longitude 47°57'25.24" WGr dentro da própria empresa (NOVACAP). O local onde se deposita o material dragado durante as limpezas não apresenta nenhuma proteção, ou seja, os sedimentos são depositados diretamente no solo. Após alguns dias esses materiais são retirados e colocados numa caçamba, e posteriormente são depositados no Aterro da Estrutural.



Figura 3.5 - Local provisório dos sedimentos dragados

3.4.4. COLETA DOS RESÍDUOS PARA CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

Antes de iniciar as coletas dos resíduos para caracterização física, os locais foram isolados com auxílio de cones para garantir a segurança durante o procedimento. Em seguida, como a boca de lobo estava completamente cheia (fato ocorrido na cidade do Recanto das Emas) começava-se a coleta com auxílio de pá, porém quando verificado que o resíduo estava em profundidade maior, foi necessário entrar na boca de lobo para realizar o mesmo procedimento. Todo o material retirado era acondicionado em tambor plástico (resíduos coletados nas bocas de lobo das cidades satélites) e em sacos plásticos (resíduos coletados nas bocas de lobo da Asa Norte do Plano Piloto) e levados para verificar a massa em balança e posteriormente fazer a composição gravimétrica.

A seguir são descritos os materiais utilizados na coleta dos resíduos presentes nos elementos de microdrenagens e na realização da caracterização física:

- Plástico: utilizou-se uma lona plástica preta 5x8 m para impermeabilizar o terreno e não contaminar a amostra. Após as homogeneizações necessárias, utilizou-se um saco plástico preto com capacidade de 50 L, onde foram acondicionados os materiais logo após a pesagem final;
- Rastelo: utilizou-se para homogeneização dos resíduos, facilitando a seleção do mesmo;
- Tambor de plástico: capacidade de 70 L para armazenamento do sedimento coletado;

- Balança: utilizou-se para pesagem do material coletado com capacidade máxima de 150 kg;
- Pá: usada para abastecer o tambor plástico;
- Bandeja de 3,8 kg: usada para colocar os resíduos que ficaram secando;
- Caminhão: utilizado para transportar os resíduos; e
- EPI - Equipamento de Proteção Individual (luvas e botas).

3.4.4.1. RESÍDUOS COLETADOS NA CIDADE DE CEILÂNDIA

A coleta em Ceilândia se deu no dia 09 de fevereiro de 2011 na QNP 11 comercial, próximo ao Supermercado Gêmeos. Os resíduos foram coletados em uma boca de lobo localizada na latitude 15° 48.818' Sul e longitude 48° 7.866' WGr. A Figura 3.6 mostra a sarjeta e os resíduos coletados.



Figura 3. 6 - Sarjeta (esquerda) e resíduos coletados (direita)

É importante frisar que essa sarjeta foi colocada pelo pessoal da limpeza (NOVACAP) no dia da coleta dos materiais, pois antes da limpeza a sarjeta estava toda quebrada, o que certamente facilitou a passagem dos resíduos para dentro da boca de lobo.

3.4.4.2. RESÍDUOS COLETADOS NA CIDADE DE SAMAMBAIA

A coleta do material na cidade de Samambaia se deu no dia 15 de fevereiro de 2011 na QR 510 conjunto 16. Este foi coletado em uma boca de lobo localizada na latitude 15° 52.977' Sul e longitude 48° 4.286' WGr. A Figura 3.7 mostra o local da coleta dos resíduos.



Figura 3. 7 - Local de coleta dos resíduos da cidade de Samambaia

3.4.4.3. RESÍDUOS COLETADOS NA CIDADE DO RECANTO DAS EMAS

O material foi coletado no dia 15 de abril de 2011 na QD_605 conjunto 3 próximo a CS_15 em uma boca de lobo localizada na latitude 15° 55.035' Sul e longitude 48° 3.737' WGr. A Figura 3.8 mostra o local da coleta, os resíduos encontrados dentro da boca de lobo, a qual tinha uma profundidade de aproximadamente 2 metros e estava totalmente obstruída.



Figura 3. 8 - Local de coleta (esquerda) e resíduos retirados da boca de lobo (direita)

3.4.4.4. RESÍDUOS COLETADOS NA BOCA DE LOBO QUE DÁ ACESSO A GALERIA DENOMINADA UNB

O material foi coletado com ajuda dos funcionários da NOVACAP no dia 13 de Junho de 2012 próximo ao Instituto de Biologia da Universidade de Brasília. A boca de lobo localiza-se na latitude 15°45'58.33"S e longitude 47°52'1.23" WGr. A Figura 3.9 mostra o local da coleta

dos materiais encontrados dentro da boca de lobo, a mesma possui profundidade de 1 metro e dimensão horizontal de 100 x 50 cm, ou seja, 0,5 m³ ou 500 litros de volume.



Figura 3. 9 - Funcionários ajudando na coleta dos resíduos (esquerda) e visão da boca de lobo UnB (direita)

3.4.4.5. RESÍDUOS COLETADOS NA BOCA DE LOBO QUE DÁ ACESSO A GALERIA DENOMINADA IATE CLUBE

O material encontrado na galeria Iate Clube foi coletado com ajuda dos funcionários da NOVACAP no dia 13 de Junho de 2012 na Via N2 Norte, tendo como referência a placa de acesso a Via L3 Norte - Universidade. A boca de lobo localiza-se na latitude 15°46'44.92"S e longitude 47°52'6.29" WGr. A Figura 3.10 mostra o local da coleta e os resíduos encontrados dentro da boca de lobo. Vale ressaltar que a boca de loco tem profundidade de 70 centímetros e dimensão de 100 x 50 cm, ou seja, 0,35 m³ ou 350 L de volume.



Figura 3. 10 - Resíduos (direita) e coleta com a ajuda dos funcionários da NOVACAP (esquerda)

3.4.5. NO LABORATÓRIO

Na fase de laboratório foram realizadas as caracterizações físicas dos sedimentos denominados de finos coletados nas cidades de Samambaia, Ceilândia (exceto granulometria), Recanto das Emas e nas bocas de lobo que dão acesso às galerias denominadas de Iate Clube e UnB. Os cálculos para obtenção das composições gravimétricas como também os ensaios de granulometria (metodologia tradicional da ABNT segundo a NBR 7181/84). Todas as fases foram realizadas no laboratório da NOVACAP.

Também se realizou na fase de laboratório os ensaios de cromatografia gasosa no laboratório QUINOSAN® e de lixiviação no laboratório SOLOQUÍMICA®.

3.4.5.1. OBTENÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA E DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE ÚMIDA E SECA

Para fazer a caracterização física dos resíduos utilizou-se a NBR 10.007 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2004). Em questão de volume, definiu-se para a caracterização física do material coletado nas cidades satélites um volume de setenta litros (70L) e para o material coletado no Plano Piloto utilizou-se o volume total correspondente ao que foi encontrado nas bocas de lobo (fato ocorrido na primeira limpeza). Para realizar o quarteamento, a massa foi determinada aleatoriamente, após a análise da amostra (conteúdo espalhado sobre uma lona plástica), por meio da triagem. Esta consistiu em separar os materiais por classes relevantes como vidro, plástico, finos (matéria orgânica, areia, silte e argilas), metais, madeira e outros (material pedregulhoso), eles foram pesados por classe e calculados, obtendo então as porcentagens individuais (Eq.1), conforme esquema a seguir:

- Massa do resíduo em (kg) = Massa total coletada – Massa do tambor
- $Composição\ gravimétrica = \left(\frac{Massa\ do\ resíduo\ (material\ classificado)}{Massa\ do\ resíduo\ em\ kg} \right) \times 100$ (1)

A massa úmida utilizada para obter a massa específica corresponde ao resíduo encontrado nas bocas de lobo, enquanto que a massa seca representa a amostra que passou por secagem sob lâmpadas em recinto na NOVACAP por 48 horas. As massas específicas aparente úmida e seca foram obtidos pelas equações (2) e (3) sucessivamente:

- $\gamma = \frac{\text{Massa da amostra úmida em kg}}{\text{Volume (m}^3\text{)}} \quad (2)$

- $\gamma_s = \frac{\text{Massa da amostra seca em kg}}{\text{Volume (m}^3\text{)}} \quad (3)$

- $w(\%) = \left(\frac{\text{Massa da amostra úmida} - \text{massa da amostra seca}}{\text{Massa da amostra úmida}} \right) \times 100 \quad (4)$

Vale ressaltar que no caso da obtenção da umidade (Eq. (4)), pela dificuldade de secar os resíduos, procurou-se definir a umidade sob a base úmida, evitando que o valor obtido da umidade ultrapassasse 100%, como recomendado por Soares (2011).

3.4.5.2. OBTENÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA, MASSA ÚMIDA E DO VOLUME DOS RESÍDUOS PARA ESTIMATIVA DO ENCHIMENTO DAS BOCAS DE LOBO

Inicialmente as coletas de massa úmida foram realizadas a cada vez que o acúmulo de resíduos atingiu a marcação de 10 cm dentro das bocas de lobo. Porém, como foi detectado, ao longo do estudo, que era necessário extenso período de tempo para atingir a marcação, passou-se a coletar os resíduos quando estes atingissem 5 cm, de forma a não prejudicar o andamento do trabalho. Para isso foi realizado o monitoramento todas as vezes que ocorreram precipitações intensas e de longo período. Vale ressaltar que foi instalada em cada boca de lobo uma tela (Figura 3.11) com o intuito de preservar os sedimentos que poderiam ser carregados pelos fluxos, sem, no entanto atrapalhar o fluxo hídrico. A tela foi fixada somente na parte superior da boca de lobo de forma a não prejudicar a passagem dos sedimentos e descaracterizar a estimativa de enchimento das bocas de lobo.



Figura 3. 11 - Tela instalada na boca de lobo

A primeira coleta foi realizada na boca de lobo que dá acesso a galeria denominada de Iate Clube (Ponto 03), onde o material depositado por arraste atingiu a marcação de 10 cm. A segunda coleta ocorreu na boca de lobo que dá acesso à galeria denominada de UnB (Ponto 04), onde o material atingiu 5 cm. Na coleta utilizaram-se sacolas plásticas, pá, trena, entre outras ferramentas.

Realizadas as coletas, foi possível com base nos dados de pluviometria fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), saber e estimar quantos milímetros de chuva foram necessários para carrear os resíduos que ocupariam o volume marcado até os cinco ou dez centímetros e conseqüentemente todo o volume das bocas de lobo.

Para obter a massa específica dos materiais encontrados nas bocas de lobo dos pontos 03 (Iate Clube) e 04 (UnB), utilizou-se a equação 2. O volume utilizado na equação 2 foi determinado a partir da altura interna marcada ou medida, ou seja, cinco ou dez centímetros, multiplicado pela área da base (retangular). As marcações na boca de lobo foram realizadas por meio de tinta (Figura 3.12), cujo objetivo foi facilitar a quantificação dos resíduos que chegariam as bocas de lobo ao longo do tempo.



Figura 3. 12 - Boca de lobo (ponto 03 - Iate Clube) com as marcações internas

A partir de uma porção da amostra (massa úmida) e o espaço ocupado por ele (volume), pode-se chegar ao valor da massa específica do mesmo. Vale ressaltar que a massa úmida utilizada para o cálculo da massa específica foi a encontrada dentro da boca de lobo e que, após coleta, foi pesada e caracterizada conforme a NBR 10007/2004.

3.4.5.3. REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE CROMATOGRAFIA GASOSA

O ensaio de cromatografia gasosa foi realizado pelo laboratório QUINOZAN, com o objetivo de verificar se as amostras coletas nas bocas de lobo possuíam vestígios de combustíveis como gasolina (hidrocarbonetos aromáticos), já que, nas últimas décadas, compostos desse tipo têm gerado grandes problemas ambientais.

Primeiramente, uma porção de cada amostra, do Iate Clube e da UnB, foi guardada em recipiente de vidro com tampa metálica e posteriormente levadas ao laboratório para as análises.

Entre os compostos químicos associados à contaminação por combustíveis inclui-se benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno, que agrupados são denominados de BTEX. O procedimento em laboratório foi acompanhado e verificou-se, primeiramente, que uma sub-amostra do sedimento de cada ponto (03 e 04) foi coletada com o objetivo de evitar a perda dos BTEX por volatilização. Após a abertura do frasco de amostra para análise de BTEX, uma seringa (sem ponta) de 3,0 mL foi rapidamente introduzida na amostra de solo para a coleta da sub-amostra a ser analisada.

Posteriormente, o êmbolo da seringa foi comprimido e cerca de 2,0 gramas de solo úmido foram transferidos a um frasco (tarado) de 20 mL contendo penicilina, em seguida este foi pesado e adicionados 10 mL de solução modificadora (180 g de NaCl dissolvidos em 500 mL de água deionizada em um balão volumétrico, com pH ajustado a 2) e 100 µL de metanol e o frasco imediatamente lacrado.

Foi realizado procedimento idêntico ao acima citado para a transferência dos componentes voláteis no *headspace* (fase gasosa que repousa sobre a fase condensada da amostra de sedimento) e a seguir analisado por CG-DIC (SHIMADZU® 17, utilizando uma coluna: DB1 100% Siloxano, 30 m x 0,25 mm x 0,25 µm).

As concentrações de BTEX foram determinadas em ppm (mg kg⁻¹ de solo seco) por meio da área de cada componente com base na equação da reta (obtida pela curva de referência de *headspace* do laboratório) e do teor de umidade do solo. A Figura 3.13 mostra o equipamento utilizado para obtenção de concentração dos gases.



Figura 3. 13 - Equipamento utilizado para detecção de concentração de gases

3.4.5.4. REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE CUNHO AMBIENTAL – LIXIVIAÇÃO

O ensaio de lixiviação foi realizado pelo laboratório Soloquímica®, cujo objetivo foi verificar nas amostras coletadas (bocas de lobo que dão acesso às galerias denominadas de UnB e de Iate Clube) os elementos que caracterizam toxicidade e corrosividade, prejudicando as redes de águas pluviais e também o Lago Paranoá.

Na realização dos ensaios se utilizou como reagentes e materiais: arsênio, cádmio, chumbo, cromo, cobre, ferro para teste de absorção atômica. Mercúrio e selênio em teste gerador de hidretos mais absorção atômica e cianeto para titulação.

Para obter o extrato lixiviado, inicialmente reduziu-se o tamanho das partículas menores que nove milímetros (9 mm) e transferiu-se cinco gramas (5g) para um béquer. Em seguida, adicionou-se 96,5 mL de água deionizada, cobriu e agitou-se vigorosamente por 5 minutos, com agitador magnético. Posteriormente mediu-se o potencial hidrogeniônico (pH) para definir qual a solução do extrato seria utilizada, a partir do seguinte critério: pH < 5 extração nº 1, senão, pH > 5 extração nº 2.

Sabendo-se que o valor do pH encontrado foi igual 4,9, utilizou-se então a solução de extração nº 1. Esta extração consistiu em adicionar 5,7 mL de ácido acético glacial a água ultrapura (água destilada, deionizada e isenta de orgânicos) e adicionar 64,3 mL de hidróxido de sódio (NaOH). Em seguida completou-se o volume a 1 litro.

Vale ressaltar que todos os procedimentos executados e exigíveis tiveram como referências as normas prescritas pela ABNT NBR 10005 (obtenção do extrato lixiviado).

4. ANÁLISES E RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos na presente pesquisa de acordo com a metodologia adotada.

4.1. ÁREAS DE LANÇAMENTO – CARACTERIZAÇÃO VISUAL

Nos dois locais de lançamento das águas pluviais (exutório) que foram estudados há uma mudança significativa na cor e no odor da água lançada no Lago Paranoá. Verificou-se que na entrada da galeria denominada UnB (Figura 4.1), próximo ao exutório, o odor e a cor d'água são muito intensos quando comparados com o exutório da galeria denominada Iate Clube.

O lançamento UnB fica numa área cercada por diversas variedades de vegetações e as suas proximidades são utilizadas para lazer, como pesca e outros. Durante a visita de campo verificou-se que além dos resíduos (garrafas PET, plástico, entre outros) que se encontram na galeria, existem pessoas que usam o lago para lavar suas roupas, lançando produtos de limpeza (sabão em pó, detergentes, entre outros) diretamente no mesmo.



Figura 4. 1 - Galeria denominada de UnB

Ao contrário do que foi visto no lançamento UnB, no exutório da galeria Iate Clube (Figura 4.2) verificou-se menor numero de resíduos, pois na bacia de captação correspondente a este exutório, onde a ocupação é basicamente de instituições públicas e privadas, há poucos serviços e comércios capazes de gerar e contribuir com resíduos no referido lançamento.



Figura 4. 2 - Exutório da galeria denominada de Iate Clube

4.2. CARTAS GERADAS A PARTIR DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA SPRING 5.1.6

4.2.1. CARTA DAS REDES DE ÁGUAS PLUVIAIS – ASA NORTE DO PLANO PILOTO

O objetivo desta carta (Figura 4.3) foi mostrar as redes de águas pluviais digitalizadas, as quais apresentam um diâmetro de 400 mm. A galeria UnB apresenta uma seção de 2,60 x 2,60 m e 5 km de comprimento, iniciando no Autódromo Internacional Nelson Piquet e finalizando no Lago Paranoá. A galeria Iate Clube apresenta uma seção de 3,0 x 3,0 m e 4,2 km de comprimento, iniciando na Via W5 Norte e finalizando também no Lago Paranoá. Vale ressaltar que outras galerias também chegam ao Lago Paranoá.

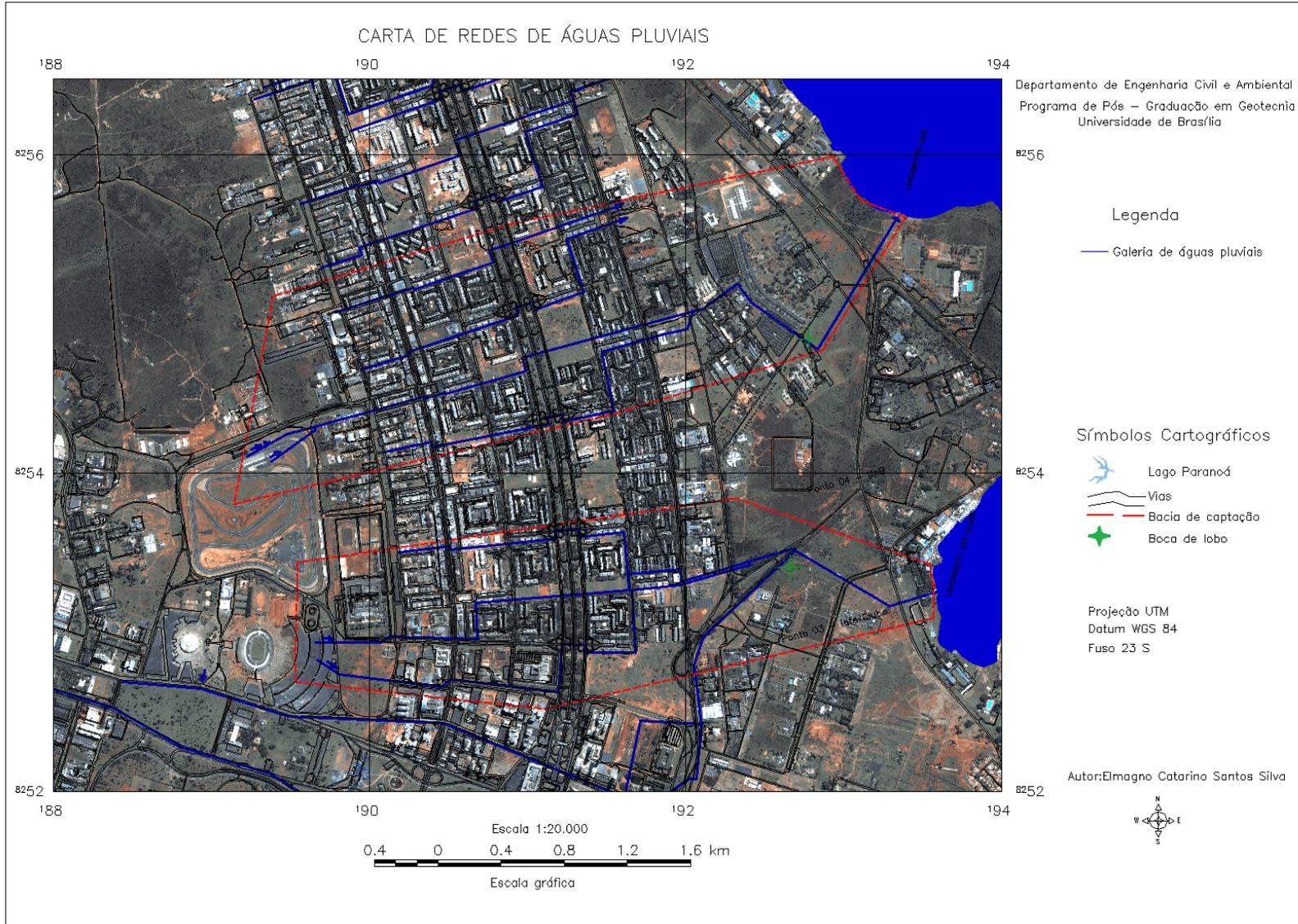


Figura 4.3 - Carta de Rede de Águas Pluviais

4.2.2. CARTA HIPSOMÉTRICA - ASA NORTE DO PLANO PILOTO

Para elaboração da carta hipsométrica (Figura 4.4) definiram-se sete classes temáticas para representar as altitudes locais presentes na Asa Norte do Plano Piloto.

Por meio da carta hipsométrica pode-se verificar a variação de altitude das bacias de captação, que iniciam com 1000 metros de altitude no Lago Paranoá até 1150 metros na parte mais alta (Setor denominado de Cruzeiro), ou seja, foi encontrada uma variação altimétrica de 150 metros. Além disso, pode-se verificar que para a bacia de captação UnB (496,4 ha), os valores de altitude que predominam encontram-se entre 1075 a 1100 m, que correspondem a 25,2 % da área total (Tabela 4.1).

Tabela 4. 1 - Intervalos de classes e áreas correspondentes para a bacia de captação UnB

Classes hipsométricas	Área (ha)	Área (%)
1000 a 1025	70	14,1
1025 a 1050	106	21,4
1050 a 1075	111	22,3
1075 a 1100	125	25,2
1100 a 1125	84	16,9
1125 a 1150	0,4	0,1
Total	496,4	100

Para a bacia de captação Iate Clube (369 ha), os valores de altitude que predominam encontram-se entre 1025 a 1050 m, que correspondem a 26,7% da área total (Tabela 4.2).

Tabela 4. 2 - Intervalos de classes e áreas correspondentes para a bacia de captação Iate Clube

Classes hipsométricas	Área (ha)	Área (%)
1000 a 1025	28	7,6
1025 a 1050	99	26,7
1050 a 1075	76	20,6
1075 a 1100	82	22,3
1100 a 1125	84	22,8
Total	369	100

4.2.3. CARTA DE DECLIVIDADE – ASA NORTE DO PLANO PILOTO

Para elaboração da carta de declividade (Figura 4.5) definiram-se seis classes de declividade. O objetivo principal desta carta foi mostrar a importância que a declividade tem no processo de carregamento dos resíduos para os elementos de microdrenagens, contribuindo para eventos de enchentes, alagamentos e inundações.

A partir da carta de declividade verificou-se que o intervalo de declividade que corresponde de 2 a 5% são as áreas planas ou quase planas onde o escoamento superficial é lento ou médio e representam 62,7% da área total da bacia de captação UnB (493 ha) e 58,2% da bacia de captação Iate Clube (366 ha). Com declividade de 0 a 2% o escoamento superficial é lento, possuindo 17,6% da área total da bacia de captação UnB e 20,5% do Iate Clube e de 5-10% o escoamento é médio ou rápido dependendo do tipo de solo com 16,4% e 17,5% respectivamente da área total das bacias. As Tabelas 4.3 e 4.4 mostram as áreas e os percentuais correspondentes para as bacias de captação.

Tabela 4. 3 - Classes de declividade e áreas correspondentes para a bacia de captação UnB

Classes de declividade	Área (ha)	Área (%)
0 a 2	87	17,6
2 a 5	309	62,7
5 a 10	81	16,4
10 a 15	10	2,0
15 a 20	4	0,8
> 20%	2	0,5
Total	493	100

Tabela 4. 4 - Classes de declividade e áreas correspondentes para a bacia de captação Iate Clube

Classes de declividade	Área (ha)	Área (%)
0 a 2	75	20,5
2 a 5	213	58,2
5 a 10	64	17,5
10 a 15	9	2,4
15 a 20	3	0,8
> 20%	2	0,6
Total	366	100

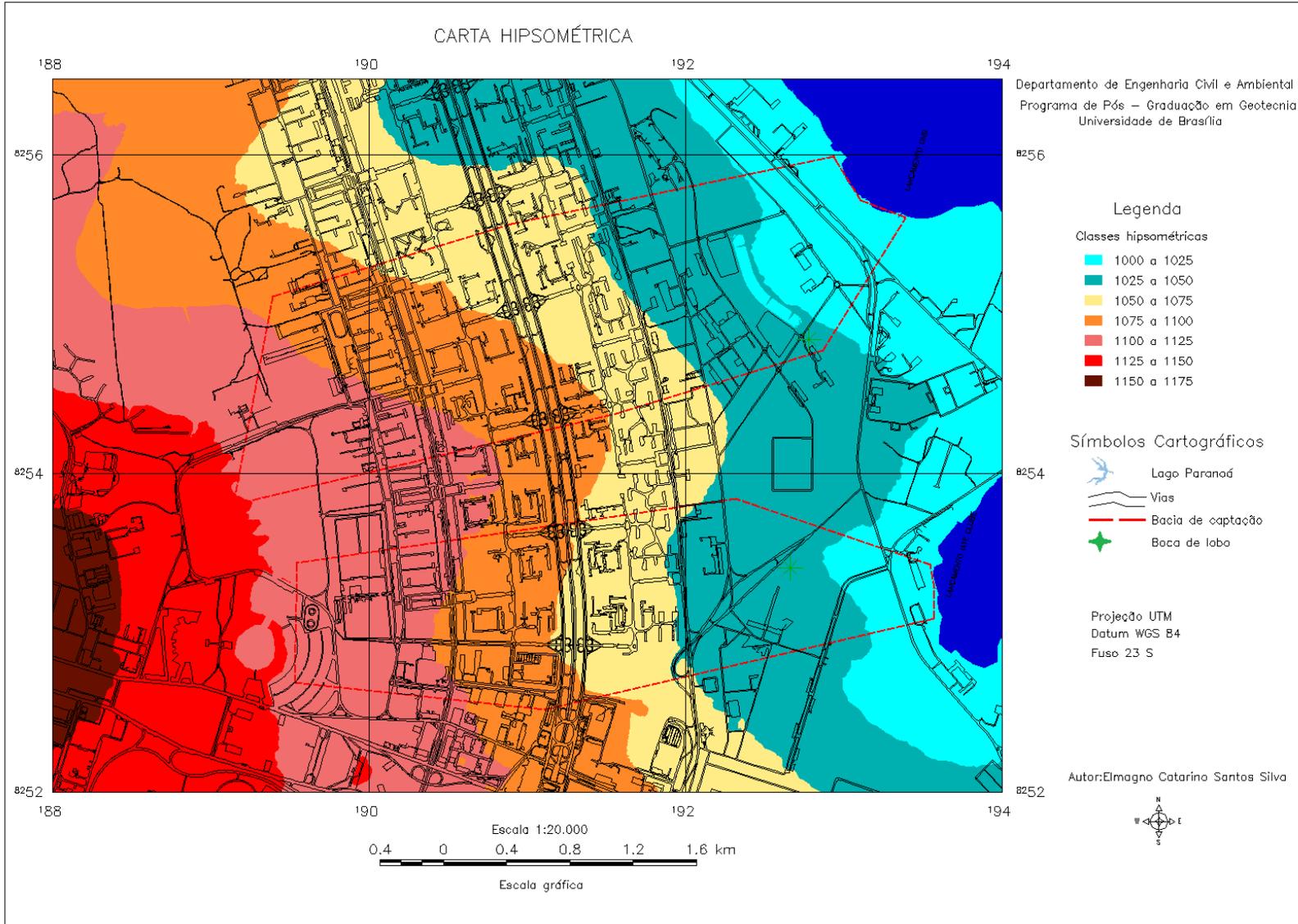


Figura 4.4 - Carta hipsométrica

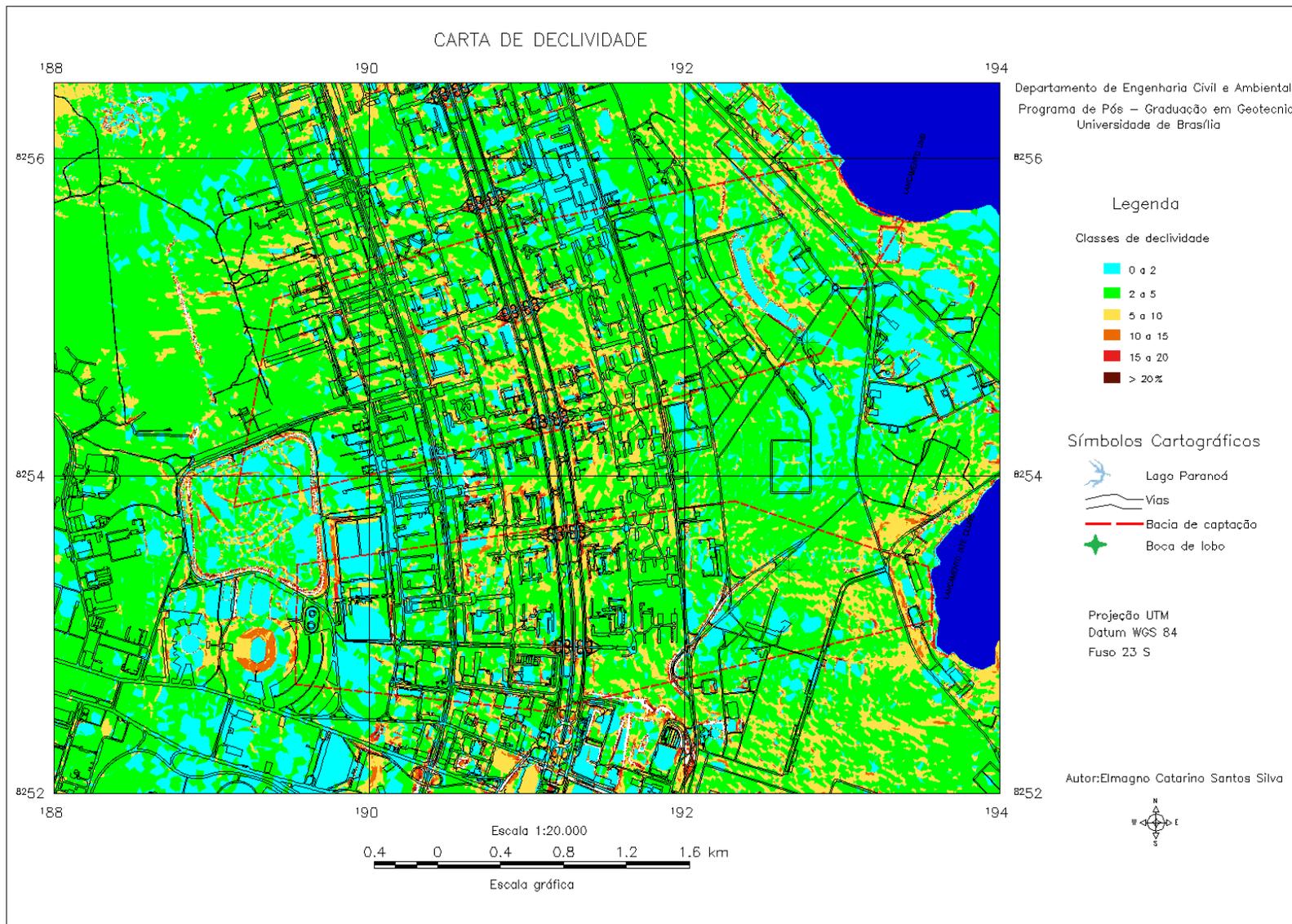


Figura 4.5 - Carta de declividade

4.2.4. CARTA DE USO E COBERTURA DO SOLO - ASA NORTE DO PLANO PILOTO

A carta de uso e ocupação de solo (Figura 4.6) teve como principal finalidade mostrar a relação existente entre as bocas de lobos estudadas na Asa Norte do Plano Piloto de Brasília e o uso do solo para a estimativa de enchimento das bocas de lobo.

Entre as classes identificadas na área de estudo, a vegetação arbórea caracterizou-se como o principal tipo de uso e cobertura do solo na bacia de captação de Iate Clube, ocupando 103 ha de toda a área, os quais correspondem a 32,3% da área total (Tabela 4.5).

Em segundo lugar, têm-se o solo exposto (vegetação rala), cobrindo uma área de 84 ha, a qual representa 26,3% da área. Em terceiro, tem-se as edificações, representando 23,2% correspondente a 74 ha de toda a área estudada. Em quarto e último lugar, a vegetação arbustiva, com 58 ha de toda a bacia de captação, correspondendo a 18,2% da área total.

Tabela 4.5 - Classes de uso e cobertura do solo e áreas correspondentes para a bacia de captação Iate Clube

Classes de Uso e Cobertura do solo	Área (ha)	Área (%)
Solo_Exposto_Vegetação_Rala	84	26,3
Vegetação_Arbustiva	58	18,2
Vegetação_Arbórea	103	32,3
Edificações	74	23,2
Total	319	100

Assim como na bacia de captação Iate Clube, na bacia de captação UnB, a vegetação arbórea caracterizou-se como o principal uso e cobertura do solo, ocupando 145 ha, correspondente a 33,8% de toda a área (Tabela 4.6). As edificações representam 27%, correspondente a 116 ha de toda a área. A classe solo exposto (vegetação rala), representa 24,5% de toda a área, correspondente a 105 ha. Em quarto e último, a vegetação arbustiva, com 63 ha de toda a bacia de captação, correspondendo a 14,7% da área total.

Tabela 4. 6 - Classes de uso e cobertura do solo e áreas correspondentes para a bacia de captação UnB

Classes de Uso e Cobertura do solo	Área (ha)	Área (%)
Solo_Exposto_Vegetação_Rala	105	24,5
Vegetação_Arbustiva	63	14,7
Vegetação_Arbórea	145	33,8
Edificações	116	27,0
Total	429	100

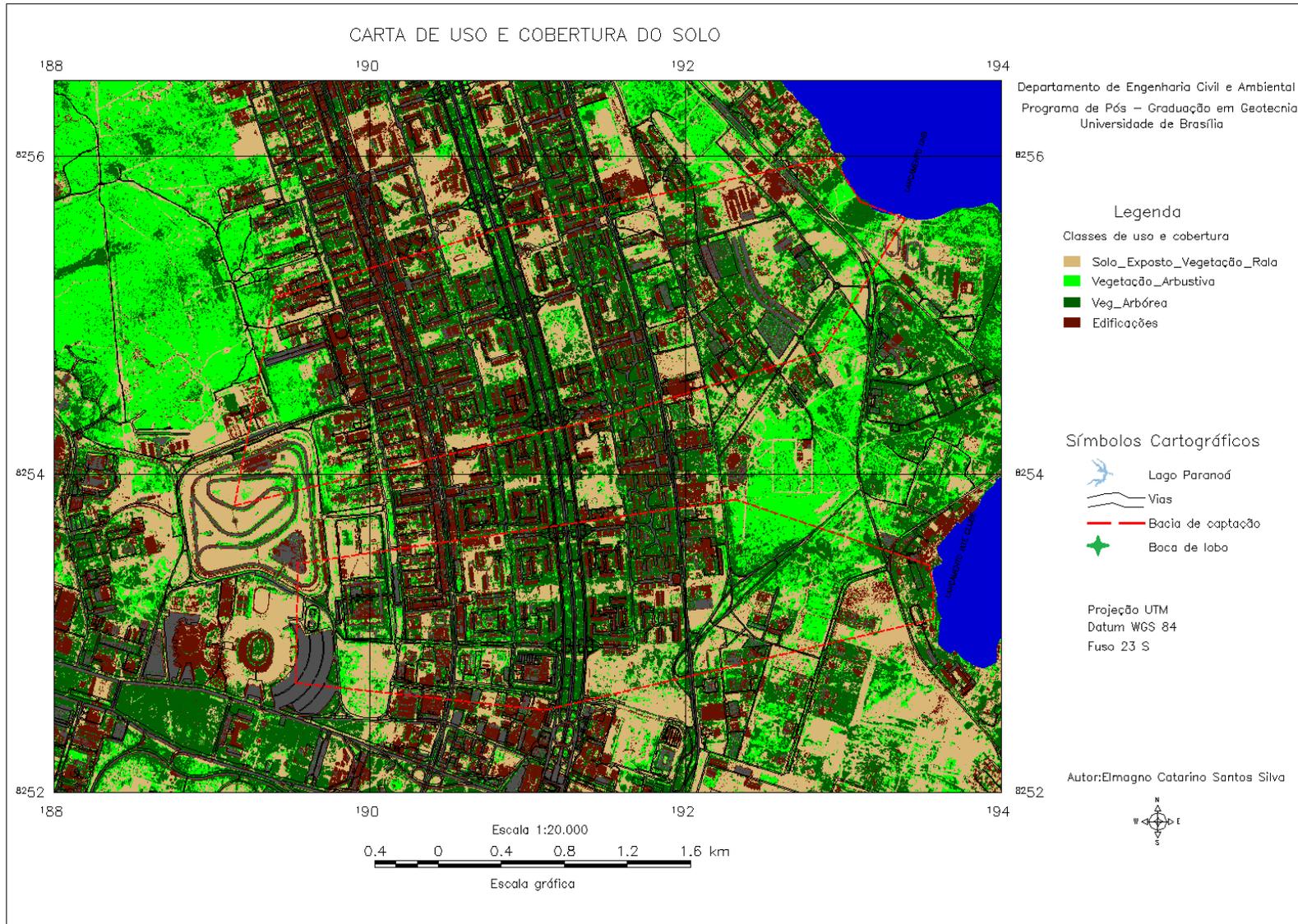


Figura 4. 6 - Carta de uso e cobertura do solo

4.3. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS RESÍDUOS – CIDADE DE CEILÂNDIA

A composição gravimétrica dos resíduos provenientes de Ceilândia mostrou que os materiais finos (matéria orgânica - material facilmente degradável, areia, silte e argilas) apresentaram clara predominância com o percentual de 74% (Figura 4.7) encontrado na boca de lobo, o que justifica o mau cheiro encontrado no momento da coleta. Em seguida, os materiais plásticos representaram aproximadamente 18%, o que, segundo moradores mais próximos, é o principal causador de alagamentos locais, por obstruírem as sarjetas. Posteriormente, os resíduos denominados de outros (pedregulhos) apresentaram 6% da composição. Por fim os metais e vidros (materiais não degradáveis) totalizando 1% da composição, seguido de madeira (material degradável) com 0,7%. A Figura 4.8 mostra os sedimentos e resíduos encontrados na boca de lobo.

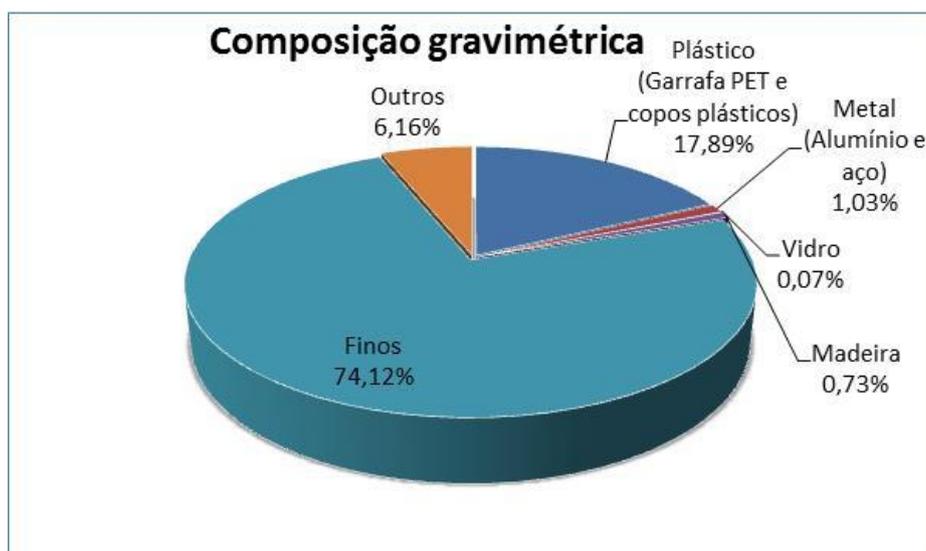


Figura 4. 7 - Percentual apresentado por cada classe de sedimentos e resíduos



Figura 4. 8 - Finos (esquerda) e plásticos (direita) coletados

Com base nos dados da Tabela 4.7 (percentuais e massa de cada classe obtida após triagem), além dos sedimentos, se verificou que parte dos resíduos obtidos na boca de lobo era composta por plásticos (garrafas de refrigerantes e sacolas plásticas). Os valores dos parâmetros físicos encontrados foram de 68,2 kg para o total coletado, com 974,29 kg/m³ de massa específica aparente úmida e 0,07 m³ de volume (valor considerado do tambor).

Vale ressaltar que a massa específica é uma característica de fundamental importância para o dimensionamento de equipamentos e instalações no processo de coleta seletiva e também para o conhecimento dos materiais mais propícios a atingirem os corpos d' água (rios, córregos e lagos).

Tabela 4. 7 - Composição gravimétrica dos sedimentos e resíduos de Ceilândia (% base úmida)

Componentes	Massa (Kg)	Porcentagem (%)
Plástico (Garrafa PET e copos plásticos)	12,20	17,9
Metal (Alumínio e aço)	0,70	1,0
Vidro	0,05	0,1
Madeira	0,50	0,7
**Finos	50,55	74,1
*Outros	4,20	6,2
Total	68,20	100,0
* Material pedregulhoso		
** Materia orgânica, silte, areia e argila		

Já a Tabela 4.8 mostra a composição gravimétrica dos sedimentos e resíduos (% base seca), onde se verificou uma perda de água de 10,52 kg, ou seja, 15,43% do sedimento total úmido (teor de umidade da amostra coletada), devido ao fato de o material passar por um período de 48 horas secando sob lâmpadas em recinto na NOVACAP. Os valores dos parâmetros físicos encontrados foram de 57,68 kg (seco) para os sedimentos e resíduos e 824,0 kg/m³ para a massa específica seca.

Tabela 4. 8 - Composição gravimétrica dos sedimentos e resíduos de Ceilândia (% base seca)

Componentes	Massa (Kg)	Porcentagem (%)
Plástico (Garrafa PET e copos plásticos)	11,96	20,7
Metal (Alumínio e aço)	0,67	1,2
Vidro	0,05	0,1
Madeira	0,46	0,8
**Finos	40,54	70,3
*Outros	4,00	6,9
Total	57,68	100,0
* Material pedregulhoso		
** Materia orgânica, silte, areia e argila		

4.4. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS RESÍDUOS – CIDADE DE SAMAMBAIA

Analisando a Tabela 4.9 (percentuais e também a massa de cada classe obtida após triagem) se verifica que os materiais finos (matéria orgânica – material facilmente degradável, areia, silte e argilas) foram os sedimentos com maior percentual encontrado na boca de lobo. Em seguida, resíduos como plásticos com 6,3%, posteriormente os denominados de outros apresentou 1,66% da composição, os metais (materiais não degradável) com 0,83% e por fim a madeira (material degradável) com 0,83%.

Quanto aos valores dos parâmetros físicos encontrados, foram de 60,3 kg (úmido) para os sedimentos e resíduos coletados e 861,43 kg/m³ para a massa específica aparente úmida.

Tabela 4.9 - Composição gravimétrica dos sedimentos e resíduos de Samambaia (% base úmida)

Componentes	Massa (Kg)	Porcentagem (%)
Plástico (Garrafa PET e copos plásticos)	3,80	6,3
Metal (Alumínio e aço)	0,50	0,8
Madeira	0,50	0,8
**Finos	54,50	90,4
*Outros	1,00	1,7
Total	60,30	100,0

* Material pedregulhoso

** Materia orgânica, silte, areia e argila

Fazendo uma comparação entre as Tabelas 4.9 (base úmida) e 4.10 (base seca) e analisando a Figura 4.9, verifica-se nessa última uma diminuição nas massas das classes plástico, metais e finos. Em seguida, ocorreu um aumento nas classes madeira e outros, além de ser possível registrar a classe vidro, o que não foi identificado quando o material se encontrava úmido. Esta diminuição ocorreu devido ao material permanecer secando durante 48 horas em recinto da NOVACAP sob lâmpadas acesas todo o tempo (Figura 4.10). Esta perda correspondeu a 12,2 kg, ou seja, 20,23% da massa total úmida (isso equivale ao teor de umidade da amostra coletada), lembrando que este percentual pode alterar-se em função das estações do ano e da incidência de chuvas. O aumento nas classes madeira e outros ocorreu devido aos resíduos pertencentes a estas classes se encontrarem agregados aos finos e passarem despercebidos no momento da classificação.

Os valores dos parâmetros físicos encontrados foram de 48,11 kg (seco) para os sedimentos e resíduos e 687,14 kg/m³ para a massa específica seca.

Tabela 4. 10 - Composição gravimétrica dos sedimentos e resíduos de Samambaia (% base seca)

Componentes	Massa (Kg)	Porcentagem (%)
Plástico (Garrafa PET e copos plásticos)	3,50	7,3
Metal (Alumínio e aço)	0,34	0,7
Vidro	0,03	0,1
Madeira	0,70	1,5
**Finos	42,34	88,0
*Outros	1,20	2,5
Total	48,11	100,0

* Material pedregulhoso

** Materia orgânica, silte, areia e argila

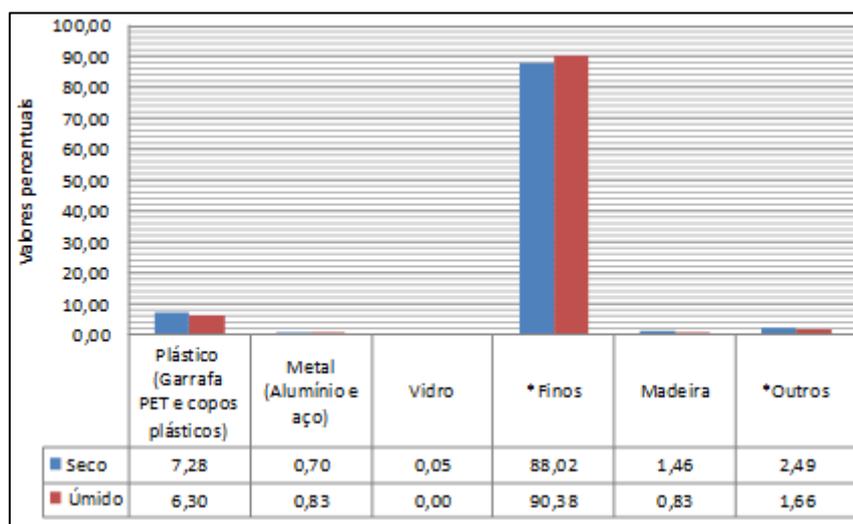


Figura 4. 9 - Comparativo quantitativo em percentuais dos sedimentos e resíduos da cidade de Samambaia



Figura 4. 10 - Resíduos secando com auxílio de lâmpadas em recinto próprio na NOVACAP

4.4.1. CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA - SAMAMBAIA

Após a realização da composição gravimétrica, determinou-se a curva de distribuição granulométrica dos sedimentos denominados finos coletados na cidade de Samambaia. Por meio dos resultados obtidos do ensaio de granulometria (Tabela 4.11) foi possível construir a curva de distribuição granulométrica (Figura 4.11).

Tabela 4. 11 - Granulometria obtida para os sedimentos da cidade de Samambaia

Local	Material	% do material com defloculante	% do material sem defloculante
Cidade de Samambaia	Areia	71	73
	Silte	20	18
	Argila	2	2
	> 2,0 mm	7	7

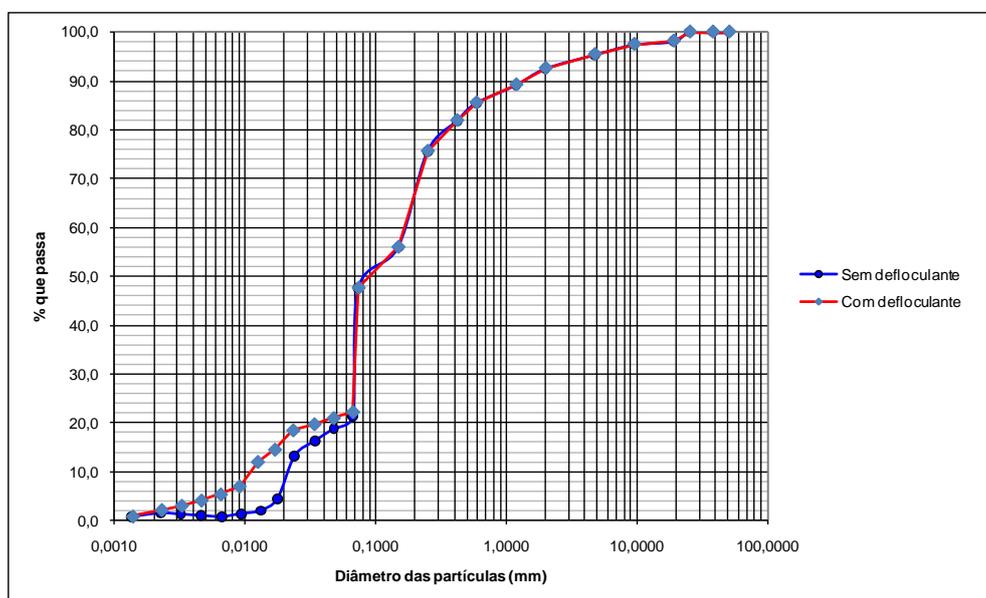


Figura 4. 11 - Resultados obtidos para a amostra de sedimentos coletada na cidade de Samambaia

Analisando a Tabela 4.11 e a Figura 4.11, pode-se observar que o resultado obtido para a amostra de sedimentos utilizando a NBR 7181/84 com o uso de defloculante não alterou o percentual de argila presente na amostra, porém abaixou o percentual de areia e aumentou o percentual de silte.

4.5. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS RESÍDUOS – CIDADE DO RECANTO DAS EMAS

Assim como nas outras cidades satélites estudadas os sedimentos denominados de finos representam o maior percentual no processo de caracterização física, como mostra a Figura

4.12. Em seguida os plásticos apresentaram 15,81%, posteriormente os resíduos denominados de outros apresentou 1,26% da composição. A Figura 4.13 mostra a composição gravimétrica dos sedimentos e resíduos da cidade do Recanto das Emas, com predominância das classes plásticos e finos.



Figura 4.12 - Percentual representativo por classe de sedimentos e resíduos

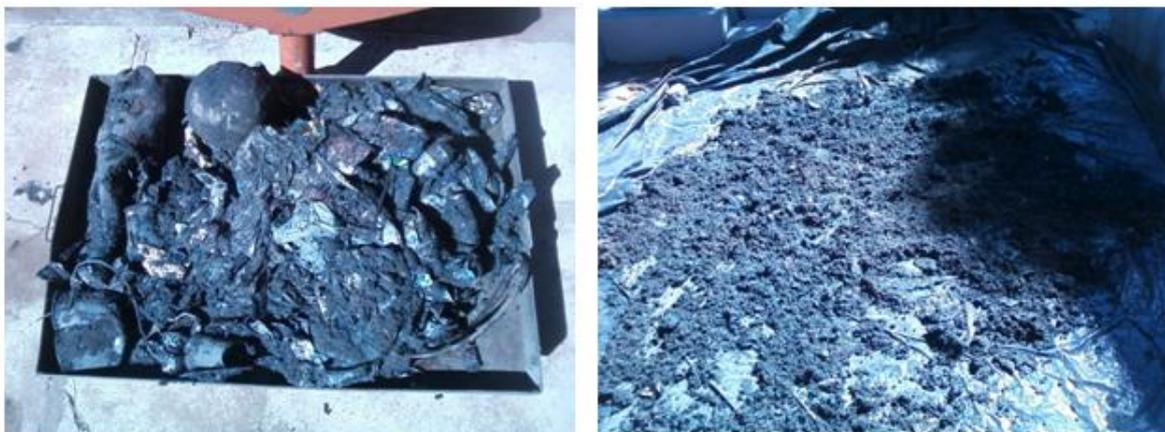


Figura 4.13 - Classes com maiores percentuais: plásticos (esquerda) e finos (direita)

Analisando as Tabelas 4.12 e 4.13 se verifica nesta última uma diminuição do peso dos materiais denominados de finos, assim como nos demais. Como nas outras cidades, isso ocorreu devido o material perder água durante o processo de secagem sob lâmpadas na NOVACAP (48 horas). A perda foi de 14,7 kg o que corresponde a 15,49% da massa total úmido.

Os valores dos parâmetros físicos encontrados foram de 94,9 kg (úmido) para os sedimentos e resíduos, 1355,71 kg/m³ para a massa específica aparente úmida, de 80,2 kg (seco) e de 1145,71 kg/m³ para a massa específica seca.

Tabela 4. 12 - Composição gravimétrica dos sedimentos e resíduos do Recanto das Emas (% base úmida)

Componentes	Massa (Kg)	Porcentagem (%)
Plástico (Garrafa PET e copos plásticos)	15,00	15,8
Metal (Alumínio e aço)	0,30	0,3
Madeira	1,00	1,1
**Finos	77,40	81,6
*Outros	1,20	1,3
Total	94,90	100,0

* Material pedregulhoso
 ** Materia orgânica, silte, areia e argila

Tabela 4. 13 - Composição gravimétrica dos sedimentos e resíduos do Recanto das Emas (% base seca)

Componentes	Massa (Kg)	Porcentagem (%)
Plástico (Garrafa PET e copos plásticos)	12,00	15,0
Metal (Alumínio e aço)	0,20	0,2
Madeira	0,70	0,9
**Finos	66,30	82,7
*Outros	1,00	1,2
Total	80,20	100,0

* Material pedregulhoso
 ** Materia orgânica, silte, areia e argila

4.5.1. CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA – RECANTO DAS EMAS

Por meio dos resultados obtidos do ensaio de granulometria para os sedimentos denominados de finos foi possível construir a curva de distribuição granulométrica (Figura 4.14) e fazer o resumo da textura que aparece na Tabela 4.14.

Tabela 4. 14 - Granulometria obtida para os sedimentos da cidade do Recanto das Emas

Local	Material	% do material com defloculante	% do material sem defloculante
Cidade do Recanto das Emas	Areia	62	67
	Silte	12	14
	Argila	9	2
	> 2,0 mm	17	17

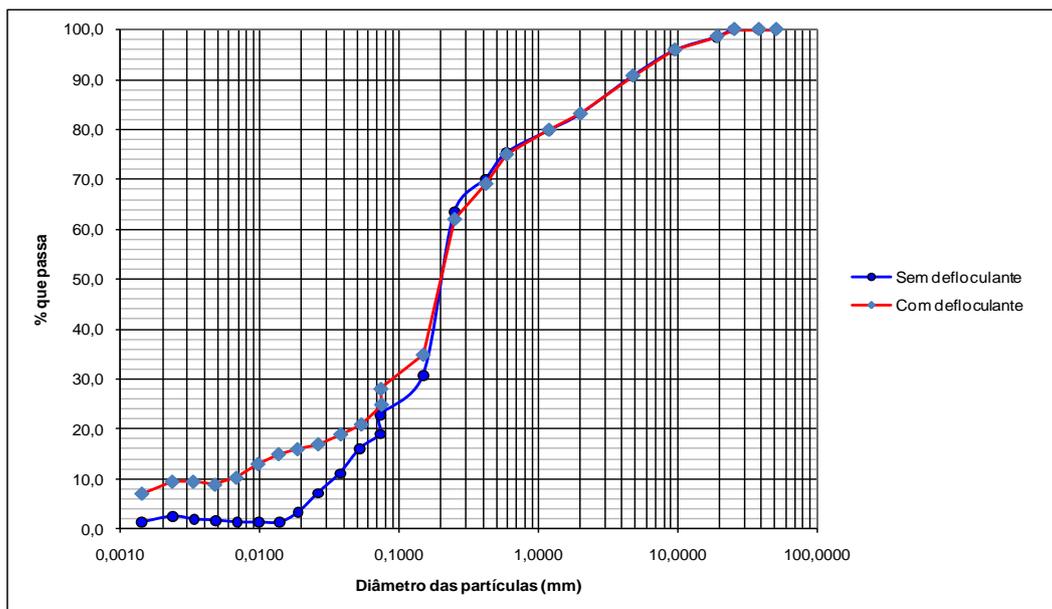


Figura 4. 14 - Resultados obtidos para a amostra de sedimento coletada na cidade do Recanto das Emas

Analisando a Tabela 4.14 pode-se verificar que na boca de lobo onde se coletou o sedimento existia um percentual elevado de areia quando comparado com os demais (silte e argila) e que após o uso do defloculante, houve um aumento relevante no percentual de argila. Lembrando que essa areia possivelmente foi carregada até a boca de lobo devido à precipitação, mas também por atividades locais envolvendo movimentação de sedimentos.

Vale ressaltar que os altos índices de finos (Tabela 4.12) encontrados na boca de lobo (Figura 3.8) e também dos resíduos (plásticos, madeira, entre outros) mostram algumas das causas prováveis dos alagamentos locais, que tem trazido constantes reclamações por parte da comunidade local junto a NOVACAP.

4.6. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS RESÍDUOS - BOCA DE LOBO QUE DÁ ACESSO A GALERIA DENOMINADA DE IATE CLUBE

A composição gravimétrica realizada para as amostras coletadas na boca de lobo que dá acesso a galeria Iate Clube (Ponto 03) mostrou que os materiais finos (matéria orgânica - material facilmente degradável, areia, silte e argilas) foram os sedimentos com maior percentual, ou seja, 84% (Tabela 4.15). Em seguida, os materiais denominados de outros (britas) apresentaram aproximadamente 12% e posteriormente os resíduos de madeira com cerca de 3%. Vale ressaltar que os valores dos parâmetros físicos encontrados foram de

143,96 kg (úmido) para a massa dos sedimentos e resíduos e 719,8 kg/m³ para a massa específica aparente úmida.

Tabela 4. 15 - Composição gravimétrica dos sedimentos e resíduos da boca de lobo do ponto 03 (% base úmida)

Componentes	Massa (Kg)	Porcentagem (%)
Plástico (Garrafa PET e copos plásticos)	0,30	0,2
Madeira	4,83	3,4
**Finos	121,23	84,2
*Outros	17,60	12,2
Total	143,96	100,0

* Material pedregulhoso

** Materia orgânica, silte, areia e argila

A Figura 4.15 mostra respectivamente as duas classes (outros e finos) com maior percentual encontrado.



Figura 4. 15 - Materiais das classes pedregulhosos (brita) (esquerda) e finos (direita)

Fazendo uma comparação entre a Figura 4.16 (% base úmida) e a Figura 4.17 (% base seca) se verifica nessa última uma diminuição na massa de todas as classes, porém é identificada uma nova classe: vidro. A diminuição da massa do material coletado ocorreu devido o mesmo permanecer secando em repouso durante 48 horas ao ar sob lâmpadas em recinto na NOVACAP, causando perda de água. Essa perda de água correspondeu a 12,91 kg, ou seja, 8,97% da massa total úmida (isso equivale ao teor de umidade da amostra coletada).

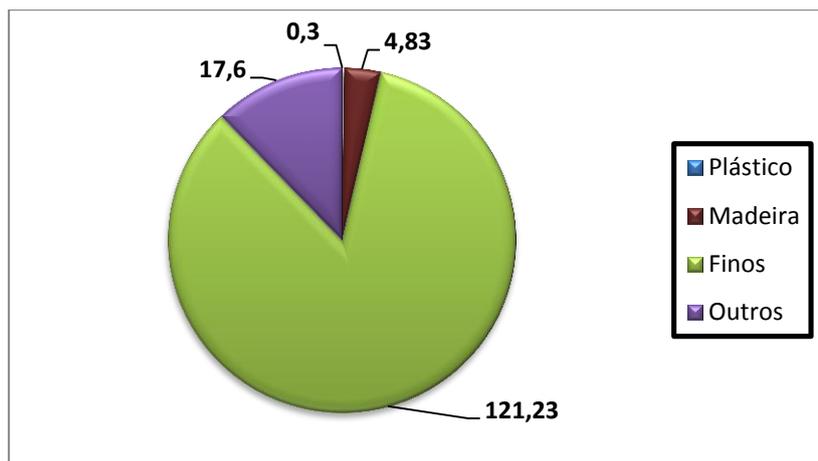


Figura 4. 16 - Representação da massa (base úmida) para o ponto 03

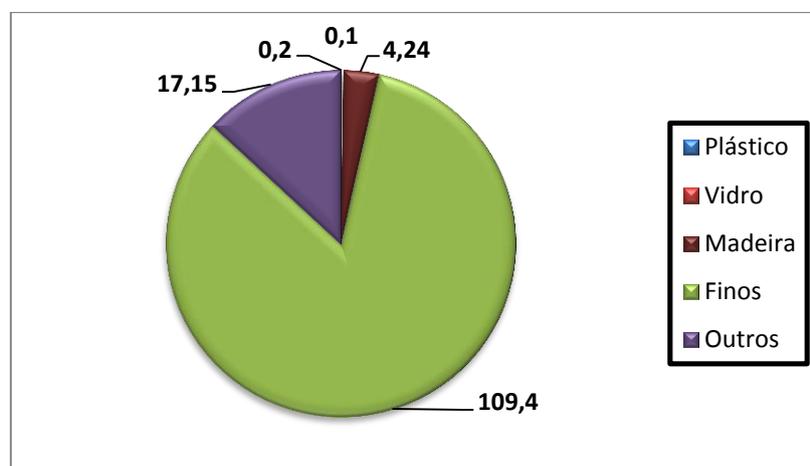


Figura 4. 17 - Representação da massa (base seca) para o ponto 03

4.6.1. CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA - AMOSTRA DO PONTO 03

Por meio dos resultados obtidos do ensaio de granulometria para os materiais finos (Tabela 4.16) foi possível construir a curva de distribuição granulométrica (Figura 4.18).

Tabela 4. 16 - Percentuais obtidos do ensaio de granulometria para amostra do ponto 03 (Iate Clube)

Local	Material	% do material com defloculante	% do material sem defloculante
Ponto 03 (Iate Clube)	Areia	38	48
	Silte	12	11
	Argila	10	1
	> 2,0 mm	40	40

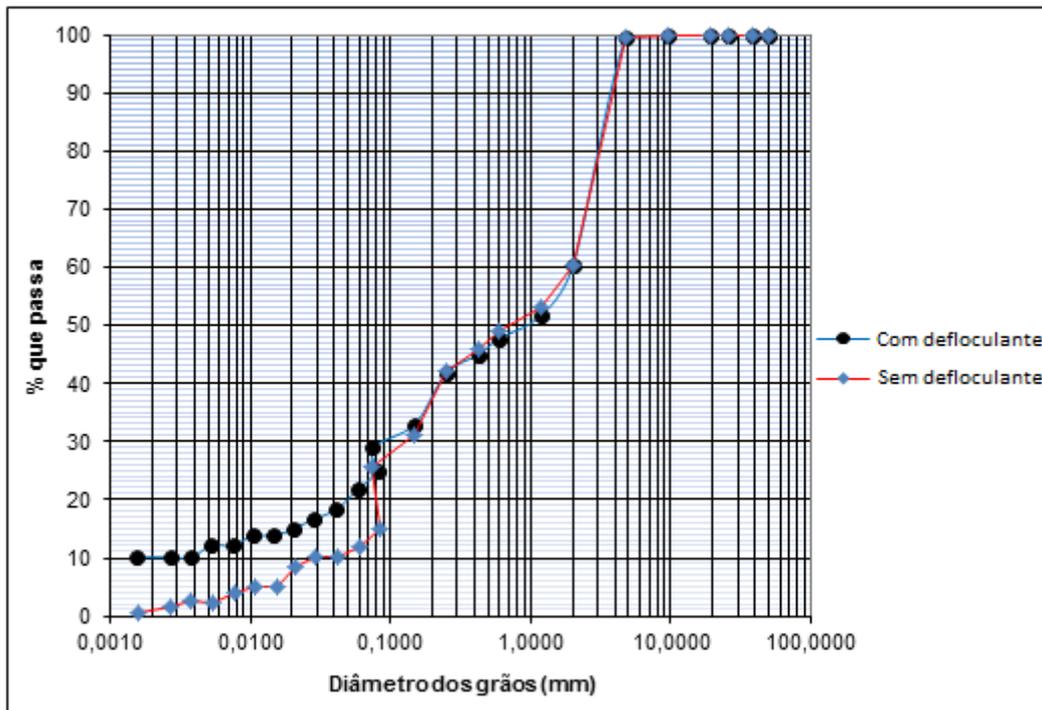


Figura 4. 18 - Resultados obtidos para a amostra do ponto 03 (Iate Clube)

Analisando a Tabela 4.16 pode-se verificar que na boca de lobo onde se coletou o sedimento existia um percentual elevado de areia quando comparado com a argila. Também se verificou a facilidade de desagregação das partículas, uma vez que após usar o defloculante, houve um aumento relevante no percentual de argila. Vale ressaltar que a boca de lobo do ponto 03 se localiza numa região de baixa declividade, o que facilita o depósito dos materiais carreados pelas águas das chuvas.

4.7. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS RESÍDUOS - BOCA DE LOBO QUE DÁ ACESSO A GALERIA DENOMINADA UNB

Após coletar as amostras da boca de lobo que dá acesso a galeria UnB, realizou-se a composição gravimétrica das mesmas (Tabela 4.17), onde se obteve 86% de materiais finos (base úmida) e 14% dos materiais denominados de outros (pedregulhoso). Vale ressaltar que os valores dos parâmetros físicos encontrados foram de 97,38 kg (úmido) para a massa dos sedimentos e resíduos e 973,8 kg/m³ para a massa específica aparente úmida. A Figura 4.19 mostra a classe denominada de finos (sedimentos) obtida da boca de lobo do ponto 04 (UnB).

Tabela 4. 17 - Composição gravimétrica dos sedimentos e resíduos da boca de lobo do ponto 04 (% base úmida)

Componentes	Massa (Kg)	Porcentagem (%)
Plástico (Garrafa PET e copos plásticos)	0,05	0,1
Madeira	0,30	0,3
**Finos	83,38	85,6
*Outros	13,65	14,0
Total	97,38	100,0

* Material pedregulhoso
 ** Materia orgânica, silte, areia e argila



Figura 4. 19 - Materiais das classes finos (esquerda) e plásticos (direita)

As Figuras 4.20 e 4.21 mostram respectivamente a massa e as percentagens dos sedimentos e resíduos (base úmida e seca) coletados no ponto 04 (UnB), na qual há uma diminuição da massa total, devido à perda de água durante a secagem do material. No entanto, não houve alteração na representatividade de percentual da classe plástico, como mostra a Tabela 4.18.

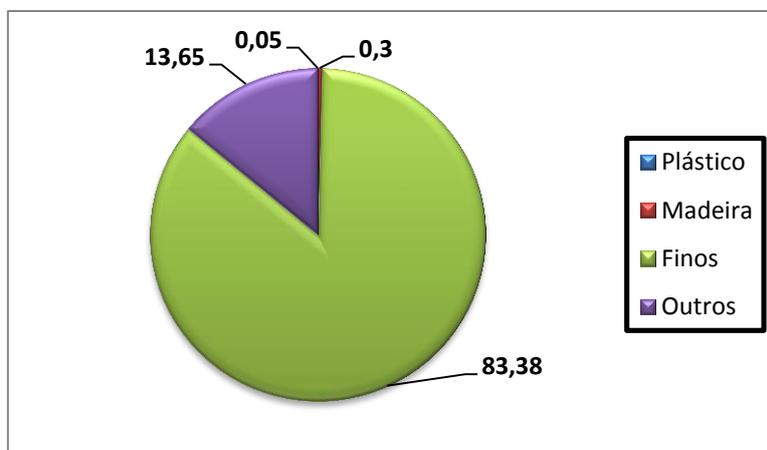


Figura 4. 20 - Representação da massa e dos percentuais (base úmida) para o ponto 04 (UnB)

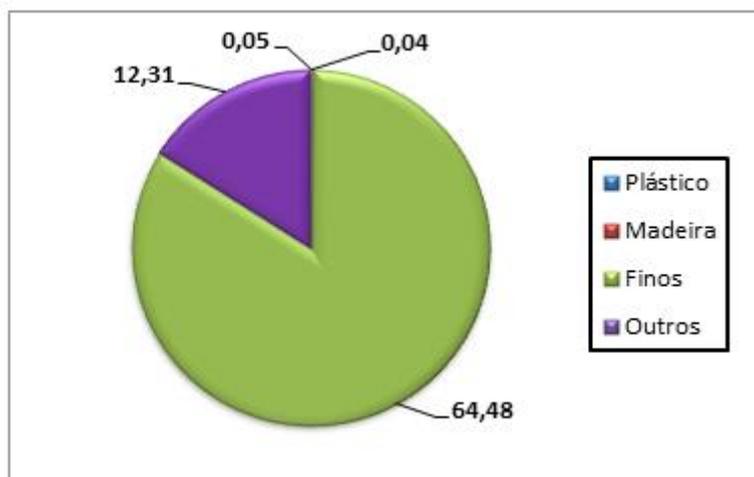


Figura 4. 21 - Representação da massa e dos percentuais (base seca) para o ponto 04 (UnB)

Tabela 4. 18 - Composição gravimétrica dos sedimentos e resíduos da boca de lobo do ponto 04 (% base seca)

Componentes	Massa (Kg)	Porcentagem (%)
Plástico (Garrafa PET e copos plásticos)	0,04	0,1
Madeira	0,19	0,2
**Finos	66,48	84,1
*Outros	12,31	15,6
Total	79,02	100,0

* Material pedregulhoso
 ** Materia orgânica, silte, areia e argila

4.7.1. CURVA DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA - AMOSTRA DO PONTO 04 (UnB)

Após o material denominado fino secar ao ar sob lâmpadas em recinto na NOVACAP, o mesmo foi levado para o laboratório, onde, utilizando a metodologia da NBR 7181/84, se obteve as frações granulométricas (Tabela 4.19), permitindo a construção da curva, como mostra a Figura 4.22.

Tabela 4. 19 - Percentuais obtidos do ensaio de granulometria para amostra do ponto 04 (UnB)

Local	Material	% do material com defloculante	% do material sem defloculante
Ponto 04 (UnB)	Areia	37	57
	Silte	19	18
	Argila	22	3
	> 2,0 mm	22	22

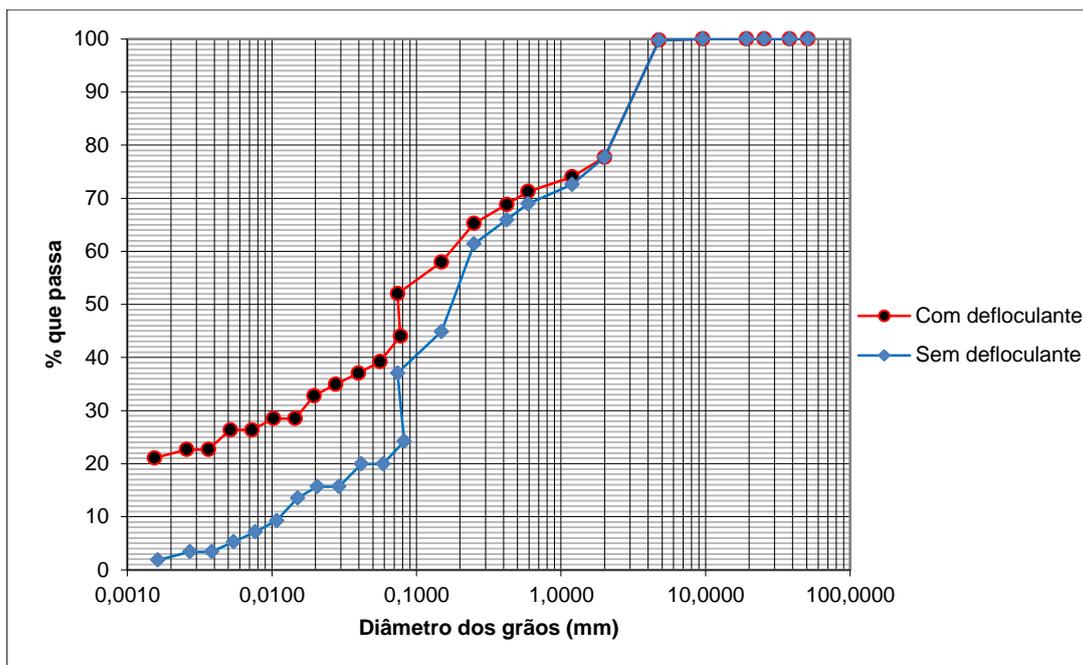


Figura 4. 22 - Curva granulométrica obtida para a amostra do ponto 04 (UnB)

4.8. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS RESÍDUOS APLICANDO O QUARTEAMENTO – BOCAS DE LOBO DOS PONTOS 03 (IATE CLUBE) E 04 (UnB)

Após executar a caracterização física com todo o volume de resíduos obtido das bocas de lobo, realizou-se posteriormente uma nova caracterização física, sendo que as amostras foram homogeneizadas (descartou-se as duas partes opostas e as outras duas partes restantes permaneceram), onde se obteve aleatoriamente 45 kg da amostra obtida da boca de lobo que dá acesso à galeria Iate Clube e 32 kg da amostra obtida da boca de lobo que dá acesso a galeria UnB. As Figuras 4.23 e 4.24 mostram as massas e percentuais obtidos após o quarteamento para resíduos coletados nas bocas de lobo.

Analisando os materiais encontrados nos pontos 03 (Iate Clube) e 04 (UnB), com realização ou não do quarteamento exigido pela NBR 10007/2004, fica clara a predominância da classe finos (sedimentos).

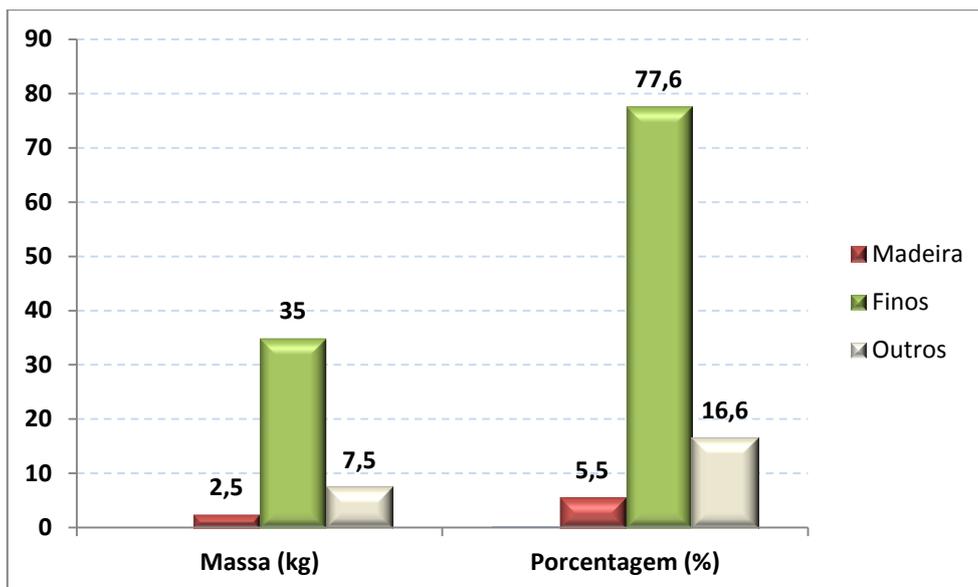


Figura 4. 23 - Sedimentos e resíduos caracterizados pós quarteamento (ponto 03 – Iate Clube)

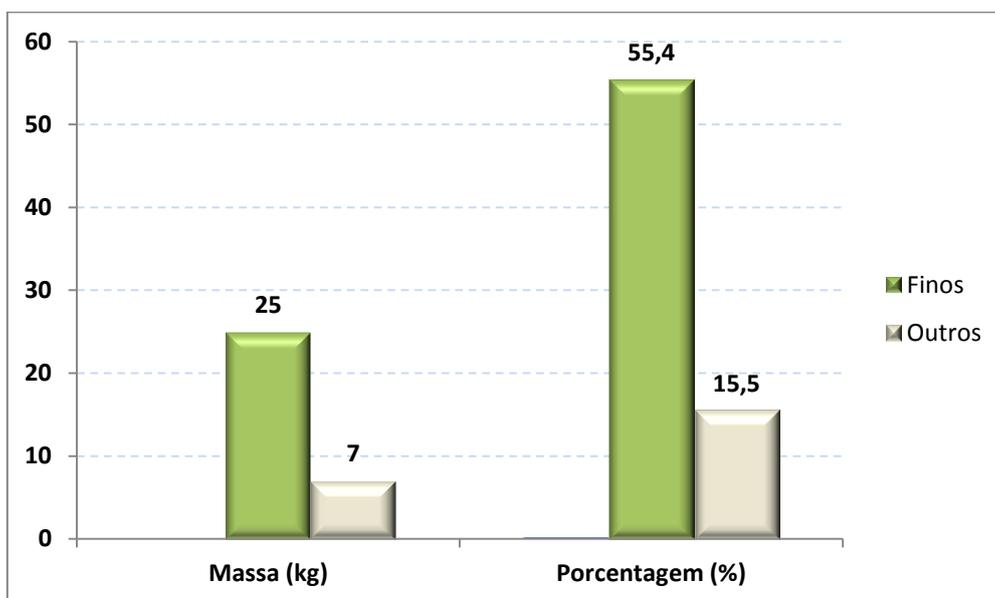


Figura 4. 24 - Sedimentos e resíduos caracterizados pós quarteamento (ponto 04 - UnB)

4.9. ESTIMATIVA DE ENCHIMENTO PARA A BOCA DE LOBO QUE DÁ ACESSO A GALERIA IATE CLUBE (PONTO 03)

Entre os dias 21 e 28 de setembro de 2012 o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) por meio da Estação: A001-Brasília (latitude 15°47' Sul e longitude 47°55 WGr) registrou 29 milímetros de chuva na cidade de Brasília, o que possibilitou a chegada e acúmulo dos resíduos na boca de lobo. A Figura 4.25 mostra os valores de precipitação medidos pela estação.

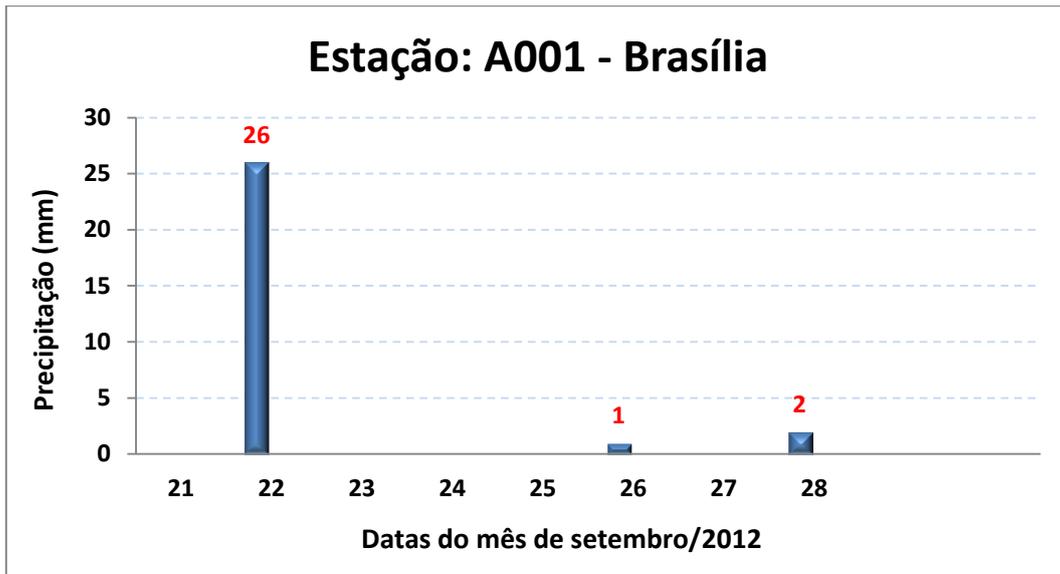


Figura 4. 25 - Dados pluviométricos registrados pelo INMET de 21 a 28/09/2012
 Fonte: INMET (2012)

No dia 29 de setembro de 2012 em decorrência da estiagem e do acúmulo de resíduos, atingindo a marcação de 10 cm feita internamente na boca de lobo, foi possível realizar a coleta dos primeiros resíduos após longo período de seca e conseqüentemente calcular o volume que estes ocupavam na boca de lobo, obter a massa úmida, massa específica e por fim caracterizá-los fisicamente segundo a NBR 10007/2004. A Figura 4.26 mostra a massa retirada da boca de lobo após atingir a marca de 10 cm.



Figura 4. 26 - Massa retirada da boca de lobo do ponto 03

Sabendo-se que as dimensões da boca de lobo são de 100 x 50 cm e que a massa coletada ocupou uma altura (h=10 cm), tem-se então um volume correspondente a 0,05 m³. A Figura 4.27 representa a massa úmida obtida da boca de lobo denominada de Iate Clube.



Figura 4. 27 - Valor de massa úmida obtida (ponto 03)

Com os dados de volume e da massa úmida, pode-se então obter a massa específica, para a qual se utilizou a equação 2, logo tem-se que:

$$\gamma = \frac{6,4\text{kg}}{0,05 \text{ (m}^3\text{)}} = 128 \text{ kg/m}^3$$

Após obter os parâmetros físicos dos sedimentos e resíduos, os mesmos foram levados ao laboratório da NOVACAP, onde foram caracterizados (composições gravimétricas), como mostra as Tabelas 4.20 (% base úmida) e 4.21 (% base seca). A Figura 4.28 mostra os primeiros sedimentos e resíduos coletados ao atingirem a marcação dos 10 cm.

Tabela 4. 20 - Composição gravimétrica da primeira coleta ao atingir a marcação dos 10 cm (% base úmida)

Componentes	Massa (Kg)	Porcentagem (%)
Plástico (Garrafa PET e copos plásticos)	0,04	0,6
Madeira	0,87	13,6
**Finos	5,00	78,1
*Outros	0,49	7,7
Total	6,40	100,0

* Material pedregulhoso

** Materia orgânica, silte, areia e argila

Tabela 4. 21 - Composição gravimétrica da primeira coleta ao atingir a marcação dos 10 cm (% base seca)

Componentes	Massa (Kg)	Porcentagem (%)
Plástico (Garrafa PET e copos plásticos)	0,03	0,6
Madeira	0,82	15,4
**Finos	4,00	75,2
*Outros	0,47	8,8
Total	5,32	100,0

* Material pedregulhoso

** Materia orgânica, silte, areia e argila



Figura 4. 28 - Primeiros sedimentos e resíduos coletados ao atingirem a marcação dos 10 cm

Analisando as Tabelas 4.20 e 4.21 se verifica uma redução no total da massa seca em relação à massa úmida, isso ocorreu devido os resíduos sofrerem perda de água, pois o mesmo permaneceu secando sob lâmpadas em recinto da NOVACAP por um período de 48 horas. A perda de água correspondeu a 1,08 kg, ou seja, 16,9% da massa total úmida (isso equivale ao teor de umidade da amostra coletada).

A segunda coleta foi realizada no dia 24 de novembro de 2012 em decorrência da massa acumulada na boca de lobo atingir 5 cm (Figura 4.29). Para atingir essa marca foi necessário chover 395 milímetros (Figura 4.30), conforme consta no registro do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) por meio da Estação: A001-Brasília entre os dias 09 de setembro a 23 de novembro de 2012. Vale lembrar que a Figura 4.30 representa os dias que houve precipitação durante o intervalo de tempo necessário para atingir a marcação desejada.

Após os resíduos serem coletados, calculou-se o volume que estes ocupavam na boca de lobo, obteve-se a massa úmida, massa específica e por fim caracterizaram-se fisicamente os resíduos segundo a NBR 10007/2004.



Figura 4. 29 - Coleta dos resíduos no dia 24 de novembro

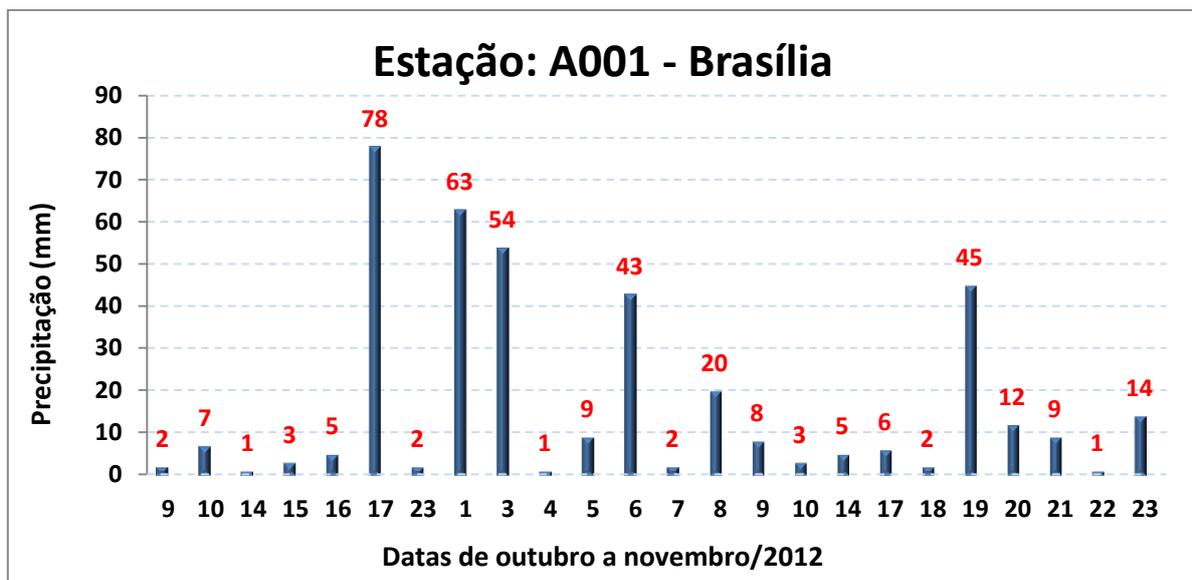


Figura 4. 30 - Dados pluviométricos registrados pelo INMET de 09/10 a 23/11/2012
Fonte: INMET (2012)

Da mesma maneira que foi procedido para obter o volume da primeira amostra coletada, no qual se utilizou as dimensões da boca de lobo (100 x 50 cm) versus a altura foi necessário empregar a mesma metodologia para obter o volume da segunda massa coletada, porém para 5 cm de altura. Sendo assim, tem-se um volume correspondente a 0,025 m³. A Figura 4.31 mostra a massa úmida obtida da boca de lobo Iate Clube.



Figura 4. 31 - Massa úmida coletada no dia 24 de novembro

A partir do resultado do volume e da massa úmida, pode-se então obter a massa específica, para o qual se utilizou a equação 2, logo tem-se que:

$$\gamma = \frac{5,0\text{kg}}{0,025 \text{ (m}^3\text{)}} = 200 \text{ kg/m}^3$$

Assim como na primeira coleta, para caracterizar (composições gravimétricas) os sedimentos e resíduos da segunda coleta, utilizou-se a metodologia proposta pela NBR 10007/2004, obtendo os seguintes resultados, conforme mostra as Tabelas 4.22 (% base úmida) e 4.23 (% base seca).

Tabela 4. 22 - Composição gravimétrica da segunda coleta ao atingir a marcação dos 5 cm (% base úmida)

Componentes	Massa (Kg)	Porcentagem (%)
Madeira	0,40	8,0
**Finos	4,25	85,0
*Outros	0,35	7,0
Total	5,00	100,0
* Material pedregulhoso		
** Materia orgânica, silte, areia e argila		

Tabela 4. 23 - Composição gravimétrica da primeira coleta ao atingir a marcação dos 5 cm (% base seca)

Componentes	Massa (Kg)	Porcentagem (%)
Madeira	0,36	7,9
**Finos	3,90	85,2
*Outros	0,32	7,0
Total	4,58	100,0
* Material pedregulhoso		
** Materia orgânica, silte, areia e argila		

A terceira coleta foi realizada no dia 07 de fevereiro de 2013 (Figura 4.32). Para atingir a marca de 5 cm foi necessário chover 665 milímetros (Figura 4.33), conforme consta no registro do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) por meio da Estação: A001-Brasília entre os dias 26 de novembro a 06 de fevereiro de 2013.



Figura 4. 32 - Resíduos encontrados e coletados em 07 de fevereiro de 2013

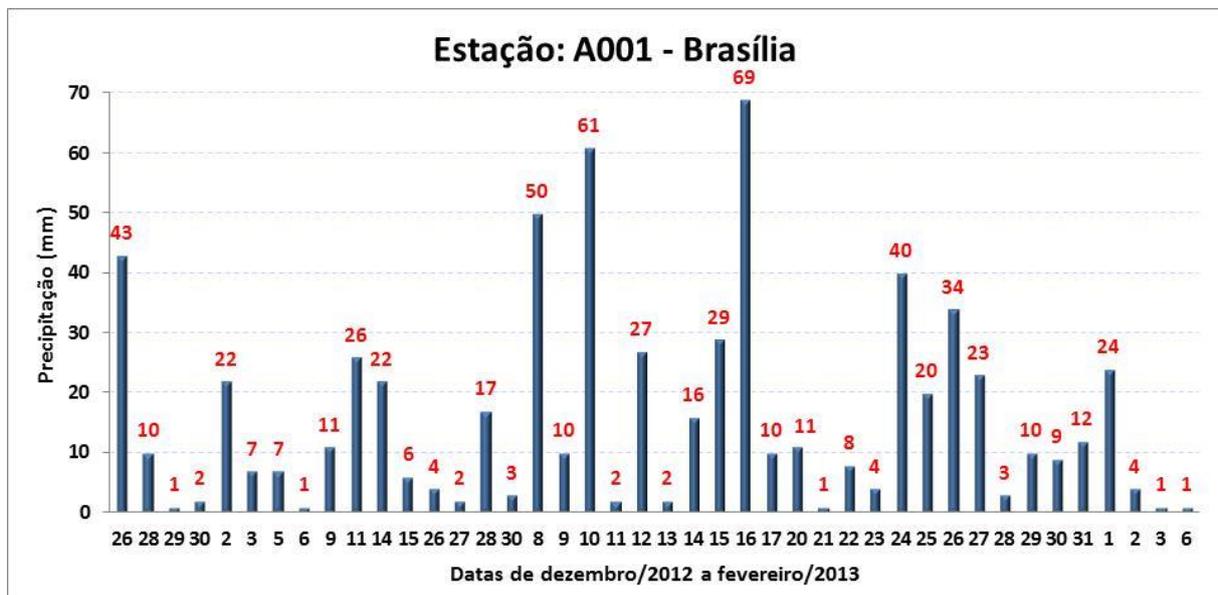


Figura 4. 33 - Dados pluviométricos registrados pelo INMET de 26/11/12 a 06/02/2013
Fonte: INMET (2013)

A partir das dimensões da boca de lobo (100 x 50 cm) e da altura atingida pela amostra coletada ($h = 5$ cm), foi possível obter o volume de $0,025 \text{ m}^3$. Em seguida, pode-se chegar por meio da equação 2 ao valor de massa específica (Figura 4.34), uma vez que já se conhecia o volume e a massa úmida (material coletado e pesado).

$$\gamma = \frac{5,45\text{kg}}{0,025 \text{ (m}^3\text{)}} = 218 \text{ kg/m}^3$$



Figura 4. 34 - Valor de massa úmida obtido da coleta

Assim como nas demais coletas, para caracterizar (composições gravimétricas) os sedimentos e resíduos da terceira coleta, utilizou-se a metodologia proposta pela NBR 10007/2004, obtendo os seguintes resultados, conforme mostra as Tabelas 4.24 (% base úmida) e 4.25 (% base seca).

Tabela 4. 24 - Composição gravimétrica da terceira coleta ao atingir a marcação dos 5 cm (% base úmida)

Componentes	Massa (Kg)	Porcentagem (%)
Madeira	0,93	17,1
**Finos	4,52	82,9
Total	5,45	100,0

* Material pedregulhoso

** Materia orgânica, silte, areia e argila

Tabela 4. 25 - Composição gravimétrica da terceira coleta ao atingir a marcação dos 5 cm (% base seca)

Componentes	Massa (Kg)	Porcentagem (%)
Madeira	0,90	17,6
**Finos	4,20	82,4
Total	5,10	100,0

* Material pedregulhoso

** Materia orgânica, silte, areia e argila

Analisando comparativamente os valores de massa úmida obtidos na primeira coleta com relação às demais coletas e considerando-se a precipitação necessária para atingir as marcações da boca de lobo (Figura 4.35), sugere-se que nas proximidades da boca de lobo havia um grande número de resíduos quando ocorreram as primeiras precipitações (primeira coleta), o que justifica o valor de 6,4 kg e a altura de 10 cm atingida dentro da boca de lobo. Diferentemente da primeira coleta para a segunda e a terceira foram necessários altos índices pluviométricos para chegar a 5,0 kg e 5,45 kg respectivamente e atingir a altura de 5 cm dentro da boca de lobo, ou seja, um valor menor do que na primeira coleta, o que indica que os resíduos coletados da boca de lobo foram carregados ao longo da bacia de captação e que nas proximidades da mesma, já não havia tanto material para ser carregado, devido à ocorrência das primeiras chuvas.

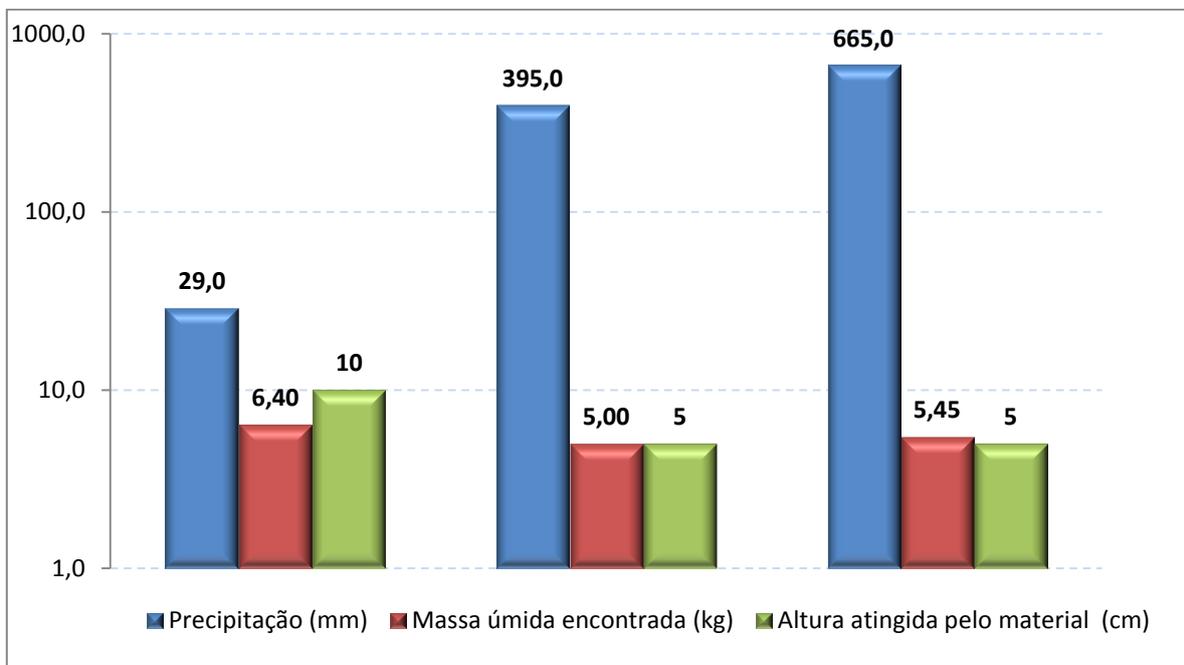


Figura 4. 35 - Resumo das precipitações, massa úmida e altura para análise comparativa

Ponderando os resultados obtidos e levando em consideração as características da bacia de captação (declividade (áreas planas ou quase planas onde o escoamento superficial é lento ou médio), altitude (1025 a 1050 m), uso e cobertura do solo (vegetação arbórea), clima (tropical semiúmido)) e análises realizadas para os resíduos coletados na boca de lobo, foi possível construir a Tabela 4.26. Esta mostra os parâmetros utilizados para estimar o tempo necessário para o enchimento completo da boca de lobo.

Tabela 4. 26 - Parâmetros para estimativa de enchimento da boca de lobo (Iate Clube)

Data de coleta	Tempo (semanas)	Volume ocupado pelo resíduo (L)	Precipitação (mm)	Volume acumulado (L)	Precipitação acumulada (mm)	Taxa de resíduo carreado (L/mm)
*21/09/2012	0	0	0	0	0	
29/09/2012	1	50	29	50	29	
24/11/2012	8	25	395	75	424	0,0918
07/02/2013	12	25	665	100	1089	

* Início das chuvas

Para fazer a estimativa de enchimento, inicialmente foi necessário obter a taxa de resíduo carreado (valor obtido da relação entre volume acumulado de material carreado referente à última coleta e da precipitação acumulada também para a última coleta) e em seguida, obter o volume carreado anualmente (produto escalar realizado entre a precipitação anual e a taxa de resíduo carreado). A taxa de resíduo carreado para a boca de lobo do ponto 03 (Iate Clube) foi de 0,0918 L/mm e o volume carreado anualmente foi de 141,47 L. Após a obtenção desses dois parâmetros, pode-se obter o tempo necessário para enchimento da boca de lobo.

O tempo de enchimento foi obtido da relação entre o volume da boca de lobo (350 L) e o volume anual carreado (Tabela 4.27), no qual concluiu-se que seriam necessários dois anos e seis meses para encher completamente a boca de lobo. A partir deste enchimento, esta boca de lobo estaria contribuindo para ocorrência de alagamentos.

Tabela 4. 27 - Volume anual carreado e estimativa de enchimento

*Precipitação anual (mm)	Taxa de resíduo carreado (L/mm)	Volume anual carreado (L)	Tempo (anos)
1540,60	0,0918	141,47	2,47

* INMET

É possível que precipitações abaixo de 5 e 10 mm não contribuam com o carreamento de resíduos, assim realizou-se análises de estimativa de enchimento desconsiderando estes valores em duas análises separadamente. Primeiramente foi realizada duas médias de precipitação anual, com base em dados de 10 anos cedidos pelo INMET (2003-2012) (Apêndice), uma desconsiderando valores menores ou iguais a 5 mm diários e outra desconsiderando valores menores ou iguais a 10 mm. Além disso, realizou-se o mesmo procedimento para os dados de precipitação referentes a cada coleta.

As Tabelas 4.28 e 4.29 mostram respectivamente os parâmetros utilizados para estimativa de enchimento da boca de lobo.

Tabela 4. 28 - Parâmetros para estimativa de enchimento da boca de lobo (Iate Clube) considerando valores de precipitação maiores que cinco milímetros

Data de coleta	Tempo (semanas)	Volume ocupado pelo resíduo (L)	Precipitação (mm)	Volume acumulado (L)	Precipitação acumulada (mm)	Taxa de resíduo carreado (L/mm)
*21/09/2012	0	0	0	0	0	
29/09/2012	1	50	26	50	26	
24/11/2012	8	25	368	75	394	0,0973
07/02/2013	12	25	634	100	1028	

* Início das chuvas

Tabela 4. 29 - Parâmetros para estimativa de enchimento da boca de lobo (Iate Clube) considerando valores de precipitação maiores que dez milímetros

Data de coleta	Tempo (semanas)	Volume ocupado pelo resíduo (L)	Precipitação (mm)	Volume acumulado (L)	Precipitação acumulada (mm)	Taxa de resíduo carreado (L/mm)
*21/09/2012	0	0	0	0	0	
29/09/2012	1	50	26	50	26	
24/11/2012	8	25	329	75	355	0,1085
07/02/2013	12	25	567	100	922	

* Início das chuvas

Comparando a Tabela 4.26 com a 4.29 se verifica que ao considerar que precipitações acima de 10 mm são importantes para carreamento e enchimento da boca de lobo, há um aumento relevante na taxa de resíduo carreado.

Considerando os valores de precipitação de 10 anos maiores que cinco milímetros, se verifica que o tempo de enchimento obtido da relação entre o volume da boca de lobo (350 L) e o volume anual carreado (Tabela 4.30) foi menor que o valor encontrado quando utilizada a média anual cedida pelo INMET (Tabela 4.27), diminuindo de 2 anos e seis meses para 2 anos e quatro meses. O volume anualmente carreado aumentou de 141,47 para 148,53 L. Entretanto, quando se considera valores de precipitação de 10 anos maiores que dez milímetros, o tempo de enchimento também se modifica (Tabela 4.31), passando para 2 anos e dois meses como tempo necessário para o enchimento da boca de lobo, e conseqüentemente houve um aumento de 15% no volume anual carreado, passando de 141,47 para 163,23 L.

Tabela 4. 30 - Volume anual carreado e estimativa de enchimento (Iate Clube) considerando valores de precipitação maiores que cinco milímetros

Precipitação média para 10 anos (mm)	Taxa de resíduo carreado (L/mm)	Volume anual carreado (L)	Tempo (anos)
1526,50	0,0973	148,53	2,36

Tabela 4. 31 - Volume anual carreado e estimativa de enchimento (Iate Clube) considerando valores de precipitação maiores que dez milímetros

Precipitação média para 10 anos (mm)	Taxa de resíduo carreado (L/mm)	Volume anual carreado (L)	Tempo (anos)
1504,40	0,1085	163,23	2,14

4.10. ESTIMATIVA DE ENCHIMENTO PARA A BOCA DE LOBO QUE DÁ ACESSO A GALERIA DENOMINADA DE UNB (PONTO 04)

Entre os dias 21 de setembro a 23 de outubro de 2012 o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) por meio da Estação: A001 - Brasília registrou 125 milímetros de chuva na cidade de Brasília (Figura 4.36) o que possibilitou a chegada e acúmulo dos sedimentos na boca de lobo.

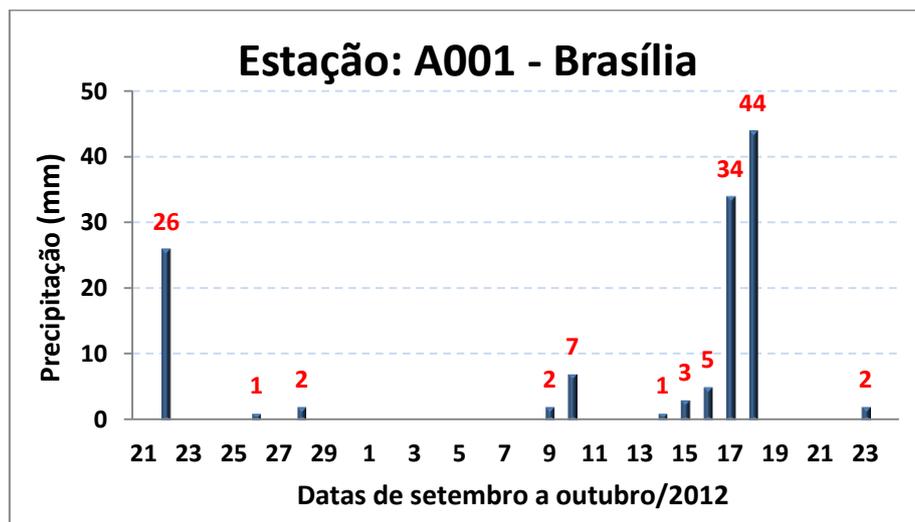


Figura 4. 36 - Dados pluviométricos registrados pelo INMET de 21/09 a 23/10/2012
Fonte: INMET (2012)

No dia 27 de outubro de 2012 foram coletados os primeiros sedimentos depositados na boca de lobo em decorrência do carreamento causado pelas águas das chuvas. A diferença é que

nessa boca de lobo (ponto 04 - UnB) mesmo tendo um índice pluviométrico bastante relevante, o sedimento coletado atingiu apenas a altura de 5 cm, como mostra a Figura 4.37.



Figura 4.37 - Sedimento ocupando a altura de 5 cm dentro da boca de lobo

Sabendo-se que as dimensões da boca de lobo são de 100 x 50 cm e que a massa ocupou uma altura ($h= 5$ cm), tem-se então um volume correspondente a $0,025 \text{ m}^3$. A Figura 4.38 representa a massa úmida obtida da boca de lobo da UnB.



Figura 4.38 - Valor de massa úmida obtida (ponto 04 - UnB)

Da mesma forma, com os dados de volume e da massa úmida, pode-se obter a massa específica do material retirado da boca de lobo (ponto 04 – UnB), para o qual foi utilizada a equação 2. Logo tem-se que:

$$\gamma = \frac{8,95 \text{ kg}}{0,025 \text{ (m}^3\text{)}} = 357 \text{ kg/m}^3$$

O sedimento coletado da boca de lobo se caracterizou apenas como finos (predomínio de solos), pois não se obteve materiais de nenhuma outra classe (Figura 4.39), correspondendo a 100% do material coletado (8,95 kg).



Figura 4. 39 - Sedimentos coletado após atingir na boca de lobo 5 cm de altura

A segunda coleta foi realizada no dia 16 de dezembro de 2012 em decorrência do sedimento acumulado na boca de lobo atingir 5 cm (Figura 4.40). Para atingir essa altura foi necessário chover 449 mm (Figura 4.41), cujo valor foi registrado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) entre os dias 01 de novembro a 14 de dezembro de 2012.



Figura 4. 40 - Sedimento coletado em 16/12/2012

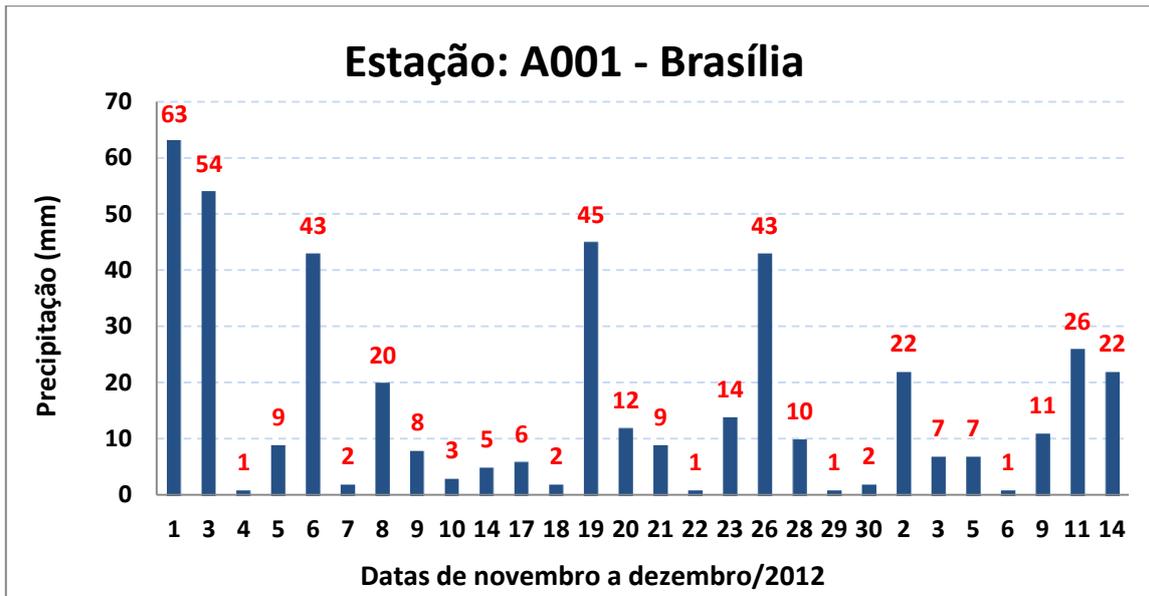


Figura 4. 41 - Dados pluviométricos registrados pelo INMET de 01/11 a 14/12/2012
 Fonte: INMET (2012)

Sabendo das dimensões da boca de lobo, da massa úmida obtida (Figura 4.42) e que material depositado na boca de lobo atingiu a altura de 5 cm, tem-se um volume correspondente a $0,025 \text{ m}^3$ e uma massa específica de $300,4 \text{ kg/m}^3$, conforme resultado obtido abaixo (equação 2):

$$\gamma = \frac{7,51\text{kg}}{0,025 \text{ (m}^3\text{)}} = 300,4 \text{ kg/m}^3$$



Figura 4. 42 - Valor de massa úmida obtida em 16/12/2012

A terceira coleta foi realizada no dia 01 de abril de 2013, quando os sedimentos acumulados na boca de lobo atingiram 5 cm (Figura 4.43). Para atingir essa altura foi necessário chover 760 milímetros (Figura 4.44), cujo valor foi registrado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) entre os dias 15 de dezembro a 31 de março de 2013.



Figura 4. 43 - Sedimentos coletados em 01/04/2013

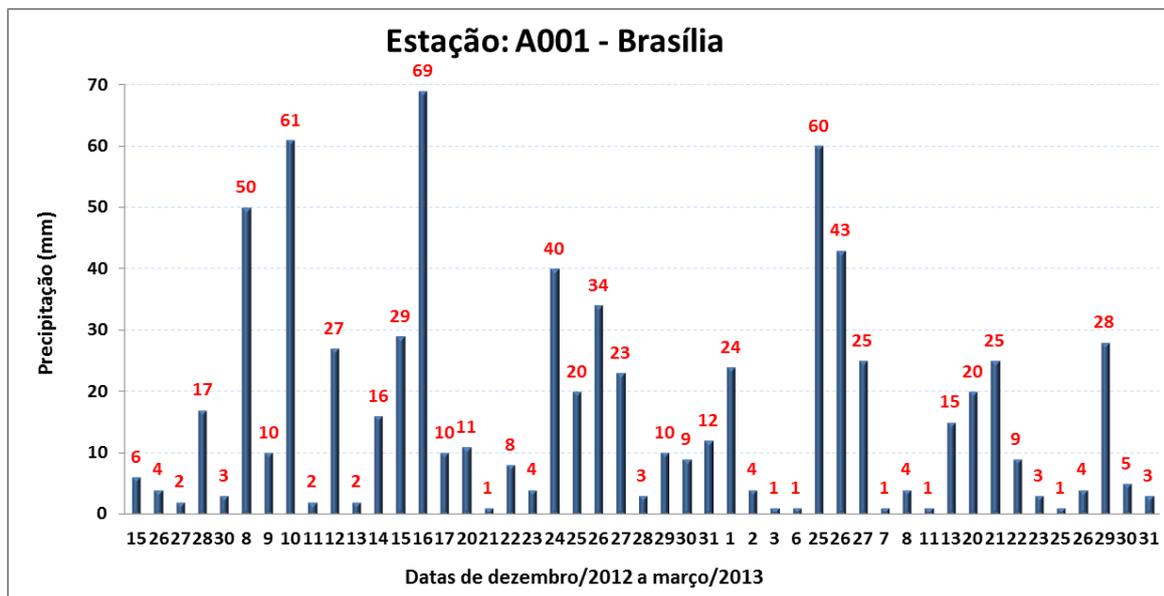


Figura 4. 44 - Dados pluviométricos registrados pelo INMET de 15/12/2012 a 31/03/2013
Fonte: INMET (2013)

Tendo em vista as dimensões da boca de lobo, o valor da massa úmida obtida e a altura ($h=5$ cm) atingida pelo material depositado, tem-se um volume correspondente a $0,025 \text{ m}^3$ e uma massa específica de $317,6 \text{ kg/m}^3$, conforme resultado obtido abaixo (equação 2):

$$\gamma = \frac{7,94\text{kg}}{0,025 \text{ (m}^3\text{)}} = 317,6 \text{ kg/m}^3$$

Analisando os valores de massa úmida obtidos da boca de lobo nas três últimas coletas e as respectivas precipitações (Figura 4,45), tem-se uma proximidade nos valores, o que mostra que a bacia de captação no qual se enquadra a boca de lobo, objeto de estudo, tem contribuído de forma constante para o enchimento. Um dos motivos da proximidade dos valores de massa úmida encontrados pode ser o fato de vários carros estarem, ao longo do dia, estacionando próximo a boca de lobo, o que certamente contribui com agregados de porções de finos aos seus pneus, fato frequente nos períodos chuvosos.

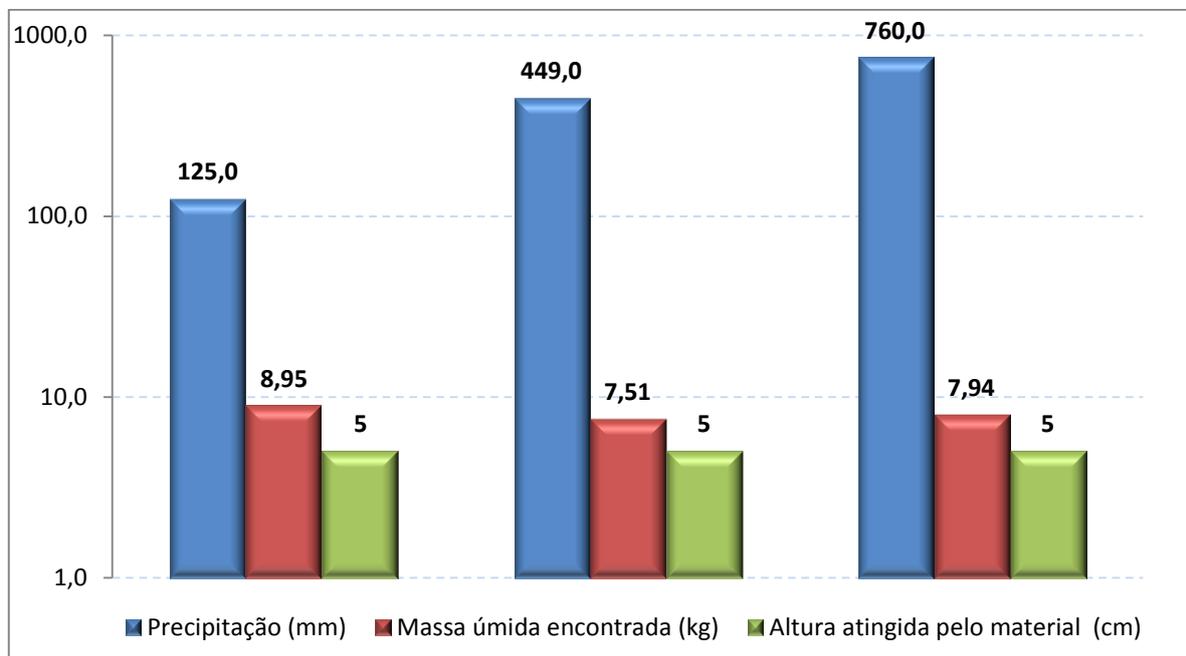


Figura 4. 45 - Resumo das precipitações, massa úmida e altura atingida pelo material

Considerando as características da bacia de captação (condições de declividade (áreas planas ou quase planas onde o escoamento superficial é lento ou médio), altitude (1025 a 1050 m), uso e cobertura do solo (solo exposto (vegetação rala)), clima (tropical semiúmido)) e análises realizadas para os resíduos coletados na boca de lobo, foi possível fazer a Tabela 4.32. A partir desta tabela se verifica os parâmetros que foram necessários para estimar o tempo necessário para encher completamente a boca de lobo da UnB.

Tabela 4. 32 - Parâmetros para estimativa de enchimento da boca de lobo do ponto 04 (UnB)

Data de coleta	Tempo (semanas)	Volume ocupado pelo resíduo (L)	Precipitação (mm)	Volume acumulado (L)	Precipitação acumulada (mm)	Taxa de resíduo carregado (L/mm)
*21/09/2012	0	0	0	0	0	
27/10/2012	5	25	125	25	125	0,0562
16/12/2012	7	25	449	50	574	
01/04/2013	15	25	760	75	1334	

* Início das chuvas

Para fazer a estimativa de enchimento da boca de lobo da bacia de captação UnB, obteve-se a taxa de resíduo carregado (valor obtido da relação entre volume acumulado de material carregado referente à última coleta e da precipitação acumulada também para a última coleta) e em seguida, obter o volume carregado anualmente (produto escalar realizado entre a precipitação anual e a taxa de resíduo carregado). A taxa de resíduo carregado para a boca de lobo do ponto 04 (UnB) foi de 0,0562 L/mm e o volume carregado anualmente foi de 86,62 L. Após a obtenção desses dois parâmetros, pode-se chegar ao tempo necessário para enchimento da boca de lobo.

O tempo de enchimento foi obtido da relação entre o volume da boca de lobo (500 L) e o volume anual carregado, do qual concluiu-se que seriam necessários cinco anos e nove meses (Tabela 4.33) para encher completamente a boca de lobo. A partir deste enchimento, esta boca de lobo estaria contribuindo para ocorrência de possíveis alagamentos.

Tabela 4. 33 - Volume anual carregado e estimativa de enchimento para o ponto 04 (UnB)

*Precipitação anual (mm)	Taxa de resíduo carregado (L/mm)	Volume anual carregado (L)	Tempo (anos)
1540,60	0,0562	86,62	5,77

* INMET

Foi considerado que precipitações abaixo de 5 e 10 mm não contribuam com o carregamento de resíduos, assim foram realizadas análises de estimativa de enchimento desconsiderando estes valores em duas análises separadamente. Primeiramente foram realizadas duas médias de precipitação anual, com base em dados de 10 anos cedidos pelo INMET (2003-2012) (Apêndice), uma desconsiderando valores menores ou iguais a 5 mm diários e outra desconsiderando valores menores ou iguais a 10 mm. Além disso, realizou-se o mesmo procedimento para os dados de precipitação referentes a cada coleta.

As Tabelas 4.34 e 4.35 mostram respectivamente os parâmetros utilizados para estimativa de enchimento da boca de lobo.

Tabela 4. 34 - Parâmetros para estimativa de enchimento da boca de lobo (UnB) considerando valores de precipitação maiores que cinco milímetros

Data de coleta	Tempo (semanas)	Volume ocupado pelo resíduo (L)	Precipitação (mm)	Volume acumulado (L)	Precipitação acumulada (mm)	Taxa de resíduo carreado (L/mm)
*21/09/2012	0	0	0	0	0	
27/10/2012	5	25	111	25	111	0,0599
16/12/2012	7	25	431	50	542	
01/04/2013	15	25	711	75	1253	

* Início das chuvas

Tabela 4. 35 - Parâmetros para estimativa de enchimento da boca de lobo (UnB) considerando valores de precipitação maiores que dez milímetros

Data de coleta	Tempo (semanas)	Volume ocupado pelo resíduo (L)	Precipitação (mm)	Volume acumulado (L)	Precipitação acumulada (mm)	Taxa de resíduo carreado (L/mm)
*21/09/2012	0	0	0	0	0	
27/10/2012	5	25	104	25	104	0,0659
16/12/2012	7	25	375	50	479	
01/04/2013	15	25	659	75	1138	

* Início das chuvas

Comparando a Tabela 4.32 com a Tabela 4.35 se verifica que ao considerar que precipitações acima de 10 mm são importantes para carreamento e enchimento da boca de lobo, há um aumento relevante na taxa de resíduo carreado de 0,0562 para 0,0659 L/mm.

Ponderando os valores de precipitação de 10 anos maiores que cinco milímetros, se verifica que o tempo de enchimento obtido da relação entre o volume da boca de lobo (500 L) e o volume anual carreado (Tabela 4.36) foi menor que o valor encontrado quando utilizada a média anual cedida pelo INMET (Tabela 4.33), diminuindo de 5 anos e nove meses para 5 anos e seis meses. O volume anualmente carreado aumentou de 86,62 para 91,44 L. Quando se considera valores de precipitação de 10 anos maiores que dez milímetros, o tempo de enchimento também se modifica (Tabela 4.37), passando para 5 anos como tempo necessário para o enchimento da boca de lobo. Contudo, houve um aumento de 14% no volume anual carreado, passando de 86,62 para 99,14 L.

Tabela 4. 36 - Volume anual carreado e estimativa de enchimento (UnB) considerando valores de precipitação maiores que cinco milímetros

Precipitação média para 10 anos (mm)	Taxa de resíduo carreado (L/mm)	Volume anual careado (L)	Tempo (anos)
1526,50	0,0599	91,44	5,47

Tabela 4. 37 - Volume anual carreado e estimativa de enchimento (UnB) considerando valores de precipitação maiores que dez milímetros

Precipitação média para 10 anos (mm)	Taxa de resíduo carreado (L/mm)	Volume anual careado (L)	Tempo (anos)
1504,40	0,0659	99,14	5,04

É importante frisar que existem duas bocas de lobo equidistantes em 9 metros à boca de lobo estudada na UnB. Sem essas bocas os valores de taxa de resíduo carreado (0,0659 L/mm) e o tempo necessário para o enchimento (aproximadamente cinco anos) seriam diferentes, sendo que a quantidade de resíduo carreado na área estudada é muito maior do que a registrada. Isso aumentaria a taxa de carregamento de resíduo no local e conseqüentemente diminuiria o tempo necessário para o enchimento da boca de lobo.

Essa situação pode ocorrer também quando uma ou mais bocas de lobo sofrer entupimento, assim haveria sobrecarga de resíduo carreado para uma só boca, a qual provavelmente não suportaria o montante de água advinda da chuva, sedimentos e resíduos, o que acarretaria em prejuízos à rede e eventos de alagamento no local. Nesse intuito, para a limpeza da boca de lobo da bacia de captação UnB, não devem ser considerados apenas o tempo aqui encontrado de cinco anos, mas períodos menores (um a dois anos) para garantir que não ocorram entupimentos e alagamentos locais.

4.11. ANÁLISE DO ENSAIO DE CROMATOGRAFIA GASOSA

A análise cromatográfica de benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos presentes nas amostras de sedimentos coletados nas bocas de lobo demonstraram baixas concentrações dos mesmos em ambos os pontos. Ainda assim, esta é uma análise importante, pois remete a possível contaminação advinda de postos de combustíveis, vazamento em automóveis e outras fontes.

Analisando a Tabela 4.38 referente à amostra do ponto 03 (Iate Clube) é possível verificar que não houve registro referente aos componentes analisados. Em contrapartida, a Tabela 4.39 (ponto 04 - UnB) mostra, apesar de em nível inferior ao limite máximo padrão, a presença de benzeno (1,750 µg/L), na amostra. Vale ressaltar que os resultados originais apresentados pelo laboratório QUINOZAN se encontram no apêndice.

A contaminação por hidrocarbonetos aromáticos no Lago Paranoá é uma situação preocupante, no entanto, as bocas de lobo escolhidas para o presente estudo mostraram apenas a presença de certos compostos. Numa visão macro, é possível que outras bocas de lobo presentes em diferentes localidades de cada bacia de captação possam registrar a presença dos elementos analisados.

Tabela 4. 38 - Resultado do ensaio de cromatografia gasosa para o ponto 03 (Iate Clube)

Parâmetros	Resultado	Padrão max.permittido
Benzeno	ND	700 µg/L
Tolueno	ND	215 mg/L
Xileno	ND	0,3 mg/L
Estireno	ND	20 µg/L
Grupo HPA	ND	-
Grupo VOC	ND	-

ND - Não detectado

VOC - Compostos orgânicos voláteis

HPA - Hidrocarbonetos policíclicos

Tabela 4. 39 - Resultado do ensaio de cromatografia gasosa para o ponto 04 (UnB)

Parâmetros	Resultado	Padrão max.permittido
Benzeno	1,75	700 µg/L
Tolueno	ND	215 mg/L
Xileno	ND	0,3 mg/L
Estireno	ND	20 µg/L
Grupo HPA	ND	-
Grupo VOC	ND	-

ND - Não detectado

VOC - Compostos orgânicos voláteis

HPA - Hidrocarbonetos policíclicos

O estudo realizado por Moreira e Boaventura (2003) no lago Paranoá de Brasília, mostrou que existe forte associação entre as frações finas de sedimentos encontrados no lago Paranoá e

diversos contaminantes, como zinco, níquel, cobre, fósforo e outros. No presente estudo, o principal resíduo encontrado nos elementos de microdrenagem foram os sedimentos, que são carregados diretamente para o lago. Além disso, os compostos químicos poluentes possuem capacidade de adsorção variando de acordo com a quantidade de matéria orgânica e a composição granulométrica dos sedimentos (Moreira & Boaventura, 2003), também registrados em nosso estudo.

A concentração de determinados elementos químicos nos sedimentos pode ser relacionada tanto à geologia do local onde se encontra o lago Paranoá como ao aporte de sedimentos antrópicos (Moreira & Boaventura, 2003). A presente tese caracteriza este aporte de sedimentos e resíduos antrópicos e registra, ao nível dos elementos de microdrenagem, a presença do elemento benzeno nos sedimentos encontrados na boca de lobo da UnB. Junto a isso, já foram registradas altas concentrações de vários elementos químicos no lago Paranoá, principalmente em ambientes lênticos (sem correnteza) e na região central do mesmo, sendo a área classificada como moderadamente poluída por fósforo (elemento P) (Moreira & Boaventura, 2003).

4.12. REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE CUNHO AMBIENTAL – LIXIVIAÇÃO

A Tabela 4.40 mostra os resultados dos ensaios de lixiviação realizados pelo laboratório Soloquímica®. Vale ressaltar que os resultados originais apresentados pelo laboratório SOLOQUÍMICA se encontram no apêndice.

Tabela 4. 40 - Resultados obtidos para o ensaio de cunho ambiental

Elementos	Simbologia	Ponto 03 (Iate Clube)	Ponto 04 (UnB)	* LQ
Arsênio	(As)	< 0,01	< 0,01	0,01
Bário	(Ba)	< 0,01	< 0,01	0,01
Chumbo	(Pb)	< 0,01	< 0,01	0,01
Cádmio	(Cd)	< 0,01	< 0,01	0,01
Cianeto	(CN)	< 0,01	< 0,01	0,01
Cobre	(Cu)	< 0,01	< 0,01	0,01
Cromo	(Cr)	< 0,01	< 0,01	0,01
Ferro	(Fe)	< 0,01	< 0,01	0,01
Mercúrio	(Hg)	< 0,01	< 0,01	0,01
Prata	(Ag)	< 0,01	< 0,01	0,01
Selênio	(Se)	< 0,01	< 0,01	0,01

* LQ - Limite de quantificação em mg/L

Com base na norma prescrita pela ABNT NBR 10005 (obtenção do extrato lixiviado) e no Anexo F (normativo) padrões para ensaios, pode-se verificar que os elementos analisados nas amostras dos pontos 03 (Iate Clube) e 04 (UnB) se encontram abaixo do limite máximo no extrato obtido no ensaio de lixiviação, ou seja, as amostras não se enquadram na categoria de toxicidade (limite inferior no extrato) e de corrosividade (pH igual a 5,0 para a amostra do ponto 03 e pH igual a 4,9 para a amostra do ponto 04). Vale ressaltar que o resíduo é considerado corrosivo, quando apresentar pH inferior ou igual a 2, ou superior ou igual a 12,5.

Tendo em vista os resultados obtidos e análise realizada, fica evidente que nas áreas estudadas não há contribuição de substâncias que conferem periculosidade ao Lago Paranoá, uma vez que parte dos resíduos encontrados nas bocas de lobo é carregado e lixiviado para as galerias de redes de águas pluviais, que por sua vez dão acesso ao Lago Paranoá.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

5.1. CONCLUSÕES

- Verificou-se que além dos resíduos (garrafas PET, plástico, entre outros) presentes nas galerias de águas pluviais e nas bocas de lobo, há registros de produtos de limpeza (sabão em pó, detergentes, entre outros) nas mediações dos exutórios;
- Durante o reconhecimento dos exutórios das galerias de águas pluviais, verificou-se que o exutório UnB apresentava odor intenso e a cor da água se encontrava muito escura quando comparado com o exutório da galeria de águas pluviais Iate Clube. O reconhecimento das galerias de águas pluviais e exutórios que dão acesso ao Lago Paranoá foi possível graças à carta de redes de águas pluviais;
- Foi observado que o principal procedimento realizado pela NOVACAP para manutenção do sistema de drenagem urbana é a desobstrução das redes de drenagem e das bocas de lobo;
- A carta hipsométrica permitiu a análise altimétrica das bacias de captação, proporcionando uma visão ampla da forma de relevo e do rebaixamento do terreno nas proximidades das bocas de lobo;
- Com a carta de declividade foi possível conhecer as inclinações do terreno para cada uma das bacias de captação, aspecto importante no processo de carreamento dos resíduos para as bocas de lobo;
- A carta de uso e cobertura do solo mostrou que a vegetação arbórea é a classe de uso e cobertura do solo predominante nas duas bacias de captação estudadas no Plano Piloto de Brasília;
- A composição gravimétrica dos sedimentos e resíduos provenientes de Ceilândia mostrou maior proporção de materiais finos e plásticos comparado à cidade de Samambaia;
- Ressalta-se que os altos índices de finos e plásticos encontrados nas bocas de lobo nas cidades satélites são as maiores causas de obstrução das bocas de lobo, proporcionando alagamentos nos locais;
- Para todas as cidades satélites estudadas, os sedimentos finos representaram maior percentual na amostra e também houve registro de grande proporção de resíduos plásticos;

- O perfil de resultados das cidades satélites de Ceilândia, Samambaia e Recanto das Emas foi diferenciado dos resultados dos dois pontos do Plano Piloto de Brasília, nos quais houve menor registro de plásticos nas bocas de lobo;
- Com o quarteamento das amostras de resíduos obtidas das bocas de lobo das bacias de captação Iate Clube e UnB, fica clara a predominância dos finos, os quais são considerados sedimentos;
- O fato dos resíduos passarem por secagem sob lâmpadas por um período de 48 horas possibilitou verificar variações na massa de outras classes e identificar uma nova classe de resíduo (vidro), mesmo em valores muito baixo;
- Com base na taxa de enchimento calculada em função da precipitação diária e a média anual de precipitação fornecida pelo INMET o volume anual carreado para a boca de lobo do Iate Clube deve chegar a 141,5 L;
- Com base na taxa de enchimento e calculada em função da precipitação diária maiores de 5 mm e a média anual de precipitação nessa mesma condição o volume anual carreado para a boca de lobo do Iate Clube deve chegar a 148,5 L;
- Com a média anual de precipitação de 10 anos excluídos valores diários menores ou iguais à 10 milímetros, o volume anual carreado para a boca de lobo do Iate Clube aumentaria para 163,23 L;
- Com base na média anual de precipitação fornecida pelo INMET, seriam necessários dois anos e seis meses para o enchimento da boca de lobo do Iate Clube;
- De acordo com a base de dados dos últimos 10 anos de precipitação fornecidos pelo INMET se calculou a média de precipitação anual descartando valores menores ou iguais a 5 milímetros (que pouco contribuem para o carreamento de resíduos), sendo necessários dois anos e quatro meses para o enchimento da boca de lobo Iate Clube;
- Com novo cálculo de média de precipitação anual descartando valores menores ou iguais a 10 milímetros, são necessários dois anos e dois meses para o enchimento da boca de lobo Iate Clube;
- Com base na taxa de enchimento calculada em função da precipitação diária e a média anual de precipitação fornecida pelo INMET o volume anual carreado para a boca de lobo UnB foi de 86,62 L;
- Com base na taxa de enchimento e calculada em função da precipitação diária maiores de 5 mm e a média anual de precipitação nessa mesma condição o volume anual carreado para a boca de lobo UnB deve chegar a 91,44 L;

- Com a média anual de precipitação de 10 anos excluídos valores menores ou iguais à 10 milímetros, o volume anual carreado para a boca de lobo UnB também aumentou para 99,14 L;
- Com base na média anual de precipitação fornecida pelo INMET, seriam necessários cinco anos e nove meses para o enchimento da boca de lobo do UnB;
- De acordo com a base de dados dos últimos 10 anos de precipitação fornecidos pelo INMET se calculou a média de precipitação anual descartando valores menores ou iguais a 5 milímetros, sendo necessários cinco anos e seis meses para o enchimento da boca de lobo UnB;
- Com novo cálculo de média de precipitação anual descartando valores menores ou iguais a 10 milímetros, são necessários cinco anos para o enchimento da boca de lobo UnB;
- A existência de duas bocas de lobo próximas à boca de lobo da bacia de captação UnB contribui para a distribuição dos resíduos carreados durante as chuvas, sendo que sem as mesmas, os valores de taxa de carreamento seriam maiores e conseqüentemente seria necessário menor tempo para o enchimento da boca de lobo UnB;
- É importante ressaltar que durante a vigência do estudo foi registrada pelo INMET, em um único dia, uma precipitação de 36,4 mm na UnB, destruindo anfiteatros e salas, devido ao entupimento de canos que dão vazão as chuvas. Frente a isso, o presente estudo contribui para o entendimento das relações de precipitação e presença de resíduos na ocorrência de alagamentos e inundações, bem como o tempo necessário para que isto ocorra;
- A análise de cromatografia gasosa mostrou presença de benzeno na boca de lobo do ponto 04 (UnB) e nenhuma contaminação pelos demais hidrocarbonetos aromáticos analisados; e
- Por meio da análise de lixiviação foi possível verificar que as amostras representativas dos sedimentos coletados nas bocas de lobo das bacias de captação Iate Clube e UnB não foram caracterizadas como tóxico e nem corrosivo.

5.2. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

- Selecionar e estudar maior número de bocas de lobo presentes nas bacias de captação estudadas nesta tese;
- Criar um banco de dados de eventos de alagamento e frequência de limpeza das bocas de lobo;
- Realizar um estudo detalhado sobre a constante presença de sedimentos nas bocas de lobo presentes nas tesourinhas (Asa Norte e Asa Sul do Plano Piloto), onde são registrados constantes alagamentos;
- Realizar outros tipos de ensaios de cunho ambiental como a microscopia eletrônica que pode auxiliar na identificação de resíduos de borracha, por exemplo, a partir de amostras obtidas em bocas de lobo; e
- Utilizar modelos matemáticos para simular a dinâmica de deposição de sedimentos nos elementos de microdrenagens a nível de bacias hidrográficas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, J.E.de. (2000). Patologias que comprometem a durabilidade do concreto em Galerias de Águas Pluviais. 42º Congresso Brasileiro de Concreto – IBRACON. Fortaleza- CE, 15p.
- ALLISON, R.A.; WALKER, T.A.; CHIEW, F.H.S.; O'NEILL, I.C. & MCMAHON, T.A. (1998). FROM ROADS TO RIVERS - *Gross pollutant removal from urban waterways*, *Research Report for the Co-operative Research Centre for Catchment Hydrology, Australia*, 98p.
- ALONSO, C. V., Neibling, W. H. e Foster, G. R. (1981). *Estimating Sediment Transport Capacity in Watershed Modeling*. Trans. Am. Soc. Agric. Engrs., 24(5), 1211-1220, 1226.
- ARCAYA, S. G. CH. (2007). Avaliação dos fatores condicionantes dos processos erosivos no Distrito Federal. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-156/07, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 189p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (1984). Solo – Análise Granulométrica. NBR 7181. Rio de Janeiro, RJ, 13p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (2004). Amostragem de resíduos sólidos. NBR 10.007. Rio de Janeiro, RJ, 21p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (2004). Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. NBR 10.005. Rio de Janeiro, RJ, 16p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (2004). Resíduos sólidos - Classificação. NBR 10.004. Rio de Janeiro, RJ, 63p.
- BANDEIRA, J. V. & AUN, P. E. (1989). Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo, SP. ABRH, 2v, 361p.
- BEVEN, K. & O'CONNELL, P.E. (1982). *On the Role of Physically-Based Distributed Modelling in Hydrology*. Institute of Hydrology, Report 81, Wallingford.
- BJORN, T.C., REISER, D.W., (1991). Habitat requirements of salmonids in streams. In: Meehan, W.R., (Ed.), *Influences of Forest and Rangeland Management on Salmonid Fishes and their Habitats*, Am. Fish. Soc. Spec. Publ., 19, 83–138p.
- BOOTH, D.B. & C.R. JACKSON. (1997). *Urbanization of Aquatic Systems: Degradation Thresholds, Stormwater Detection, and the Limits of Mitigation*. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)* 33(5):1077-1090.
- BUTLER, D. & CLARK, P. (1995). *Sediment management in urban drainage catchments*. *Construction Research and Information Association, CIRIA Report 134*. London.

- CAMAPUM DE CARVALHO, J.; GUIMARÃES, E.M.; LIMA, M.C. & RIBEIRO, M.O. (2002). Variação no comportamento térmico de caulinitas de uma cobertura superficial do Distrito Federal. XII COBRAMSEG, São Paulo, Vol.1, 537-546p.
- CARVALHO, N. O. (1994). Hidrossedimentologia Prática. Rio de Janeiro. CPRM, 324p.
- CEMBRANO, G.; QUEVEDO, J.; SALAMERO, M.; PUIG, V.; FIGUERAS, J. & MARTÍ, J. (2004). *Optimal control of urban drainage systems. A case study*. Control Engineering Practice 12: 1-9p.
- COLBY, B. R. (1963). *Fluvial sediments-a summary of source, transportation deposition, and measurement of sedime& discharge*. U.S. Geol. Survey Bull.V 1181-A, 47.
- CONTER CONSTRUÇÃO E TERRAPLENAGEM LTDA. (2006). Relatório de Vídeo Inspeção. Contrato 598/2006.
- CONTER CONSTRUÇÃO E TERRAPLENAGEM LTDA. (2008). Relatório de Vídeo Inspeção. Contrato 598/2006.
- CONTER CONSTRUÇÃO E TERRAPLENAGEM LTDA. (2010). Relatório de Vídeo Inspeção. Contrato 598/2006.
- CORNELIUS, M.; CLAYTON, T.; LEWIS, G. ARNOLD, G. & CRAIG, J. (1994). *Litter associated with stormwater discharge in Auckland city New Zealand* . Auckland: Island Care New Zealand Trust.
- CORREIO BRAZILIENSE. (2011). Disponível em: http://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/cidades/2011/04/10/interna_cidadesdf,247118/danos-causados-pela-chuva-levam-unb-a-suspender-aulas.shtml. Acessado em 08/05/2013.
- DEFFONTAINES, B. & CHORWICZ, J. (1991). *Principles of drainage basin analysis from multisource data: application to the structural analysis of the Zaire Basin*. Tectonophysics, Amsterdam, v.194, 237-263p.
- DELETIC, A., ORR, D., (2003). Water quality of runoff from paved surfaces. XXX IAHR Congress, Thessalonica, Greece, August 2003 2003.
- DELETIC, A. (2005). Sediment transport in urban runoff over grassed areas. Journal of Hydrology 301, 108-122p.
- DUARTE, K.da.S. (2003). Avaliação do Risco relacionado à Contaminação dos Solos por Hidrocarbonetos no Distrito Federal. Tese de Doutorado - Universidade de Brasília. Departamento de Engenharia Ambiental e Civil. Faculdade de Tecnologia. Brasília, DF, 259p.
- FLANAGAN, D.C. & NEARING, M.A. (1995). USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile and Watershed Model Documentation. NSERL Report No. 10. USDAARS National Soil Erosion Research Laboratory. West Lafayette, Indiana.

- FIÚZA, E. (2012). Agência Brasil. Disponível em: <http://www.brasil247.com>. Acessado em: 18 de jun.2012.
- FOSTER, G.R.; YOUNG, R.A. & NEIBLING, W.H. (1985). Sediment composition for nonpoint pollution analyses. *Trans. ASAE* 28, 133–146p.
- FUNKE, J. W. (1975). Metals in urban drainage systems and their effect on the potencial reuse of purified sewage. *Water SA* 1(1): 36-44.
- GARRIDO, J. M. (2003). Aplicação de modelo matemático de simulação com utilização de SIG à bacia do Rio Jiquiriçá – Bahia. Dissertação de Mestrado submetida ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília. Brasília (DF).
- GUY, H. P. (1970). *Fluvial Sediment Concepts*”. In: *Applications of hydraulics. USGS. Techniques of Water Resources Investigations of the United States Geological Survey . TWRI 3 - C1. Arlington. VA. 55p.*
- HAMMER, T.R., (1972). Stream channel enlargement due to urbanization. *Water Resour. Res.* 8, 1530–1540p.
- IBAM (2001). Instituto Brasileiro de Administração Municipal. Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, RJ, 197p.
- INFANTI JUNIOR, N. & FORNASARI FILHO N. (1998). Processos de Dinâmica Superficial – Geologia de Engenharia, Oliveira S. A. & Brito S. A. (eds.), Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE, São Paulo, Brasil, pp. 131-152.
- INMET. (2012). INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf Acessado em: 21 de set.2012.
- INMET. (2013). INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf Acessado em: 30 de abr.2013.
- IPT (1986). Departamento de Águas e Energia Elétrica. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo, Bacia do Peixe – Paranapanema. Vol.6. (IPT, relatório, 24.739), (C.P; ME), São Paulo, SP.
- LEOPOLD, L.B., (1968). Hydrology for urban land planning; a guidebook on the hydrologic effects of urban land use. USGS Circular 554 18p.
- LIMA, M.C. (2003). Degradação físico-química e mineralógica de maciços junto às voçorocas. Tese de Doutorado, Publicação G. TD-17ª/03, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Brasília: UnB, DF, 336p.

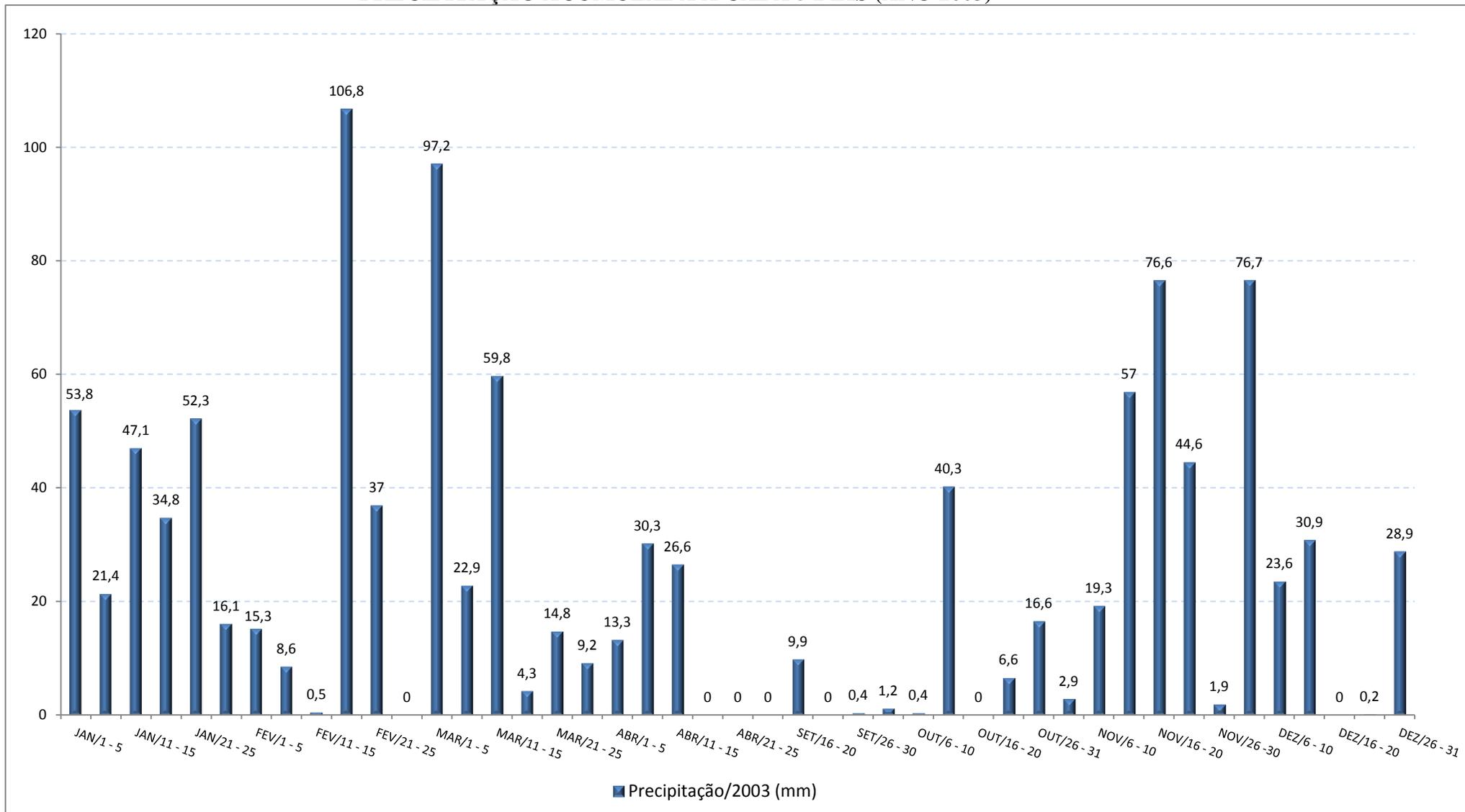
- MARSHALL, S; LAPINSKI, V; KRAMER, A. & PETTIGROVE, V. (2012). *Locating stormwater pollution hotspots in industrial catchments [online]. In: WSUD 2012: Water sensitive urban design; Building the water sensitive community; 7th international conference on water sensitive urban design, 21 - 23 February 2012, Melbourne Cricket Ground. Barton, A.C.T.: Engineers Australia, 968-976.*
- MONTEIRO, José H. P. *et al.* (2001). Manual Integrado de Gerenciamento de resíduos sólidos, Rio de Janeiro: IBAM, 197p.
- MONTGOMERY, D.R. & L.H. MACDONALD. (2002). *Diagnostic Approach to Stream Channel Assessment and Monitoring. Journal of the American Water Resources Association (JAWRA) 38(1):1-16.*
- MOREIRA, R.C.A. & BOAVENTURA, G.R. (2003). Referência geoquímica regional para a interpretação das concentrações de elementos químicos nos sedimentos da Bacia do Lago Paranoá-DF. *Química Nova* 26, 812-820p.
- NELSON, E. J. & Booth, D. B. (2002). Sediment sources in an urbanizing, mixed land-use watershed. *Journal of Hydrology* 264, 51-68p.
- NOVOTNY, V., Olem, H., (1994). *Water Quality: Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1054p.
- OLIVEIRA, C. (1993). *Dicionário Cartográfico*. Rio de Janeiro: IBGE. 645p.
- PAIVA, E.M.C.D. (2003). Métodos de estimativas da produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas. In: Paiva, E.M.C.D. (org) *Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*. Porto Alegre: ABRH, 365-394p.
- PAIVA, J. B. D. ; PAIVA, E. M. C. D. & VILLELA, S. (1995). Avaliação da Descarga de Sedimentos afluente à Captação da Estação Elevatória I do Projecto de Transposição das Águas do Rio São Francisco. *Revista Brasileira de Engenharia, Caderno de Recursos Hídricos*. Vol. 13 , Nº 2, Dezembro/1995a, 47-79p.
- RAUCH, W., Bertrand-Krajewski, J.-L., Krebs, P., Mark, O., Schilling, W., Schu'tze, M., Vanrolleghem, P.A., (2002). Mathematical modelling of integrated urban drainage systems. *Water Sci. Technol.* 45 (3), 81-94p
- RENNÓ, C.D. & SOARES, J.V. (2000). Modelos Hidrológicos para Gestão Ambiental. Relatório Técnico Parcial. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, SP, 2000, 60p.
- RIGHETTO (2009). *Manejo de Águas Pluviais Urbanas*. 1ª Edição. Rio de Janeiro: ABES, 396p.
- SANTOS, C.A.C. & SILVA, R.M.da. (2008). Estimativa da produção de sedimentos mediante uso de um modelo hidrossedimentológico acoplado a um SIG. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* vol.12 no.5 Campina Grande Sept./Oct. 2008.

- SICAD – Sistema Cartográfico do Distrito Federal. Restituição 1:2000 complementado com projetos urbanísticos, 1997.
- SILVA, J.P.S. (2011). Avaliação dos Efeitos de Produtos Rejuvenescedores em Misturas Asfálticas. Tese de Doutorado, Publicação GTD-067/2011, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 145p.
- SILVEIRA, A. L. L. (2001). *Problems of urban drainage in developing countries*. In: *International Conference on Innovative Technologies in Urban Storm Drainage*, 1, 2001, Lyon. Novatech, 143-150p.
- SILVEIRA, G. L.; SILVA, C. E.; IRION, C. A. O.; CRUZ, J. C. & RETZ, E. F. (2003). Balanço de cargas poluidoras pelo movimento quali-quantitativo dos recursos hídricos em pequena bacia hidrográfica. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)* 8 (1): 5-11p.
- SOARES, E. L.S.F. (2011). Estudo da Caracterização Gravimétrica e Poder Calorífico dos Resíduos Sólidos Urbanos. Dissertação de Mestrado - UFRJ/COPPE. Rio de Janeiro, RJ, 137p.
- TUCCI, C. E. M.; Genz, F. (1995). Controle do impacto da urbanização In: *Drenagem urbana*. Tucci, C. E. M.; Porto, R. L. L.; Barros, M. T. ABRH 428p
- TUCCI, C. E. M. (1998). Modelos hidrológicos. Porto Alegre: Ed.UFRGS.
- TUCCI, C. E. M. (2004). Gerenciamento Integrado das Inundações Urbanas no Brasil, In: *Revista de Gestão de Água da America Latina REGA*, Vol. 1, n. 1, 59-73p.
- TUCCI, C. E. M. (2005). *Gestões de Águas Pluviais Urbanas*. Ministério das Cidades – Global Water Partnership – World Bank – Unesco, 192p.
- TUCCI, C. E. M. (2007). *Inundações Urbanas. Impactos da Urbanização*. Porto Alegre: Ed. ABRH/RHAMA, 87-124p.
- TUCCI, C. E. M. (2008). *Águas Pluviais*. *Estudos Avançados* 22 (63): 97-112p.
- UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. (2011) Disponível em: <http://www.unb.br/noticias/unbagencia/unbagencia.php?id=7187>. Acessado em: 08 de mai.2013.
- WOLMAN, M.G. (1967). A cycle of sedimentation and erosion in urban river channels. *Geografiska Annaler* 49A, 385–395p.
- WOLMAN, M.G. & Schick, A.P. (1967). Effects of construction on fluvial sediment; urban and suburban areas of Maryland. *Water Resour. Res.* 3, 451–464p.
- XANTHOPOULOS, C. & HAHN, H. (1993). Anthropogenic pollutants washoff from street surfaces *Proceedings of the Sixth International Conference on Urban Storm Drainage*, Niagara Falls, Canada.

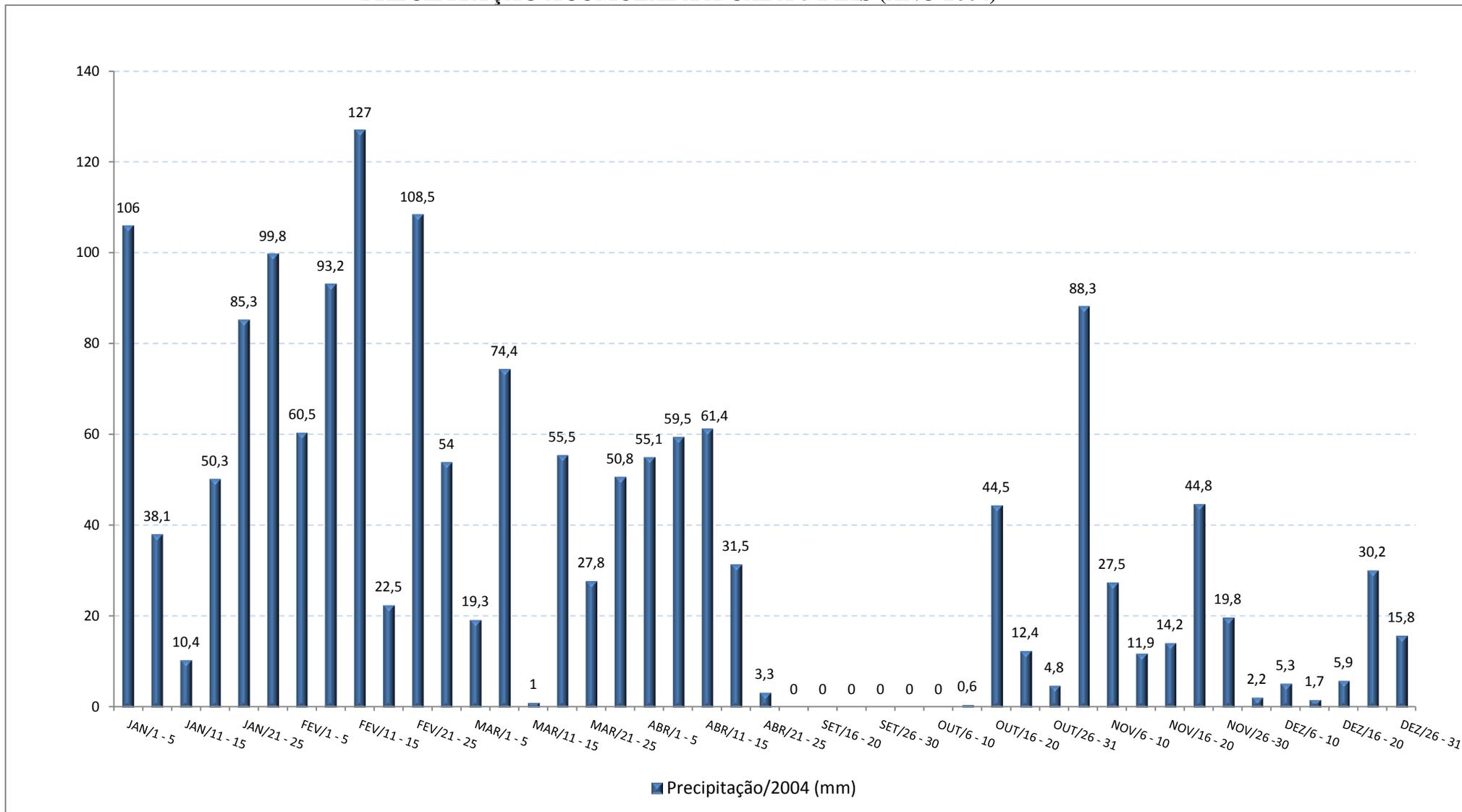
YOON, J. (1996). *“Watershed-Scale Nonpoint Source Pollution Modeling and Decision support System Based on a Model-GIS-RDBMS Linkage”*. *AWRA-Symposium on GIS and water resources, september 22-26, American Water Resources Association, 12p.*

APÊNDICE

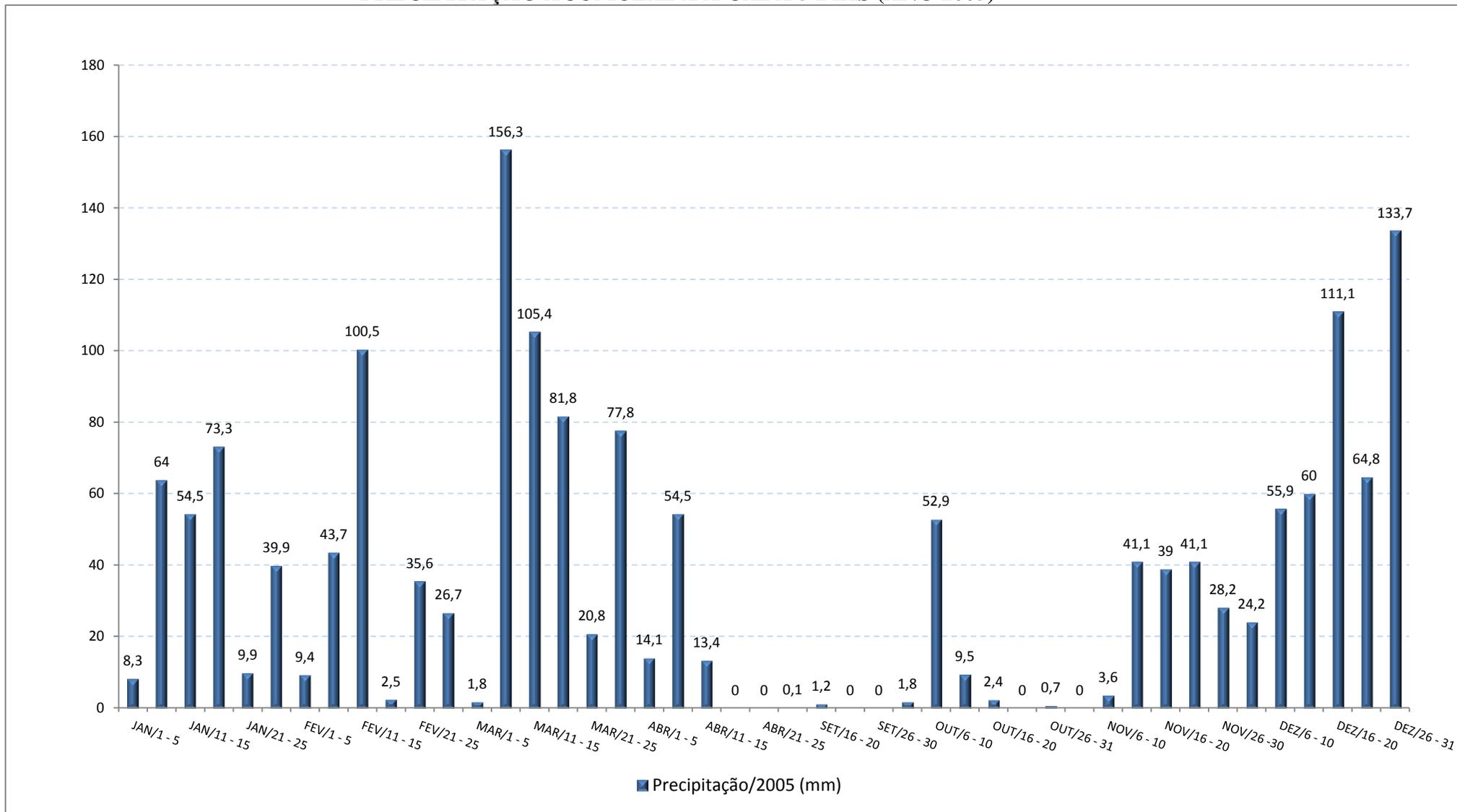
PRECIPITAÇÃO ACUMULADA A CADA 5 DIAS (ANO 2003)



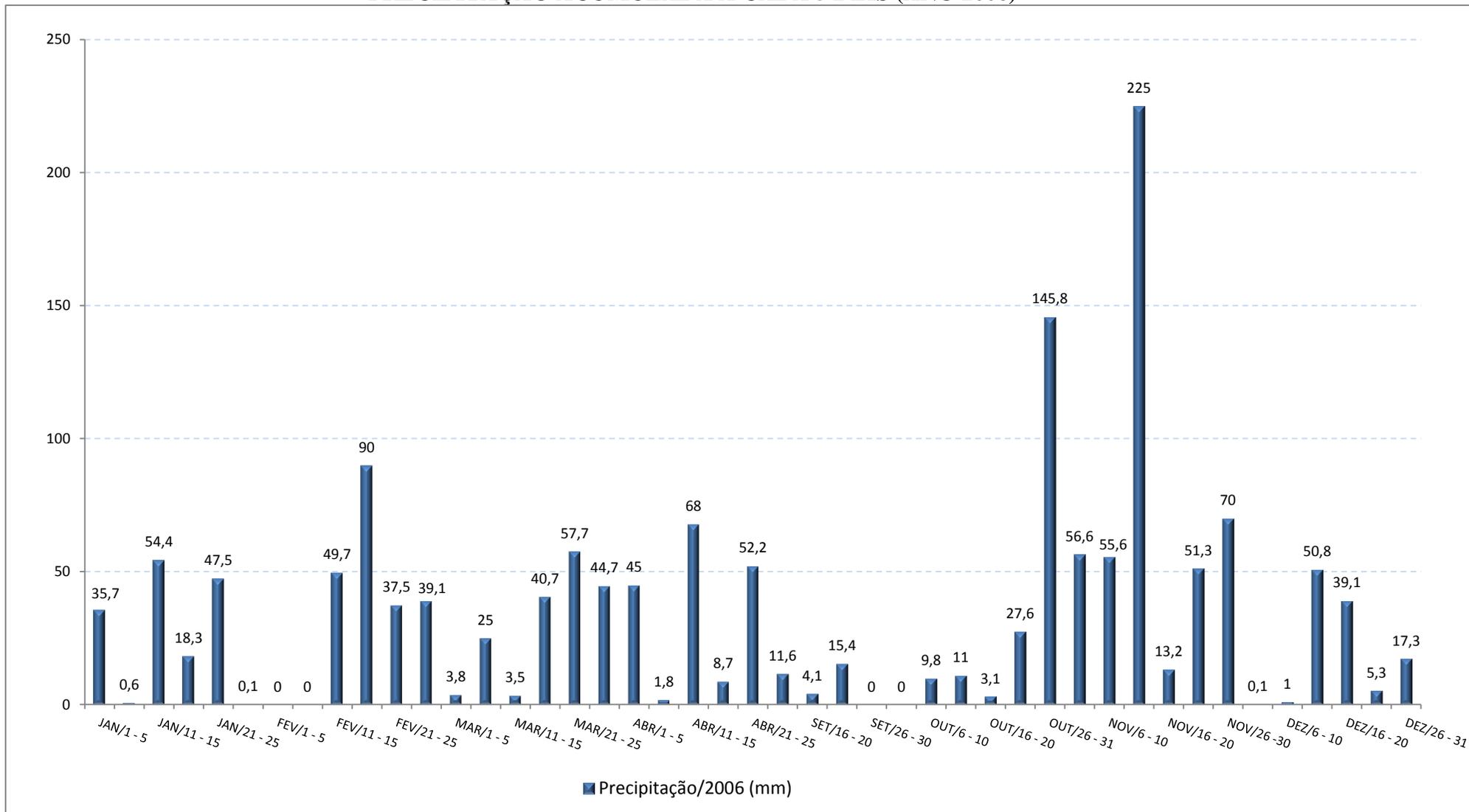
PRECIPITAÇÃO ACUMULADA A CADA 5 DIAS (ANO 2004)



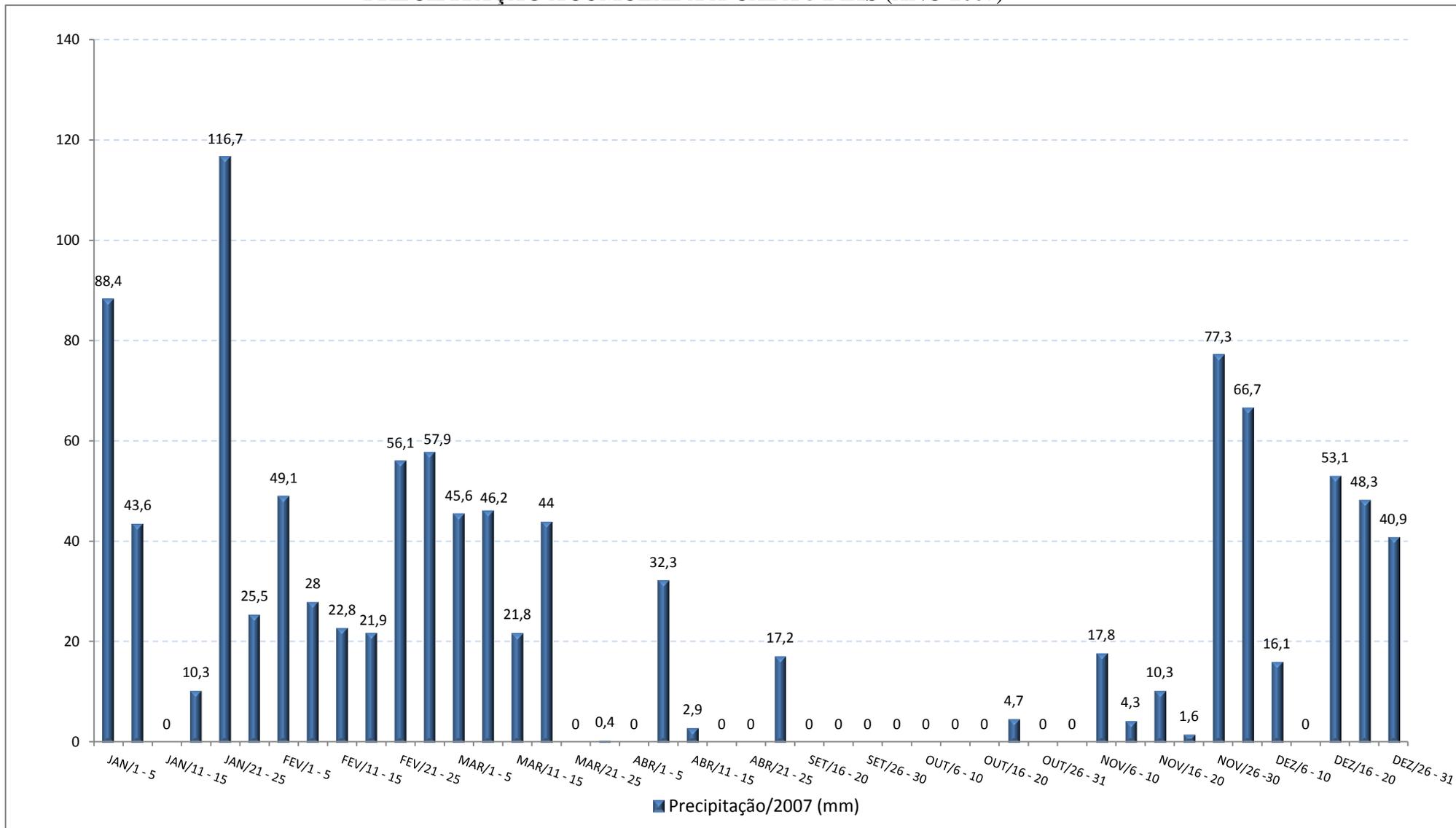
PRECIPITAÇÃO ACUMULADA A CADA 5 DIAS (ANO 2005)



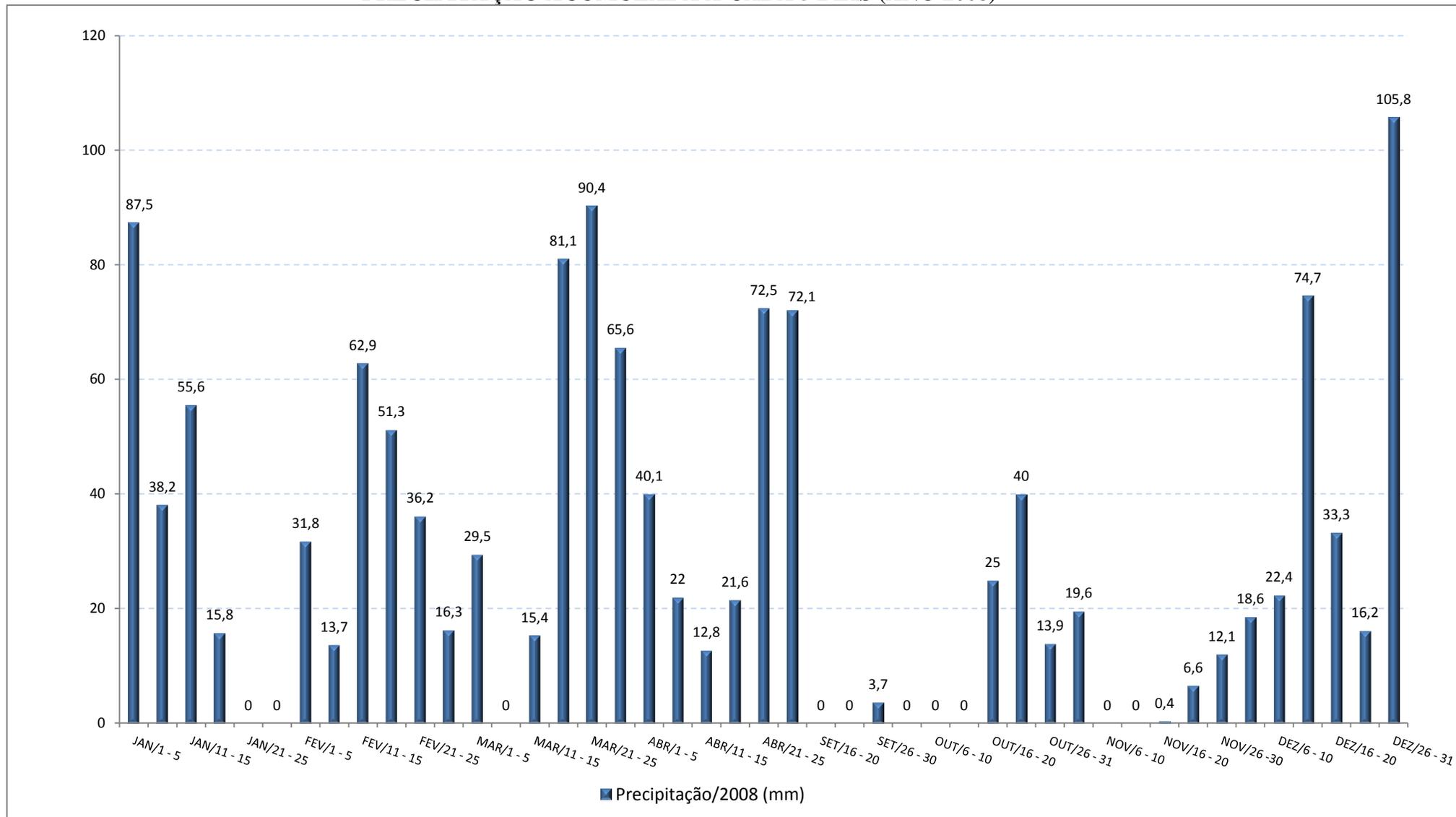
PRECIPITAÇÃO ACUMULADA A CADA 5 DIAS (ANO 2006)



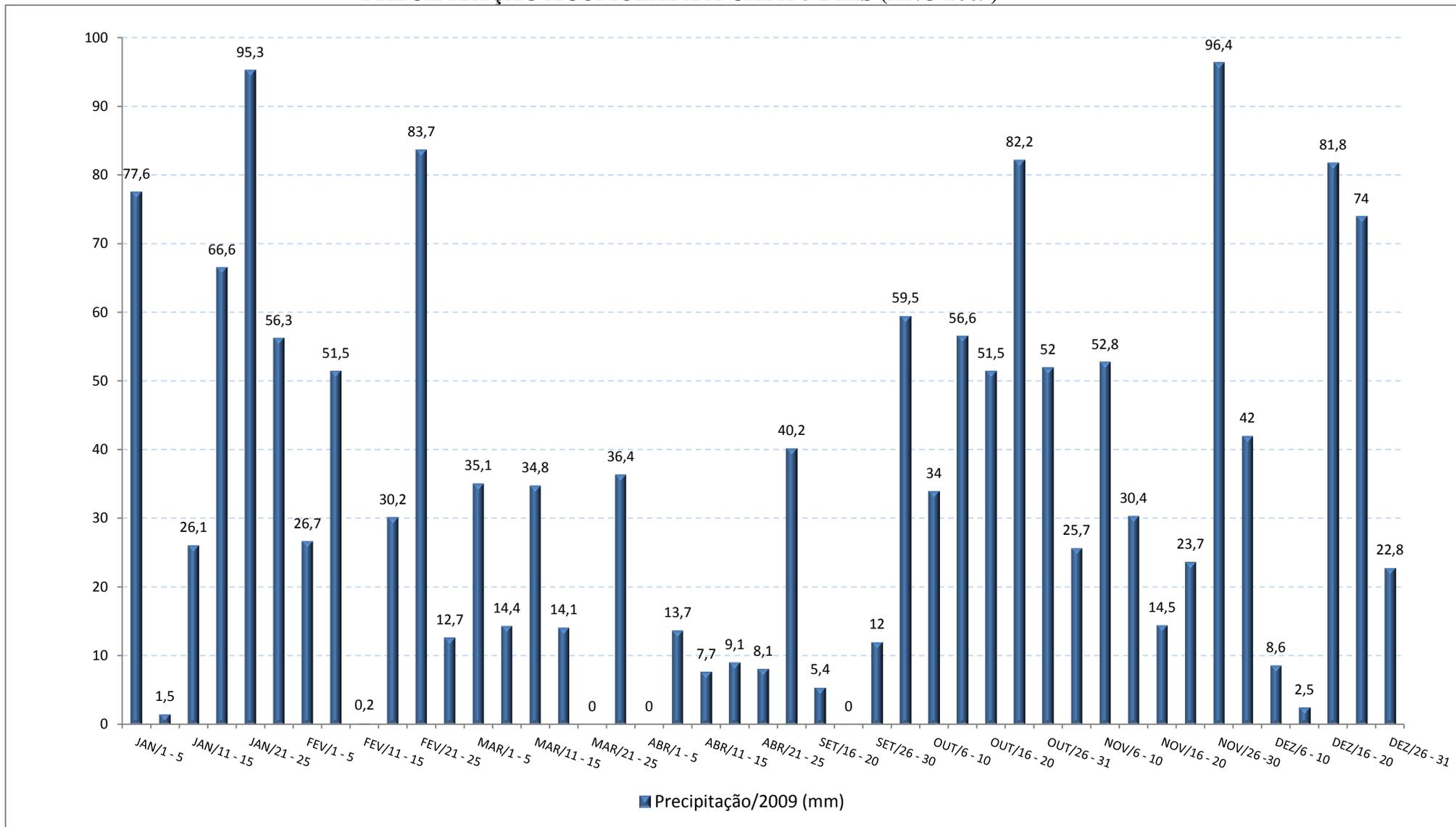
PRECIPITAÇÃO ACUMULADA A CADA 5 DIAS (ANO 2007)



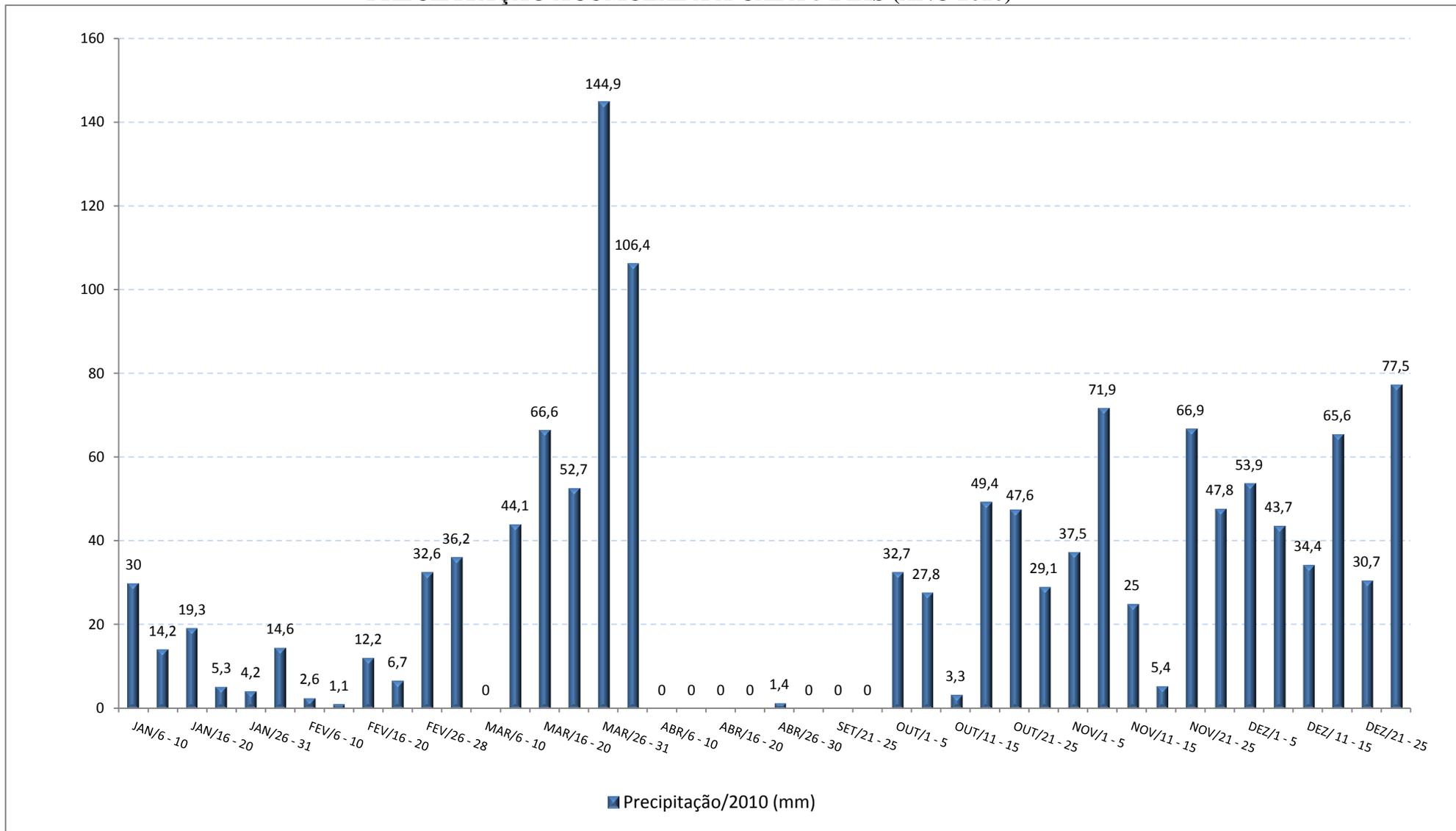
PRECIPITAÇÃO ACUMULADA A CADA 5 DIAS (ANO 2008)



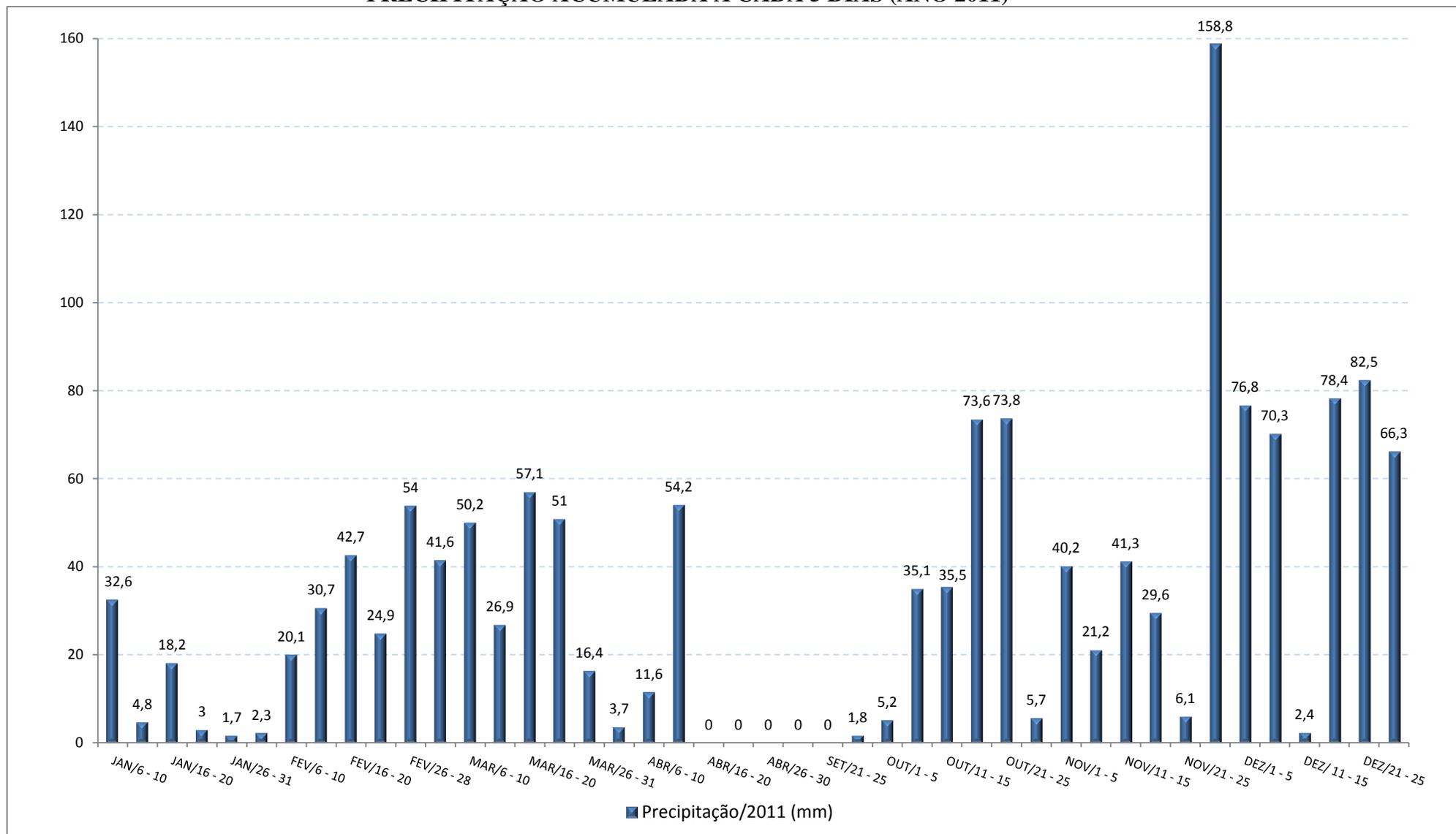
PRECIPITAÇÃO ACUMULADA A CADA 5 DIAS (ANO 2009)



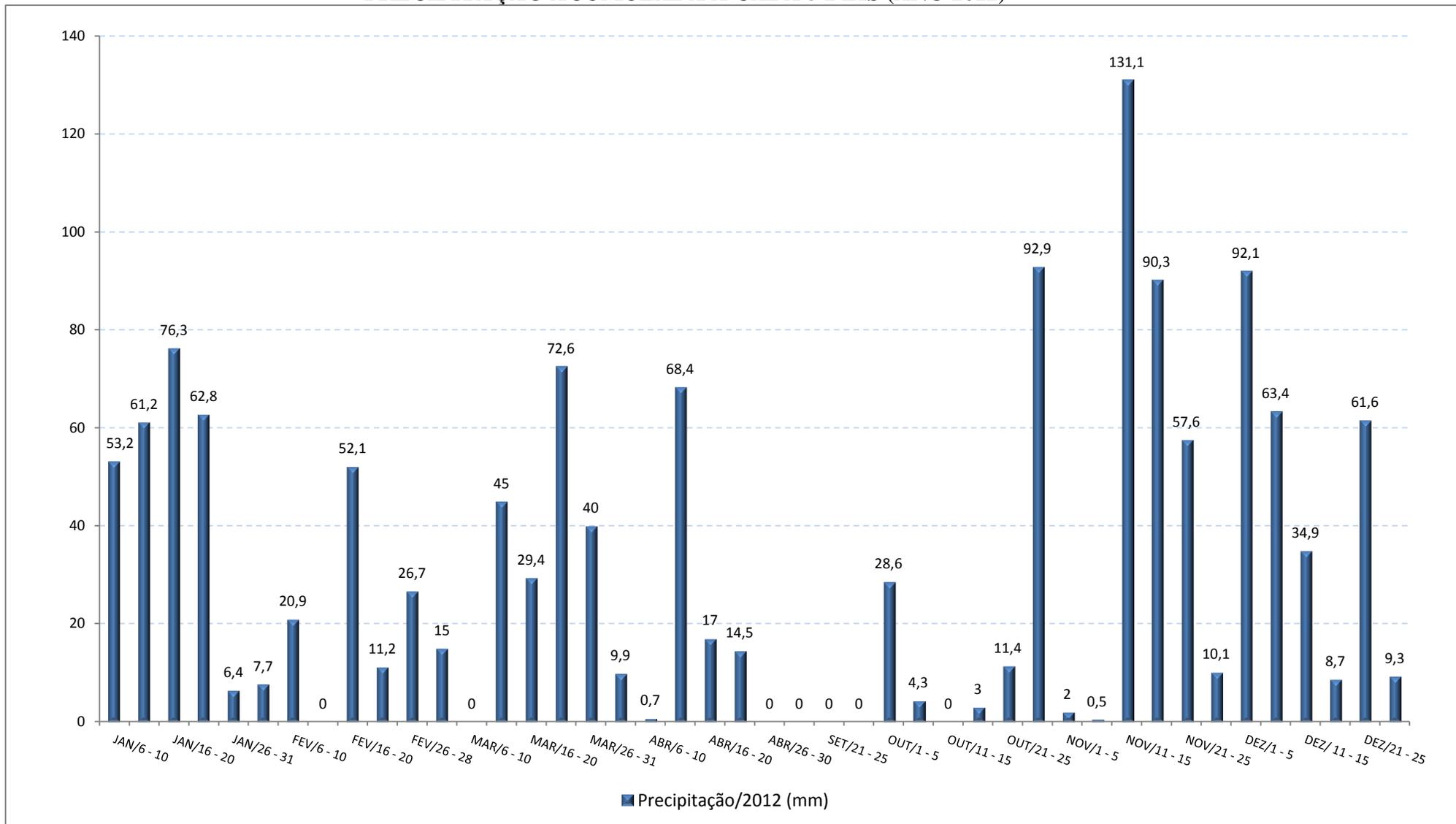
PRECIPITAÇÃO ACUMULADA A CADA 5 DIAS (ANO 2010)



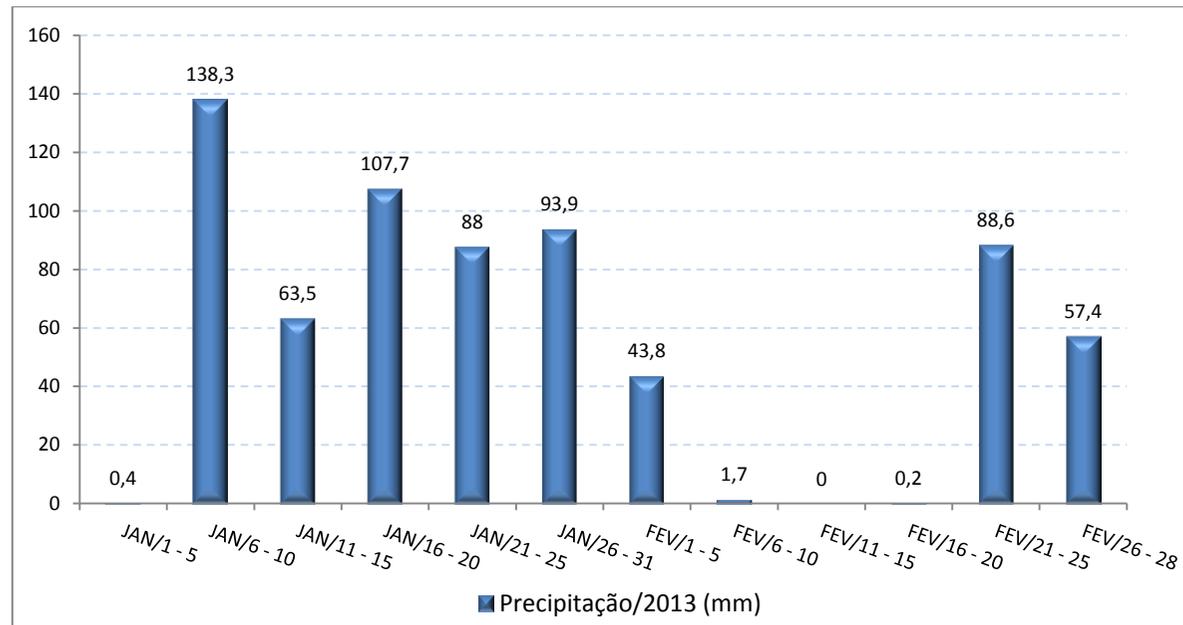
PRECIPITAÇÃO ACUMULADA A CADA 5 DIAS (ANO 2011)



PRECIPITAÇÃO ACUMULADA A CADA 5 DIAS (ANO 2012)



PRECIPITAÇÃO ACUMULADA A CADA 5 DIAS (ANO 2013)



**RESULTADO DO ENSAIO DE CROMATOGRAFIA GASOSA PARA A MOSTRA
COLETADA DA BOCA DE LOBO DA BACIA DE CAPTAÇÃO IATE CLUBE**



QUINOSAN - Laboratório Químico Ltda.

FICHA DE ANÁLISE

Secretaria de Estado de Saúde
MS SIS - 0003-07

PRODUTO: Amostra 03

DATA DA COLETA DA AMOSTRA: 26/06/2012

PERÍODO DA ANÁLISE: INÍCIO: 26/06/2012

SOLICITADO POR: Elmagno Catarino Santos

LAUDO: 01

TÉRMINO: 03/07/2012

EXAME FÍSICO-QUÍMICO		
PARÂMETROS	RESULTADO	PADRÃO MAX PERMITIDO
BENZENO	ND	700µg/L
TOLUENO	ND	215mg/L
XILENO	ND	0,3mg/L
ESTIRENO	ND	20µg/L
Grupo HPA	ND	----
Grupo VOC	ND	----

Obs: ND: Não detectado; VOC: Compostos orgânicos voláteis; HPA: Hidrocarbonetos policíclicos Aromáticos

CONCLUSÃO: Esta amostra encontra-se em conformidade!

QUINOSAN Laboratório Químico Ltda.

DATA: 06/07/2012

RESPONSÁVEL:

Elías Divino Saba
Reg. nº 12100007 CRQ XII

ELIAS DIVINO SABA
CRQ-XII Nº12100007

01.784.926/0001-88

QUINOSAN - Laboratório
Químico Ltda

CHSW BLOCOS-3/4/5 SALA-122
70810-200 BRASÍLIA-DF

**RESULTADO DO ENSAIO DE CROMATOGRAFIA GASOSA PARA A MOSTRA
COLETADA DA BOCA DE LOBO DA BACIA DE CAPTAÇÃO UNB**



QUINOSAN - Laboratório Químico Ltda.

FICHA DE ANÁLISE

Secretaria de Estado de Saúde
MS SIS - 0003-07

PRODUTO: Amostra 04

DATA DA COLETA DA AMOSTRA: 26/06/2012

PERÍODO DA ANÁLISE: INÍCIO: 26/06/2012

SOLICITADO POR: Elmagno Catarino Santos

LAUDO: 02

TÉRMINO: 03/07/2012

EXAME FÍSICO-QUÍMICO		
PARÂMETROS	RESULTADO	PADRÃO MAX PERMITIDO
BENZENO	1,750	700µg/L
TOLUENO	ND	215mg/L
XILENO	ND	0,3mg/L
ESTIRENO	ND	20µg/L
Grupo HPA	ND	---
Grupo VOC	ND	---

Obs: ND: Não detectado; VOC: Compostos orgânicos voláteis; HPA: Hidrocarbonetos policíclicos Aromáticos

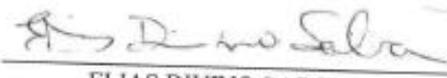
CONCLUSÃO: Esta amostra encontra-se em conformidade!

QUINOSAN Laboratório Químico Ltda.

DATA: 06/07/2012

RESPONSÁVEL:

Elías Divino Saba
Reg. nº 12100007 CRQ XII


ELIAS DIVINO SABA
CRQ-XII Nº12100007

01.784.926/0001-88

QUINOSAN - Laboratório
Químico Ltda

CHSW BLOCOS-3/4/5 SALA-122
70610-200 BRASÍLIA-DF

RESULTADO DO ENSAIO DE CUNHO AMBIENTAL - LIXIVIAÇÃO: BOCAS DE LOBO DA BACIA DE CAPTAÇÃO IATE CLUBE E UNB

 SOLOQUIMICA Analises de Solo Ltda. Análises Físico-químicas de Solo, Folia, Adubo, Ração, Corretivo, Água, Sal Mineral, Meio Ambiente e Análises Sedimentométricas.		CRS 511 - Bloco B - Nº 49 CEP 70381-520 - Brasília-DF Tel: (61) 3346-3811 Tel/Fax: (61) 3346-1622 Cel: (61) 8124-9087 8124-3411 www.soloquimica.com.br contato@soloquimica.com.br		Av. Expedito Garcia - Nº 50 - Sala 202 CEP 29145-205 - Caracica-ES Tel: (27) 3399-880 Tel/Fax: (27) 3090-0596 Cel: (27) 8144-9403		
IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA:		PONTO 3	PONTO 4			
RESULTADOS EM mg/L:						
A R S Ê N I O	(As)	< 0,01	< 0,01	LQ*	0,01	
B Á R I O	(Ba)	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	
C H U M B O	(Pb)	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	
C Á D M I O	(Cd)	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	
C I A N E T O	(CN)	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	
C O B R E	(Cu)	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	
C R O M O	(Cr)	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	
F E R R O	(Fe)	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	
M E R C Ú R I O	(Hg)	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	
P R A T A	(Ag)	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	
S E L Ê N I O	(Se)	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	
<p>* LQ = LIMITE DE QUANTIFICAÇÃO</p> <p align="right">Brasília, 22 de Outubro de 2012.</p> <p align="right"><i>Paulo Cesar</i></p> <p align="right">CRQ 12ª Região 12100079</p>						