

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Fabio Pozzer Rosa

**Controle de Erosão e Sedimentação em Sistemas de
Drenagem Provisória de Obras Urbanas no Município de
São Paulo: Análise de Práticas e Recomendações**

**São Paulo
2013**

Fabio Pozzer Rosa

Controle de Erosão e Sedimentação em Sistemas de Drenagem Provisória de Obras Urbanas no Município de São Paulo: Análise de Práticas e Recomendações

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Habitação: Planejamento e Tecnologia.

Data da aprovação ____/____/____

Prof. Dra. Gisleine Coelho de Campos
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do
Estado de São Paulo

Membros da Banca Examinadora:

Profa. Dra. Gisleine Coelho de Campos (Orientadora)
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Prof. Dr. Omar Yazbek Bitar (Membro)
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Prof. Dr. Marcos Massao Futai (Membro)
USP – POLI Escola Politécnica – Eng. Civil

Fabio Pozzer Rosa

Controle de erosão e sedimentação em sistemas de drenagem
provisória de obras urbanas no município de São Paulo: análise de
práticas e recomendações

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do
Estado de São Paulo – IPT, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Mestre
em Habitação: Planejamento e Tecnologia.

Área de Concentração: Tecnologia de
Construção de Edifícios - TCE

Orientadora: Profa. Dra. Gisleine Coelho de
Campos

São Paulo
Setembro/2013

Ficha Catalográfica

Elaborada pelo Departamento de Acervo e Informação Tecnológica – DAIT
do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT

R788c Rosa, Fabio Pozzer
Controle de erosão e sedimentação em sistemas de drenagem provisória de obras urbanas no município de São Paulo: análise de práticas e recomendações. / Fabio Pozzer Rosa. São Paulo, 2013.
159p.

Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Área de concentração: Tecnologia em Construção de Edifícios.

Orientador: Profa. Dra. Gisleine Coelho de Campos

“Dedico este trabalho a minha mãe, Sueli Aparecida Dias Pozzer Rosa, que atua como docente de jovens e sempre demonstrou muito orgulho ao me ver estudando, atraindo boas energias para próximo de mim.”

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Centro de Tecnologia de Edificações (CTE), empresa em que trabalho na equipe de obras da Unidade de Sustentabilidade, convivendo com profissionais extremamente qualificados, tendo a oportunidade de atuação em diversos canteiros de obras em processo de certificação de qualidade ambiental. Agradeço ao CTE pelo auxílio direto na realização deste curso de Mestrado.

Agradeço a equipe do IPT, desde a secretaria do curso de mestrado até os excelentes professores, que contribuíram para que eu atingisse meus objetivos neste trabalho. Especialmente ao Vicente Luiz Galli, Luis Gonzaga de Souza, Francisco Yutaka Uema e Jorge Maximiliano de Oliveira, técnicos do CT-Obras que me auxiliaram na execução dos ensaios em laboratório.

Agradeço a minha orientadora Profa. Dra. Gisleine Coelho de Campos, pelo seu apoio e conselhos durante o desenvolvimento desta dissertação.

Agradeço a minha família, que é a base emocional necessária para a dedicação ao trabalho e aos estudos.

RESUMO

As construções de edifícios em meio urbano expõem os terrenos aos agentes erosivos, propiciando a perda de solo nestes locais, principalmente em decorrência de eventos chuvosos intensos. O carreamento dos sedimentos provenientes de obras para o sistema público de captação pluvial pode ocasionar o assoreamento das linhas de drenagem e aumento da turbidez das águas escoadas, desencadeando impactos como as enchentes e inundações, além da redução da qualidade das águas nos rios e lagoas da bacia hidrográfica local.

O sistema de drenagem provisória das obras atua no recebimento, transporte e retirada da água das obras, sendo o principal promotor do carreamento de sedimentos para as galerias pluviais e córregos, conseqüentemente gerando riscos para a sociedade, por expô-la à vetores de doenças e pela degradação do patrimônio público e privado, riscos para o meio ambiente, devido a redução da qualidade da água de escoamento pluvial, além de riscos ao empreendimento, por sujeita-lo à sanções legais devido a regulamentação do Conselho Nacional para o Meio Ambiente sobre a qualidade da água de drenagem.

O objetivo do trabalho é apresentar conceitos, regulamentações e métodos de controle de erosão e sedimentação em sistema de drenagem de obras urbanas, através de pesquisa aplicada com estudos experimentais para medição dos sedimentos em água tratada por membrana geotêxtil e exemplos de casos reais em obras civis, principalmente no município de São Paulo, demonstrando a viabilidade de retirar a água proveniente da drenagem provisória das obras com controle dos riscos relacionados.

Os principais resultados obtidos são: o conceito de uso da membrana geotêxtil como barreira e não como filtro para fluxos de água com sedimentos; e a necessidade de planejamento da drenagem provisória da obra em conjunto às atividades de produção da construção.

Palavras Chaves: drenagem provisória; erosão e sedimentação; poluição; obras urbanas.

ABSTRACT

The construction of buildings in urban areas exposes the ground to erosive agents, generating the a soil loss at these sites, mainly due to intense rainfall events. The entrainment of sediments from constructions to public rain water collection systems, may cause siltation of drainage lines and the increase in turbidity of the drained water, initiating impacts such as floods and flooding besides the reduction of water quality in rivers and lakes from the local watershed.

The temporary drainage system of constructions acts on the receiving, transportation and removal of the water from the constructions, being the main promoter of the sediment entrainment to the rain galleries and streams, therefore, generating risks to the society as exposes it to disease vectors and degradation of public and private property, risks to the environment due to the reduction of drainage rain water quality and also risks to the enterprise by subject it to legal sanctions due to the National Environment Council regulations of quality of drainage water.

The proposal of this work is to present concepts, rules and methods to control erosion and sedimentation in the drainage system of urban works through a research applied with experimental studies for measurement of the sediment into treated water by geotextile membrane and examples of real cases in constructions specially in Sao Paulo city, demonstrating the viability of removing the water from the temporary drainage controlling the related risks.

The main results reached are: the concept of using geotextile membrane as a barrier and not as a filter for water flow with sediment, and the necessity of planning the temporary drainage of the construction along with the production activities of it.

Keywords: temporary drainage; erosion and sedimentation; pollution; urban construction

Lista de ilustrações

Desenho 1	-Esquema do experimento em projeto.	85
Figura 1	-Solos entregues no rio Milwaukee. Percentual de contribuição por uso do solo.	40
Figura 2	-Detalhe de estabilização do solo em frente a portaria da obra com brita.	44
Figura 3	-Proteção de crista do talude e planejamento da descida d'água em local estabilizado.	52
Figura 4	-Detalhe da descida d'água proveniente da crista do talude e do dissipador de energia na saída.	52
Figura 5	-Seção II do capítulo 2 da Resolução CONAMA 430/2011	60
Figura 6	-Detalhe de execução padrão de cerca filtrante.	69
Figura 7	-Descida de água provisória sobre membrana geotêxtil, com proteção lateral e dissipador de energia ao final.	73
Figura 8	-Exemplo de projeto de drenagem provisória da obra com controle de erosão e sedimentação. Etapa de escavação e movimentação de terra.	77
Figura 9	-Detalhe 01 da Figura 8 – Destaque para rampa de acesso ao subsolo estabilizada, sistema de lava rodas e sistema de lava bicas dos caminhões betoneira.	78
Figura 10	-Detalhe 1.1 da Figura 09: Sistema de lava rodas com tratamento do efluente de lavagem.	79
Figura 11	-Detalhe 1.2 da Figura 9 com sistema móvel de lava bicas dos caminhões betoneira.	80
Figura 12	-Detalhe 02 da Figura 8: Poço de drenagem provisória com sistema de retenção de sedimentos.	81
Figura 13	-Vista Parcial de um projeto de drenagem provisória da obra com controle de erosão e sedimentação. Etapa de execução das lajes dos subsolos.	82

Figura 14	-Esquema da estrutura utilizada para os ensaios.	98
Fotografia 1	-Enchentes na marginal do Rio Tietê em São Paulo/SP: água com sedimentos contribuem para o agravamento do problema.	22
Fotografia 2	-Vista aérea da cidade de Taboão da Serra.	22
Fotografia 3	-Saída de sedimentos da obra para as vias públicas, através de portaria sem estabilização ou sistema de lava rodas dos veículos.	25
Fotografia 4	-Saída de sedimentos da obra para as vias públicas, por falta de proteção do perímetro e controle dos acessos.	25
Fotografia 5	-Lançamento irregular de efluente sobre a calha pluvial pública.	25
Fotografia 6	-Lançamento irregular de efluente sobre a calçada pública.	25
Fotografia 7	-Estabilização das entradas e saídas da obra com brita.	27
Fotografia 8	-Sistema de lava rodas.	27
Fotografia 9	-Proteção do perímetro da obra com sacarias com solo e membrana geotêxtil.	27
Fotografia 10	-Poço de drenagem com sistema de retenção de sedimentos.	27
Fotografia 11	-Exposição do solo em loteamento em área de expansão da cidade.	33
Fotografia 12	- Drenagem mal planejada em loteamento promove erosão.	33
Fotografia 13	-Calha improvisada para drenagem provisória da obra – efluente lançado diretamente sobre o córrego canalizado, sem medida de controle.	35
Fotografia 14	-Poço de drenagem provisória improvisado para descarte da água acumulada em área de produção da obra através de bombeamento, sem controle dos sedimentos provenientes da erosão dos taludes provisórios próximos.	36

Fotografia 15	-Ocupação irregular das margens de córregos - áreas de risco de enchentes.	37
Fotografia 16	-Enchentes e alagamentos causam riscos à saúde da população e danos ao patrimônio público e privado.	37
Fotografia 17	-Ambiente aquático eutrofizado.	38
Fotografia 18	-Turbidez em lagoa dificulta a entrada de luz e reduz a qualidade da água.	38
Fotografia 19	-Altas descargas de sedimentos do interior para o porto em Milwaukee (WI) durante chuvas fortes (WI DNR).	40
Fotografia 20	-Área com cobertura vegetal preservada nas primeiras perturbações do terreno.	42
Fotografia 21	-Calha perimetral e vedação da base do tapume da obra controlam os fluxos do escoamento pluvial.	42
Fotografia 22	-A área pavimentada no perímetro da obra foi preservada durante a demolição para auxiliar no controle do escoamento pluvial.	43
Fotografia 23	-Via de circulação de veículos sem estratégia implementada para controle de poeira.	43
Fotografia 24	- Sedimentos carregados pelos veículos da obra dispostos sobre a via pública.	44
Fotografia 25	-Sedimentos carregados da obra para a via pública através da portaria de saída de veículos.	44
Fotografia 26	-Estabilização da área em frente a portaria da obra com camada de brita.	45
Fotografia 27	-Vias de circulação internas da obra estabilizadas com brita graduada umedecida.	45
Fotografia 28	-Sistema de umectação de via de circulação por aspersores fixos.	45
Fotografia 29	-Aspersão de água em via de circulação por caminhão pipa.A frente, talude protegido com aplicação de cal.	45

Fotografia 30	-Sub base da via de circulação definitiva do empreendimento foi executada para uso durante a obra, reduzindo o custo com estratégias provisórias.	46
Fotografia 31	-Parte da camada de asfalto da via de circulação definitiva do empreendimento foi executada para uso durante a obra.	46
Fotografia 32	-Sistema de lava rodas com tratamento da água de lavagem.	47
Fotografia 33	-Sistema de separação de água e óleo do lava rodas.	47
Fotografia 34	-Sistema de tratamento do efluente do lava rodas para reuso.	47
Fotografia 35	-Água tratada do sistema de lava rodas para reuso no próprio sistema.	47
Fotografia 36	-Bacia de sedimentação para contenção do escoamento de lama bentonítica.	48
Fotografia 37	-Bacia para acúmulo de lama bentonítica no canteiro.	48
Fotografia 38	-Talude provisório protegido contra erosão por lona plástica.	50
Fotografia 39	-Talude provisório protegido contra erosão por cobertura vegetal.	50
Fotografia 40	-Talude definitivo protegido por cobertura vegetal imediatamente após a conclusão da terraplenagem no local.	50
Fotografia 41	-Talude provisório de longa permanência protegido por chapisco de cimento e areia.	50
Fotografia 42	-Aplicação de biomanta sobre talude provisório de longa permanência.	51
Fotografia 43	-Talude protegido por biomanta com crescimento de vegetação.	51
Fotografia 44	-Calha de crista executada imediatamente após conclusão	51

do talude definitivo.

Fotografia 45	-Lera de crista executada durante a formação do talude, reduzindo o fluxo de água sobre a superfície inclinada.	51
Fotografia 46	-Estoque de solo para uso futuro controlado por calha perimetral.	54
Fotografia 47	-Aplicação de líquido supressor de poeira sobre talude provisório em período de estiagem.	54
Fotografia 48	-Proteção de boca de lobo com membrana geotêxtil e brita.	55
Fotografia 49	-Sedimentos acumulados junto a proteção da boca de lobo após a lavagem da rua.	55
Fotografia 50	-Proteção com membrana geotêxtil da entrada da galeria pluvial já existente no terreno antes da obra.	56
Fotografia 51	-Acúmulo de água sobre a entrada da galeria pluvial protegida, devido a restrição à vazão causada pelo geotêxtil e pelos sedimentos retidos.	56
Fotografia 52	-Galeria pluvial em execução evidenciando a entrada de sedimentos da obra durante um chuva.	57
Fotografia 53	-Proteção de entrada da galeria pluvial durante sua execução.	57
Fotografia 54	-Solo acondicionado para o paisagismo do empreendimento sendo carreado para o sistema de captação pluvial interno, já ligado ao sistema público.	58
Fotografia 55	-Paisagismo executado logo após a conclusão do perímetro do jardim.	58
Fotografia 56	-Bombas instaladas para retirada de água acumulada em área de produção.	59
Fotografia 57	-Bombeamento de efluente de drenagem provisória de obra para a via pública.	59
Fotografia 58	-Calha de drenagem provisória de obra revestida com brita nº4, que atua retendo sedimentos e aumentando a	61

infiltração da água.

Fotografia 59	-Calha de drenagem provisória de obra em solo exposto.	61
Fotografia 60	-Dispositivo (sacaria com brita) para retenção de sedimentos em calhas da drenagem provisória.	62
Fotografia 61	-Armadilha de sedimentos em calha da drenagem provisória (estratégia implantada para capturar os sedimentos carreados junto ao escoamento do efluente sobre calha).	62
Fotografia 62	-Calha conduzindo a água para poço de drenagem provisória de obra intermediário, sem filtros para sedimentos.	62
Fotografia 63	-Exemplo de bacia de sedimentação com coletor de água na lâmina superficial (<i>skimmer</i>).	63
Fotografia 64	-Exemplo de coletor de lâmina superficial da água (<i>skimmer</i>).	63
Fotografia 65	-Sistema de coleta de água pluvial das áreas pavimentadas da obra através de ralos.	64
Fotografia 66	-A água coletada das áreas pavimentadas é conduzida para um reservatório principal, de onde é aproveitada.	64
Fotografia 67	-Pequena bacia de infiltração disposta próxima às frentes de serviços.	65
Fotografia 68	-Bacia de infiltração em grande dimensão e interligada a outra bacia, disposta na periferia do terreno. Observa-se acúmulo de sedimentos finos, os quais podem colmatar o solo.	65
Fotografia 69	-Poço de drenagem próximo às frentes de serviço.	66
Fotografia 70	-Bacia de sedimentação junto à periferia da obra.	66
Fotografia 71	-Armadilha de sedimentos disposta na calha formada pelo meio fio da calçada.	67
Fotografia 72	-Armadilha de sedimentos disposta na calha da drenagem	67

	pluvial da obra.	
Fotografia 73	-Diques para retenção de sedimentos ao longo da linha de drenagem construída (calha pluvial).	68
Fotografia 74	-Lera de entulho de demolição de estacionamento disposto sobre as curvas de nível do terreno para retenção dos sedimentos carregados pelo escoamento pluvial..	68
Fotografia 75	-Detalhe da vala escavada para fixação da membrana geotêxtil da cerca filtrante.	70
Fotografia 76	-Detalhe de execução de cerca filtrante.	70
Fotografia 77	-Cerca filtrante executada em base de talude durante sua execução.	70
Fotografia 78	-Poço de drenagem prevendo a retenção dos sedimentos com filtro de brita e membrana geotêxtil.	71
Fotografia 79	-Trincheira drenante e poço de drenagem envolto em brita e membrana geotêxtil.	71
Fotografia 80	-Sistema de filtro formado por tambor envolvido em membrana geotêxtil e preenchido por brita.	72
Fotografia 81	-Poço de drenagem definitiva do empreendimento executado para uso durante a obra.	72
Fotografia 82	-Sistema de filtro formado por barreira de brita em calha de escoamento pluvial.	72
Fotografia 83	-Cercas filtrantes ao longo da calha de escoamento pluvial. Exemplo de associação de soluções técnicas distintas.	72
Fotografia 84	-Caixa de passagem antes do descarte da água de drenagem - local serve como ponto para coleta de amostra para ensaio de sólidos sedimentáveis.	73
Fotografia 85	-Dissipador de energia com brita 4 disposta ao longo da drenagem definitiva.	73
Fotografia 86	-Ensaio de sólidos sedimentáveis em água de drenagem provisória sendo realizado em obra.	74

Fotografia 87	-Cone de <i>Imhoff</i> em escritório de obra pronto para realização do ensaio de sólidos sedimentáveis.	74
Fotografia 88	-Ensaio de sólidos sedimentáveis em cone de <i>Imhoff</i> com índice abaixo de 1ml/l, permitindo seu descarte em sistemas de coleção pluvial.	74
Fotografia 89	-Água de drenagem provisória sendo descartada para a rua pública. Índice de sólidos sedimentáveis inferior a 1ml/l.	74
Fotografia 90	-Proteção da entrada da galeria pluvial da obra durante sua execução.	84
Fotografia 91	-Dispositivo desenvolvido com a finalidade de filtrar efluente com alta carga de sedimentos em grandes vazões.	84
Fotografia 92	-Vista geral do experimento.	85
Fotografia 93	-Exemplo de preparação do efluente para os ensaios	98
Fotografia 94	-Exemplo de preparação da cerca filtrante para ensaio.	98
Fotografia 95	-Montagem da cerca filtrante com membrana geotêxtil.	101
Fotografia 96	-Cerca filtrante fixa no tanque de ensaios, com as laterais e base vedadas.	101
Fotografia 97	-Fração areia do solo sedimentada no início do tanque de ensaios.	102
Fotografia 98	-Colmatação da membrana geotêxtil por camada de silte.	102
Fotografia 99	-Efluente retido a montante da cerca filtrante com aproximadamente 10 minutos do ensaio 3.	103
Fotografia100	-Membrana geotêxtil praticamente colmatada após aproximadamente 10 minutos do ensaio 3.	103
Fotografia101	-Efluente a partir do solo areia siltosa, 110ml/l de sólidos sedimentáveis, sendo lançado no tanque durante ensaio 9.	105
Fotografia102	-Efluente isento de sólidos sedimentáveis na entrada da caixa 2, após passagem pela membrana geotêxtil de 200g/m ² durante ensaio 9.	105

Fotografia103	-Ensaio com efluente argiloso preparado para o ensaio 10. Resultado: 17,5ml/l de sólido sedimentáveis.	106
Fotografia104	-Efluente argiloso mesmo após passagem por membrana geotêxtil de 500g/m ² durante ensaio 11 ainda apresenta alta turbidez, apesar de isento de sólidos sedimentáveis.	106
Gráfico 1	-Curva granulométrica da amostra do solo tipo 1 – Argila arenosa pouco siltosa (Classificação USDA,1975)	88
Gráfico 2	-Curva granulométrica da amostra do solo tipo 2 – Silte arenoso pouco argiloso (Classificação USDA,1975)	89
Gráfico 3	-Turbidez após ensaios da 2 ^a campanha.	93
Gráfico 4	-Volume de mistura a montante da cerca filtrante a cada hora de ensaio durante a 2 ^a campanha- solo siltoso e geotêxtil não tecido	94
Gráfico 5	-Turbidez média dos 10 ensaios a 3 profundidades e a montante da cerca filtrante 2 ^a campanha - solo argiloso e geotêxtil tecido	94
Gráfico 6	-Diferença normalizada entre turbidez inicial e final em ambas campanhas de ensaios (eficiência)	95
Gráfico 7	-Ensaio granulométrico - solo areia siltosa (Amostra 1)	99
Gráfico 8	-Ensaio granulométrico - solo areia argilosa (Amostra 2)	100
Gráfico 9	-Vazão do efluente na entrada da caixa 2.	106
Gráfico 10	-Sólidos sedimentáveis do efluente na entrada da caixa 2.	107
Quadro 1	-Itens referentes a prevenção e controle à poluição da obra avaliados durante a construção de torres corporativas.	34
Quadro 2	-Classificação granulométrica dos solos segundo NBR 6502, e USDA, 1975	87
Quadro 3	-Resultados para a primeira campanha de ensaios.	90
Quadro 4	-Resultados para a segunda campanha de ensaios.	91
Quadro 5	-Resultados para a terceira campanha de ensaios.	92

Lista de tabelas

Tabela 1	-Percentuais de conformidade em relação a prevenção e controle à poluição da obra.	33
Tabela 2	-Propriedades de Membranas Geotêxteis não Tecidas.	86
Tabela 3	-Propriedades de Membranas Geotêxteis Tecidas.	86
Tabela 4	-Solo tipo 1 - Resultados da análise granulométrica, classificação USDA-1975, para a fração passante em peneira com abertura #2mm (ASTM 10)	88
Tabela 5	-Solo tipo 2 - Resultados da análise granulométrica, classificação USDA-1975, para a fração passante em peneira com abertura #2mm (ASTM 10)	88
Tabela 6	-Propriedades das Membranas Geotêxteis Utilizadas nos Ensaios.	99
Tabela 7	-Demonstrativo das variações da membrana geotêxtil e tipo de solo por ensaio.	100

Lista de abreviaturas e siglas

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
BMP	Best Management Practices
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTE	Centro de Tecnologia de Edificações
CETAE	Centro de Tecnologias Ambientais e Energéticas
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
DAEE	Departamento e Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo
DERSA	Desenvolvimento Rodoviário S.A.
EPA	Environmental Protect Agency
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
NBR	Norma Brasileira
NPDES	National Pollutant Discharge Elimination System
PH	Potencial Hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SAISP	Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
USGBC	United States Green Building Council

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	22
2 OBJETIVOS	
2.1 Geral	29
2.1 Específico	29
3 METODOLOGIA	30
4 EROSÃO E DRENAGEM PROVISÓRIA DE OBRAS URBANAS	32
4.1 Contextualização das causas e problemas	32
4.1.1 Erosão em meio urbano	32
4.1.2 Drenagem provisória de obras urbanas sem controle de erosão	35
4.1.2.1 Enchentes e alagamentos	37
4.1.2.2 Eutrofização	38
4.2 Exemplos de problemas e soluções	40
4.2.1 Limpeza de terrenos não edificadas	41
4.2.2 Proteção do perímetro da obra	42
4.2.3 Terrenos edificadas – demolição	43
4.2.4 Acessos: vias de circulação de veículos e portarias da obra	43
4.2.5 Escavação de paredes diafragma e estacas	48
4.2.6 Escavação e movimentação de terra – estabilização de solos expostos	49
4.2.7 Limpeza das vias públicas	54
4.2.8 Proteção das galerias pluviais internas	55
4.2.9 Paisagismo	57
5 SISTEMAS DE DRENAGEM PROVISÓRIA DE OBRAS URBANAS	59
5.1 Etapas da drenagem provisória de obras	60
5.1.1 Transporte e acúmulo de água no canteiro de obras	61
5.1.2 Tratamento final para o efluente de água com sedimentos da obra	64
5.1.3 Controle de qualidade e descarte de água da obra para o entorno	74
5.2 Planejamento e gestão ambiental para controle de erosão e sedimentação em drenagem provisória de obras	75
5.2.1 Equipe dedicada a gestão ambiental da obra	75
5.2.2 Projeto de drenagem provisória da obra	76

6 ESTUDOS EXPERIMENTAIS COM MEMBRANAS GEOTÊXTEIS	83
6.1 Ensaio em laboratório realizados pelo IPT – Monitoramento da turbidez do efluente	83
6.1.1 Comentários	95
6.2 Ensaio em laboratório realizados pelo autor – Monitoramento do índice de sólidos sedimentáveis	97
6.2.1 Comentários	108
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	109
REFERÊNCIAS	111
APÊNDICE A	117
Exemplos de poluição em canteiros de obras e boas práticas para prevenção e controle dos impactos ambientais	
APÊNDICE B	128
Relatório dos Ensaio em Laboratório – Compilação dos Dados Obtidos pelo Autor	

1 INTRODUÇÃO

“A construção civil é a indústria que mais causa impactos ambientais no planeta” (RESENDE; CARDOSO, 2008, p.1). O setor cresce a cada ano no Brasil, e aceleradamente nos últimos cinco anos (SOUZA, 2012a), tendo verificado um crescimento de 2,4% no primeiro semestre de 2012 em relação ao PIB do mesmo período no ano anterior (CBIC, 2012). Esse crescimento ocorre principalmente nos grandes centros urbanos, como na região metropolitana de São Paulo, onde com ele cresce também o número de enchentes, inundações e demais impactos ambientais associados ao assoreamento de galerias pluviais, córregos e rios coletores. Nas fotos 1 e 2 são retratados os efeitos causados à população pelas enchentes e inundações¹, como aumento do trânsito e deterioração do patrimônio público e privado.

Fotografia 01 – Enchentes na marginal do Rio Tietê em São Paulo/SP: água com sedimentos contribuem para o agravamento do problema.



Fonte: Blog Limpinho e Cheiroso (2011)

Fotografia 02 - Vista aérea da cidade de Taboão da Serra.



Fonte: Portal Taboanense (2009)

A urbanização das cidades promove alterações nas condições normais de escoamento das precipitações. Devido aos altos índices de impermeabilização do solo, reduz-se a infiltração das águas de chuva e aumenta-se a velocidade com que

¹ A palavra enchente deriva de “encher” (que procede do latim ‘plenus’), que segundo o dicionário “Aurélio” significa “ocupar o vão, a capacidade ou a superfície de; tornar cheio ou repleto”. Já a palavra inundação (do latim ‘inundantia’)   derivada do verbo “inundar”, que, segundo o mesmo dicionário significa “cobrir de água; submergir; alagar; encher-se de água ou de outra substância líquida; [...] transbordar, extravasar” (FERREIRA, 1988). Portanto as enchentes, fen menos naturais, ocorrem quando durante uma chuva o volume de água escoada por um córrego   maior que sua capacidade, fazendo-o enche até o limite de sua capacidade, ocupando áreas das margens acima da média anual. Enquanto as inunda es, fen menos n  necessariamente naturais, ocorrem quando o volume de água que chega a um determinado ponto   maior que a capacidade de escoamento das linhas de drenagem existentes, gerando acúmulo de água no local.

chega às galerias pluviais e córregos. Associado ao assoreamento destas linhas de drenagem, os grandes eventos de chuva podem causar inundações urbanas.

“É possível afirmar que as inundações colocam-se como um dos mais graves problemas ambientais contemporâneos, afetando anualmente milhares de pessoas no mundo todo, comprometendo a economia das áreas atingidas, notadamente as mais pobres (BEYER, 1974; BRYANT, 1991; SMITH, 1992; VAN MOLLE, 1993; JOHNSON e LEWIS, 1995; READING et al., 1995; SMITH, 1997; LOBSTER, 1999; ROCHA, 2004 apud CANDIDO 2007).”

Atualmente o Governo do Estado de São Paulo tem adotado medidas para reduzir os efeitos das enchentes no município de São Paulo através de obras para o aprofundamento do leito do rio Tietê e seus afluentes, aumentando a capacidade de escoamento dos rios (SAISP, 2013).

As principais ações públicas na região metropolitana de São Paulo (RMSP) para combate às enchentes iniciaram em 1995, com a elaboração do "Plano Integrado de Aproveitamento e Controle dos Recursos Hídricos das Bacias do Alto Tietê, Piracicaba e Baixada Santista", o qual determina estudo das enchentes e inclui a execução dos 6 primeiros reservatórios para contenção de águas pluviais. Com este plano também foi desenvolvido o "Programa de Combate às Inundações na Bacia do Alto Tamanduateí", com mais 37 reservatórios. Em 1998 é elaborado o "Plano Diretor de Macrodrenagem da bacia do Alto Tietê", com objetivo de diagnosticar os problemas relacionados às chuvas e impermeabilização do solo causada pela crescente urbanização. Dentre as ações, foram previstos 60 reservatórios, com prazo de conclusão em 2015. Atualmente existem 51 reservatórios em operação na RMSP (DAEE, 2013).

Em 2002, no município de São Paulo, é homologada a lei 13.276 de Prevenção das cheias urbanas, que determina que todos os lotes - edificados ou não - que tenham área impermeabilizada superior a 500m², devem executar reservatórios para água pluviais (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2013).

As ações adotadas pelo Governo do Estado de São Paulo e Município vêm combatendo principalmente os problemas ocasionados pelo aumento das vazões nos principais rios das cidade, mas pouco se faz no combate às causas das

enchentes e inundações, como por exemplo ações para controle das origens dos assoreamentos das galerias pluviais e dos córregos urbanos.

Segundo o Governo do Estado de São Paulo, todos os anos são lançados nos rios Tietê e Pinheiros, que cortam a cidade de São Paulo, cerca de 500 mil m³ de sedimentos durante o verão, período em que ocorrem fortes chuvas (ESTADÃO, 12 janeiro 2011). No começo de 2012 já haviam sido retirados 3,7 milhões de m³ de sedimentos em obras de desassoreamento (Portal do Governo do Estado de São Paulo, 30 de janeiro de 2012). Em toda a região metropolitana de São Paulo, a perda de solo por erosão está estimada em 13,5 m³ por hectare/ano, o que equivale a 8.100.000 m³ por ano (SANTOS, 2012). As enchentes e inundações, além dos riscos à saúde da população (Secretaria de Vigilância da Saúde, 2012) e dos altos custos com a degradação do patrimônio público e privado (SANTOS, 2012), não são os únicos problemas associados ao lançamento de sedimentos no sistema de captação pluvial público em áreas urbanas. Quando este material atinge os rios não canalizados e os lagos, muitas vezes diminui a qualidade da água e pode acelerar sua degradação através do processo de eutrofização (EPA, 2012); também pode causar mudanças na química da água e a destruição das áreas de reprodução de peixes (FIFIELD, 2004).

A construção civil não é a única responsável pelo despejo de sedimentos em galerias pluviais, porém, sua contribuição para o problema é significativa, devido ao baixo controle das obras com relação às perdas de solo por processos erosivos e por sistemas de drenagem provisória ineficientes, principalmente em etapas de escavação e movimentação de terra.

A drenagem superficial trata basicamente da água que precipita e escoar superficialmente (FIGUEIREDO, BOZZA, 1993); durante a obra sua função é a retirada do acúmulo de água das frentes de serviço, possibilitando as atividades de produção. Porém, os fluxos de água sobre o solo exposto dos terrenos podem carrear consigo sedimentos, que por sua vez atingem os sistemas públicos de captação de água pluvial, seja quando o sedimento da obra chega as vias públicas, conforme mostram as fotos 3 e 4 (acessos de obras onde o material é levado às ruas pelo tráfego de veículos) ou quando lançado por bombas das obras para ruas ou bocas de lobo, problema este evidenciado nas fotos 5 e 6.

Fotografia 03 - Saída de sedimentos da obra para as vias públicas, através de portaria sem estabilização ou sistema de lava rodas dos veículos.



Fonte: O autor (2009)

Fotografia 04 - Saída de sedimentos da obra para as vias públicas, por falta de proteção do perímetro e controle dos acessos.



Fonte: Daniel Ohnuma (2009)

Fotografia 05 – Lançamento irregular de efluente sobre o meio fio da via pública.



Fonte: Diego Vega (2008)

Fotografia 06 - Lançamento irregular de efluente sobre a calçada pública.



Fonte: O autor (2011)

A água pluvial de qualidade alterada pelas condições antrópicas, misturada aos sedimentos e outras fontes de poluição encontradas em obras - resultantes da interferência causada ao meio ambiente natural pelas instalações provisórias da indústria da construção civil - deve ser considerada um efluente deste processo industrial.

No que tange à regulamentação, o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), por meio de seu órgão consultivo e deliberativo, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), dispõe na Resolução 430/2011 sobre as condições e

padrões de lançamento direto e indireto² de efluentes em corpos hídricos, definindo o limite de sólidos sedimentáveis em 1ml/l em ensaio de 1 (uma) hora no cone de *Imhoff*³ (Ministério do Meio Ambiente, 2012). No Estado de São Paulo esses padrões são retificados pelo Decreto Estadual de São Paulo nº 8.468 de 1976, atualizado pelo Decreto nº 54.487 de 2009 (CETESB, 2012), assim como, no Município de São Paulo, a geração de poeira em obras e a disposição de sedimentos em vias públicas são contempladas pela Lei de Limpeza Urbana nº 13.478 de 2002 (PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, 2012).

No Brasil não existem regulamentações sobre a conservação de solo através de práticas preventivas, tanto para áreas agrícolas quanto para obras urbanas (CAMPOS et al, 2009). No entanto, em países como Estados Unidos da América e Austrália, as ações preventivas para o controle de erosão e sedimentação em obras urbanas são exigências legais para a atividade, definidas pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (EPA) no Programa Nacional para Descargas de Poluentes (*NPDES General Permit for Storm Water Discharges From Construction*) e pelo Governo de *New South Wales*, Austrália, com a publicação do guia Gestão Urbana de Águas Pluviais (LANDCON, 2004).

Atualmente existem diversos empreendimentos no Brasil buscando selos internacionais de qualidade ambiental, como por exemplo a certificação de *Green Building* pelo sistema LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) do *United States Green Building Council* (USGBC), que se baseia na legislação norte americana quando aborda o controle da poluição dos recursos hídricos causada pelas atividades de construção (LEED, 2009).

Contudo, a associação de estratégias para prevenção e controle de erosão e sedimentação às práticas da construção civil, como a estabilização de solo exposto na foto 7, a lavagem das rodas dos veículos antes de saírem da obra na foto 8, a contenção dos fluxos de água internos e o tratamento da mesma antes que essa saia da obra, respectivamente nas fotos 9 e 10, pode resultar a diminuição da contribuição deste setor para o assoreamento das galerias pluviais e córregos da

²O lançamento indireto de efluentes em corpos hídricos é contemplado pela Resolução CONAMA 430/2011 quando não houver legislação local sobre o assunto.

³O cone de *Imhoff* é um recipiente de vidro ou plástico rígido, transparente e incolor, de 1000 ml, com superfície interna lisa e plana, graduado, referenciado pela NBR 10561 Águas - Determinação de resíduo sedimentável (sólidos sedimentáveis) - Método do cone de *Imhoff*.

região metropolitana de São Paulo, contribuindo assim para a redução das inundações e a preservação dos recursos hídricos.

Fotografia 07 – Estabilização das entradas e saídas da obra com brita.



Fonte: O autor (2009)

Fotografia 08 – Sistema de lava rodas.



Fonte: O autor (2010)

Fotografia 09 – Proteção do perímetro da obra com sacarias com solo e membrana geotêxtil.



Fonte: O autor (2012).

Fotografia 10 – Poço de drenagem com sistema de retenção de sedimentos.



Fonte: O autor (2012).

Dada a grande relevância da indústria da construção civil no mercado e sociedade, sem a sua adesão às boas práticas para controle dos impactos ambientais, ou BMPs - *best management practices* (FIFIELD, 2004), o desenvolvimento sustentável almejado pela geração atual não será uma realidade (RESENDE; CARDOSO, 2008).

O desafio está em conciliar o planejamento e custo da produção na construção civil, com os controles dos impactos ambientais associados a cada atividade desta indústria (BITAR, 2010), ou seja, prever no cronograma e no orçamento das construções, além das atividades de produção, qualidade e segurança do trabalho, também as estratégias para os controles dos impactos ambientais. É preciso trabalhar para a inovação constante no setor, o que para o presidente do Centro de Tecnologia de Edificações (CTE), Roberto de Souza (2012b), constitui uma prioridade para o futuro próximo da construção.

Nos próximos capítulos são apresentados: os objetivos e metodologia do trabalho desenvolvido acerca da problemática acima apresentada; a contextualização dos sistemas de drenagem provisória atual em obras; os exemplos de inadequações nestes sistemas e as boas práticas que podem ser adotadas para prevenção e controle dos impactos ambientais associados ao tema; estudos experimentais com membranas geotêxteis, material largamente usado em dispositivos para controle de sedimentos e turbidez em fluxos de água, e a proposição de conceitos para planejamento do sistema de drenagem provisória em obras.

2 OBJETIVOS

Nas seções a seguir são apresentados os objetivos do trabalho. O objetivo geral é resultado do levantamento e compilação das informações obtidas na busca do objetivo específico.

2.1 Objetivo Geral

Analisar a possibilidade de prevenir e controlar a erosão e sedimentação durante a execução de obras, garantindo a qualidade da água de drenagem provisória antes do seu descarte, segundo a legislação vigente.

2.2 Objetivo Específico

Organizar e relacionar as informações disponíveis sobre sistemas de drenagem provisória de obras, tais como:

- A finalidade da drenagem provisória durante a execução de obras.
- As Infraestruturas que podem compor os sistemas de drenagem provisória.
- As condições em obra que podem interferir na qualidade da água de drenagem, seja ela de origem pluvial ou não, com ênfase nos processos erosivos e aporte de sedimentos.
- Sua relação com as enchentes e inundações em meio urbano e a abordagem legal sobre o tema, no Brasil e exterior.
- Descrição de casos práticos de inadequações em obras em relação a prevenção à erosão e boas práticas que podem ser adotadas;
- Análise do desempenho da membrana geotêxtil para retenção de sedimentos em fluxos de água, com a finalidade de otimizar sua aplicação nos dispositivos instalados em sistemas de drenagem provisória.

3 METODOLOGIA

O trabalho é pautado em metodologia de pesquisa aplicada. Para atingir os objetivos elencados foram seguidas as seguintes etapas: levantamento de dados; pesquisa sobre as práticas adotadas atualmente em sistemas de drenagem provisória de obras; e aprofundamento do conhecimento sobre o desempenho do principal material utilizado nestes sistema para retenção de sedimentos, a membrana geotêxtil não tecida.

Para o levantamento dos dados foram adotadas as ações descritas a seguir:

- Revisão bibliográfica sobre os principais assuntos que envolvem as causas e problemas relacionados ao tema do trabalho: poluição ambiental em canteiros de obras; erosão e sedimentação; regulamentações nacionais e internacionais; enchentes e inundações, eutrofização, etc.
- Entrevistas com pesquisadores do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) que atuam ou já atuaram em obras com sistemas de drenagem provisória considerando a prevenção e controle de erosão e sedimentação, sendo eles: Amarilis Lucia Casteli Figueiredo Gallardo, Sofia Julia Alves Macedo Campos e Caio Cavalhieri, do Laboratório de Recursos Hídricos e Avaliação Geoambiental – LabGeo;
- Análise das três campanhas de ensaios realizados em 2009 com cercas filtrantes de membrana geotêxtil pelo Centro de Tecnologias Ambientais e Energéticas (CETAE) do IPT, no Laboratório de Recursos Hídricos e Avaliação Geoambiental – LabGeo. Os ensaios tiveram como foco o entendimento das estratégias adotadas na obra do Trecho Sul do Rodoanel Mario Covas com uso da membrana geotêxtil com objetivo de reduzir a turbidez do efluente de drenagem provisória. Nestes ensaios foram testadas membranas geotêxteis não tecida fornecida pela obra, e um modelo de membrana geotêxtil tecida, as quais foram submetidas a fluxos de água com adição do solo obtido no terreno da obra e que possui característica predominante argilosa.

Para obter um cenário sobre a realidade dos sistemas de drenagem provisória existentes atualmente nas obras, as principais práticas e inadequações, foram realizadas visitas pelo autor a aproximadamente 50 construções de torres

corporativas, a maioria no município de São Paulo. Como critério para realização das visitas, foram identificadas durante a atuação do autor como Coordenador de Obras Sustentáveis no Centro de Tecnologia de Edificações (CTE), as construções que possuem sistema de gestão ambiental dos processos construtivos implementado com êxito, assim como aquelas que estavam em etapa inicial de implementação da gestão ambiental, e portanto ainda possuíam uma drenagem provisória pouco organizada. As obras e suas localizações não foram identificadas neste trabalho por questão de sigilo. Nas fotografias apresentadas o foco está sobre a condição da drenagem provisória, suas práticas, conformidades e não conformidades em relação a regulamentação local e recomendações internacionais.

Para aprofundamento do conhecimento sobre o desempenho das membrana geotêxtil não tecida quando submetida a fluxos de água com sedimentos, foram obtidas amostras do material em gramaturas de 130, 200 e 500g/m², assim como, amostras de dois tipos de solos, uma areia argilosa e outra siltosa. Os equipamentos para elaboração dos 11 ensaios realizados foram instalados no CT-Obras do IPT. Nestes ensaios buscou-se identificar a restrição à vazão promovida pela membrana geotêxtil e sua capacidade de retenção de sólidos sedimentáveis durante a passagem dos efluentes, estes elaborados a partir da adição em água limpa dos solos em duas principais concentrações, em torno de 20 ou 100 ml/l de sólidos sedimentáveis.

O tratamento dos dados obtidos não teve intenção de precisão quantitativa, mas sim de caráter conceitual, qualitativo, visando entender se a restrição à vazão é significativa e se a capacidade de retenção dos sedimentos pelo material nas condições ensaiadas atende ao parâmetro determinado pela regulamentação local. A principal busca foi pelo entendimento sobre a viabilidade de uso nos sistemas de drenagem provisória de obras.

Os detalhes da metodologia da pesquisa estão inseridos nos demais capítulos, conforme são apresentados os dados obtidos e discutidos os resultados.

4 EROSÃO E DRENAGEM PROVISÓRIA DE OBRAS URBANAS

4.1 Contextualização das causas e problemas

Nos tópicos a seguir são apresentados exemplos que contextualizam o tema do trabalho em questão, abordando as principais causas de erosão em meio urbano, assim como, os problemas associados, como as enchentes e inundações e a redução da qualidade da água dos rios e lagoas, decorrente do processo de eutrofização.

4.1.1 Erosão em meio urbano

A erosão em zoneamento urbano, de cunho predominantemente antrópico, ocorre em áreas como a Região Metropolitana de São Paulo, onde há pavimentação sobre quase todo o território (DAEE, 2013). Apesar de ser representativa nas áreas marginais e de expansão da cidade, devido a ligação com terrenos ainda suscetíveis a esse processo, principalmente quando próximas a córregos, também é observada nos locais de construção dos novos edifícios, mesmo em áreas centrais da mancha urbana, pois as atividades no local expõem os terrenos a perda de solo. Segundo Jon Harbor (1999), áreas degradadas por atividades de construção têm taxas de erosão do solo a partir de 2 a 40 mil vezes maior do que as condições de pré-construção.

As áreas marginais e de expansão da cidade são pontos notórios de erosão e perda de solo, devido a construção de novos loteamentos, que retiram a camada vegetal que protegem o solo para execução da terraplenagem, e muitas vezes deixam todos os terrenos expostos até que seus proprietários ocupem os lotes. Esses loteamentos marginais a terrenos desocupados, podem ser mal planejados e não preverem sistemas de dissipação de energia adequado no deságue pluvial da nova ocupação. Com a impermeabilização parcial do terreno, durante uma chuva intensa ocorre a concentração de água no ponto de deságue, que por não ter sido planejado pode desencadear novos processos erosivos, alguns deles de grandes dimensões. Na foto 11 representa um loteamento em área marginal do zoneamento urbano, em que o solo foi exposto durante a terraplenagem e não foi protegido mesmo após sua conclusão. A foto 12 um loteamento onde, por mal planejamento da drenagem da nova ocupação do terreno, promoveu-se um grande sulco de erosão no ponto de deságue pluvial. Ambas as fotos foram retiradas de

apresentação da disciplina de Patologias do curso de mestrado do Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo (IPT), ministrada pelo professor Ercio Thomaz.

Fotografia 11 – Exposição do solo em loteamento em área de expansão da cidade.



Fonte: Professor Ercio Thomaz– IPT (2010)

Fotografia 12 – Drenagem mal planejada em loteamento promove erosão.



Fonte: Professor Ercio Thomaz– IPT (2010)

Apesar de representativa, a erosão gerada nestes locais não é abordada neste trabalho, pois o foco do trabalho são os processos erosivos que ocorrem em sistemas de drenagem provisória de obras, cuja importância é maior em empreendimentos que contemplem grandes movimentações de terra, em obras de terraplenagem para regularização de terreno ou em escavações de solos.

Em estudo realizado pelo autor em 7 obras de torres corporativas localizadas no município de São Paulo, que buscam a certificação pelo sistema LEED para edifícios verdes, identificou-se que as etapas de escavação e movimentação de terra apresentam um maior percentual de não conformidades nos itens avaliados, referentes a prevenção e controle à poluição da obra. O quadro 1 apresenta estes itens, destacando aqueles que são relacionados à drenagem provisória das obras.

Dentre estes itens avaliados, os relacionados ao sistema de drenagem provisória de obra são os que apresentam maior percentual de não conformidades, evidenciando a necessidade de mais estudos referentes ao tema, pouco reconhecido como importante pelos gestores das obras (CTE, 2013). Pela tabela 1, que apresenta os resultados do estudo em questão, é possível identificar que devido ao avanço natural das obras e aumento das áreas de terreno estabilizadas ou não

expostas à erosão, os problemas causados pela drenagem provisória são reduzidos consideravelmente.

Quadro 1 – Itens referentes a prevenção e controle à poluição da obra avaliados durante a construção de torres corporativas

Saída de sedimentos da obra: proteção do perímetro
Saída de sedimentos da obra: portarias e acessos
Saída de sedimentos da obra: drenagem provisória
Saída de sedimentos da obra: manutenção de ruas e calçadas limpas
Controle de Erosão: prevenção
Implantação, operação e manutenção do lava-bicas
Controle de contaminação do solo: sistemas preventivos
Controle de contaminação do solo: depósito de produtos contaminantes
Controle de contaminação do solo: central de corpos de prova
Controle de contaminação do solo: kit mitigação
Proteção física para espécies vegetais permanentes
Organização e limpeza geral de canteiro
Aproveitamento do Top Soil
Tratamento do efluente de tinta da lavagem dos pincéis e rolos

Fonte: Centro de Tecnologia de Edificações – CTE (2013)

Tabela 1– Percentuais de conformidade em relação a prevenção e controle à poluição da obra.

Prevenção e controle à poluição ambiental das obras	Obra 1	Obra 2	Obra 3	Obra 4	Obra 5	Obra 6	Obra 7
% de conformidade em todo o período de construção	84%	91%	74%	89%	89%	83%	86%
% de conformidade em período de escavação e movimentação de terra	63%	68%	74%	83%	78%	71%	80%
% de conformidade em drenagem provisória de obras no período de escavação e movimentação de terra	54%	69%	59%	76%	81%	57%	73%
% de conformidade em período sem escavação e movimentação de terra	93%	97%	74%	97%	96%	95%	90%
% de conformidade em drenagem provisória de obras no período sem escavação e movimentação de terra	91%	96%	85%	97%	92%	94%	89%

Fonte: Centro de Tecnologia de Edificações – CTE (2013)

4.1.2 Drenagem provisória de obras urbanas sem controle de erosão

Demonstra-se a seguir a relação entre sistemas de drenagem provisória de obras urbanas e as enchentes, inundações e até mesmo sua contribuição para o processo de degradação de corpos d'água, processo conhecido como eutrofização.

O tema da drenagem provisória de obras nem sempre é abordado com a devida importância, principalmente em canteiros de obras⁴ residenciais unifamiliares ou obras de pequeno e médio porte, onde é comum permitir que as águas pluviais incidam sobre o terreno em construção e se desloquem ou acumulem de forma desordenada. Caso atrapalhem o processo de produção da obra, a água é retirada das frentes de serviço através de valas improvisadas, como demonstra a foto 13, ou por bombeamento para locais próximos, que podem ser internos ou externos ao terreno. Na foto 14 nota-se o acúmulo de água na parte baixa do terreno, onde foi escavado um poço e inserido uma bomba para retirada da água. Em seu entorno são evidentes os sulcos de erosão causados pelo fluxo de água pluvial.

Fotografia 13 – Calha improvisada para drenagem provisória da obra – efluente lançado diretamente sobre o córrego canalizado, sem medida de controle.



Fonte: O autor (2009)

⁴ O termo *canteiro de obras* quando utilizado neste trabalho refere-se a toda área interna ao tapume/divisa da obra, incluindo desde o escritório, áreas de vivência e refeitório, até as áreas de produção do edifício e áreas sem produção internas à obra.

Fotografia 14 – Poço de drenagem provisória improvisado para descarte da água acumulada em área de produção da obra através de bombeamento, sem controle dos sedimentos provenientes da erosão dos taludes provisórios próximos.



Fonte: O autor (2010)

Em obras onde há um sistema de drenagem provisória projetado, geralmente sua função e dimensões estão planejadas para coletar o volume de água previsto para a localidade em questão, transportar este volume de água pelo terreno e descartá-lo no sistema público de captação pluvial. Não há aferição de sua qualidade, ou seja, a preocupação com a drenagem provisória de obras atual é exclusivamente relacionada ao não comprometimento das atividades de produção da construção (CTE, 2013), não havendo preocupação com a preservação do meio ambiente natural ou construído, que pode ser prejudicado em função dos sedimentos e poluentes que podem ser carreados com as águas pluviais provenientes de uma obra.

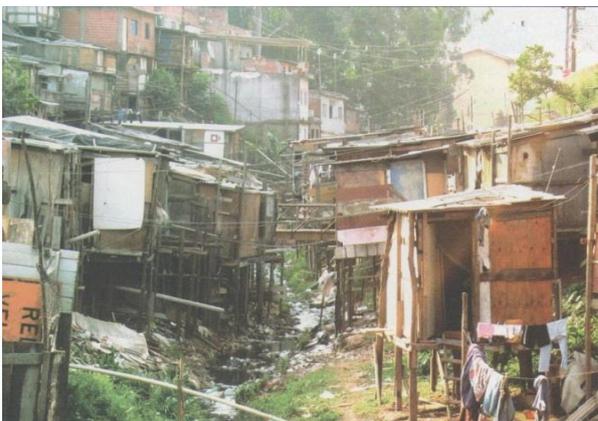
Nos itens que se seguem estão brevemente demonstrados os princípios que associam a drenagem provisória de obras com as enchentes ou eutrofização de ambientes aquáticos, quando esta não possui controle da qualidade da água que será descartada do terreno em construção, seja para as vias públicas ou para o sistema de captação pluvial.

4.1.2.1 Enchentes e alagamentos

Quando inicia-se uma obra, diversas atividades expõem o solo do terreno a processos erosivos e até mesmo favorecem a sua desagregação, como por exemplo a retirada da vegetação natural ou a demolição de áreas previamente pavimentadas, a escavação e movimentação de terra e o tráfego de veículos pesados, atividades que facilitam a ação dos principais agentes erosivos como ventos e chuvas. Estes agentes irão deslocar os sedimentos da área de intervenções da obra para o entorno próximo, podendo acessar e acumular-se sobre os leitos de rios e sistemas públicos de coleção pluvial, como calhas superficiais ou galerias subterrâneas.

A sedimentação do solo erodido das obras em calhas pluviais, naturais ou construídas, irá reduzir sua capacidade de deslocamento da água, ou seja, devido ao assoreamento⁵ de leitos de córregos ou galerias pluviais, o volume de água transportado será menor do que a demanda. Isso propiciará o aumento das enchentes naturais sobre as margens dos córregos e rios, muitas vezes ocupadas irregularmente pela população de baixa renda, conforme mostra a foto 15. O transbordamento dos córregos urbanos, registrado na foto 16, causa as inundações, gerando desde prejuízos materiais ao patrimônio público e privado, até riscos à saúde da população, devido a sujeira e diversos tipos de resíduos que podem estar presentes nas águas pluviais das cidades (SANTOS, 2012).

Fotografia 15 – Ocupação irregular das margens de córregos - áreas de risco de enchentes.



Fonte: SANTOS (2012)

Fotografia 16 – Enchentes e alagamentos causam riscos a saúde da população e danos ao patrimônio público e privado.



Fonte: Reprodução / TV Globo (G1) – 02/01/2013

⁵ Assoreamento é determinado pela [...] acumulação de partículas sólidas (sedimentos) em meio aquoso ou aéreo, ocorrendo quando a força do agente transportador natural (curso d'água, vento) é sobrepujada pela força da gravidade ou quando a supersaturação das águas ou ar permite a deposição de partículas sólidas (INFANTI JUNIOR, FORNASARI FILHO, 1998 apud OLIVEIRA, 2011).

4.1.2.2 Eutrofização

A eutrofização é um processo desencadeado pela ação do homem, raramente ou muito lentamente de ordem natural (FONSECA, 2012), ela ocorre quando um ambiente aquático é enriquecido gradativamente com nutrientes, principalmente os minerais fosfato e nitrato. Estes nutrientes propiciam o aumento de microrganismos como o fitoplâncton⁶, que em grandes quantidades tornam a água esverdeada ou acastanhada (BARROS 2008 apud ROCHA, LOUGON, GARCIA, 2009), conforme foto 17, reduzindo a entrada de luz e conseqüentemente a taxa fotossintética nas camadas inferiores, fenômeno também influenciado pela turbidez da água, como no caso da lagoa apresentada na foto 18. Isso reduzirá a concentração de oxigênio na água necessária para respiração dos organismos aeróbicos. Com a morte dos peixes e outros mamíferos aquáticos, assim como da própria população dos fitoplânctons, aumenta-se muito o número de microrganismos anaeróbicos decompositores e as toxinas decorrentes do processo de decomposição, culminando com a perda da biodiversidade e alteração da qualidade da água, conduzindo-a para condições impróprias ao consumo humano, além de permitir a mudança na composição das espécies, devido a invasão de outras (ROCHA, LOUGON, GARCIA, 2009).

Fotografia 17 – Ambiente aquático eutrofizado.



Fonte: Brasil Escola
(www.brasilecola.com.br)

Fotografia 18 – Turbidez em lagoa dificulta a entrada de luz e reduz a qualidade da água.



Fonte: www.clauderioaugusto.com.br

⁶Fitoplancton: conjunto de plantas flutuantes, como algas, de um ecossistema aquático (BRASIL ESCOLA, 2013)

A saída de sedimentos das construções possui participação nos processos de eutrofização de rios e lagos, por causar turbidez nas enxurradas e transportar nutrientes consigo.

Nos Estados Unidos a perda de solo por processos erosivos em construções é contabilizada em 20 a 200 toneladas por acre (5 a 50 Kg/m²) por ano (PITT, CLARK, LAKE, 2007).

Em estudo realizado por BERTOL (et al 2004), sobre a perda de fósforo e potássio por erosão hídrica em um inceptsoil⁷ sob chuva natural, identificou-se que havia mais fósforo e potássio nos sedimentos presentes na enxurrada do que na própria água da enxurrada.

Também relatado por BERTOL et al (2007) [...] a erosão hídrica, por ser seletiva, preferencialmente transporta os sedimentos mais finos, de menor diâmetro e de baixa densidade, constituídos sobretudo de colóides⁸ minerais e orgânicos e normalmente enriquecidos de nutrientes.

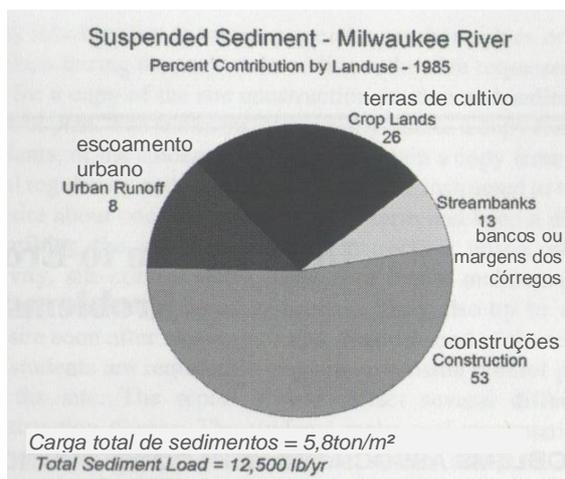
Outro estudo realizado por CHESTERS et al (1979 apud PITT, CLARK, LAKE, 2007), em Birmingham, Alabama, concluiu que os locais de construção tem mais potencial para geração de sedimentos e fósforo do que áreas com outros usos de solo. [...] Por exemplo, construções podem gerar aproximadamente 8 vezes mais sedimentos e 18 vezes mais fósforos dos que outras indústrias [...] nos Estados Unidos, onde são consideradas de alto potencial para poluição, em razão da área que ocupam e do seu impacto na poluição das bacias hidrográficas (PITT, CLARK, LAKE, 2007). Esta afirmação pode ser observada na figura 1, que demonstra a participação de diferentes usos do solo no volume de sedimentos que chegam ao Milwaukee River, que aparece na foto 19, sendo os locais de construção responsáveis por 53% da contribuição (*Sources of Sediment in Milwaukee River, WI DNR 1985* apud PITT, CLARK, LAKE, 2007). Este fato também foi constatado por DANIEL et al (2007), em estudo onde foi monitorado a qualidade da água de escoamento pluvial proveniente de locais de construções residenciais, onde verificou-se que havia uma relação direta entre estes locais e a qualidade da água,

⁷*Inceptsoil* ou cambissolo [...] são solos constituídos por material mineral, com horizonte B, camada de solo onde por iluviação se acumula materiais como óxidos de ferro e alumínio, e argilas. Devido à heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas, as características destes solos variam muito de um local para outro (AGÊNCIA DE INFORMAÇÃO EMBRAPA, 2012).

⁸Colóides: partículas com diâmetro compreendido entre 1 nanômetro e 1 micrômetro (INFO ESCOLA, 2012)

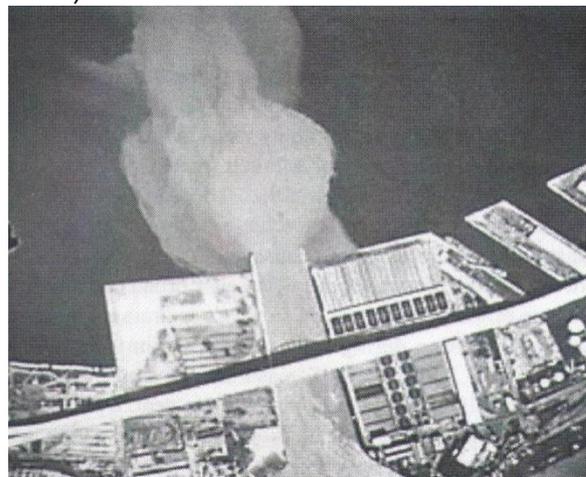
sendo que a contribuição destes locais em relação a sedimentos e nutrientes chega a ser 19 vezes maior do que áreas agrícolas na mesma região.

Figura 01 – Solos entregues no rio Milwaukee. Percentual de contribuição por uso do solo.



Fonte: PITT, CLARK, LAKE. (2007)

Fotografia 19 – Altas descargas de sedimentos do interior para o porto em Milwaukee (WI) durante chuvas fortes (WI DNR).



Fonte: PITT, CLARK, LAKE. (2007)

A turbidez da água também reduz a entrada de luz em meios aquosos. Ela é causada por partículas de menor tamanho e densidade, como a argila e a matéria orgânica, que por apresentarem movimento errático, tem sua decantação dificultada (BERTOL, 2007). Outro fator agravante para os processos de eutrofização causado por grandes quantidades de sedimentos em suspensão nas enxurradas, principalmente os coloidais, é que eles favorecem o transporte de nutrientes (KOSKI-VÄHÄLÄ & HARTIKAINEN, 2001 apud BERTOL, 2007).

4.2 Exemplos de problemas e soluções

Considerando as principais etapas de construção de um empreendimento e de suas relações com os processos erosivos, podem existir condições favoráveis a perda de solo, consideradas inadequadas, ou condições determinantes para reduzir a erosão e sedimentação, através de boas práticas adotadas durante as atividades.

O conceito de erosão é aplicável para ambientes naturais, agrícolas ou urbanos. Segundo José Cezar Zoccal (2007), erosão é um fenômeno que envolve a desagregação e o transporte de solos, sendo acionado e propagado através de mecanismos próprios da natureza e acelerado por ações humanas no espaço,

transportando grande quantidade de sedimentos, chegando a assorear os cursos d'águas.

A desagregação do solo só ocorre quando ele está exposto aos agentes erosivos como as chuvas, os ventos e as ações do homem. Não é possível evitar essas condições, mas é possível planejar uma construção que mantenha o solo protegido dos fatores climáticos e antrópicos. Esse planejamento deve atuar preventivamente dentro de três frentes principais: o recebimento das águas pluviais e das demais fontes internas, o transporte/fluxo da água pelo canteiro de obras, e o descarte da água para sistema de coleção pluvial local (CTE, 2012).

O foco das ações preventivas contra a erosão e sedimentação no canteiro de obras é impedir a desagregação do solo, e caso ela ocorra, impedir que os sedimentos atinjam o sistema de drenagem provisória da obra. Uma vez que as infraestruturas executadas para transporte ou acúmulo de água na obra sejam assoreadas, poderá ocorrer a perda da sua função (NPDES, 2012), ocasionando o aumento da demanda pela manutenção do sistema, dificultando sua operação e consequentemente aumentando os custos com a drenagem. Se houver a necessidade de descartar o excesso de água da obra para viabilizar as atividades da produção, o tratamento deste efluente será mais complicado e demorado quanto maior a quantidade de sedimentos presentes.

Nos itens a seguir são apresentadas as principais condições de uma construção que demandam preocupação com os processos erosivos e com os sedimentos gerados, assim como, exemplos de boas práticas estruturais e não estruturais⁹ que podem ser implementadas para prevenção e controle dos impactos a eles associados.

4.2.1. Limpeza de terrenos não edificados.

A limpeza do terreno é uma das atividades iniciais da obra. Neste momento, seus gestores podem tomar as primeiras decisões que contribuirão para controlar a erosão durante a construção, identificando os locais com cobertura vegetal ou pavimentações existentes que não necessitam ser retiradas nos primeiros momentos

⁹ Medidas estruturais são aquelas que se baseiam em projetos de arranjo físico ou que requeiram dimensionamento hidrológico e hidráulico para sua execução, enquanto as medidas não estruturais são as que não demandam tais cuidados (CAMPOS et al., 2008 apud OLIVEIRA, 2011).

da obra, expondo o mínimo possível de solo aos agentes erosivos (NPDES, 2012). A vegetação pode limitar a capacidade de transporte de sedimentos de determinado fluxo de água, ao reduzir sua velocidade devido ao aumento da rugosidade da superfície (MORGAN; RICKSON, 2005).

A foto 20 demonstra a preservação de uma faixa da grama existente no terreno junto ao tapume da obra.

4.2.2. Proteção do perímetro da obra.

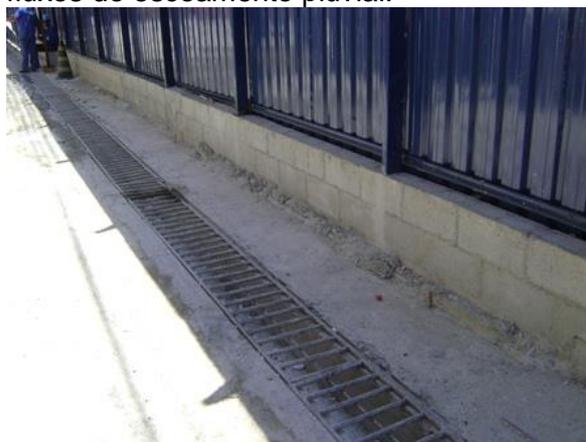
Ainda no início da mobilização para a construção de um empreendimento, a delimitação do perímetro da obra é importante para controlar os fluxos de águas pluviais (NPDES, 2012), tendo duas funções principais: impedir que o fluxo de água vizinho, de qualidade desconhecida, entre nos limites da construção e impedir que os fluxos de água internos saiam dos limites da obra sem a qualidade aferida. Para tanto, a execução do tapume da obra e as portarias devem contemplar estratégias como calhas, lombadas ou anteparos que impeçam a passagem dos fluxos de água, como demonstra a foto 21, direcionando-os para outras partes do sistema de drenagem provisória da obra.

Fotografia 20 – Área com cobertura vegetal preservada nas primeiras perturbações do terreno.



Fonte: O autor (2012)

Fotografia 21 – Calha perimetral e vedação da base do tapume da obra controlam os fluxos do escoamento pluvial.



Fonte: O autor (2011)

4.2.3. Terrenos edificados – demolição.

Caso o empreendimento seja construído em terreno já edificado, a demolição dos edifícios deve iniciar após a proteção do perímetro da obra, conforme o item anterior, pois o processo de demolição é fonte de sedimentos e outros resíduos (CTE, 2012c). Pelo mesmo conceito apresentado no item 4.2.1. deste trabalho, deve-se estudar a permanência da maior área pavimentada possível nos primeiros momentos da construção, expondo o solo apenas nos locais necessários, como por exemplo na área para a execução da parede diafragma ou frentes de serviço da etapa em andamento, privilegiando a permanência das pavimentações no perímetro do terreno em cota superior ao entorno imediato, semelhante ao exemplo da foto 22.

Em demolições de grandes dimensões, são necessárias a implementação das estratégias para proteção dos acessos da obra (vias de circulação de veículos e portarias), abordadas no item a seguir.

4.2.4. Acessos: vias de circulação de veículos e portarias da obra

O tráfego de veículos em canteiro de obras é uma condição que deve ser estudada para ocasionar a menor saída de sedimentos do terreno, seja através da poeira, gerada como no exemplo da foto 23, ou através do carreamento pelos pneus dos veículos ao saírem da obra, conforme demonstram as fotos 24 e 25. Caso as vias provisórias de circulação estejam em solo exposto, maior será a geração de poeira e mais sedimentos serão aderidos aos pneus dos veículos.

Fotografia 22 – A área pavimentada no perímetro da obra foi preservada durante a demolição para auxiliar no controle do escoamento pluvial.



Fonte: O autor (2010)

Fotografia 23 – Via de circulação de veículos sem estratégia implementada para controle de poeira.



Fonte: Arquivo Daniel Ohnuma (2010)

Fotografia 24 – Sedimentos carreados pelos veículos da obra dispostos sobre a via pública.



Fonte: O autor (2010)

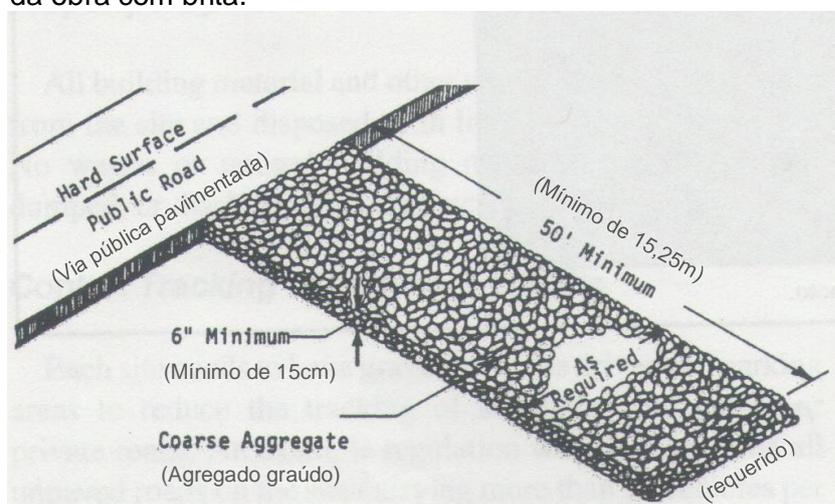
Fotografia 25 – Sedimentos carreados da obra para a via pública através da portaria de saída de veículos.



Fonte: O autor (2011)

A primeira estratégia que pode ser adotada é a estabilização das áreas em frente as portarias, como representado na figura 02, e das vias de circulação dos veículos (NPDES, 2012), que pode ser feita através da disposição de camada de brita ou bica corrida (brita graduada com pó de pedra), sendo esta última opção a que irá permitir maior espaçamento de tempo entre as reposições do material (manutenção), principalmente se for compactada e se a cota da superfície da área estabilizada for superior a do solo exposto do entorno. As fotos 26 e 27 mostram exemplos desta estratégia adotada em frente a portaria da obra e via de circulação respectivamente.

Figura 2– Detalhe de estabilização do solo em frente a portaria da obra com brita.



Fonte: PITT; CLARK; LAKE (2007, apud USDA, 2003)

Fotografia 26 – Estabilização da área em frente a portaria da obra com camada de brita.



Fonte: O autor (2010)

Fotografia 27 – Vias de circulação internas da obra estabilizadas com brita graduada umedecida.



Fonte: O autor (2012)

Em relação a geração de poeira nas vias de circulação de veículos, estando elas estabilizadas ou não, poderá ser controlada através da umectação por aspersão de água, com sistemas fixos, como mostra a foto 28, ou por caminhões pipa (foto 29). O tráfego dos veículos em baixa velocidade também contribui para o controle de poeira.

Fotografia 28 – Sistema de umectação de via de circulação por aspersores fixos.



Fonte: O autor (2009)

Fotografia 29 – Aspersão de água em via de circulação por caminhão pipa. A frente, talude protegido com aplicação de cal.



Fonte: O autor (2011)

A delimitação das vias de circulação de veículos, principalmente em terrenos extensos, irá reduzir as áreas que demandam controle e os custos associados à reposição do material de estabilização.

É possível também otimizar o uso de materiais provisórios para estabilização das vias de circulação durante o planejamento da construção. Se for viável, diante

da logística da obra, as vias de circulação definitivas do empreendimento podem ser executadas para uso durante a obra (CTE, 2013), antecipando as etapas de terraplenagem no local e parte da pavimentação prevista em projeto, como no exemplo da foto 30, onde a sub base de brita da via definitiva do empreendimento foi antecipada para uso durante a obra, ou exemplo da foto 31, em que parte do capeamento de asfalto foi executada antecipadamente. Essa ação reduz o custo com a implantação de estratégias provisórias para estabilização das vias de circulação, com benefícios em termos de desempenho. Ao final da obra, após a manutenção e limpeza adequada da superfície, executa-se o capeamento final da via de circulação definitiva.

Nos casos em que a condição das vias de circulação de veículos, ou mesmo das áreas de carga e descarga de materiais e estacionamentos, permitir que sedimentos sejam aderidos aos pneus dos veículos que por ali trafegam, será necessária a implantação de sistema de lava rodas nas portarias de saída de veículos da obra (NPDES, 2012), como exemplo da foto 32, pois considera-se que os sedimentos que saírem dos limites da obra para as vias públicas estarão sujeitos a acessarem as galerias pluviais públicas, não sendo mais possíveis a coleta pela construtora responsável pela obra. O sistema de lava rodas deve estar preparado para o tratamento do efluente do processo de lavagem, dispondo caixas de decantação para separação dos sedimentos e caixa de separação de água e óleo, como mostra a foto 33.

Fotografia 30 – Sub base da via de circulação definitiva do empreendimento foi executada para uso durante a obra, reduzindo o custo com estratégias provisórias.



Fonte: Daniel Ohnuma (2008)

Fotografia 31 – Parte da camada de asfalto da via de circulação definitiva do empreendimento foi executada para uso durante a obra.



Fonte: O autor (2012)

Fotografia 32 – Sistema de lava rodas com tratamento da água de lavagem.



Fonte: O autor (2011)

Fotografia 33 – Sistema de separação de água e óleo do lava rodas.



Fonte: O autor (2011)

Após o tratamento, o efluente poderá ser destinado para reuso no próprio sistema ou para outras atividades, como ocorre no sistema apresentado nas fotos 34 e 35, em que a água após tratada abastece a caixa d'água que alimenta o lava rodas. Caso seja necessário o descarte do efluente do processo de lavagem tratado para a galeria pluvial pública, sua qualidade deverá ser aferida constantemente, sendo descartado apenas quando estiver dentro dos parâmetros definidos pela Resolução CONAMA 430/2011 (detalhes no item 5.1.3 deste trabalho).

Fotografia 34– Sistema de tratamento do efluente do lava rodas para reuso.



Fonte: O autor (2011)

Fotografia 35 –Água tratada do sistema de lava rodas para reuso no próprio sistema.



Fonte: O autor (2011)

4.2.5. Escavação de parede diafragma e estacas

Nos projetos que contemplem a escavação de parede diafragma, ou outra modalidade de fundação escavada desde a superfície original do terreno, haverá duas condições a serem controladas: o uso da lama bentonítica¹⁰ ou polímero¹¹ no processo de escavação, e o solo sendo acumulado próximo aos equipamentos de escavação. Estes materiais, com pouca ou nenhuma resistência à erosão, estarão sujeitos ao carreamento pela chuva, com risco de dispersar-se pelo terreno, dificultando seu controle. Por isso, é importante a definição do perímetro da atividade, com a execução de uma calha ou lera de solo perimetral, que conduza o excesso de lama bentonítica ou o fluxo de água pluvial para uma bacia de sedimentação, como nos exemplos das fotos 36 e 37, onde o material carreado poderá ser estocado temporariamente. O solo proveniente da escavação, caso não possa ser retirado imediatamente da obra, deve ser acondicionado no interior deste perímetro ou em outro local estabilizado (NPDES, 2012), conforme descrito no item a seguir.

Fotografia 36– Bacia de sedimentação para contenção do escoamento de lama bentonítica.



Fonte: O autor (2011)

Fotografia 37 – Bacia para acúmulo de lama bentonítica no canteiro.



Fonte: O autor (2011)

¹⁰“Material tixotrópico: em dispersão muda seu estado físico por efeito de agitação, ou seja, em repouso é gelatinosa com ação anti-infiltrante e, quando agitada, fluidifica. [...] A coluna de lama exerce sobre as paredes do furo, através da película (cake), uma pressão que impede o desmoronamento, tornando possível assim, com o emprego da bentonita, a execução de perfurações, sem aplicação de revestimento” (FUNDESP, 2013).

¹¹Produto sintético utilizado em substituição a lama bentonítica para impedir desmoronamentos durante escavações de paredes diafragma, estacas, etc.

4.2.6. Escavação e movimentação de terra – estabilização de solos expostos.

A chuva é o principal fator promotor de erosão em solos expostos. A incidência direta dos pingos de chuva sobre o solo promove sua desagregação, expondo as camadas mais profundas do solo, geralmente mais suscetíveis a erosão (SANTOS, 2008). Durante as escavações e movimentações de terra, as estratégias implementadas para o controle de erosão, devem atuar como uma capa de chuva, ou seja, devem ser capazes de receber os pingos de chuva sem danificar-se, ou sem permitir a exposição do solo, possibilitando o escoamento da água sobre sua superfície, ou sub superficialmente, mas sem deslocar consigo o solo.

Por exemplo, [...] os resíduos vegetais em contato direto com a superfície do solo são muito eficazes na redução da carga de sedimentos no escoamento superficial ou enxurrada, pois, sob tal forma, eles formam uma intrincada rede, filtrando os sedimentos em suspensão na enxurrada quando esta passa por entre suas peças (FOSTER, 1982 apud BERTOL et al, 2007).

Com o início da etapa de terraplenagem surgirão taludes provisórios e definitivos, provenientes de aterros ou recortes do terreno natural, platôs em solo exposto, e em alguns casos, montes de solo estocado para futuro aproveitamento. Os controles de águas pluviais devem ser implementados no momento em que cada fase de perturbação da terra iniciar, a menos que seja inviável (NPDES, 2012).

Os taludes, devido a declividade do solo, são locais mais suscetíveis a erosão hídrica, pois quanto maior a velocidade do escoamento superficial maior o potencial de transporte de solo deste fluxo (ZOCCAL, 2007). Portanto, todos os taludes devem ser protegidos, usando-se preferencialmente técnicas compatíveis com sua permanência na obra e condições climáticas do momento. Caso o talude seja temporário, pode-se aplicar sobre ele lona plástica, exemplo da foto 38, ou nata de água e cal (SANTOS, 2012), apresentado anteriormente na foto 29, ambas técnicas de baixo custo. Para taludes de longa permanência ou definitivos, pode-se utilizar chapisco de cimento e areia, como na foto 39, ou cobertura vegetal, exemplos nas fotos 40 e 41.

Outras técnicas menos comuns, mais tão eficientes quanto, também podem ser utilizadas, como uso de biomanta de fibra de coco e outras fibras vegetais (DEFLOR, 2013), cujo principal objetivo é proteger o início da germinação de espécies plantadas ou a partir de hidro-semeadura, que podem ter as sementes

levadas por fortes chuvas, como demonstrado na foto 42, durante a aplicação da biomanta, e na foto 43, já com a vegetação em desenvolvimento. A disposição de aparas de madeira sobre os taludes também obtém bons resultados, comprovados em estudo realizado por BUCHHANAN, YODER e SMOOT (2000), em que a disposição de pequenos pedaços de madeira sobre os taludes, com declividade de 55%, reduziram o deslocamento de solo em 22%, enquanto a disposição de pedaços grandes de madeira reduziram em 78%, e a mistura dos dois tamanhos reduziram o deslocamento de solo em 86%.

Fotografia 38 – Talude provisório protegido contra erosão por lona plástica.



Fonte: O autor (2010)

Fotografia 39 – Talude provisório de longa permanência protegido por chapisco de cimento e areia.



Fonte: O autor (2011)

Fotografia 40 – Talude definitivo protegido por cobertura vegetal imediatamente após a conclusão da terraplenagem no local.



Fonte: O autor (2012)

Fotografia 41 – Talude provisório protegido contra erosão por cobertura vegetal.



Fonte: O autor (2010)

Fotografia 42 – Aplicação de biomanta sobre talude provisório de longa duração.



Fonte: O autor (2009)

Fotografia 43 – Talude protegido por biomanta com crescimento de vegetação.



Fonte: NTC Brasil (ntcdistribuidora.com.br)

Em todos os casos de proteção de taludes, deve-se prever a execução de calha ou lera de crista, apresentadas respectivamente nas fotos 44 e 45, esta última, apesar de ser referente a uma obra de rodovia, não urbana e linear, também pode ser aplicada em taludes de obras urbanas. Em ambos os exemplos, estas estratégias impedirão que os fluxos de água provenientes dos platôs desçam pelo talude de maneira desordenada. Em conjunto, deve-se executar locais planejados para descida da água pelo talude, como mostram os detalhes executivos das figuras 3 e 4, onde é previsto a proteção contra erosão do leito da descida de água (ALMEIDA JUNIOR, 2011).

Fotografia 44– Calha de crista executada imediatamente após conclusão do talude definitivo.



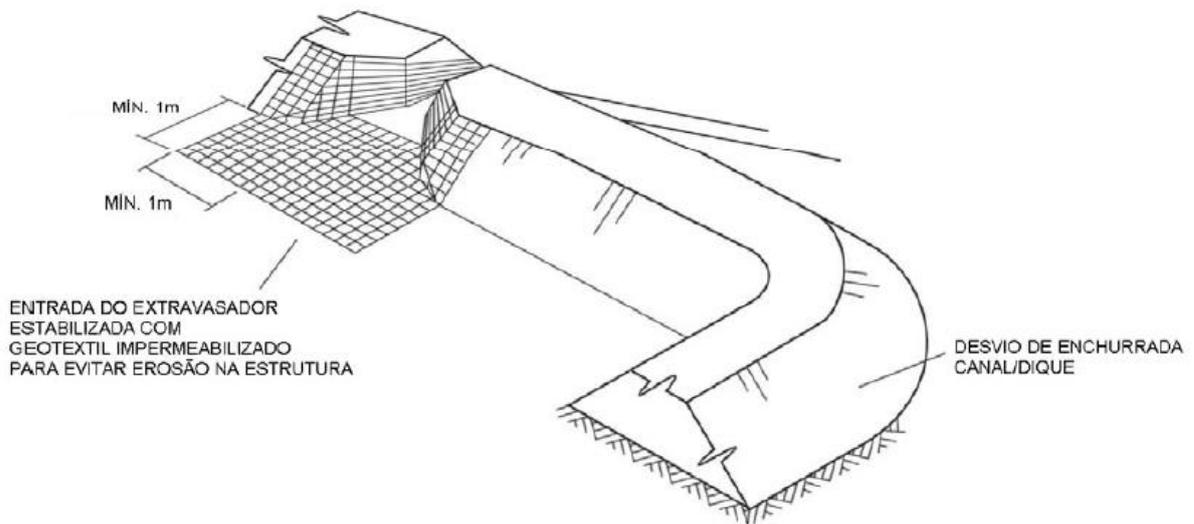
Fonte: O autor (2013)

Fotografia 45 –Lera de crista executada durante a formação do talude, reduzindo o fluxo de água sobre a superfície inclinada.



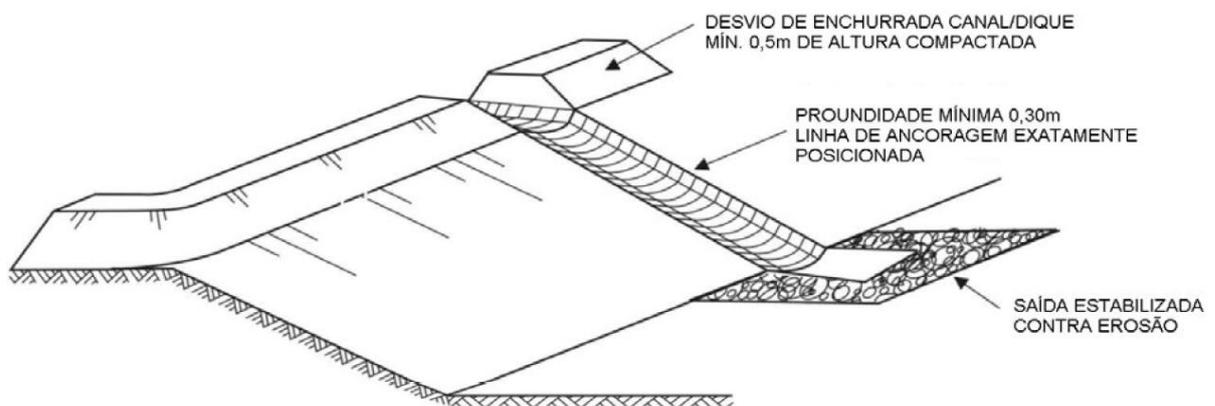
Fonte: DERSA (2009 apud ALMEIDA JUNIOR, 2011)

Figura 3 – Proteção de crista do talude e planejamento da descida d’água em local estabilizado.



Fonte: DERSA (2009 apud ALMEIDA JUNIOR, 2011)

Figura 4 – Detalhe da descida d’água proveniente da crista do talude e do dissipador de energia na saída.



Fonte: DERSA (2009 apud ALMEIDA JUNIOR, 2011)

Os platôs provisórios e definitivos que forem gerados, também devem ser estabilizados com técnicas como plantio de vegetação, aplicação de cobertura com materiais vegetais (folhas, etc.) ou não vegetais (NPDES, 2012). Caso não sejam destinados para uso como áreas permeáveis do futuro empreendimento, a compactação da superfície do platô também contribuirá para sua estabilização, sendo que, caso esteja previsto no projeto do empreendimento a execução de sub

base de brita para o contra piso neste local, deve ser estudada a possibilidade de sua execução logo após a conclusão do patamar, reduzindo o custo com a aplicação de estratégias provisórias para controlar os sedimentos da área (CTE, 2013).

Consideram-se taludes ou platôs em solo exposto que devem receber imediatamente as estratégias para sua estabilização, aqueles onde tenham sido cessadas definitivamente as atividades ou que permanecerão sem atividades por mais de 14 dias, com exceção para as obras localizadas em áreas de clima árido e semiárido, ou para aquelas que estejam em áreas atingidas pela seca (NPDES, 2012).

O armazenamento de solo na obra, tanto a reserva da camada superficial de solo orgânico do terreno para aproveitamento futuro (EPA, 2012), quanto solo para uso em futuros aterros, representa uma fonte de sedimentos suscetíveis a serem carregados para o sistema de drenagem provisória. Este estoque de solo deve ser localizado afastado das linhas de drenagem naturais ou construídas da obra, e ser estabilizado através das técnicas citadas anteriormente ou similares. Caso não seja possível, o perímetro da área de estoque deve ser protegido com a instalação de calha perimetral, conforme apresentado na foto 46, ou cercas filtrantes (NPDES, 2012).

Apesar de menos visível, a erosão causada pela ação dos ventos (erosão eólica) em solos expostos, principalmente nas frações mais finas do solo, também pode ser significativa para o deslocamento de sedimentos do terreno em construção para seu entorno (NPDES, 2012). Para sua prevenção, em épocas do ano sem chuvas, além das estratégias citadas anteriormente, também será eficaz a aspersão de água com a diluição de produtos que atuarão na supressão da poeira, como exemplo de aplicação de produto na foto 47; porém, é necessário seguir as recomendações dos fabricantes sobre as dosagens e considerar a reaplicação caso ocorra um evento de chuva.

Fotografia 46 – Estoque de solo para uso futuro controlado por calha perimetral.



Fonte: O autor (2012)

Fotografia 47 – Aplicação de líquido supressor de poeira sobre talude provisório em período de estiagem.



Fonte: O autor (2010)

4.2.7. Limpeza das vias públicas

As vias públicas do entorno da obra não devem apresentar sedimentos da construção, tendo em vista o cenário onde estarão implementadas todas as estratégias preventivas para controle de erosão e sedimentação, mas caso ocorra, a rua não deve ser lavada diretamente. É necessária a remoção do máximo de sedimentos possíveis através da varrição (NPDES, 2012), e ainda antes da lavagem da rua, as entradas da galeria pluvial mais próximas à obra devem ser protegidas, por exemplo com filtros de membrana geotêxtil e brita ou bioretentores (DEFLOR, 2012), formando um tampão em toda a extensão da boca de lobo, como mostra a foto 48. Após a lavagem, deve-se esperar que a água acumulada em frente as proteções das bocas de lobo abaixe, sendo possível a coleta dos sedimentos retidos, evidenciado na foto 49, que devem então ser destinados para áreas estabilizadas do canteiro de obras. As proteções devem ser retiradas após a coleta dos sedimentos retidos, pois caso permaneçam durante eventos de chuvas, podem causar inundações, sendo passíveis de penalidades (Lei 13.478 de 2002 – Limpeza Urbana do Município de São Paulo).

Fotografia 48 – Proteção de boca de lobo com membrana geotêxtil e brita.



Fonte: Daniel Ohnuma (2011)

Fotografia 49 – Sedimentos acumulados junto a proteção da boca de lobo após a lavagem da rua.



Fonte: O autor (2012)

4.2.8. Proteção das galerias pluviais internas.

Existem duas condições em uma obra onde há galerias pluviais internas ligadas ao sistema público de captação pluvial: quando já existia um sistema de galerias pluviais no terreno, devido à ocupação anterior; e quando a galeria definitiva do empreendimento, que estará em execução, tiver sua ligação com o sistema público.

As galerias pré-existentes em terrenos em construção não devem ser usadas para drenagem das águas pluviais da obra. No entanto, seu uso é comum e, nestes casos, para minimizar os impactos, suas entradas devem ser protegidas conforme estratégia citada no item anterior, ou seja, totalmente lacradas com membrana geotêxtil, como mostra a foto 50, o que reduzirá muito a vazão do sistema, ainda mais se a membrana for colmatada¹² pelos sedimentos retidos (CAMPOS et al, 2010b).

Ao apresentar acúmulo de água nas frentes das bocas de lobo, como no exemplo apresentado na foto 51, algum funcionário da obra poderá desobstruir a entrada da galeria, permitindo a entrada do efluente sem garantia de qualidade para a galeria pública. Neste caso, o correto é existir um sistema para acúmulo desta água próximos as galerias, como pequenas bacias de sedimentação, ou uma ligação

¹²Colmatar: Tapar fendas, brechas. (DICIONÁRIO AURÉLIO, 2013). O termo colmatar é usado na mecânica dos solos quando um grupo de partículas mais finas (menor diâmetro) preenche os vazios deixados por partículas de maior tamanho.

de calhas superficiais no local conduzindo o excesso de água para a drenagem provisória da obra, evitando assim estas inundações.

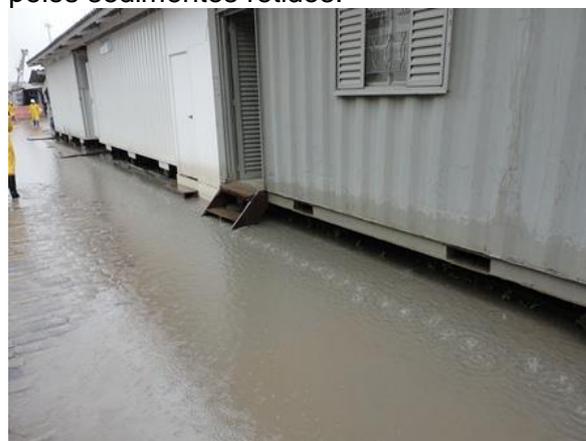
Ainda em relação a galeria pré-existente, caso não seja utilizada durante a obra, a mesma deve ser seccionada nos pontos de ligação com o sistema público e lacrada definitivamente, por exemplo, através da execução de alvenaria na seção da tubulação pluvial.

Fotografia 50 – Proteção com membrana geotêxtil da entrada da galeria pluvial já existente no terreno antes da obra.



Fonte: O autor (2011)

Fotografia 51 – Acúmulo de água sobre a entrada da galeria pluvial protegida, devido a restrição à vazão causada pelo geotêxtil e pelos sedimentos retidos.



Fonte: O autor (2011)

A execução da galeria pluvial definitiva do empreendimento deve ser alvo de grande preocupação. O processo sempre ocorre nas partes mais baixas do terreno e as tubulações são instaladas margeadas por taludes provisórios, e por isso estão sujeitas ao acúmulo de sedimentos em seu interior, sendo que por ali passará a água antes da entrada na rede pública de captação pluvial. Por esse motivo, a última ação da etapa de execução da galeria pluvial deve ser a ligação com a rede pública.

O controle da atividade deve iniciar no planejamento da etapa em momento oportuno, fora da época de grandes chuvas, pois caso haja a entrada de água com sedimentos no interior da galeria já instalada, como mostra a foto 52, a mesma deverá ser limpa. O cenário ideal é a execução de toda a galeria mantendo sempre as entradas protegidas, como apresenta o exemplo da foto 53, que também pode inicialmente considerá-las protegidas pela própria diferença de cotas entre o solo do entorno e a entrada da galeria. Com o avanço da obra, quando o solo e a entradas da galeria estiverem na mesma cota, estas devem ser protegidas com anteparos,

como uma fiada de bloco ou membranas de geotêxtil, tanto nas bocas de lobo quanto nos poços de verificação.

A ligação da galeria pluvial interna da obra com a rede pública deve ser executada apenas após a garantia de que todas as entradas e caixas de inspeção estão protegidas, e na certeza de que a galeria subterrânea não apresenta sedimentos da obra, sendo necessário eventualmente a execução de procedimento de limpeza da galeria pluvial antes da ligação definitiva.

Fotografia 52 – Galeria pluvial em execução evidenciando a entrada de sedimentos da obra durante um chuva.



Fonte: O autor (2010)

Fotografia 53 – Proteção de entrada da galeria pluvial durante sua execução.



Fonte: O autor (2010)

4.2.9. Paisagismo.

A etapa de execução do paisagismo do empreendimento é uma das últimas da obra. Geralmente ocorre no momento em que a pavimentação do terreno está executada, com os limites da obra sem tapumes ou desprotegidos e quando o sistema de captação pluvial definitivo do empreendimento já está ligado ao sistema público de captação pluvial. Nesta situação, há risco para o acondicionamento de solos expostos, o que é comum para a etapa, em que chegam caminhões para bascular solos onde dificilmente haverão locais com garantia de controle do material, como mostra a foto 52 em que o solo do paisagismo foi deslocado pela chuva.

A principal ação a ser adotada é reduzir a permanência de solo em locais temporários, sendo o ideal que o solo seja posto diretamente nos canteiros em que serão usados, e recebam a cobertura vegetal o mais rápido possível, como

demonstrado na foto 53, onde a estratégia adotada foi o plantio imediato da cobertura vegetal nos canteiros do estacionamento. Nos casos em que isso não é possível, deve-se providenciar ao redor das jardineiras anteparos para o solo, através de geossintéticos, camada de brita, calha ou outra estratégia - como por exemplo manter as bordas do paisagismo em cota inferior ao entorno - além da proteção do solo que ainda não está na jardineira com lona plástica, de maneira que se ocorrer um evento de chuva o solo não seja deslocado.

Fotografia 54 – Solo acondicionado para o paisagismo do empreendimento sendo carregado para o sistema de captação pluvial interno, já ligado ao sistema público.



Fonte: O autor (2010)

Fotografia 55 – Paisagismo executado logo após a conclusão do perímetro do jardim.



Fonte: O autor (2012)

5 SISTEMA DE DRENAGEM PROVISÓRIA DE OBRAS URBANAS

Os conceitos descritos neste capítulo são resultados das pesquisas realizadas e da experiência prática adquirida pelo autor na atuação como consultor de obras sustentáveis em mais de 50 empreendimentos ao longo dos últimos seis anos.

A drenagem provisória de obras pode ser entendida como o conjunto de infraestruturas utilizadas para escoar a água e conduzi-la para fora das frentes de serviço de um canteiro de obras, pela ação da gravidade ou pelo uso de bombas mecânicas, como no exemplo das fotos 56 e 57, onde a água acumulada em depressão do terreno é bombeada para as vias públicas.

Neste trabalho não são abordados os sistemas de drenagens provisórias profundas, como por exemplo o rebaixamento de aquíferos; o foco está no sistema de drenagem provisória superficial, que trata basicamente da água que precipita e escoar, ou que escoar proveniente de atividades da obra (p.ex. perfuração de tirantes em cortinas de contenção) ou do afloramento pelo solo devido a altura do lençol freático.

Fotografia 56 – Bombas instaladas para retirada de água acumulada em área de produção.



Fonte: O autor (2009)

Fotografia 57 – Bombeamento de efluente de drenagem provisória de obra para a via pública.



Fonte: O autor (2009)

Partindo do preceito de que é obrigatório o atendimento às legislações ambientais pertinentes às atividades da construção civil, o sistema de drenagem provisória da obra deve garantir que a água que sairá dos limites da construção para o entorno ou vias públicas, ou seja, que sairá do controle dos responsáveis pela construção, atenda aos padrões de qualidade estabelecidos por regulamentação do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), em sua Resolução 430 de 13 de

maio de 2011, cujo artigo 16, que aborda a qualidade do efluente para lançamento em sistemas de captação pluvial, incluindo o oriundo da indústria da construção civil, é apresentado na figura 5.

Figura 5 - Seção II do capítulo 2 da Resolução CONAMA 430/2011.

Seção II
Das Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes
Art. 16. Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam as condições e padrões previstos neste artigo, resguardadas outras exigências cabíveis:
I - condições de lançamento de efluentes:
a) pH entre 5 a 9;
b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;
c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone <i>Imhoff</i> . Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;
d) regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;
e) óleos e graxas:
1. óleos minerais: até 20 mg/L;
2. óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L;
f) ausência de materiais flutuantes; e
g) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor;

Fonte: Resolução CONAMA 430/2011

Nos tópicos a seguir são apresentados conceitos referentes ao planejamento de sistemas de drenagem provisória de obras que tenham como premissa o controle da erosão e sedimentação, considerando que as demais fontes de poluição das águas de drenagem do canteiro de obras estão controladas. Algumas destas fontes de poluição, como disposição irregular de resíduos, acondicionamento e manuseio de produtos contaminantes, entre outras, e as boas práticas que podem ser adotadas para seu controle, são apresentadas no Apêndice A deste trabalho com exemplos de poluição em canteiros de obras e boas práticas para prevenção e controle dos impactos ambientais.

5.1. Etapas da drenagem provisória de obras

Para desempenhar sua função, a drenagem provisória de obras demanda uma série de infraestruturas, como as calhas, dissipadores de energia, poços de drenagem, bacias de sedimentação e bombas hidráulicas. Estas estruturas são projetadas para trabalharem em conjunto, com a finalidade de: transportar a água

pelo canteiro de obras; reter parte ou todo o volume de água que o terreno receber e garantir padrões de qualidade para a água de drenagem, para que possa ser descartada ou aproveitada.

5.1.1. Transporte e acúmulo de água no canteiro de obras

A água pluvial ou proveniente de outras fontes no canteiro de obras, deixa de escoar superficialmente pelo terreno e passa a ser transportada a partir do momento em que ela é canalizada ou acumulada em linhas de drenagens construídas (calhas), as quais podem ser revestidas, como demonstra a foto 58, ou em solo exposto, semelhante ao apresentado na foto 59. Estas calhas podem ainda dispor ao longo do seu percurso de sistemas para retenção de sedimentos. Na foto 60 esse sistema é composto de saco de rafia preenchido por brita e disposto sobre o leito da calha, e na foto 61 executa-se pequena caixa de decantação ao longo da calha.

As calhas conduzirão a água das frentes de serviço para outra calha de maior vazão de escoamento ou para pontos de acúmulo, como os poços de drenagem ou bacias de sedimentação¹³.

Fotografia 58 – Calha de drenagem provisória de obra revestida com brita nº4, que atua reter sedimentos e aumentando a infiltração da água.



Fonte: Daniel Ohnuma (2009)

Fotografia 59 – Calha de drenagem provisória de obra em solo exposto.



Fonte: Daniel Ohnuma (2009)

¹³Conceitualmente os termos *poços de drenagem* ou *bacias de sedimentação* são similares, são depressões no terreno para acúmulo de água e sedimentos, diferenciados em razão da profundidade e da área ocupada, um poço possui sua profundidade maior do que seu diâmetro ou área superficial que ocupa, enquanto a bacia é o contrário (CTE, 2013).

Fotografia 60 – Dispositivo (sacaria com brita) para retenção de sedimentos em calhas da drenagem provisória.



Fonte: O autor (2010)

Fotografia 61 – Armadilha de sedimentos em calha da drenagem provisória (estratégia implantada para capturar os sedimentos carregados junto ao escoamento do efluente sobre calha).



Fonte: O autor (2010)

A foto 62 apresenta uma calha em solo exposto que conduz a água para um poço de drenagem, do qual é bombeada para outra parte do sistema de drenagem provisória da obra.

Fotografia 62 – Calha conduzindo a água para poço de drenagem provisória de obra intermediário, sem filtros para sedimentos.



Fonte: O autor (2009)

Dependendo das dimensões e tipologias dos terrenos, é possível dimensionar um único ponto para acúmulo de água, ou diversos pontos que acumulem a água próximo às frentes de serviço, pois quanto menos a água escoar superficialmente menos sedimentos serão carreados por ela. Destes poços, chamados de intermediários, a água é transportada por bombeamento até outros pontos de acúmulo maiores ou diretamente para os sistemas de infiltração ou tratamento, sempre coletando a água mais superficial possível (NPDES, 2012).

A coleta da água superficial pode ser feita através da fixação da bomba distante do fundo do poço, através de cordas ou de boias, ou com o uso de dispositivos projetados para esta finalidade, apresentados nas fotos 63 e 64, conhecidos como *skimmers* (CAVALHIERI, 2012), cuja entrada de água flutua junto com a superficial da água acumulada, e o descarte da água ocorre na parte baixa do dreno de extravasamento.

Fotografia 63 – Exemplo de bacia de sedimentação com coletor de água na lâmina superficial (*skimmer*).



Fonte: Cumberland County Conservation District (www.cumberlandcd.com)

Fotografia 64 – Exemplo de coletor de lâmina superficial da água (*skimmer*).



Fonte: PTP NEXT (<http://ptpNext.com>)

Em se tratando de águas que escoam sobre áreas já pavimentadas da obra - pisos e lajes - e partindo do pressuposto que estas áreas possuem poucos sedimentos ou não possuem sedimentos, o ideal é que esse volume de contribuição pluvial do terreno seja coletado separadamente e transportado diretamente para os pontos de acúmulo e tratamento da água, ou para reservatórios exclusivos, dos quais a água pode ser destinada para aproveitamento na obra ou descarte para o sistema público de captação pluvial. Desta maneira evita-se que esse fluxo de água atinja áreas em solo exposto do terreno, o que possibilitaria a formação de processos erosivos e o carreamento de mais sedimentos para o ponto de acúmulo e

tratamento do efluente, dificultando esta etapa da drenagem. Essa prática é apresentada nas fotos 65 e 66, em que a água pluvial que atinge as lajes executadas e limpas são conduzidas diretamente para cisternas, de onde serão aproveitadas ou descartadas para as vias públicas sem prévio tratamento.

Quanto menor for o escoamento de água sobre solo exposto, incluindo o transporte da água por calhas em solo exposto, menor será o volume de sedimentos transportado e, conseqüentemente, mais simples será a estratégia adotada para retê-los antes do descarte da água.

Fotografia 65 – Sistema de coleta de água pluvial das áreas pavimentadas da obra através de ralos.



Fonte: O autor (2012)

Fotografia 66 – A água coletada das áreas pavimentadas é conduzida para um reservatório principal, de onde é aproveitada.



Fonte: O autor (2012)

5.1.2. Tratamento final para o efluente de água com sedimentos da obra

A água acumulada em pequenas ou grandes bacias de sedimentação no terreno podem ter diferentes finalidades: ser infiltrada no solo, caso os espaçamentos das chuvas e a permeabilidade do solo permitam; ser aproveitada para atividades no próprio canteiro, como para uso em escavações, perfurações de tirantes ou controle de poeira; ou ser descartada para fora do terreno, passando por prévio tratamento e aferição da qualidade.

A infiltração da água pluvial no próprio terreno é uma excelente alternativa, pois além de contribuir com a reposição de água da bacia hidrográfica local, também reduz custos operacionais e riscos com impactos ambientais, porém sua viabilidade vai depender de vários fatores: disponibilidade de área no terreno nas dimensões necessárias e que esteja fora da curva crítica do cronograma da obra; índices de

permeabilidade do solo e condições pluviométricas favoráveis; outras áreas permeáveis no terreno, para reduzir a contribuição de água na bacia(s) de infiltração; e boas estratégias para retenção de sedimentos finos, que podem rapidamente colmatar os poros do solo no fundo da bacia de infiltração, reduzindo sua permeabilidade. A foto 67 apresenta uma pequena bacia de infiltração disposta em ponto estratégico do terreno, a qual associada a outras pequenas bacias coletam, represam e infiltram toda a água pluvial incidente no terreno. Já a foto 68 mostra uma grande bacia de infiltração em obra de grande porte para onde converge toda a água incidente no terreno. Em ambos os casos é possível observar, pela diferença de tonalidade, o acúmulo dos sedimentos finos que foram carregados com as enxurradas; este material deve ser removido periodicamente, pois pode entupir os poros do solo e reduzir a sua permeabilidade.

Fotografia 67 – Pequena bacia de infiltração disposta próxima às frentes de serviços.



Fonte: O autor (2012)

Fotografia 68 – Bacia de infiltração em grande dimensão e interligada a outra bacia, disposta na periferia do terreno. Observa-se acúmulo de sedimentos finos, os quais podem colmatar o solo.



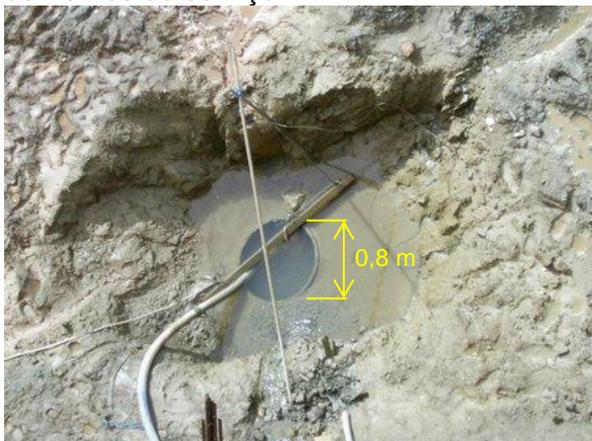
Fonte: O autor (2012)

Quando não for possível infiltrar toda a contribuição de água do terreno, para que seja feito o aproveitamento da água ou seu descarte para fora do obra, deve-se prever o tratamento do efluente, cuja escolha pelo melhor sistema irá depender da qualidade inicial do efluente e sua finalidade após o tratamento, partindo da decantação para processos de filtração.

O processo de tratamento de água por decantação tem sua eficiência variável em função do tamanho dos grãos de solo presentes na água e do tempo de repouso do efluente, sendo indicados para solos arenosos e em sistemas que permitam a

permanência da água em seu interior por longos períodos. Na obra, o processo de decantação por gravidade ocorrerá desde as calhas, que podem ser executadas de maneira a atuarem como decantadores lineares em sequência, através da disposição de barreiras em seu leito, que possui grande eficiência na retenção de sedimentos, redução da velocidade da água e retenção de volumes de água. A decantação continuará a ocorrer nos poços de drenagem próximos às frentes de serviço, como mostra a foto 69 de poço intermediário em área de escavação, assim como nas bacias de sedimentação maiores e dispostas em pontos estratégicos do terreno, como na foto 70 que mostra uma bacia executada na parte baixa do terreno. Juntas estas bacias devem ser dimensionadas para acumular todo o volume de água proveniente dos maiores eventos de chuva previstos para o local.

Fotografia 69 – Poço de drenagem próximo às frentes de serviço.



Fonte: O autor (2012)

Fotografia 70 – Bacia de sedimentação junto à periferia da obra.



Fonte: O autor (2012)

Para dimensionamento do volume de água pluvial que deve ser suportado pela obra através de bacias de sedimentação, pode-se adotar o padrão definido pelo Sistema Nacional para Eliminação das Descargas de Poluentes dos Estados Unidos (NPDES), através dos termos da “Autorização Geral para Descargas de Atividades de Construção” (*General Permit for Discharges from Construction Activities*), que estabelece como sendo a média de chuva dos últimos dois anos, sendo chuvas de 24 horas, ou eventos de chuvas de 25mm (25 litros por metro quadrado do terreno) (NPDES, 2012).

Caso o solo predominante no terreno seja siltoso, ou ainda mais fino, argiloso, a decantação ocorrerá lentamente, por exemplo, para partículas de argila, com diâmetro igual a 0,002 mm (2 μ m), o tempo de sedimentação em água a 20°C para

um percurso de 10cm é de 8 horas (Congresso Internacional de Ciência do Solo, 1927 apud COOPER, [20--?]). Nestes casos, o ideal tanto para aproveitamento do efluente como para seu descarte para as vias públicas ou galerias pluviais, é adotar sistemas de retenção de sedimentos como tratamento, os quais devem trabalhar associados, iniciando com as estratégias preventivas citadas no subcapítulo 4.2 deste trabalho, partindo para sistemas que atuarão como armadilhas de sedimentos (FIFIELD, 2004).

A função das armadilhas de sedimentos é criar barreiras e desvios para a água, formando bolsões de água com sedimentos, onde a velocidade do fluxo é inferior a do caminho principal do efluente, e com isso os sedimentos tendem a se depositar nestes pontos. Estes dispositivos devem ser instalados ao longo das linhas de drenagem, como demonstram as fotos 71 e 72, referentes a disposição de pequenos dispositivos executados a partir de membrana geotêxtil e brita, instalados respectivamente em calha da via pública, externa à obra, e em calha pluvial da drenagem interna da obra. A foto 73 mostra barreiras sequenciais executadas a partir de sacos de rafia com areia e dispostas ao longo do perímetro da obra, onde há fluxo de água devido ao caimento do terreno. Os sedimentos retidos nestes sistemas devem ser recolhido após cada evento de chuvas para manter a funcionalidade da estratégia.

Fotografia 71 – Armadilha de sedimentos disposta na calha formada pelo meio fio da calçada.



Fonte: O autor (2011)

Fotografia 72 – Armadilha de sedimentos disposta na calha da drenagem pluvial da obra.



Fonte: O autor (2013)

Fotografia 73 – Diques para retenção de sedimentos ao longo da linha de drenagem construída (calha pluvial).



Fonte: O autor (2012)

As armadilhas de sedimentos podem ser executadas provisoriamente durante demolições com os próprios resíduos Classe A¹⁶ (Resolução CONAMA 307/02), como no exemplo apresentado na foto 74, onde os resíduos provenientes da demolição de um estacionamento foram armazenados temporariamente formando uma barreira disposta sobre a curva de nível do terreno.

Fotografia 74 – Lera de entulho de demolição de estacionamento disposto sobre as curvas de nível do terreno para retenção dos sedimentos carreados pelo escoamento pluvial.



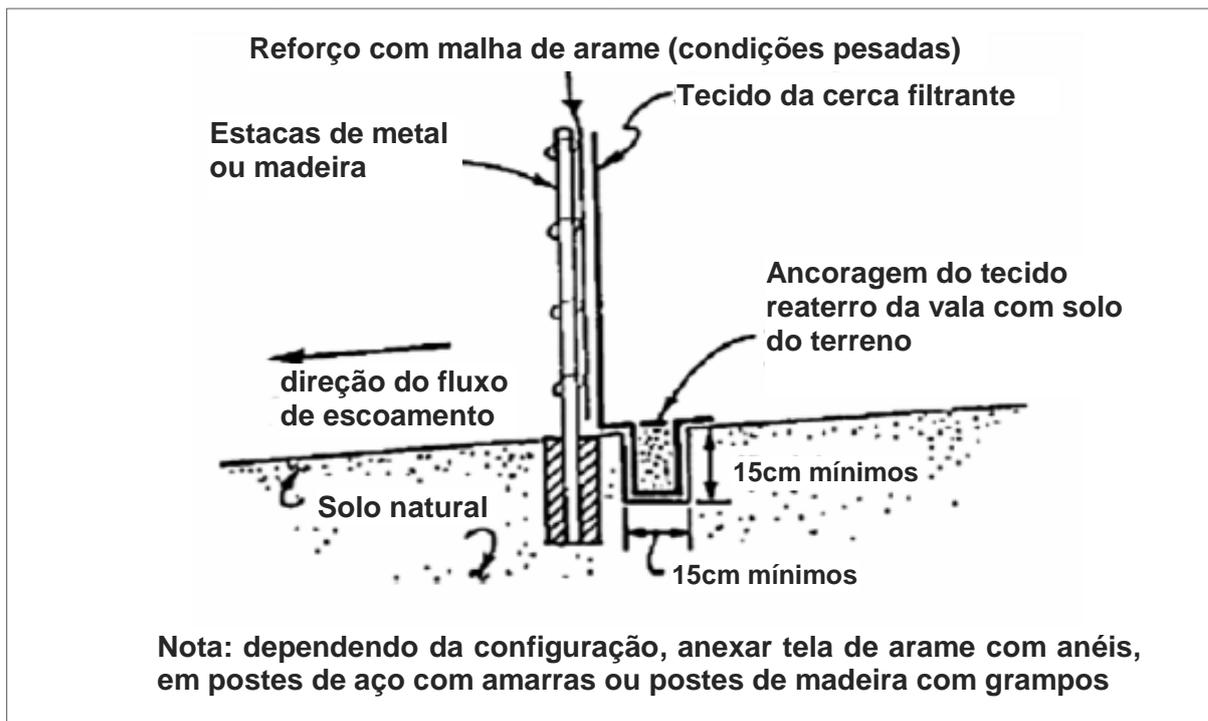
Fonte: O autor (2011)

¹⁶ Segundo a Resolução CONAMA 307 de 2005, classe A são [...] os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.

As cercas filtrantes também são estratégias usuais em sistemas de drenagem provisória de obras. Com o uso de membrana geotêxtil e estacas, pode-se rapidamente executar proteções nas margens de córregos, na crista e base de taludes, ao longo das calhas pluviais e até nos platôs em solo exposto. Devido as propriedades da membrana geotêxtil, que são resistentes a tração e apresentam bom desempenho para a retenção de sedimentos finos quando não submetidos à pressão (CAMPOS et al, 2010a). Além de acumularem parte da água e reduzirem a velocidade do escoamento pluvial superficial, elas reduzem os índices de sólidos sedimentáveis e turbidez do efluente (CAMPOS et al, 2009). Devido a sua larga escala de uso em dispositivos para retenção de sedimentos, no capítulo 6 deste trabalho são apresentados estudos sobre a eficiência de membranas geotêxteis em barreiras filtrantes para redução de turbidez e sólidos sedimentáveis presentes em efluentes de água e solo.

A figura 6 representa um detalhe executivo de cerca filtrante, cuja execução é apresentada nas fotos 75 e 76. A foto 77 demonstra uma cerca filtrante executada na base de um talude em formação, impedindo o deslocamento de sedimentos caso ocorra uma chuva neste período.

Figura 6– Detalhe de execução padrão de cerca filtrante.



Fotografia 75 – Detalhe da vala escavada para fixação da membrana geotêxtil da cerca filtrante.



Fonte: O autor (2011)

Fotografia 76 – Detalhe de execução de cerca filtrante.



Fonte: O autor (2011)

Fotografia 77 – Cerca filtrante executada em base de talude durante sua execução.



Fonte: O autor (2011)

[...] As barreiras não têm função quando instaladas nos divisores de água pelo pouco fluxo de água característico. Devem ser instaladas no contorno dos taludes, de tal modo que as águas não ultrapassem as extremidades; para áreas de drenagem não superior a $\frac{1}{4}$ acre por 100 pés de barreira (aproximadamente 1000 m² por 30 m de barreira); [...] O tipo de barreira, quanto aos materiais a empregar na sua construção e o espaçamento dos postes deve considerar o tipo de solicitação [...] (CAMPOS et al, 2009)

Para finalizar o tratamento do efluente deve-se prever a execução de sistemas de filtros, como os poços de drenagem representados nas fotos 78 e 79, constituídos respectivamente a partir de anéis de concreto pré moldado e tambores metálicos soldados, ambos perfurados para passagem de água, rodeados por brita e envolvidos em membrana geotêxtil, projetados para acúmulo de água em grandes volumes; porém, são enchidos em baixa vazão, a qual será maior quanto melhor for a qualidade da água ao seu redor, determinada pela espessura da camada de brita ao seu redor ou por estratégias conjugadas, como mostra o exemplo da foto 78 onde o poço está ligado a uma trincheira drenante, constituída de uma vala revestida de membrana geotêxtil e preenchida por resíduo Classe A limpo, adquirido na própria obra. A água acumulada no interior do poço pode então ser descartada com uso de bombas e ter sua qualidade aferida.

Fotografia 78 – Poço de drenagem prevendo a retenção dos sedimentos com filtro de brita e membrana geotêxtil.



Fonte: O autor (2012)

Fotografia 79 –Trincheira drenante e poço de drenagem envolto em brita e membrana geotêxtil.



Fonte: O autor (2010)

Outros exemplos de filtros com uso de brita e membrana geotêxtil seguem nas próximas fotos. A foto 80 apresenta uma caixa d'água que recebe a água de um poço intermediário do sistema de drenagem provisória da obra, a qual após passar por um tambor perfurado revestido por membrana geotêxtil, preenchido de brita, mais um tubo de drenagem perfurado também revestido de membrana geotêxtil, é bombeada em baixa vazão para fora da obra. A foto 81 mostra um exemplo de poço da drenagem definitiva do empreendimento, executado com camada de brita e membrana geotêxtil ao seu redor, para atuar também provisoriamente durante a obra. As fotos 82 e 83 são exemplos de filtros dispostos ao longo de calhas do sistema de drenagem da obra, executados respectivamente a partir de barreiras de vergalhões preenchidas com brita e cercas filtrantes de membrana geotêxtil.

Fotografia 80 – Sistema de filtro formado por tambor envolvido em membrana geotêxtil e preenchido por brita.



Fonte: O autor (2012)

Fotografia 81 – Poço de drenagem definitiva do empreendimento executado para uso durante a obra.



Fonte: O autor (2010)

Fotografia 82 – Sistema de filtro formado por barreira de brita em calha de escoamento pluvial.



Fonte: O autor (2011)

Fotografia 83 – Cercas filtrantes ao longo da calha de escoamento pluvial. Exemplo de associação de soluções técnicas distintas.



Fonte: O autor (2012)

Antes da água tratada ser descartada para fora da obra, deve-se propiciar sistema que permita a coleta de amostras de água, como exemplo da caixa de passagem da foto 84, para que seja aferida sua qualidade, processo abordado no item a seguir deste trabalho.

Nos projetos em que o terreno possui área em cobertura vegetal que não será alterada, e há a decisão de se descartar a água da drenagem pluvial sobre essa área vegetada, é importante a execução de dissipadores de energia no ponto de encontro da água com o terreno, como demonstra a foto 85, onde foram instalados obstáculos para a água na sua descida pelo talude, e como representa a figura 7, um esquema de proteção da descida hidráulica com leito revestido por membrana geotêxtil, seguido de pedras no ponto de deságue, para impedir a formação de novos processos erosivos (NPDES, 2012).

Fotografia 84 – Caixa de passagem antes do descarte da água de drenagem - local serve como ponto para coleta de amostra para ensaio de sólidos sedimentáveis.



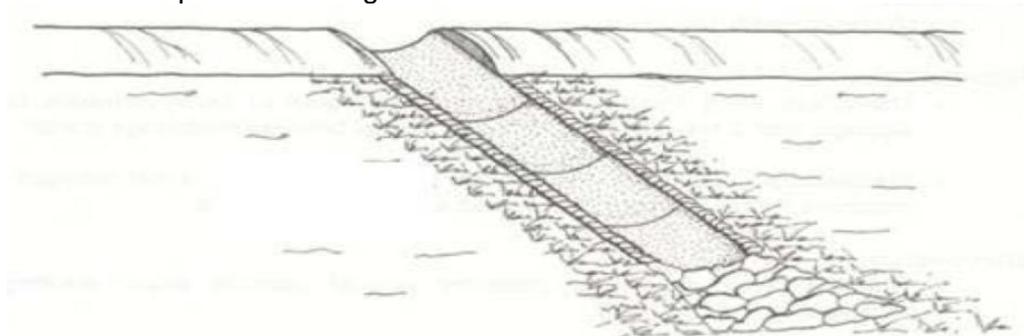
Fonte: O autor (2012)

Fotografia 85 – Dissipador de energia com brita 4 disposta ao longo da drenagem definitiva.



Fonte: Relatório IPT – Rodoanel (CAMPOS et al, 2009)

Figura 7– Descida de água provisória sobre membrana geotêxtil, com proteção lateral e dissipador de energia ao final.



Fonte: DERSA (2009, apud ALMEIDA JÚNIOR, 2009)

5.1.3. Controle de qualidade e descarte de água da obra para o entorno.

Caso ocorra descarte de água de dentro da obra para as vias públicas ou diretamente para a galeria pluvial, esta água deve atender aos padrões mínimos de qualidade definidos pela legislação nacional (Resolução CONAMA 430/2011) ou local, a qual for mais restrigente. Em termos de sólidos sedimentáveis, o limite estabelecido é 1ml/l em teste de 1 (uma) hora em cone de *imhoff*, ensaio regulamentado pela ABNT NBR 10561 de 1988 (Águas - Determinação de resíduo sedimentável (sólidos sedimentáveis) - Método do cone de *Imhoff*) e realizado facilmente no canteiro de obras. As fotos 86 e 87 mostram o cone de *Imhoff* sendo utilizado em obra para o ensaio de sólidos sedimentáveis. Na foto 88, após uma hora de sedimentação, demonstra-se que o resultado do ensaio de sólidos sedimentáveis foi satisfatório para atendimento a legislação, e a foto 89 apresenta um descarte para a via pública de água tratada em obra e que está dentro dos padrões legais.

Fotografia 86 – Ensaio de sólidos sedimentáveis em água de drenagem provisória sendo realizado em obra.



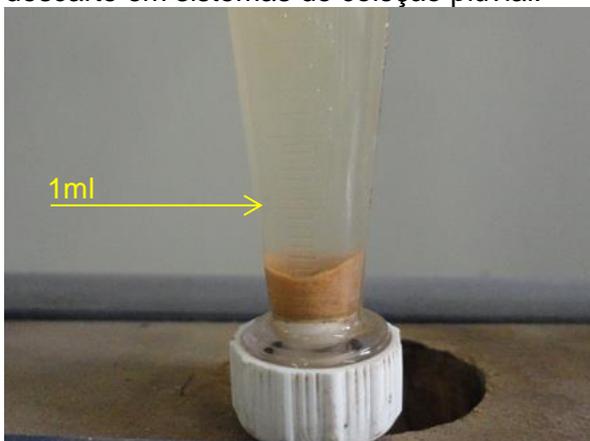
Fonte: O autor (2012)

Fotografia 87 – Cone de *Imhoff* em escritório de obra pronto para realização do ensaio de sólidos sedimentáveis.



Fonte: O autor (2010)

Fotografia 88 – Ensaio de sólidos sedimentáveis em cone de *Imhoff* com índice abaixo de 1ml/l, permitindo seu descarte em sistemas de coleção pluvial.



Fonte: O autor (2012)

Fotografia 89 – Água de drenagem provisória sendo descartada para a rua pública. Índice de sólidos sedimentáveis inferior a 1ml/l.



Fonte: O autor (2010)

5.2. Planejamento e gestão ambiental das obras

A indústria da construção civil depende de uma extensa cadeia de fornecedores de materiais e serviços. Ao longo da execução de um empreendimento são vivenciadas diversas condições de espaço e clima no canteiro de obras, que conta ainda com o fluxo de pessoas, equipamentos e veículos que entram, saem e circulam pelo terreno em construção. Aliada a essas dificuldades, está a necessidade de que todo o processo construtivo ocorra de forma a respeitar o orçamento, o prazo da obra, a qualidade, as condições de trabalho dos funcionários e o meio ambiente, natural e construído (SOUZA, 2012a). Todas as atividades que ocorrem em uma obra impactam nestas questões em maior ou menor importância, e o planejamento delas deve levar em consideração esses fatores.

5.2.1. Equipe dedicada à gestão ambiental da obra.

A prevenção à poluição da obra requer ação de todos os funcionários, de engenheiros a ajudantes, pois todos podem atuar para reduzir os impactos ambientais negativos de uma construção. De maneira geral, a obra é dividida em duas grandes equipes: a primeira, formada pelos engenheiros e gestores da obra, é responsável por identificar os impactos, traçar estratégias, disponibilizar recursos e capacitar os envolvidos, enquanto a segunda equipe, formada pelos mestres de obra, encarregados e demais funcionários, próprios ou terceirizados, munidos de treinamento e ferramentas, aplicam a gestão dos resíduos e controle dos demais

poluentes da obra, incluindo a gestão dos sedimentos da construção e a qualidade das águas de drenagem descartadas.

Neste contexto é importante ter profissionais dedicados exclusivamente à gestão ambiental da obra (CTE, 2012), articuladores do processo de gestão ambiental, que tragam essa visão para as primeiras decisões do projeto, e que participem da elaboração do planejamento e cronograma da obra, decidam junto com a engenharia de produção as ações para prevenção à poluição da obra, para o controle dos impactos ambientais gerados por cada atividade e para o monitoramento do desempenho das estratégias implementadas, providenciando as manutenções preventivas e corretivas necessárias (NPDES, 2012).

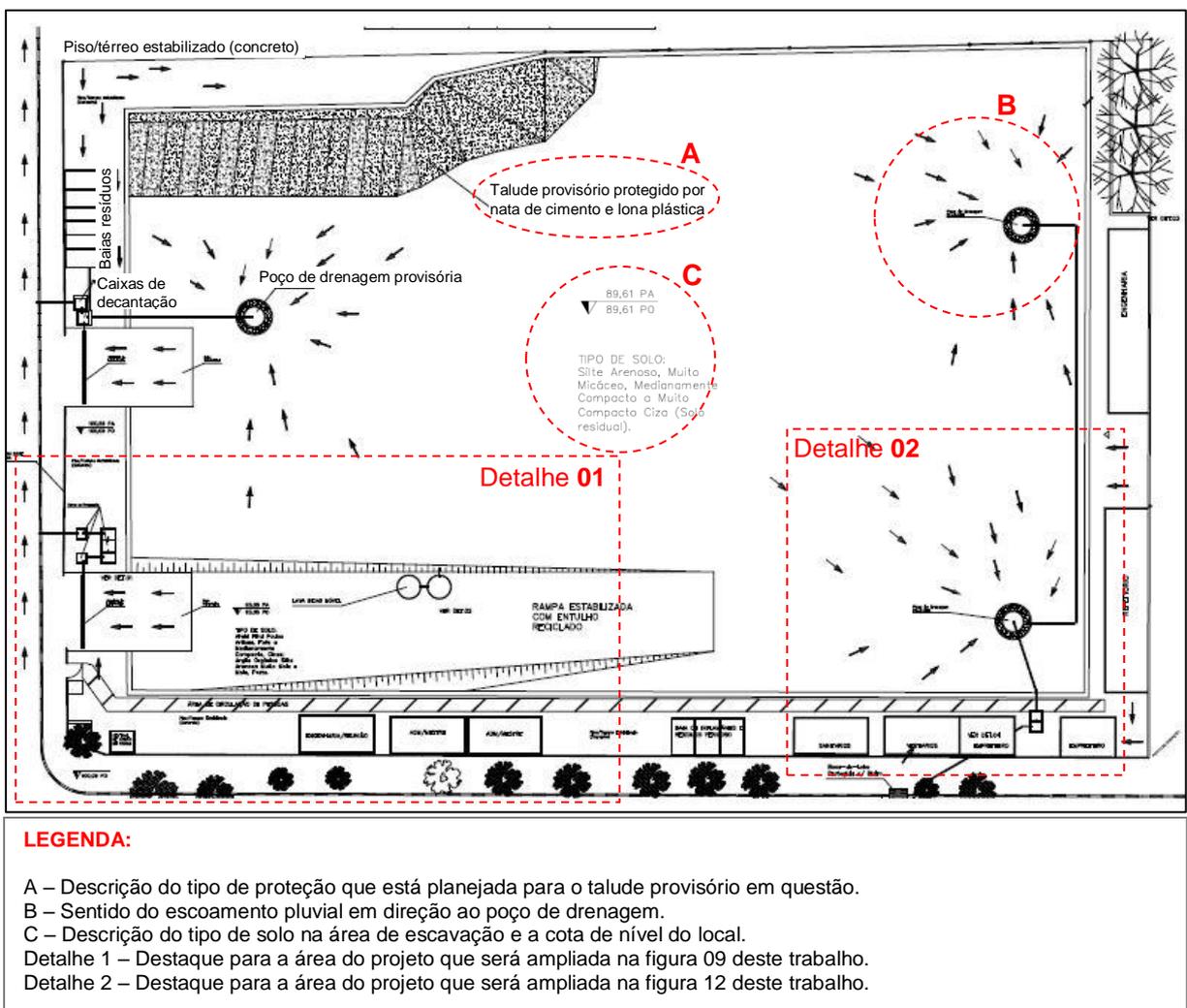
5.2.2. Projeto de drenagem provisória de obras.

O projeto de drenagem provisória da obra é fundamental para o planejamento e gestão dos poluentes de uma construção. Seu objetivo é a gestão da qualidade das águas que serão descartadas da obra, principalmente as águas pluviais, porém, para isso, dependerá do conhecimento sobre a quantidade prevista, frequência, intensidade e duração das precipitações, assim como dos estudos ambientais da obra sobre as condições de relevo do terreno, as taxas de permeabilidade do(s) solo(s), os equipamentos que serão utilizados, fluxos de veículos, pessoas e materiais, entre outros (NPDES, 2012). Este conjunto de informações resultará na definição de estratégias para organização dos resíduos da obra, controle da contaminação do solo e água, prevenção e controle de erosão e sedimentação. Dadas estas definições, no projeto de drenagem provisória da obra, serão detalhados os fluxos de água pelo canteiro de obras, os locais e formas de tratamento deste efluente, seu processo de controle da qualidade e ponto de descarte para fora do terreno. As estratégias definidas deverão ser orçadas e inseridas no cronograma da obra.

A figura 8 representa um projeto de drenagem provisória de obra desenvolvido para a etapa de escavação e movimentação de terra de um empreendimento cooperativo. Nele é possível ver a localização de algumas infraestruturas provisórias para controle de poluentes na obra, destacadas na figura 9, como o sistema de lava rodas dos veículos que saem da obra, também detalhado na figura 10, e o sistema de lava bicas do caminhão betoneira, detalhado na figura 11. Também é planejado neste projeto a localização e a quantidade dos poços de

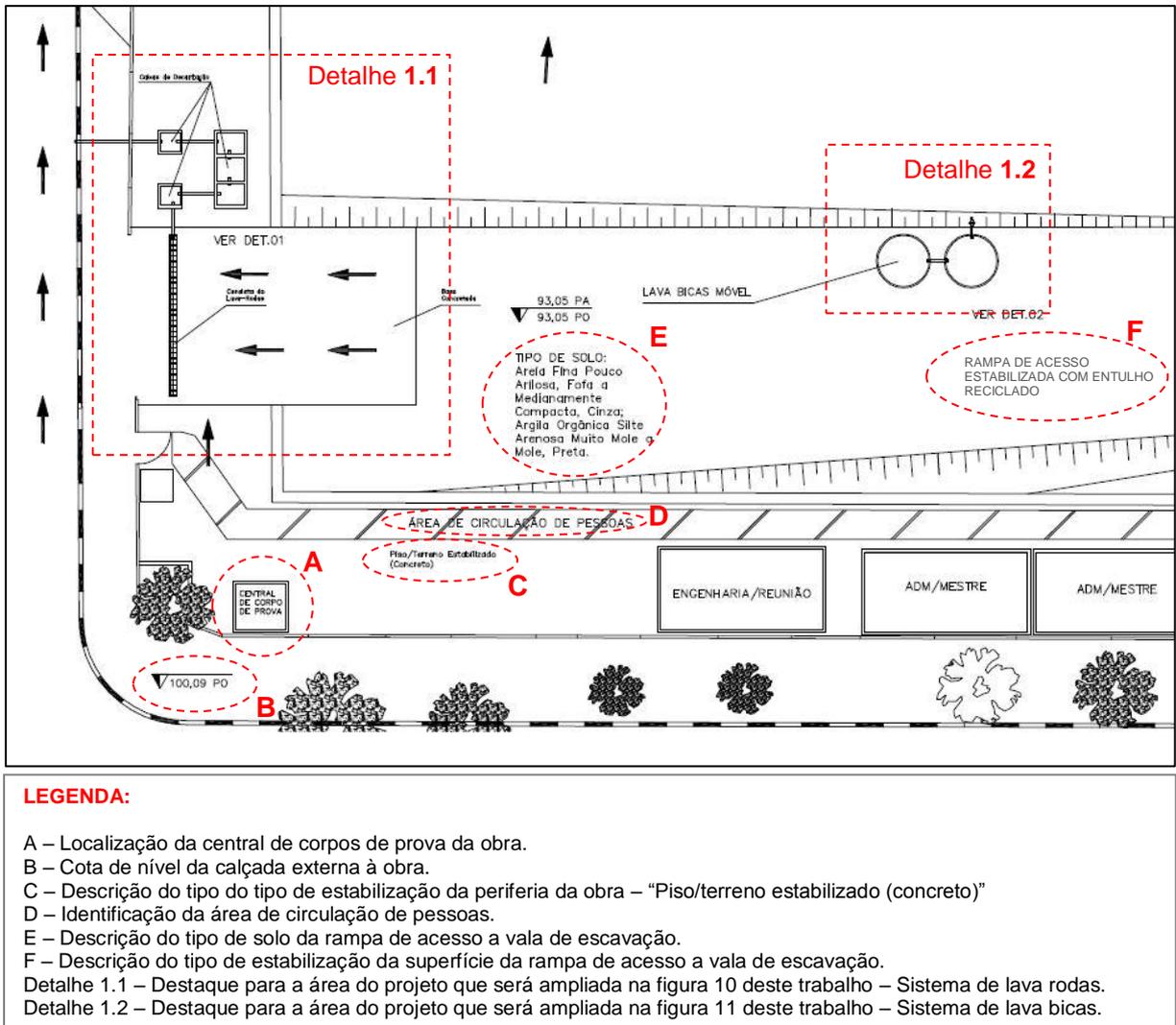
drenagem provisória da obra, os quais seguiram neste exemplo a mesma localização e dimensão dos poços de drenagem definitiva do empreendimento, reduzindo os custos com estratégias provisórias. A figura 12 apresenta o esquema executivo do poço de drenagem provisória: nota-se uma camada de brita e um anel interno a mais do que previsto no projeto do poço de drenagem definitiva, para que possa atuar durante a obra, momento em que há mais sedimentos na água a ser tratada.

Figura 8 – Exemplo de projeto de drenagem provisória da obra com controle de erosão e sedimentação. Etapa de escavação e movimentação de terra.



Fonte: OPI2 São Paulo Empreendimentos Imobiliários - Desenhista José Augusto (2013)

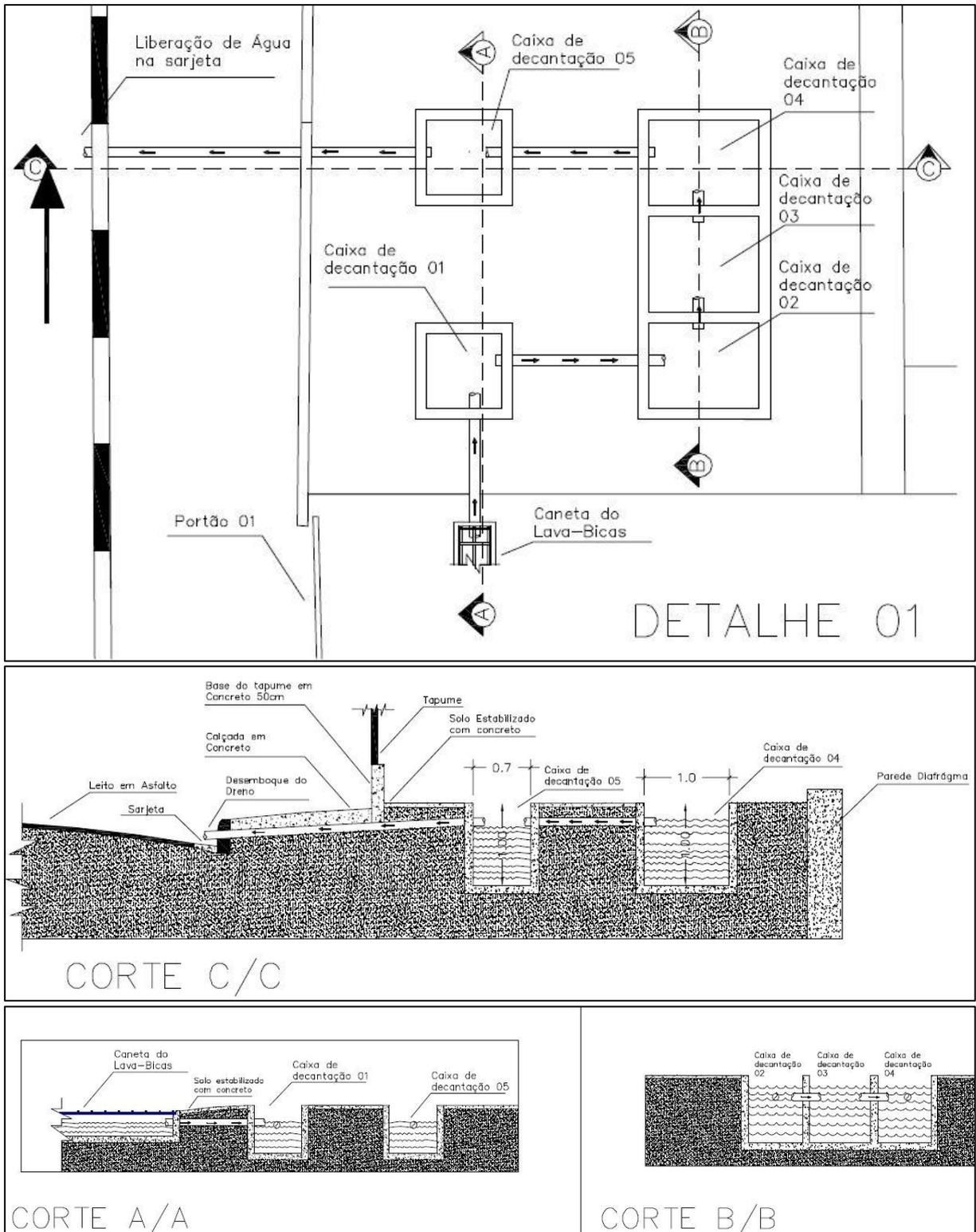
Figura 9 – Detalhe 01 da Figura 8 – Destaque para rampa de acesso ao subsolo estabilizada, sistema de lava rodas e sistema de lava bicas dos caminhões betoneira.



Fonte: OPI2 São Paulo Empreendimentos Imobiliários - Desenhista José Augusto (2013)

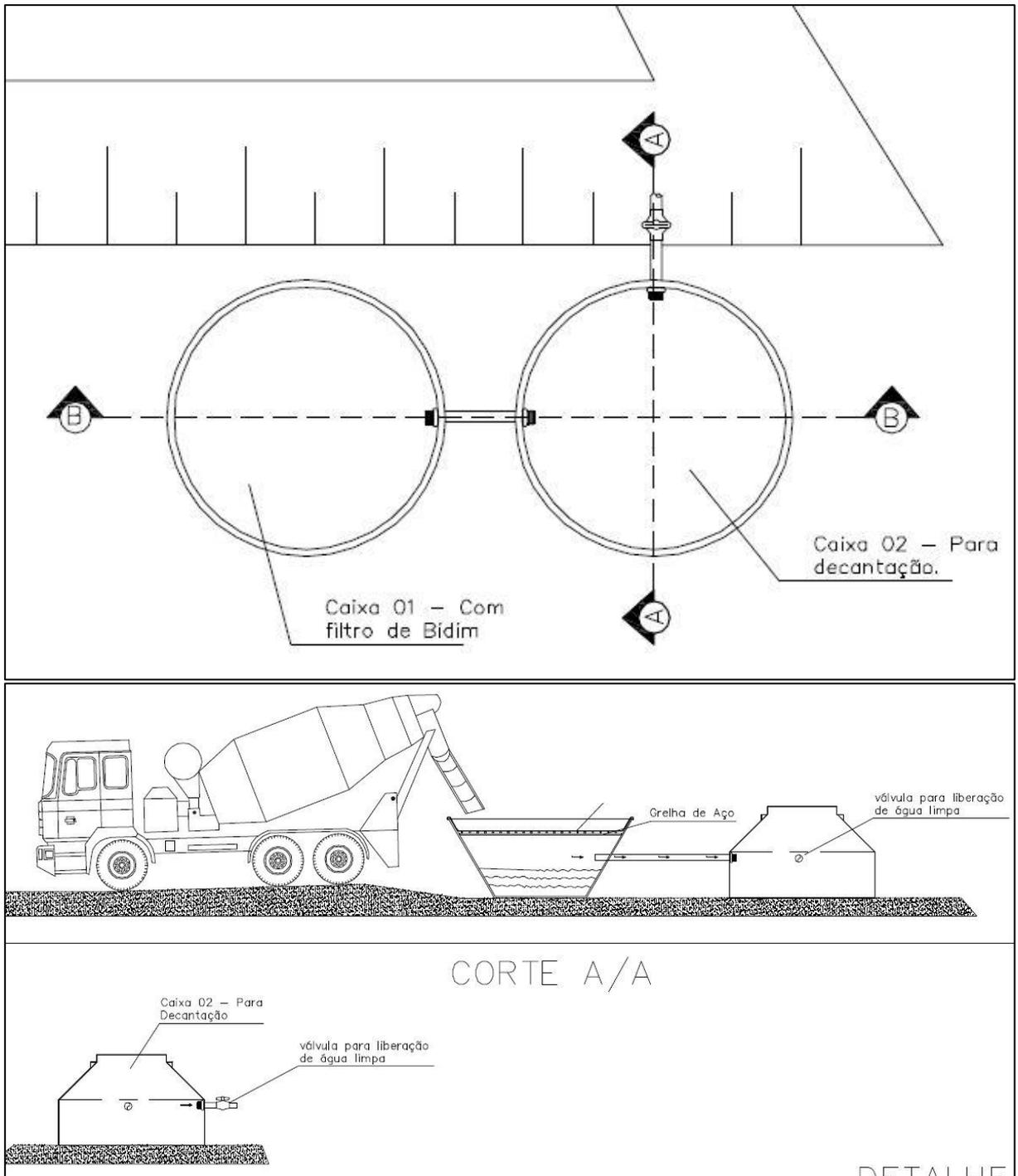
Segundo Jon Harbor (1999), o envolvimento de profissionais da área de geomorfologia auxiliam projetistas a trabalharem em relação a erosão. Eles podem atuar na preparação e planejamento das atividades que irão movimentar terra para minimizar o seu potencial de erosão. A engenharia, combinada às análises geomorfológicas, podem ser usadas para projetar um sistema de drenagem provisória que vise minimizar os fluxos de água sobre áreas suscetíveis a erosão.

Figura 10 – Detalhe 1.1 da Figura 09: Sistema de lava rodas com tratamento do efluente de lavagem.



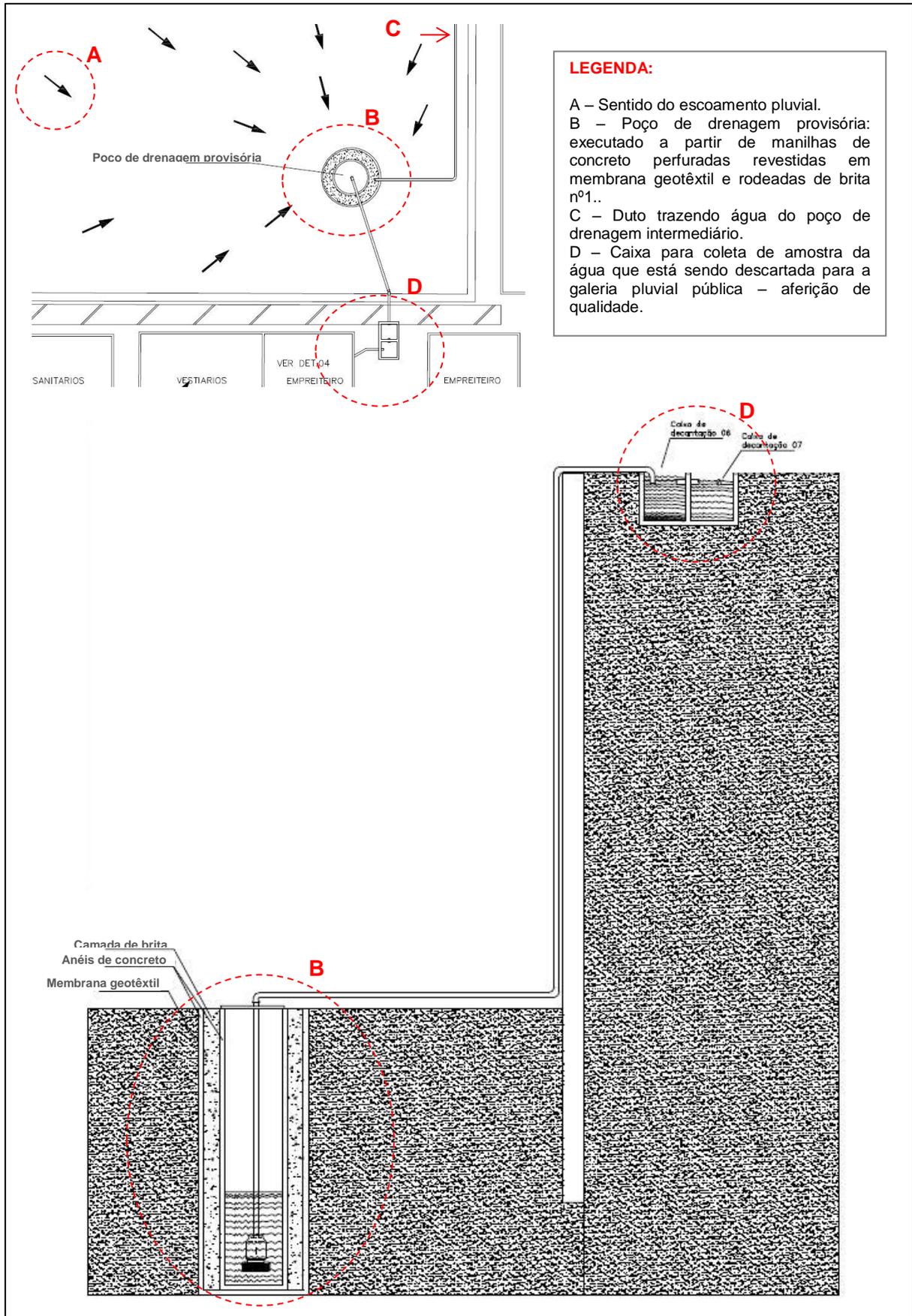
Fonte: OPI2 São Paulo Empreendimentos Imobiliários - Desenhista José Augusto (2013)

Figura 11 – Detalhe 1.2 da Figura 9 com sistema móvel de lava bicas dos caminhões betoneira.



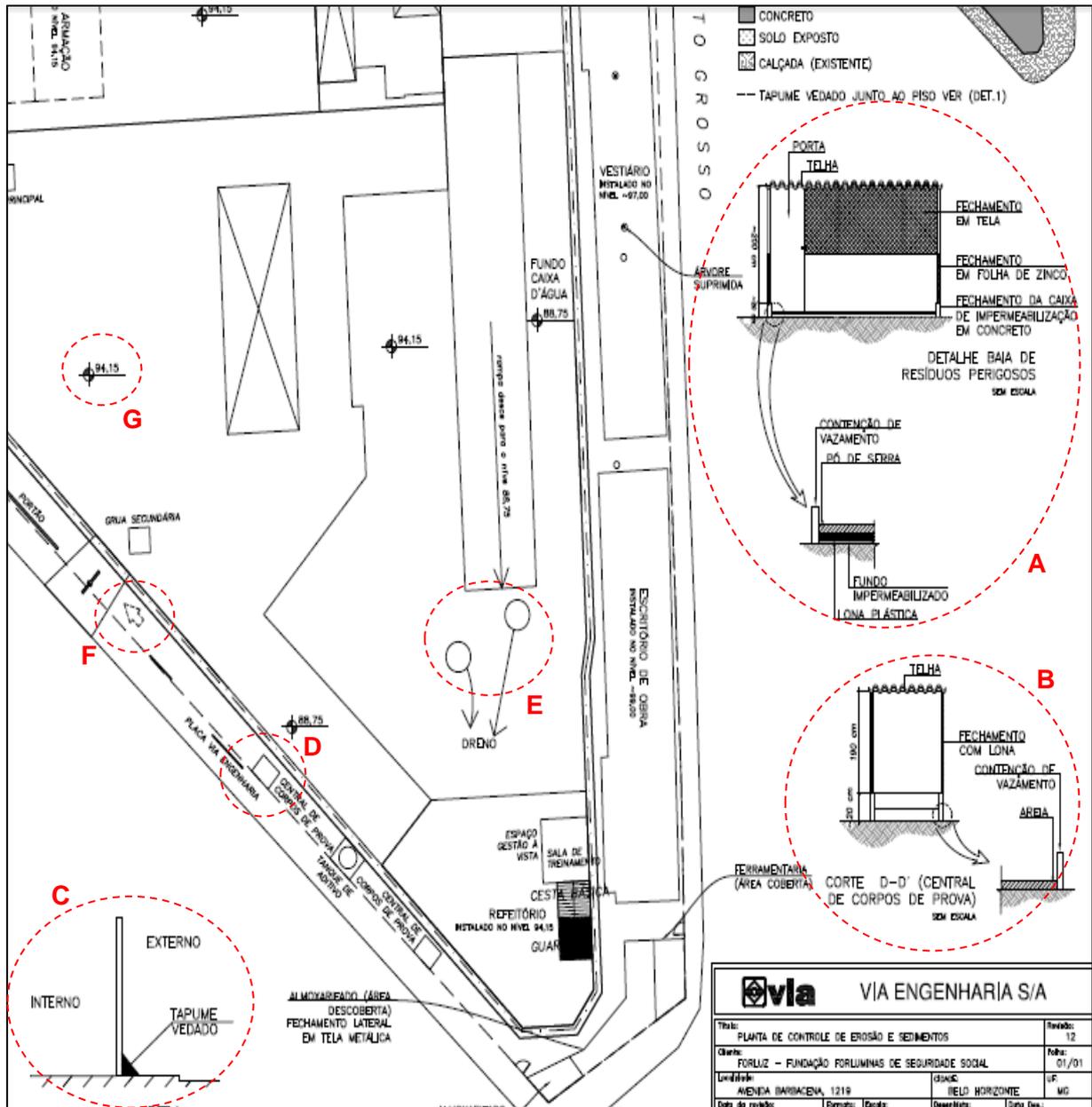
Fonte: OPI2 São Paulo Empreendimentos Imobiliários - Desenhista José Augusto (2013)

Figura 12 – Detalhe 02 da Figura 8: Poço de drenagem provisória com sistema de retenção de sedimentos.



A figura 13 apresenta um projeto de drenagem provisória para a etapa de execução das lajes dos subsolos de um empreendimento corporativo. Neste momento apenas o último subsolo ainda apresenta solo exposto, onde estão localizados os poços de drenagem, cujos drenos podem ser identificados no projeto.

Figura 13 – Vista Parcial de um projeto de drenagem provisória da obra com controle de erosão e sedimentação. Etapa de execução das lajes dos subsolos.



6 ESTUDOS EXPERIMENTAIS COM MEMBRANAS GEOTÊXTEIS

Materiais geossintéticos²¹, principalmente as membranas geotêxteis de poliéster não tecidos, tem sido comumente utilizados para confecção de dispositivos para retenção de sedimentos em sistemas de drenagem provisória de obras. Porém, a eficiência destes dispositivos, como barreiras filtrantes (*siltfence*), muitas vezes é questionada por seus usuários (CAMPOS et al, 2009).

“As barreiras em geotêxtil são barreiras temporárias confeccionadas em geossintético não tecido e estruturadas em pontalotes em madeira ou aço de modo similar a uma cerca ou paliçada”. (CAMPOS et al, 2009).

Esses dispositivos são mais usuais em obras de grande porte, principalmente as de tipologias lineares, como obras de rodovias; porém, o uso de membrana geotêxtil em obras urbanas também é frequente e elas são usadas para: proteção do perímetro da obra, como evidenciado na foto 9 deste trabalho; para tratamento de efluente de lavagem em sistemas de lava rodas, como foi apresentado nas fotos 34 e 35, onde ocorreu o reuso da água; envolvendo os poços de drenagem, como os apresentados nas fotos 78 a 81; como proteções de galerias pluviais externas à obra, como as apresentadas nas fotos 48 e 49 do subcapítulo 4.2, e também apresentada na foto 90 a seguir, referente a proteção da entrada da galeria pluvial do empreendimento durante sua execução. Podem ser instaladas no interior de calhas da drenagem provisória, como apresentado na foto 83 do capítulo anterior e são usadas em dispositivos executados com a finalidade de filtrar o efluente bombeado do acúmulo em poços de drenagem provisória com grande carga de sedimentos, como apresentado na foto 91.

Em todos os casos referidos e em outras formas de uso da membrana geotêxtil em obras urbanas que não foram citadas, sua finalidade é sempre reter o máximo possível de sedimentos, mas deixar a água tratada fluir pelo sistema. Porém, o que se identifica em campo, é que estes sistemas promovem uma grande redução da vazão, e nem sempre a qualidade do efluente que passa pela membrana geotêxtil atende aos parâmetros definidos por legislação para seu descarte no sistema público de captação pluvial.

²¹Geossintético: Produto polimérico (sintético ou natural) industrializado, desenvolvido para aplicação em obras geotécnicas, desempenhando uma ou mais funções, entre as quais destacam-se reforço, filtração, drenagem, separação, impermeabilização e controle de erosão superficial (VERTEMATTI, 2004).

Fotografia 90 – Proteção da entrada da galeria pluvial da obra durante sua execução.



Fonte: O autor (2012)

Fotografia 91 – Dispositivo desenvolvido com a finalidade de filtrar efluente com alta carga de sedimentos em grandes vazões.



Fonte: O autor (2011)

Buscando aferir o desempenho da membrana geotêxtil aplicada em dispositivos usados nos sistemas de drenagem provisória de obras, com foco em dois padrões definidos pelo CONAMA - a turbidez e os sólidos sedimentáveis - foram analisados dois trabalhos com uso de membranas geotêxteis: os ensaios realizados em laboratório pela equipe do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) no ano de 2009, que tiveram como foco o monitoramento dos índices de turbidez do efluente ensaiado, visando atendimento à Resolução CONAMA 357/05; e os ensaios em laboratório realizados no ano de 2012 pelo autor deste trabalho, que tiveram como foco o monitoramento dos índices de sólidos sedimentáveis dos efluentes ensaiados, buscando atender aos parâmetros determinados pela Resolução CONAMA 430/11.

Seguem nas seções a seguir as descrições dos ensaios e os principais resultados obtidos.

6.1 Ensaios em laboratório realizados pelo IPT – Monitoramento da turbidez do efluente.

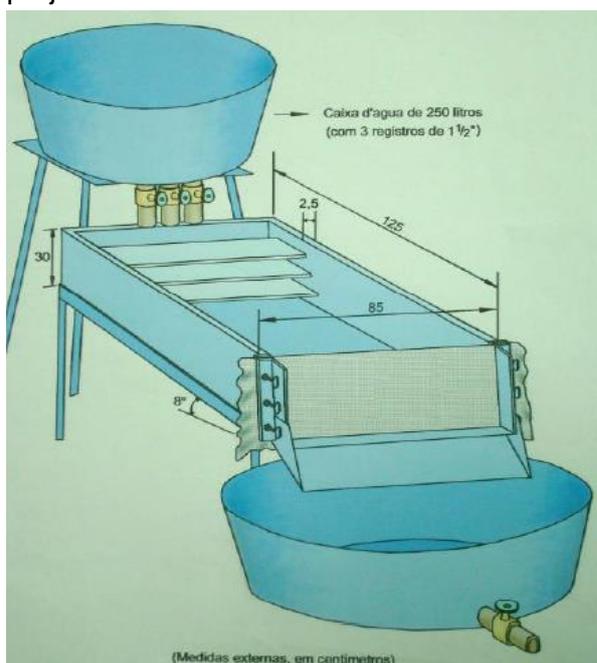
O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), contratado pela empresa DERSA (Desenvolvimento Rodoviário S.A.) para apoio tecnológico, desenvolvimento e aprimoramento de medidas para controle dos impactos ambientais durante a execução da obra do Trecho Sul do Rodoanel, realizou ensaios em laboratório com materiais geossintéticos. Dispostos em formato de cerca filtrante, a partir de uma adaptação da norma ASTM D 5141 (*Test Method*

for Determining Filtering Efficiency and Flow Rate of a Geotextile for Silt Fence Application Using Site-Specific Soil), buscou-se testar a eficiência dos sistemas implementados para retenção dos sedimentos nos fluxos do escoamento pluvial, executados com uso de membranas geotêxteis não tecidas e tecidas.

As informações contidas nesta seção foram retiradas do “Relatório Técnico nº 113.217-205/09”, emitido pelo IPT à DERSA em 05 de agosto de 2009, especificamente no “Anexo F” do documento referido, desenvolvido pelo Laboratório de Recursos Hídricos e Avaliação Geoambiental – LabGeo.

O equipamento utilizado para o ensaio, detalhado no desenho 1 e apresentado na foto 91, simula um canal de água, cuja parte inferior possui sistema para fixação da membrana geotêxtil que será ensaiada; a jusante da cerca está uma caixa d’água de 250l para coleta do efluente que ultrapassar a cerca e, na parte superior, está uma caixa d’água de 250l para preparação do efluente de água e solo, que é misturado manualmente e constantemente durante seu lançamento no canal por ação da gravidade, através de tubulação disposta na parte inferior da caixa, cuja vazão média de saída é de 1,7l/s. O efluente ainda cai sobre um dissipador de energia, constituído por três placas de acrílico, antes de atingir o canal.

Desenho 1 – Esquema do experimento em projeto.



Fonte: IPT (2009)

Fotografia 92 – Vista geral do experimento.



Fonte: IPT (2009)

Para realização dos ensaios foram utilizadas amostras de geotêxteis fornecidas pela obra do Rodoanel - geotêxtil tipo A não tecido e geotêxtil tecido - cujas características são apresentadas nas tabelas 2 e 3 respectivamente, das quais são relevantes para uso em sistemas de drenagem provisória os índices de permeabilidade e abertura aparente AOS²² e *flow rate* (vazão), uma vez que estes parâmetros influenciam a colmatação das membranas e, conseqüentemente, seu desempenho como cerca filtrante.

Tabela 2 – Propriedades de Membranas Geotêxteis não Tecidas

PROPRIEDADE	NORMA	MANTAS GEOTÊXTEIS TIPO		
		A	B	C
Resistência à tração faixa larga	NBR 12824 ⁽¹⁾	≥ 12 kN/m*	≥ 14 kN/m*	≥ 19 kN/m*
Alongamento	NBR 12824 ⁽¹⁾	≤ 75%*	≤ 75%*	≤ 75%*
Resistência à tração grab	ASTM D 4632 ⁽²⁾	≥ 800 N*	≥ 960 N*	≥ 1290 N*
Resistência ao puncionamento cbr	NBR 13359 ⁽³⁾	≥ 2,5 kN	≥ 3,0 kN	≥ 4,0 kN
Permeabilidade	ASTM D 4491 ⁽⁴⁾	≥ 0,35 cm/s	≥ 0,35 cm/s	≥ 0,35 cm/s
Abertura aparente AOS (O ₉₅)	ASTM D 4751 ⁽⁵⁾	0,11 mm a 0,21 mm	0,08 mm a 0,19 mm	0,07 mm a 0,16 mm

Fonte: IPT (Anexo F - Relatório Técnico nº 113.217-205/09)

Tabela 3 – Propriedades de Membranas Geotêxteis Tecidas

Mechanical Properties	Test Method	Unit	Minimum Average Roll Value	
			MD	CD
Wide Width Tensile Strength	ASTM D 4595	kN/m (lbs/ft)	39.4 (2700)	25.4 (1740)
Grab Tensile Strength	ASTM D 4632	kN (lbs)	1.6 (370)	1.1 (250)
Grab Tensile Elongation	ASTM D 4632	%	15	15
Trapezoid Tear Strength	ASTM D 4533	kN (lbs)	0.4 (100)	0.3 (60)
Mullen Burst Strength	ASTM D 3786	kPa (psi)	3100.0 (450)	
Puncture Strength ¹	ASTM D 4833	kN (lbs)	0.5 (120)	
CBR Puncture Strength	ASTM D 6241	kN (lbs)	4.2 (950)	
Apparent Opening Size (AOS) ²	ASTM D 4751	mm (U.S. Sieve)	0.212 (70)	
Percent Open Area	COE-02215	%	4 - 6	
Permittivity	ASTM D 4491	sec ⁻¹	0.28	
Permeability	ASTM D 4491	cm/sec	0.01	
Flow Rate	ASTM D 4491	l/min/m ² (gal/min/ft ²)	733.3 (18)	
UV Resistance (at 500 hours)	ASTM D 4355	% strength retained	90	

¹ ASTM D 4833 has been replaced with ASTM D 6241

² ASTM D 4751: AOS is a Maximum Opening Diameter Value

Physical Properties	Test Method	Unit	Typical Value
Mass/Unit Area	ASTM D 5261	g/m ² (oz/yd ²)	210.2 (6.2)
Thickness	ASTM D 5199	mm (mils)	0.4 (15)
Roll Dimensions (width x length)	--	m (ft)	3.7 (12) x 91 (300)
Roll Area	--	m ² (yd ²)	334 (400)
Estimated Roll Weight	---	kg (lbs)	74 (164)

Fonte: IPT (Anexo F - Relatório Técnico nº 113.217-205/09)

²²A permeabilidade indica a facilidade de percolação do fluido (ABNT NBR15223 e ASTM 4491) e a abertura aparente AOS(O₉₅), que é definida como diâmetro de esfera tal que 5% ou menos atravessam o geotêxtil, se refere ao diâmetro equivalente da maior partícula que pode atravessar o geotêxtil (NBR 15229 e ASTM 4751).

Os solos utilizados também são provenientes do local de execução da obra do Trecho Sul do Rodoanel, região da represa Guarapiranga e Bororés, os quais foram ensaiados no IPT para caracterização de suas granulometrias, cujos parâmetros para classificação seguem a NBR 6502 e USDA, 1975. Os resultados indicam que o solo tipo 1, apresentado na tabela 4 e gráfico 1, é uma argila²³ arenosa pouco siltosa, e o solo tipo 2, apresentado na tabela 5 e gráfico 2, é um silte²⁴ arenoso pouco argiloso. Durante os ensaios realizados foram analisados principalmente os parâmetros de turbidez²⁵, através de amostras coletadas em três pontos, antes do lançamento do efluente, a montante da cerca filtrante de geotêxtil e a jusante da mesma. A escolha por esse parâmetro deve-se as observações em campo de seus elevados índices, mesmo após prévio tratamento em dispositivos de controle de sedimentos. Também foram analisadas a massa de material retido e a lâmina d'água formada atrás da cerca em ensaios repetidos, simulando eventos de chuva sequenciais sem o esgotamento total da cerca filtrante.

Quadro 2 – Classificação granulométrica dos solos segundo NBR 6502, e USDA, 1975

		0,002mm 0,060mm		0,200mm		0,600mm		2,00mm (NBR 6502)	
Argila	Silte	Areia Fina		Areia Média		Areia Grossa		Cascalho	
		Areia Muito Fina	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa	Areia Muito Grossa			
		0,002mm	0,053mm	0,125mm	0,250mm	0,500mm	1,00mm	2,00mm (USDA, 1975)	

Fonte: IPT (Anexo F - Relatório Técnico nº 113.217-205/09)

²³A fração argila do solo é formada por partículas menores que 0,002mm, segundo NBR 6502.

²⁴A fração silte do solo é constituída por partículas esféricas de dimensões entre 0,05 - 0,002mm(NBR 6502).

²⁵A turbidez é a medida da dificuldade de um feixe de luz atravessar uma certa quantidade de água, conferindo uma aparência turva à mesma. Essa medição é feita com o turbidímetro ou nefelômetro, que compara o espalhamento de um feixe de luz ao passar pela amostra, com o de um feixe de igual intensidade, ao passar por uma suspensão padrão. Quanto maior o espalhamento, maior será a turbidez. Os valores são expressos, normalmente, em Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT), ou em mg/l de SiO₂ (miligramas por litro em Sílica).

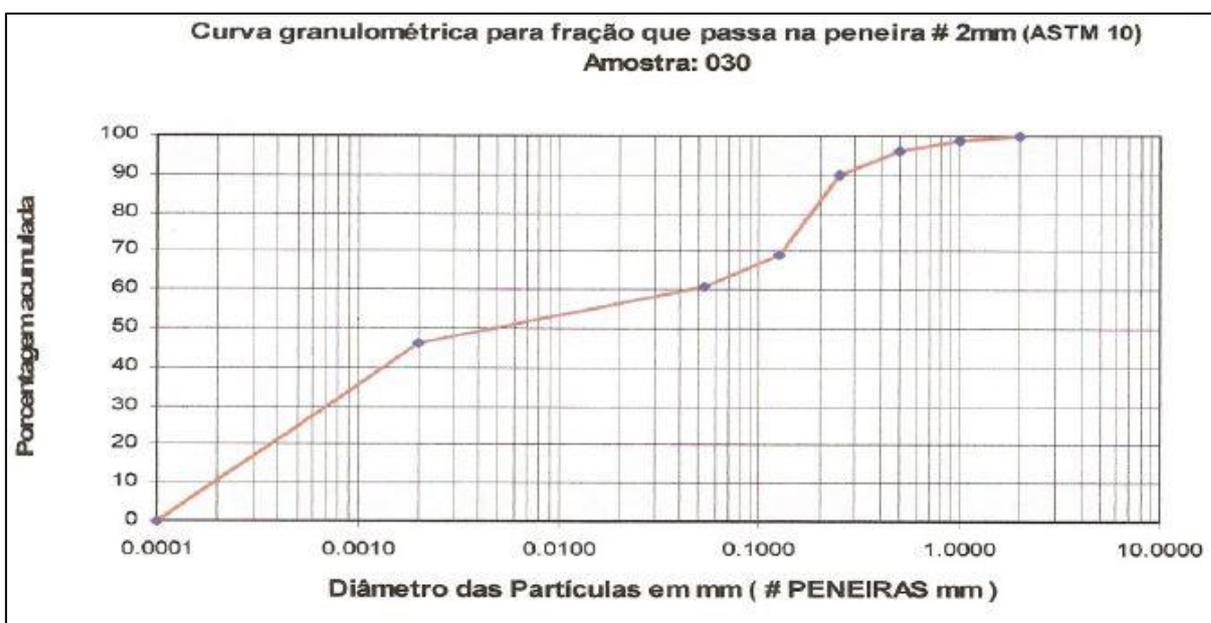
Tabela 4 – Solo tipo 1 - Resultados da análise granulométrica, classificação USDA-1975, para a fração passante em peneira com abertura #2mm (ASTM 10)

Número de Ordem do LRAC	Designação do Cliente	Classe Textural	Argila (%)	Silte (%)	Frações da Areia Total				
					Muito Fina (%)	Fina (%)	Média (%)	Grossa (%)	Muito Grossa (%)
193	030	Argilosa	46,0	15,0	8,0	21,0	6,0	3,0	1,0

Nota: Cascalho e/ou Grãos retidos na peneira # 2mm = 0,0% da amostra coletada.

Fonte: IPT (Anexo F - Relatório Técnico nº 113.217-205/09)

Gráfico 1 – Curva granulométrica da amostra do solo tipo 1 – Argila arenosa pouco siltosa (Classificação USDA,1975)



Fonte: IPT (Anexo F - Relatório Técnico nº 113.217-205/09)

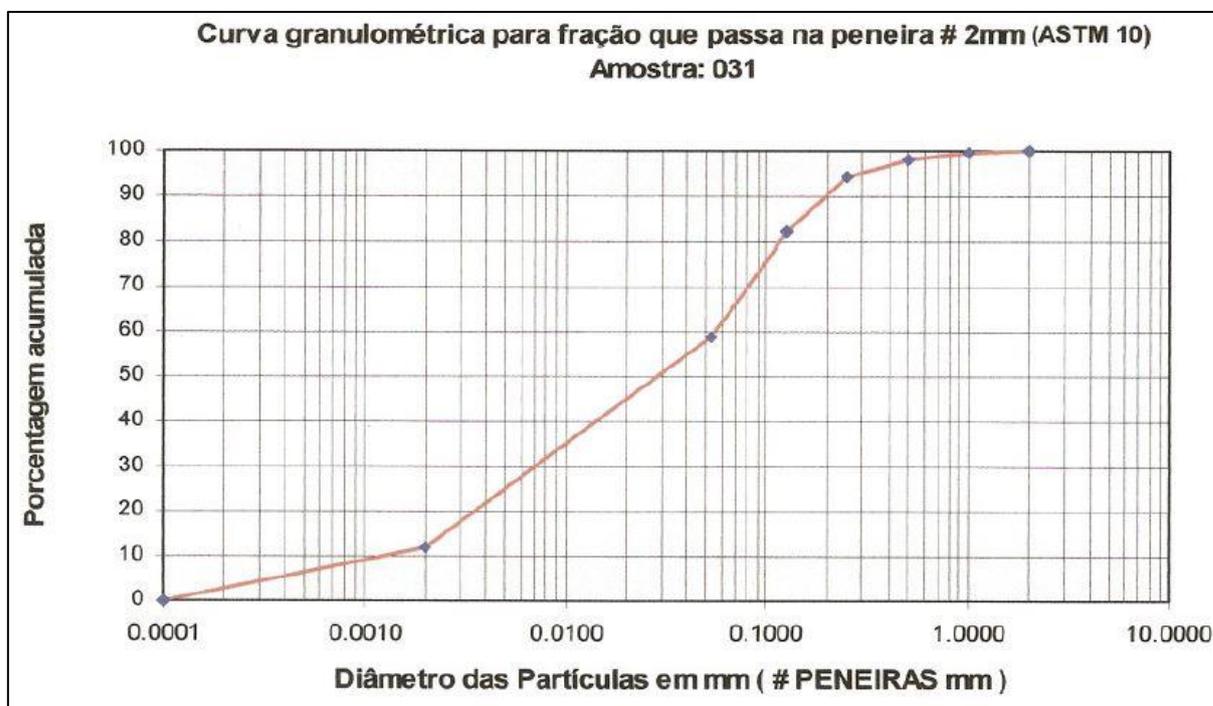
Tabela 5 – Solo tipo 2 - Resultados da análise granulométrica, classificação USDA-1975, para a fração passante em peneira com abertura #2mm (ASTM 10)

Número de Ordem do LRAC	Designação do Cliente	Classe Textural	Argila (%)	Silte (%)	Frações da Areia Total				
					Muito Fina (%)	Fina (%)	Média (%)	Grossa (%)	Muito Grossa (%)
194	031	Média	12,0	47,0	23,0	12,0	4,0	1,5	0,5

Nota: Cascalho e/ou Grãos retidos na peneira # 2 mm = 1,0% da amostra coletada.

Fonte: IPT (Anexo F - Relatório Técnico nº 113.217-205/09)

Gráfico 2 – Curva granulométrica da amostra do solo tipo 2 – Silte arenoso pouco argiloso (Classificação USDA,1975)



Fonte: IPT (Anexo F - Relatório Técnico nº 113.217-205/09)

Foram realizadas três campanhas de ensaios: na 1ª campanha, com uso do solo predominantemente argiloso (46%) e membrana geotêxtil não tecida, foram realizadas 11 repetições do ensaio, com valores iniciais médios de turbidez do efluente em 500 UNT; na 2ª campanha, com uso do solo predominantemente siltoso (47%) e membrana geotêxtil não tecida, foram realizadas 9 repetições do ensaio, com valores iniciais médios de turbidez do efluente em 800 UNT; na 3ª campanha, com uso do solo predominantemente argiloso e membrana geotêxtil tecida, foram realizadas 10 repetições do ensaio, com valores iniciais médios de turbidez do efluente em 500 UNT. Em todas as campanhas as amostras para aferição inicial de turbidez foram coletadas na superfície, meio e fundo da caixa de lançamento, com agitação constante. Também em todas as campanhas, no penúltimo ensaio não foi adicionado solo e no último ensaio foi realizada limpeza superficial da membrana geotêxtil com “escova”.

Nos Quadros 2, 3 e 4 são descritos os resultados dos ensaios para as três campanhas referidas.

Quadro 2 – Resultados para a primeira campanha de ensaios

Ensaio Baseado na norma D 5141 da ASTM										Data de início:17/03/09			
1. Tipo de Ensaio: Sequência de chuvas na mesma manta até colmatção								2. Número: 1					
3. Identificação do solo: amostra 30													
3.1 Lote: 04			3.2 Estaca: 33205				3.3 Denominação: Praça do Pedágio						
3.4 Bacia/Sub-bacia: Guarapiranga – corpo principal do reservatório/D5													
3.5 Unidade geotécnica: 3XT (Morros Baixos - xisto e filito)													
3.6 Ensaio granulométrico: solo argilo arenoso								3.6.1. Referência: solo 30					
4. Condição inicial do ensaio													
4.1 Especificação da manta: tipo A													
4.2 Quantidade de água: 200 litros								4.3 Quantidade de solo: 450 g					
4.4 Concentração da mistura: 2,25 g/l													
5. Medições													
Ensaio	Vazão média (l/s)	Turbidez Inicial (Com agitação)				Turbidez Final (Sem agitação)		Turbidez Final (Com agitação)				T _{min}	Espelho d'água restante (cm)
		S	M ₂₅	F	M	S	F	1	2	3	M		
1	1,6	331	521	683	511	101	120	189	344	204	246	56	50
2	1,65	543	559	569	557	106	125	296	297	303	299	68	82
3	1,7	448	500	510	486	58	119	206	182	219	202	60	65
4	1,8	398	434	395	409	58	66	264	265	243	257	65	76
5	1,7	530	559	612	567	24	23	58	55	53	55	60	115
6	1,8	432	522	527	497	114	136	248	226	231	235	67	86
7	1,85	468	554	588	537	54	56	108	120	107	111	60	93
8	1,65	460	466	505	477	57	70	211	208	205	208	63	106
9	1,7	571	535	487	531	17	14	41	46	57	48	60	125
10	1,5	2	1	2	2	34	35	73	72	68	71	64	125
11	2	515	559	525	533	90	174	299	293	292	295	67	113
5.1 Continuação das medições													
Ensaio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Dia	17	17	24	24	27	27	28	28	29	29	30		
Manta	Um.	Um.	Seca	Um.	Seca	Um.	Um.	Um.	Um.	Um.	Um.		
Extravasou	Não	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não		
Início do ensaio	242	277	-	-	485	-	313	747	1000*	151	1000*		
30 min.	4	2	1	2	3	3	9	4	4	7	172		

Fonte: IPT (Anexo F - Relatório Técnico nº 113.217-205/09)

Quadro 3 – Resultados para a segunda campanha de ensaios

Ensaio baseado na norma D 5141 da ASTM													Data início: 25/05/09								
1. Tipo de Ensaio: Sequência de chuvas na mesma manta até colmatção													2. Número: 2								
3. Identificação do solo: 31																					
3.1 Lote: 04				3.2 Estaca: 33205				3.3 Denominações: Praça do Pedágio													
3.4 Bacia/Sub-bacia: Guarapiranga – corpo principal do reservatório/D5																					
3.5 Unidades geotécnica: 3XT (Morros Baixos - xisto e filito)																					
3.6 Ensaios granulométricos: solo mais siltoso													3.6.1. Referência: solo 31								
4.1 Especificação da manta: tipo A																					
4.2 Quantidades de água: 200 litros						4.3 Quantidades de solo: 400 gramas															
4.4 Concentração da mistura: 2,00 g/l																					
5. Medições																					
Ensaio	Vazão Média	Turbidez Inicial (com agitação)				Turbidez Final (sem agitação) 60 min.		Turbidez Final (com agitação) 60 min.	TS ₁₂		TC ₁₂	Altura no fundo espelho d'água (60 min.) cm	Comprimento espelho d'água restante a cada 60 min. de ensaio (cm)								
		S	M ₂₅	F	M	S	F	M ₃	S	F			60	120	180	240	300	360	420		
1	1,7	585	662	800	682	165	240	394	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
2	1,6	734	781	834	783	168	217	344	59	62	253	-	68	43	20	16	-	-	-		
3	1,7	731	758	880	790	214	302	382	46	39	159	-	92	75	59	48	38	31	24		
4	1,6	760	851	884	832	136	158	252	33	28	138	-	110	93	74	65	57	-	-		
5	1,7	761	833	891	828	117	120	216	24	23	123	-	116	105	93	75	70	60	54		
6	1,7	698	743	851	764	109	119	175	26	18	64	2,5	125	125	102	99	91	82	78		
7	1,7	676	764	790	743	101	94	152	24	26	66	2,0	125	121	111	103	95	89	84		
8	1,7	1,9	2,5	3,8	2,7	103	117	174	23	25	62	2,9	125	123	114	107	98	93	-		
9	1,6	724	679	598	667	281	303	392	28	54	221	-	123	119	108	97	86	77	72		
<ul style="list-style-type: none"> Abreviações: S=superfície da caixa d'água; M₂₅=25 cm de profundidade da caixa d'água; F=próximo ao fundo da caixa d'água; M=média das medições; M₃=média de 3 medições com desvio padrão máximo de 22 UNT no 5º ensaio; T.FL= Turbidez do Fluxo a jusante da manta; s= turbidez a montante da manta na superfície; m= turbidez a montante da manta a meia profundidade; f= turbidez a montante da manta no fundo; TS₁₂= Turbidez final sem agitação após mais de 12 horas; TC₁₂=Turbidez final com agitação após mais de 12 horas; Mil*= Turbidez Máxima medida pelo turbidímetro; As medições de turbidez estão em Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT). 																					
Ensaio	Data	Manta	Extravasou	T. Fl. no tempo em minutos																	
				2	30	60	120	180	240	300	360										
1	25/05	Seca	não	581	10	-	-	-	-	-	-	-	-								
2	25/05	Úmida	não	746	23	-	-	-	-	-	-	-	-								
3	26/05	Úmida	não	972	32	-	-	-	-	-	-	-	-								
4	27/05	Úmida	não	Mil*	29	18	4	2,1	1,5	0,3	-	-	-								
5	28/05	Úmida	não	Mil*	45	10	9	4,1	1,7	0,2	0,3	-	-								
6	29/05	Úmida	não	Mil*	87	46	22	10	4,48	3,8	2,8	-	-								
7	30/05	Úmida	não	Mil*	76	61	37	21	11	5,7	4,2	-	-								
8	03/06	Úmida	não	Mil*	54	37	19	14	12	8,3	6,9	-	-								
9	04/06	Úmida	não	Mil*	96	42	31	11	9	7,2	7,9	-	-								
Outras medições: Foram retiradas amostras para obtenção de valores de turbidez no vertedouro (fluxo a jusante da manta) no início do ensaio (durante a vazão alta da mistura pela manta), após 30min e seqüencialmente com intervalos de 60 minutos. O espelho d'água foi medido seqüencialmente com intervalo de 60 min. até o fim do fluxo pela manta																					
Ensaio	Turbidez no canal a montante da manta																				
	2 min.			30 min.			60 min.			120 min.			180 min.			240 min.			300 min.		
	s	m	f	s	m	f	s	m	f	s	m	f	s	m	f	s	m	f	s	m	f
1	691	752	738	231	-	311	-	118	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	682	833	873	407	-	463	-	302	-	-	164	-	-	97	-	-	93	-	-	-	-
3	889	938	984	343	540	689	360	376	405	-	-	-	-	-	89	-	-	73	-	-	-
4	901	980	738	466	508	612	334	432	472	316	322	350	150	-	252	94	-	223	55	-	161
5	994	Mil*	Mil*	361	510	592	370	462	501	271	347	365	188	245	280	-	-	-	-	-	-
6	831	Mil*	Mil*	603	621	616	442	538	553	339	363	383	298	318	316	283	261	269	224	236	246
7	859	Mil*	Mil*	564	545	646	337	431	451	236	274	328	275	272	263	243	245	268	196	207	216
8	457	593	610	328	356	391	293	372	430	188	220	224	140	181	214	115	-	160	109	-	149
9	698	893	903	434	514	537	319	412	443	233	289	324	218	219	252	181	191	200	146	152	174

Fonte: IPT (Anexo F - Relatório Técnico nº 113.217-205/09)

Quadro 4 – Resultados para a terceira campanha de ensaios

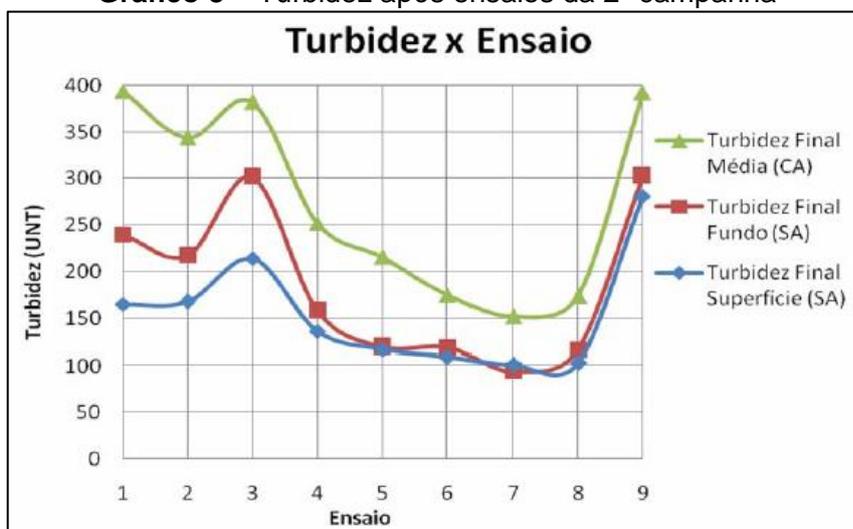
Ensaio baseado na norma D 5141 da ASTM																	Data início: 23/06/09						
1. Tipo de Ensaio: Seqüência de chuvas na mesma manta até colmatação															2. Número: 3								
3. Identificação do solo:																							
3.1 Lote: 04					3.2 Estaca: 33205					3.3 Denominações: Praça do Pedágio													
3.4 Bacia/Sub-bacia: Guarapiranga – corpo principal do reservatório/D5																							
3.5 Unidades geotécnica: 3XT (Morros Baixos - xisto e filito)																							
3.6 Ensaio granulométricos: solo argiloso										3.6.1. Referência: solo 30													
4.1 Especificação da manta: tecida																							
4.2 Quantidades de água: 200 litros										4.3 Quantidades de solo: 450 gramas													
4.4 Concentração da mistura: 2,25 g/l																							
5. Medições																							
Ensaio	Vazão Média (l/s)	Turbidez Inicial (com agitação)				Turbidez Final (sem agitação) 60 min.		Turbidez Final (com agitação) 60 min.				TS ₁₂		TC ₁₂	Altura no fundo espelho d'água (60 120 180 240 min.)	Comprimento espelho d'água restante a cada 60 min. de ensaio (cm)							
		S	M ₂₅	F	M	S	F	1	2	3	M	S	F										
		cm																60	120	180	240	300	360
1	1,6	576	501	611	563	65	67	113	117	123	118	3	6,5	50	2,0	125	115	109	99	95	87	82	
2	1,6	452	495	581	509	95	102	191	195	178	188	9	13	80	0,5	125	117	108	97	-	-	-	
3	1,7	499	544	572	538	107	94	174	162	177	171	5,6	6,8	109	1,3	125	117	114	100	93	89	84	
4	1,6	504	538	585	542	89	104	206	192	180	193	2,1	3,8	93	1,3	125	123	113	103	99	93	89	
5	1,7	571	543	591	568	103	123	201	205	198	201	6,1	15	90	3,0 0,5	125	125	123	114	109	104	99	
6	1,6	423	454	437	438	82	86	163	174	169	169	2	2,5	55	3,8 1,8 0,6	125	125	125	123	116	114	110	
7	1,7	402	450	464	439	81	93	167	178	165	170	6,5	7,9	57	4,4 2,7 1,6 0,7	125	125	125	125	125	122	119	
8	1,7	414	444	501	453	107	110	209	222	213	215	2,2	2,5	69	3,7 2,4 1,3 0,4 0,1	125	125	125	125	125	123	-	
9	1,7	10	4	9	8	95	110	227	218	247	231	2,8	3,2	78	4,0 2,5 1,7 0,9 0,5	125	125	125	125	125	123	119	
10	1,7	411	481	601	498	119	125	252	271	264	262	1,2	1,6	80	4,0 2,5 1,9 1,1 0,4	125	125	125	125	125	124	121	
<ul style="list-style-type: none"> Abreviações: 																							
S=superfície da caixa d'água; M ₂₅ =25 cm de profundidade da caixa d'água; F=próximo ao fundo da caixa d'água; M=média das medições; M ₃ =média de 3 medições com desvio padrão máximo de 9 UNT no 2º ensaio; T.FL.= Turbidez do Fluxo a jusante da manta; T. Mont.= Turbidez no canal a montante da manta; s= turbidez a montante da manta na superfície; m= turbidez a montante da manta a meia profundidade; f= turbidez a montante da manta no fundo; TS ₁₂ = Turbidez final sem agitação após mais de 12 horas; TC ₁₂ =Turbidez final com agitação após mais de 12 horas; Mil*= Turbidez Máxima medida pelo turbidímetro;																							
<ul style="list-style-type: none"> As medições de turbidez estão em Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT). 																							
Ensaio	Data	Manta e espelho d'água do ensaio anterior			Extravasou	Turbidez Fl.																	
						2	30	60	120	180	240	300	360										
1	23/06	Seca			Não	302	78	36	26	9,3	3,7	3,1	1,7										
2	24/06	Úmida (23 cm)			Não	409	100	25	13	10	5,3	-	-										
3	25/04	Úmida (37 cm)			Não	687	90	56	27	15	6,7	5,1	4,5										
4	26/06	Úmida (44 cm)			Não	635	89	57	30	17,5	13	8	4										
5	29/06	Seca			Não	573	131	76	48	30,3	19	7,5	6,7										
6	30/06	Úmida (55 cm)			Não	636	97	47	24	18	7,2	3,2	2,8										
7	02/07	Úmida (28 cm)			Não	790	104	49	23	10	5	3,5	3,5										
8	03/07	Úmida (71 cm)			Não	690	91	40	18	10	2	3,5	3,2										
9	06/07	Seca			Não	748	81	68	26	18	3,4	2,6	2,7										
10	08/07	Úmida			Não	649	94	78	42	28	17	10	4,8										
Outras medições: Foram retiradas amostras para obtenção de valores de turbidez no vertedouro (fluxo a jusante da manta) no início do ensaio (durante a vazão alta da mistura pela manta), após 30min e seqüencialmente com intervalos de 60 min. O espelho d'água foi medido seqüencialmente com intervalo de 60 min. até o fim do fluxo pela manta																							
Ensaio	Turbidez Mont. 2 min.			Turbidez Mont. 30 min.			Turbidez Mont. 60 min.			Turbidez Mont. 120 min.			Turbidez Mont. 180 min.			Turbidez Mont. 240 min.			Turbidez Mont. 300 min.				
	s	m	f	s	m	f	s	m	f	s	m	f	s	m	f	s	m	f	s	m	f		
1	426	344	304	65	145	159	69	97	116	52	73	80	28	35	46	30	31	31	26	25	29		
2	560	410	514	89	156	147	58	101	132	25	65	71	18	44	43	11	32	37	13	26	30		
3	585	497	517	387	375	305	66	94	122	51	70	76	38	49	55	25	39	37	34	34	36		
4	345	384	397	132	185	215	79	114	139	42	68	87	35	54	57	36	37	46	27	30	32		
5	530	628	782	107	194	204	96	112	143	43	59	77	47	61	79	48	38	55	29	36	36		
6	646	698	737	105	135	159	77	90	104	49	70	75	36	42	48	10	27	35	10	25	32		
7	Mil*	Mil*	Mil*	119	141	167	78	102	128	54	64	80	42	44	75	39	41	45	36	38	55		
8	675	857	892	107	155	176	58	100	120	59	66	79	44	52	58	31	44	49	22	32	37		
9	671	721	673	131	176	178	82	90	111	50	62	88	31	43	57	26	34	37	26	28	30		
10	581	573	656	103	155	162	93	108	126	40	67	79	24	50	63	24	39	49	23	30	37		

Fonte: IPT (Anexo F - Relatório Técnico n° 113.217-205/09)

A partir dos resultados detalhados nos quadros 2 a 4, desenvolveram-se 23 gráficos para auxílio no entendimento dos resultados das três campanhas de ensaios, dos quais 4 são apresentados neste trabalho.

O gráfico 3 demonstra os índices de turbidez a jusante da cerca filtrante, coletados durante a 2ª campanha de ensaios, a altura média na caixa coletora do efluente filtrado e com agitação (CA), e no fundo e superfície da caixa sem agitação (SA). Os resultados demonstram valores decrescentes nas sequencias dos ensaios, o que indica aumento da eficiência para controle de turbidez conforme aumenta a camada de finos que colmata a membrana geotêxtil, formando um pré filtro no sistema. O índice volta a subir a partir do penúltimo ensaio, quando é lançada a água sem adição de solo, sugerindo a suspensão dos sedimentos decantados a montante do geotêxtil, e no último ensaio, que ocorreu após a limpeza do geotêxtil com “escova”.

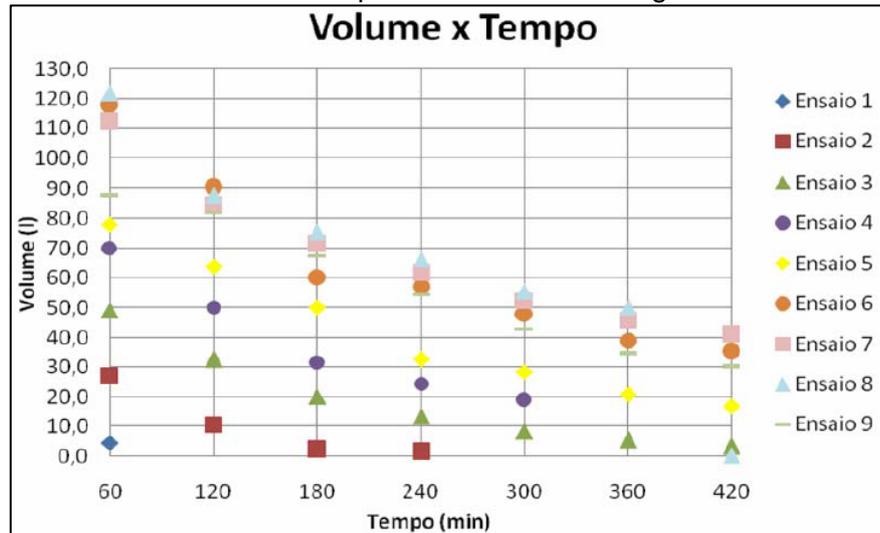
Gráfico 3 – Turbidez após ensaios da 2ª campanha



Fonte: IPT (Anexo F - Relatório Técnico nº 113.217-205/09)

O gráfico 4 representa o volume de efluente retido a montante da cerca filtrante a cada hora após os ensaios da 2ª campanha. Por meio deste fica evidente a restrição a vazão causada pelo sistema conforme aumenta a camada de sedimentos finos que colmata a membrana geotêxtil.

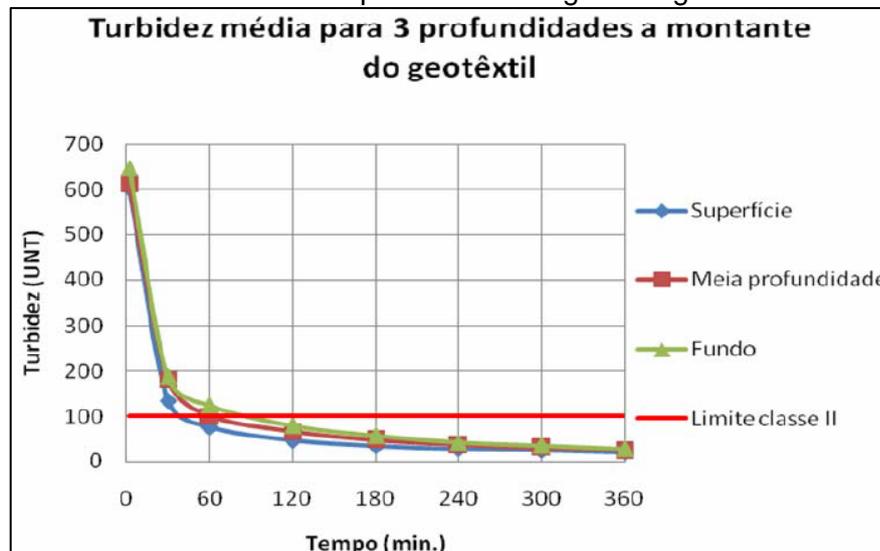
Gráfico 4 –Volume de mistura a montante da cerca filtrante a cada hora de ensaio durante a 2ª campanha – solo siltoso e geotêxtil não tecido



Fonte: IPT (Anexo F - Relatório Técnico nº 113.217-205/09)

O gráfico 5, resultante das amostras coletadas na 3ª campanha de ensaios, na lâmina de água acumulada a montante da cerca filtrante a cada 60 minutos, em diferentes alturas, demonstra que a turbidez do efluente reduz com o tempo pelo processo de decantação. Com esses valores é possível observar a possibilidade de implementação de alternativas para esgotamento da bacia através de sifões e bombas de superfície, aumentando sua capacidade volumétrica para o próximo evento.

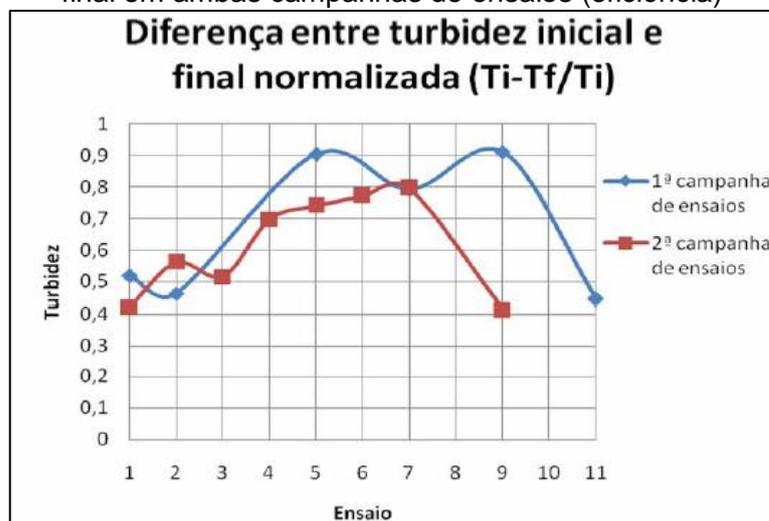
Gráfico 5 – Turbidez média dos 10 ensaios a 3 profundidades e a montante da cerca filtrante: 3ª campanha – solo argiloso e geotêxtil tecido



Fonte: IPT (Anexo F - Relatório Técnico nº 113.217-205/09)

O gráfico 6 compara a eficiência do sistema entre a primeira e segunda campanha de ensaios, com solos predominantemente argiloso e siltoso, respectivamente, desenvolvido a partir da massa total de solo inserido no experimento em relação a massa total retida pela cerca filtrante. Pode-se observar maior eficiência para a primeira campanha, que possui os sedimentos de menor granulometria, e era esperado menor eficiência, o que indica que a formação da camada pré-filtro com acúmulo de sedimentos mais finos resultam em maior eficiência, fato também verificado com o aumento da eficiência em ambas as campanhas ao longo das repetições dos ensaios sem a limpeza do geotêxtil.

Gráfico 6 –Diferença normalizada entre turbidez inicial e final em ambas campanhas de ensaios (eficiência)



Fonte: IPT (Anexo F - Relatório Técnico nº 113.217-205/09)

6.1.1. Comentários

Após a realização dos ensaios, os autores do trabalho concluíram que:

- Para os ensaios realizados com solo e sem limpeza com a manta não-tecida, nos quais não houve extravasamento, há tendência decrescente dos valores medidos para a turbidez final à medida que a manta sofre cegamento e/ou colmatação com as solicitações sucessivas (“enxurradas” sequenciais), porém leve tendência crescente desses valores para o geotêxtil tecido, no qual esses processos ocorrem em menor proporção;
- A redução dos valores de turbidez final encontrada na 1ª e na 2ª campanha se deve ao gradativo “entupimento” dos poros da manta não-tecida, o que diminui sua permeabilidade e promove a retenção mais

eficiente dos finos. Isso promove menor fluxo da mistura pelo geotêxtil, aumentando o tempo para decantação, porém também aumenta o tempo para esvaziamento da bacia;

- Para a manta não-tecida, em relação ao procedimento de limpeza, no 1º ensaio observou-se que a manta completamente limpa apresenta uma menor eficiência do que a encontrada com o decorrer do processo de colmatação e/ou cegamento;
- Para a manta tecida, a eficiência é reduzida com o acúmulo de sedimentos na bacia a montante do geotêxtil, já que o processo de cegamento e/ou colmatação ocorre em menor escala permitindo maior passagem de finos. Contudo o tempo de detenção na bacia se mantém próximo ao do 1º ensaio e o procedimento de limpeza pouco compromete a filtração da mistura, apresentando um funcionamento mais regular;
- Apesar da eficiência de remoção de massa nas campanhas estar situada entre 74%, 85% e 92% (1ª, 2ª e 3ª campanhas, respectivamente), tendo em vista a grande movimentação de terra envolvida em obras rodoviárias, a porcentagem de sedimentos carregados através da manta pode ser significativa para a intensificação do assoreamento das drenagens e dos remansos dos reservatórios. Este cenário tende a se agravar quando considerada a baixa periodicidade de manutenção das barreiras instaladas em campo.

Comparando os dados obtidos pelos ensaios realizados pelo IPT com os obtidos na revisão bibliográfica, nota-se que a cerca filtrante em membrana geotêxtil é um dispositivo largamente usado em sistemas de drenagem provisória de obras devido a sua efetiva eficiência, porém, tal dispositivo deve ser executado levando-se em consideração seu dimensionamento e manutenções constantes, pois o mesmo pode atuar como um filtro do efluente, mesmo que restringindo a vazão do fluxo, mas também pode atuar como barreira para o escoamento pluvial, empossando a água a montante da estratégia ao invés de tratá-la. Esse comportamento, que torna o dispositivo semelhante a uma bacia de sedimentação, deve ser observado no planejamento da execução da cerca filtrante, provendo ao dispositivo uma área a montante para uso como reservatório e drenos para coleta da água superficial

acumulada, preferencialmente um dreno que consiga acompanhar as mudanças de cota da água acumulada, descartando a jusante da estratégia um efluente com menos sedimentos possível.

6.2 Ensaios em laboratório realizados pelo autor – Monitoramento do índice de sólidos sedimentáveis.

As cercas filtrantes ou barreiras com uso de membrana geotêxtil, são estratégias comumente utilizadas em obras sustentáveis orientadas e monitoradas pelo Centro de Tecnologia de Edificações (CTE), as quais possuem como objetivo o controle de erosão e sedimentação nos sistemas de drenagem provisória, visando o atendimento a Resolução CONAMA 430 de 2011, que estabelece o limite de 1ml/l de sólidos sedimentáveis em ensaios de 1 hora em cone de “*Imhoff*”. Atuando nestas obras, o autor deste trabalho identificou a necessidade de aprofundamento do conhecimento sobre o desempenho destes sistemas, implementados de forma empírica nos projetos.

Para tanto, com apoio dos técnicos do laboratório do CT-Obras do IPT, foram realizados 11 ensaios em cercas filtrantes. Os ensaios consistiram em: misturar água com solo numa caixa d'água de 1000l (caixa 1), demonstrado na foto 93; lançar este efluente em tanque de dimensões conhecidas, o qual atinge uma barreira constituída por membrana geotêxtil, denominada cerca filtrante, a qual aparece sendo instalada na foto 94; o que atravessa a cerca é coletado por um tubo de PVC e conduzido para um segundo reservatório (caixa 2), conforme esquema representado na figura 14. Foram monitorados o volume e vazão do efluente lançado, e coletadas amostras no lançamento do efluente, antes de atingir a cerca filtrante, visando aferir o índice de sólidos sedimentáveis, e amostras na entrada da caixa 2, visando aferir a vazão e índice de sólidos sedimentáveis ao longo do tempo.

Fotografia 93 – Exemplo de preparação do efluente para os ensaios.



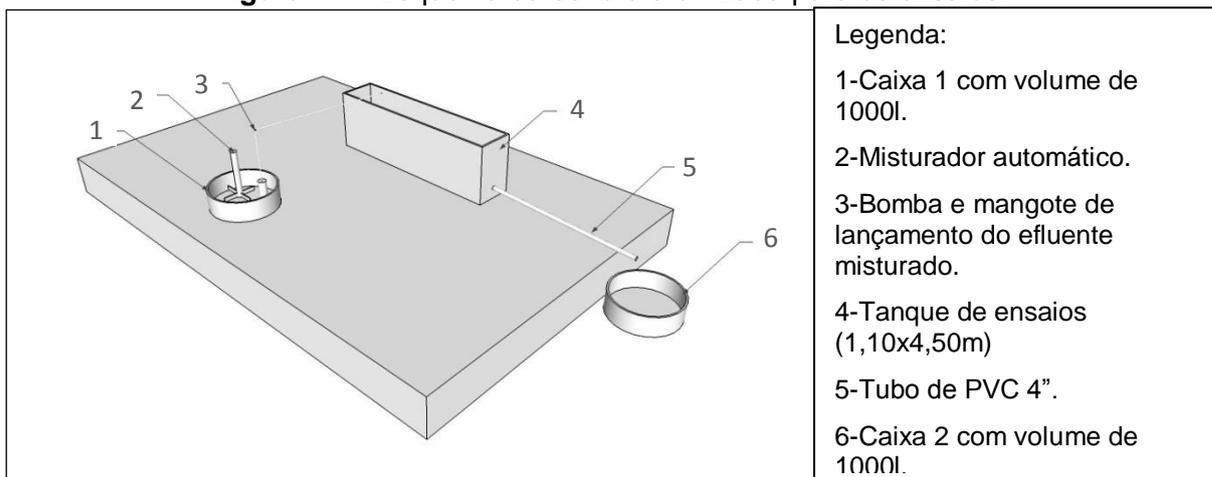
Fonte: O autor (2012)

Fotografia 94 – Exemplo de preparação da cerca filtrante para ensaio.



Fonte: Alan Macedo (2012)

Figura 14 – Esquema da estrutura utilizada para os ensaios.



Fonte: O autor (2012)

Entre os ensaios, as variáveis foram: a gramatura da membrana geotêxtil não tecida, variando entre 130g/m² (GF7/130), 200g/m² (GF10/200) e 500g/m² (GF26/500), cujas propriedades são apresentadas na tabela 6; o tipo de solo usado para preparação do efluente, sendo um uma areia siltosa e outro areia argilosa, ensaiados na Seção de Geotecnia do CT-Obras do IPT, cujos parâmetros são apresentados respectivamente pelos gráficos 7 e 8; e o índice de sólidos sedimentáveis do efluente. Os detalhamentos destas variações entre os ensaios estão apresentados na tabela 7.

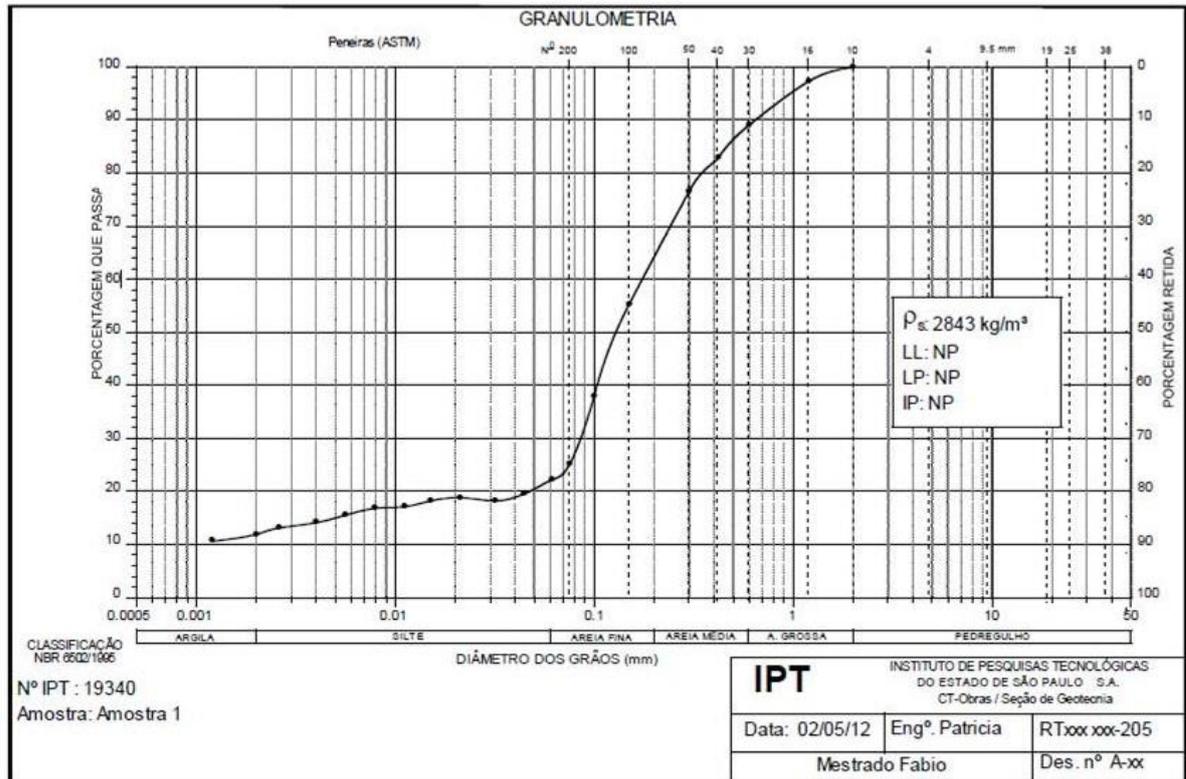
Tabela 6 – Propriedades das Membranas Geotêxteis Utilizadas nos Ensaios

Especificações Técnicas													
Propriedades		Norma	Un	GF7/130	GF8/150	GF9/180	GF10/200	GF14/250	GF16/300	GF21/400	GF26/500	GF31/600	
MECÂNICAS	Resistência à Tração em Faixa Larga	ABNT NBR 12824	T	kN	7	8	9	10	14	16	21	26	31
			%	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70
	Resistência ao Rasgo Trapezoidal	ASTM D 4533	L	kN	6	7	8	9	12	14	19	23	27
			%	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70
Resistência Puncionamento - CBR	ABNT NBR 13359	T	N	160	200	240	260	300	340	540	720	770	
		L	N	170	220	260	280	350	420	620	800	980	
			kN	1,20	1,30	1,55	1,80	2,35	2,60	3,60	4,90	6,00	
HIDRÁULICAS	Permissividade	ASTM D 4491	s ⁻¹	2,35	2,1	1,85	1,77	1,48	1,31	1,02	0,87	0,74	
	Permeabilidade Normal	ASTM D 4491	cm/s	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
	Transmissividade	ASTM D 4716	m ² /s	6,00E-06	7,00E-06	8,00E-06	9,00E-06	1,10E-05	1,20E-05	1,50E-05	1,80E-05	2,10E-05	
	Abertura de Filtração (O95)	AFNOR G 38017	µm	160	150	140	130	120	110	80	70	60	
Retenção de Asfalto			Task Force 25#8	l/m ²	1,3	1,5	1,8	2					
FÍSICAS	Comprimento Bobina*		m	100									
	Largura Bobina*		m	2,15 E 4,30									
	Matéria Prima		100% Poliéster ou 100% Polipropileno										
	Ponto de Fusão		100% Poliéster - 260°C / 100% Polipropileno - 165°C										

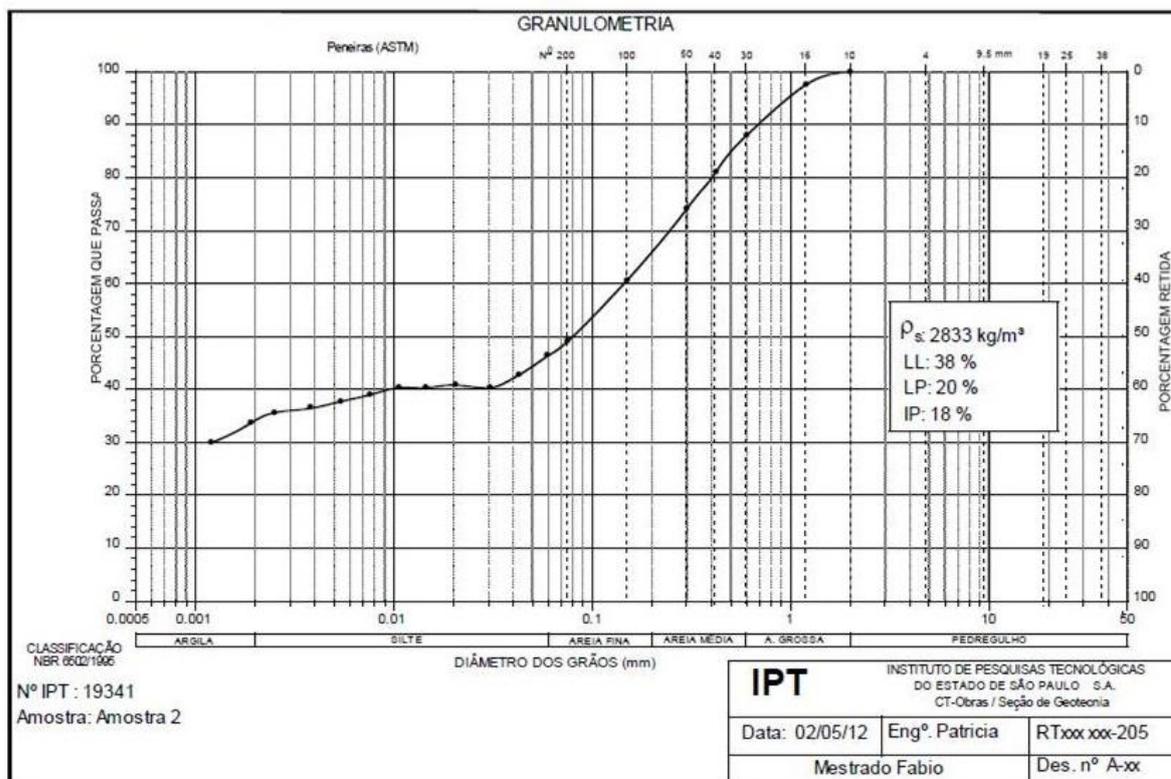
Os valores apresentados representam uma média de ensaios realizados em diversos laboratórios e têm caráter indicativo. * Larguras e comprimentos especiais podem ser fabricadas mediante consulta. A OBER S.A. reserva o direito de alterar os valores apresentados sem prévio aviso.

Fonte: OBER (2012)

Gráfico 7 – Ensaio granulométrico - solo areia siltosa (Amostra 1)



Fonte: IPT (CT-Obras/ Seção de Geotecnia)

Gráfico 8 – Ensaio granulométrico - solo areia argilosa (Amostra 2)

Fonte: IPT (CT-Obras/ Seção de Geotecnia)

Tabela 7 – Demonstrativo das variações da membrana geotêxtil e tipo de solo por ensaio.

Ensaio	Gramatura da membrana geotêxtil	Tipo de solo	Índice médio de sólidos sedimentáveis do efluente lançado*	Estado inicial da membrana geotêxtil da cerca filtrante
Ensaio 1	130 g/m ²	Sem adição de solo	0ml/l	Produto novo
Ensaio 2**	130 g/m ²	Areia siltosa	100ml/l	Produto novo
Ensaio 3	130 g/m ²	Areia siltosa	110ml/l	Produto novo
Ensaio 4	130 g/m ²	Areia siltosa	42ml/l	Usada e sem limpeza*** em relação ao ensaio 3
Ensaio 5	130 g/m ²	Areia siltosa	25ml/l	Produto novo
Ensaio 6	130 g/m ²	Areia siltosa	20ml/l	Usada e sem limpeza em relação ao ensaio 5
Ensaio 7	200 g/m ²	Areia siltosa	20ml/l	Produto novo
Ensaio 8	200 g/m ²	Areia siltosa	15ml/l	Usada e sem limpeza em relação ao ensaio 7
Ensaio 9	200 g/m ²	Areia siltosa	110ml/l	Produto novo
Ensaio 10	200 g/m ²	Areia argilosa	20ml/l	Produto novo
Ensaio 11	500 g/m ²	Areia argilosa	20ml/l	Produto novo

*Coleta do efluente no seu lançamento ao tanque de ensaios. Resultado é a média aritmética dos valores das amostras.

** Ensaio interrompido por falha na estanqueidade da barreira de membrana geotêxtil.

***A limpeza é a retirada dos sedimentos aderidos a membrana geotêxtil com uso de água.

Fonte: O autor (2013)

A dimensão da cerca filtrante ensaiada em laboratório, 0,60m de altura por 1,06m de largura, representa a escala real encontrada em um canteiro de obras; com isso pode-se tratar os resultados obtidos como proporcionais ao metro linear de cerca filtrante que seria executada em campo. As fotos 95 e 96 representam, respectivamente, as partes da cerca filtrante durante sua montagem e a mesma fixa já no tanque antes de um ensaio.

Fotografia 95 – Montagem da cerca filtrante com membrana geotêxtil.



Fonte: O autor (2012)

Fotografia 96 – Cerca filtrante fixa no tanque de ensaios, com as laterais e base vedadas.



Fonte: O autor (2012)

Fazendo uma comparação entre os dados obtidos nos ensaios com a realidade em campo, devido as dimensões do tanque de ensaio e do volume médio de água com sedimentos lançado por teste (450l), pode-se considerar por exemplo, que os ensaios representam na média, uma chuva forte de 25mm (EPA, 2012) no período de 5 minutos em uma área de contribuição impermeável atrás da cerca equivalente a aproximadamente 18m^{226} por metro linear da cerca filtrante. A respeito da declividade deste terreno de contribuição suposto, se considerado que nos ensaios em laboratório a maior altura da lâmina de água junto a cerca filtrante foi 0,15m, isso representaria um terreno com declividade de aproximadamente 2,5% para o exemplo anterior. Pode-se ainda simular que caso o terreno possuísse uma declividade superior a 19%, o volume de água que chegaria a cerca iria ultrapassar a altura de $2/3$ da cerca (40cm), formando uma área de alagamento de aproximadamente 2,10m de comprimento a montante da cerca, e que provavelmente

²⁶ Resultado obtido pela divisão de 450l por 25l. Sabe-se que 25mm de chuva equivale a 25l por m^2 , portanto, são necessários 18m^2 para o volume de 450l.

extravasaria a cerca, devido a “barriga”/deformação formada no geotêxtil pela pressão da água num caso real (CTE, 2013).

Em todos os ensaios realizados, observou-se que a fração areia do solo sedimentava-se antes mesmo de atingir a cerca filtrante, como pode ser observado na foto 97 durante a limpeza do tanque após um ensaio. Desta forma a membrana geotêxtil foi submetida quase que exclusivamente à efluentes de água com silte ou argila, que são as frações do solo mais leves e que são efetivamente carregadas com as enxurradas em condições reais. Este fato torna o ensaio ainda mais próximo das situações a que são submetidos estes dispositivos em campo.

Também observa-se em todos os ensaios que devido a colmatação da membrana geotêxtil pelos grãos de silte ou argila, o desempenho do material para retenção de finos melhora ao longo do tempo. Pela foto 98 é possível observar certa espessura de silte aderido a cerca filtrante onde a membrana foi limpa.

Fotografia 97 – Fração areia do solo sedimentada no início do tanque de ensaios.



Fonte: O autor (2012)

Fotografia 98 – Colmatação da membrana geotêxtil por camada de silte.



Fonte: O autor (2012)

As principais conclusões obtidas em cada ensaio são apresentadas nos tópicos abaixo, sendo que os detalhes dos processos e resultados de cada amostra coletada nos ensaios, os comentários e as conclusões completas de cada ensaio, assim como os registros fotográficos dos mesmos e os cálculos realizados para a simulação apresentada anteriormente, estão descritos no Apêndice B deste trabalho (Relatório de ensaios em laboratório – Compilação dos dados obtidos).

Principais resultados obtidos por ensaio:

- Ensaio 1: Identificou-se que a membrana geotêxtil, mesmo quando submetida ao fluxo de água²⁷ sem a adição de solo, atua com restrição a vazão do fluído.
- Ensaio 2: O ensaio foi interrompido devido a falha na estanqueidade da cerca filtrante, que permitiu a passagem do efluente por baixo do dispositivo, que apesar de pouco, poderia influenciar nos resultados que seriam obtidos.
- Ensaio 3: O sistema com membrana geotêxtil 130g/m² não apresentou bom desempenho como filtro para vazões superiores a 70l/min, pois reteve mais de 50% do efluente inicialmente com 100ml/l de sólidos sedimentáveis a montante da cerca filtrante após 24 horas do ensaio, além de não ter tratado o efluente que atravessou a membrana geotêxtil a índices de sólidos sedimentáveis médios abaixo de 1ml/l. As fotos 99 e 100 evidenciam o desempenho do sistema como uma barreira, após a colmatção da membrana geotêxtil.

Fotografia 99 – Efluente retido a montante da cerca filtrante com aproximadamente 10 minutos do ensaio 3.



Fonte: O autor (2012)

Fotografia 100 – Membrana geotêxtil praticamente colmatada após aproximadamente 10 minutos do ensaio 3.



Fonte: O autor (2012)

- Ensaio 4: Simulando uma chuva sequencial sem que houvesse a manutenção da cerca filtrante (limpeza da membrana geotêxtil e retirada do solo acumulado a montante da cerca), o sistema comportou-se como uma barreira,

²⁷ A água utilizada para preparação dos efluentes ensaiados foi proveniente da caixa d'água do sistema de combate a incêndio do CT-Obras do IPT, não sendo previamente tratada ou alterada nenhuma de suas características.

permitindo uma vazão de passagem próxima de zero e praticamente isenta de sólidos sedimentáveis.

- Ensaio 5: Reduzindo o índice de sólidos sedimentáveis do efluente para aproximadamente 25ml/l, nos primeiros 5 minutos, a restrição à vazão é menor, apesar de ainda muito elevada - em torno de 75% de redução da vazão inicial; porém, os índices de sólidos sedimentáveis são altos, em média superior a 3ml/l. Após os primeiros 5 minutos de ensaio os índices de sólidos sedimentáveis estão abaixo de 1ml/l, porém, a restrição à vazão é superior a 90%, chegando a 99% após 1 hora de ensaio.

- Ensaio 6: Simulando uma chuva sequencial com índices em torno dos 25ml/l com a cerca filtrante sem manutenção, assim como no ensaio 4, o sistema também atua como uma barreira, restringindo a vazão a menos de 95% logo nos primeiro minutos, porém, tratando o efluente que passa a índices satisfatórios de sólidos sedimentáveis.

- Ensaio 7: O sistema de cerca filtrante com membrana geotêxtil de 200g/m², obteve um desempenho satisfatório em relação a retenção de sedimentos, e superior ao desempenho da membrana geotêxtil de 130g/m², porém, com uma restrição à vazão alta.

- Ensaio 8: Também a membrana geotêxtil de 200g/m² em simulação de evento sequencial de chuva, sem prévia manutenção, atua como uma barreira, empoçando a montante da cerca praticamente todo efluente lançado.

- Ensaio 9: Quando a membrana geotêxtil de 200 g/m² é submetida a efluentes com índices de sólidos sedimentáveis em torno de 110ml/l, obtém-se desempenho satisfatório em relação a retenção de sedimentos, abaixo de 1ml/l, porém, com uma restrição à vazão ainda maior do que nos ensaios anteriores, como pode-se observar na foto 101, que demonstra a entrada do efluente com sedimentos no tanque, e na foto 102, que apresenta o efluente após a passagem pela cerca.

Fotografia 101 – Efluente a partir do solo areia siltosa, com 110ml/l de sólidos sedimentáveis, sendo lançado no tanque durante ensaio 9.



Fonte: O autor (2012)

Fotografia 102 – Efluente isento de sólidos sedimentáveis na entrada da caixa 2, após passagem pela membrana geotêxtil de 200g/m² durante ensaio 9.



Fonte: O autor (2012)

- Ensaio 10: Com uso do solo predominantemente argiloso e membrana geotêxtil de 200g/m², o sistema apresenta resultados satisfatórios para uso como filtro de efluentes em torno de 20ml/l de sólidos sedimentáveis, permitindo toda passagem do volume lançado no tanque em menos de 24 horas, e com índice médio de sólidos sedimentáveis abaixo de 1ml/l, porém, ainda apresentando grande turbidez. A foto 103 apresenta o resultado de sólidos sedimentáveis da amostra coletada no lançamento do efluente no tanque durante o ensaio 10.

- Ensaio 11: A membrana geotêxtil de 500g/m², uma das mais espessas para o tipo de material, manteve o índice de sólidos sedimentáveis do efluente tratado abaixo de 1ml/l, porém, seu desempenho foi similar ao da membrana geotêxtil de 200g/m², mantendo o índice de turbidez elevado, como pode ser observado na foto 104, retirada durante a coleta de amostra na entrada da caixa 2.

Fotografia 103 – Ensaio com efluente argiloso preparado para o ensaio 10. Resultado: 17,5ml/l de sólidos sedimentáveis.



Fonte: O autor (2012)

Fotografia 104 – Efluente argiloso mesmo após passagem por membrana geotêxtil de 500g/m² durante ensaio 11 ainda apresenta alta turbidez, apesar de isento de sólidos sedimentáveis.

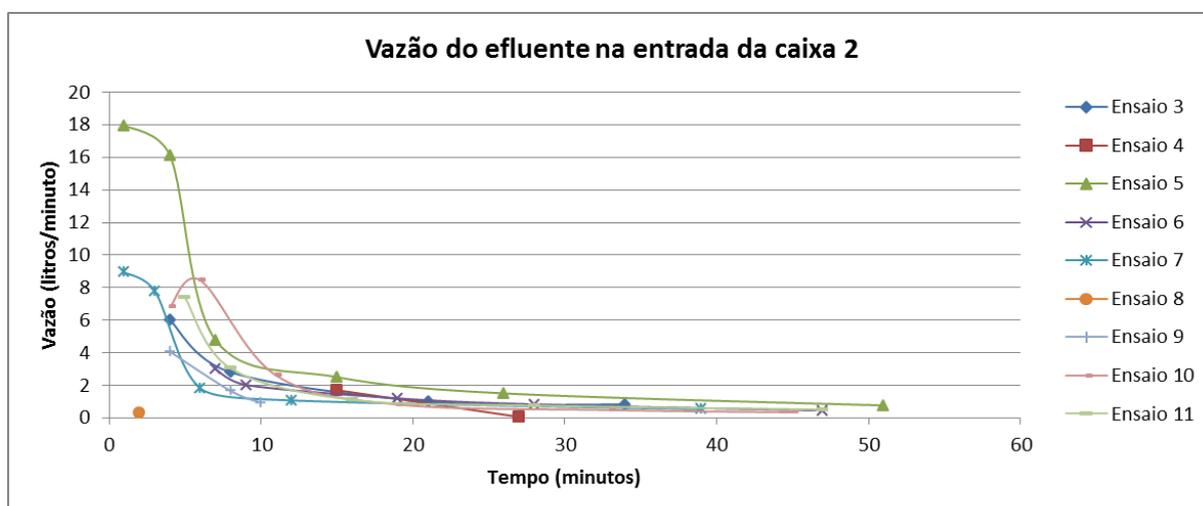


Fonte: O autor (2012)

Os próximos tópicos apresentam afirmações elaboradas a partir de observações sobre todos os ensaios em conjunto:

- A vazão de passagem do efluente pela cerca filtrante é baixa em todas as tipologias de membrana geotêxtil ensaiadas (130, 200 ou 500g/m²), seja com a adição do solo com silte ou argila, como pode-se observar no gráfico 9, que apresenta a vazão de entrada do efluente na caixa 2 pelo tempo dos ensaios. Como não foi adicionado solo ao efluente do ensaio 1 e o ensaio 2 foi interrompido ao início, eles não são apresentados neste gráfico.

Gráfico 9 – Vazão do efluente na entrada da caixa 2.

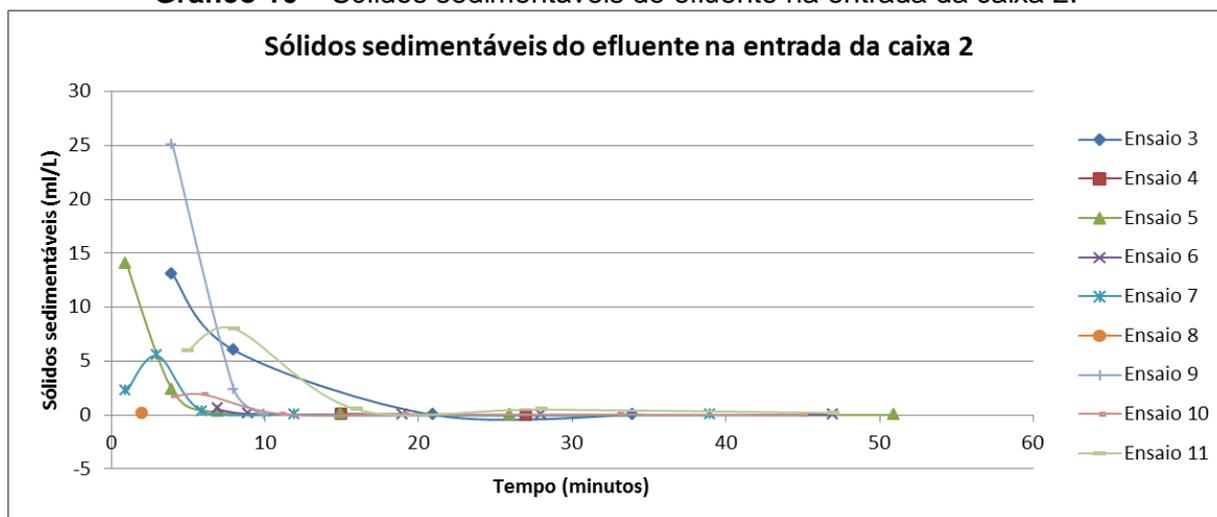


Fonte: O autor (2012)

- A média do índice de sólidos sedimentáveis no efluente de solo tipo areia siltosa que ultrapassou o geotêxtil de 200 g/m², é igual ou inferior ao índice de sólidos sedimentáveis que ultrapassou a membrana geotêxtil de 130g/cm², sendo que esta última apresentou um desempenho insatisfatório no ensaio 3.
- Nos dois ensaios com solo tipo areia argilosa os índices de sólidos sedimentáveis estiveram abaixo de 1ml/l, tanto para a membrana geotêxtil de 200g/m² quanto para de 500g/m², assim como nos dois ensaios a turbidez manteve-se elevada.
- Sem manutenção da cerca filtrante entre um ensaio e outro o sistema torna-se resistente à passagem do efluente, podendo ser considerado uma barreira e não um filtro.

O gráfico 10 abaixo apresenta os índices de sólidos sedimentáveis ao longo de tempo, evidenciando sua queda abrupta em todos os ensaios logo nos primeiros minutos.

Gráfico 10 – Sólidos sedimentáveis do efluente na entrada da caixa 2.



Fonte: O autor (2012)

6.2.1. Comentários

O que se pode concluir através dos ensaios e das observações feitas anteriormente, é que:

- A membrana geotêxtil de 200g/m² é o material ideal, dentre os analisados, para uso em dispositivos de retenção de sedimentos, tanto para o solo tipo areia siltosa como areia argilosa, pois apresentou resultado superior a membrana de 130g/m², a qual foi reprovada no ensaio 3, e não inferior a membrana de 500g/m², como observado no ensaio 11.
- Os sistemas de cercas filtrantes com membranas geotêxteis são úteis como filtros de sólidos sedimentáveis em projetos que estejam prevendo eventos espaçados de chuvas, e que façam a limpeza e coleta dos sedimentos retidos a montante da membrana (manutenção) entre um evento e outro;
- Para projetos que não contemplem eventos espaçados de chuva, os sistemas são úteis como barreiras do fluxo de água com sedimentos, devendo ser associados a eles outras estratégias para esgotamento da água retida a montante da cerca filtrante, como coletores da lâmina superficial do efluente, que possui melhores condições de sólidos sedimentáveis;
- o projeto de drenagem provisória com uso destes dispositivos deve ser dimensionado considerando a possibilidade de retenção de volumes de água superiores a um evento de chuva de 25mm, permitindo seu desempenho correto em eventos de chuvas sequenciais.

7 CONCLUSÕES

Atendendo aos objetivos do trabalho, foram expostas as principais causas e problemas relacionados aos sistemas de drenagem provisória de obras, bem como as diversas boas práticas e estudos sobre as estratégias aplicadas atualmente para controlar a erosão e sedimentação durante a construção de edifícios urbanos.

Contudo, em relação ao objetivo geral do trabalho, pode-se concluir que:

- Mediante planejamento, dimensionamento e associação dos sistemas que compõem a prevenção e controle à erosão e sedimentação em obras, é possível garantir a qualidade da água de drenagem provisória segundo os padrões da Resolução CONAMA 430/11, permitindo seu descarte sem poluir os recursos hídricos do planeta, e sem causar problemas à população ou atrasar o cronograma das construções.

Em relação aos objetivos específicos elencados, conclui-se que:

- A finalidade da drenagem provisória durante a execução de obras está diretamente relacionada a necessidade de liberar as frentes de serviço para as atividades de produção na construção, coletando a água acumulada no terreno e lançando direta ou indiretamente no sistema de captação pluvial público.
- As Infraestruturas que compõe os sistemas de drenagem provisória são dedicadas a proteção do solo contra a erosão, transporte de água pelo terreno, retenção de sedimentos presentes na água de drenagem e controle de sua qualidade antes de ser retirada da obra.
- As principais condições em obra que podem interferir na qualidade da água de drenagem são os solos expostos e a ausência do controle sobre os fluxos de água sobre o terreno.
- A drenagem provisória das obras, quando lança no sistema público de captação pluvial uma água que não atende aos parâmetros regulamentados de sólidos sedimentáveis, contribui para o assoreamento de galerias pluviais e córregos, estando portanto relacionada aos fenômenos das enchentes e inundações em meio urbano.
- A análise do desempenho da membrana geotêxtil pode comprovar que este material é eficiente para uso em dispositivos para retenção de sedimentos em fluxos de água, porém, devido a alta restrição à vazão exercida por ele, seu

emprego em sistema de drenagem provisória de obra não deve ser pensado como filtro, mas sim como barreira de sedimentos, prevendo condições para acúmulo e tratamento da água de drenagem no terreno.

O trabalho também evidenciou os riscos que existem quando a drenagem provisória da obra está irregular, sendo eles: risco para o negócio do empreendedor, por envolver possibilidade de multas e sanções devido ao não atendimento a legislação local; risco para a sociedade, por promover a degradação do patrimônio público e privado devido às enchentes e inundações, além de expor a população a vetores de transmissão de doenças, e risco para o meio ambiente, por influenciar na redução da qualidade da água pluvial escoada, contribuindo para a degradação de meios aquáticos.

Como sugestão para aprofundamento nos estudos relacionados ao controle de erosão e sedimentação em drenagem provisória, há carência de estudos que direcionem o dimensionamento dos sistemas de drenagem provisória de obras, por meio de pesquisa sobre, por exemplo: taxas de infiltração e escoamento pluvial de água nos diferentes tipos de solos e declividades; ensaios de campo sobre permeabilidade de solos quando protegidos por diferentes espécies vegetais, e pesquisas sobre usos de flocculantes para tratamento de águas turvas em grandes vazões.

REFERÊNCIAS

AGENCIA DE INFORMAÇÃO EMBRAPA. **Consulta geral a homepage oficial.** Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 28 dez. 2012.

ALMEIDA JUNIOR, A. G. **Avaliação de técnicas utilizadas para proteção dos recursos hídricos na implantação de rodovias:** estudo de caso do Rodoanel Mario Covas - Trecho Sul. 2011. 116f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo IPT, São Paulo, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-10520:** Informação e documentação citações em documentos – Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2002. 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-10556:** Águas - Determinação de resíduo sedimentável (sólidos sedimentáveis) - Método do cone de Imhoff. Rio de Janeiro: ABNT, 1988. 2p.

ASSOREADOS, Tietê e Pinheiros transbordam. **Estadao.com.br**, São Paulo, 12 jan. 2011. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/noticias/impresso,assoreados-tiete-e-pinheiros-transbordam,665056,0.htm>> Acesso em: 09 set. 2012.

BERTOL, O. J. et al. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um inceptisol sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.28, n.3, mai. 2004. Disponível em: <www.scielo.com.br> Acesso em: 17 dez. 2012.

BERTOL, O. J. et al. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.31, n.4, jun. 2007. Disponível em: <www.scielo.com.br> Acesso em: 17 dez. 2012.

BITAR, O. Y. et al. Prevenção e controle geoambiental na fase de construção de rodovias: o caso do Trecho Sul do Rodoanel de São Paulo. In: SIMPÓSIO SOBRE OBRAS RODOVIÁRIAS: RODOVIAS SUSTENTÁVEIS, 3.2010, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABGE, 2010.

BRASIL ESCOLA. **Consulta a homepage sobre a definição de fitoplâncton.** Disponível em: <www.brasilecola.com/biologia/glossario-biologia.htm>. Acesso em: 03 mar. 2013.

BRASIL. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como

estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Ministério do Meio Ambiente e Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA**. Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>> Acesso em: 16 out. 2012.

BRASIL. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.

Ministério do Meio Ambiente e Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.

Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>

Acesso em: 16 out. 2012.

BUCHANAN, J. R.; YODER, D. C.; SMOOT, J. L. Controlling soil erosion on construction sites with steep slopes with wood chips. **ASAE Annual International Meeting**, Wisconsin, jul. 2000. Disponível em: <<http://www.cabdirect.org/>> Acesso em: 20 ago. 2013.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO – CBIC. **Banco de dados**. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/home/construcao-civil-cresceu-24-no-primeiro-semester-de-2012>> Acesso em: 09 set. 2012.

CAMPOS, S. J. A. M. et al. Laboratory evaluation of geotextile performance for turbidity reduction. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR ENGINEERING GEOLOGY AND THE ENVIRONMENT, 11.; 2010, Auckland, New Zealand. **Proceedings...** Boca Raton: CRC Press, 2010a.

CAMPOS, S. J. A. M. et al. Technological alternatives for erosion control in Road construction. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR ENGINEERING GEOLOGY AND THE ENVIRONMENT, 11.; 2010, Auckland, New Zealand. **Proceedings...** Boca Raton: CRC Press, 2010b.

CAMPOS, S. J. A. M. et al. **Relatório técnico 113.217-205/09**: Apoio tecnológico ao desenvolvimento de programas e medidas ambientais da fase de instalação do Trecho Sul do Rodoanel (SP-021) – Atividades de julho/2009. São Paulo: CENTRO DE TECNOLOGIAS AMBIENTAIS E ENERGÉTICAS– CETAE, 2009.

CANDIDO, D. H. **Inundações no município de Santa Bárbara d'Oeste, SP**: condicionantes e impactos. 2007. 235f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas UNICAMP, Campinas, 2007.

CAVALHIERE, C. P. Engenharia ambiental ampla: Estágio de pesquisador nos EUA aumenta competências do IPT na avaliação de impactos e gestão de empreendimentos. **Notícias**, São Paulo, 12 nov. 2012. Disponível em: <http://www.ipt.br/noticia/610-engenharia_ambiental_ampla.htm> Acesso em: 26 nov. 2012.

CENTRO DE TECNOLOGIA DE EDIFICAÇÕES – CTE. **Atuação prática em mais de 150 obras em processo de certificação de edifícios verdes pelo critério LEED do USGreen BuildingCouncil**. São Paulo: 2013.

CENTRO DE TECNOLOGIA DE EDIFICAÇÕES – CTE. **Consulta as orientações técnicas da metodologia de consultoria em obras sustentáveis**. Disponível em: <<https://www.autodoc.com.br/qualidade/>>. Acesso em: 15 set. 2012.

COOPER, M. **LSO 310 - Física do Solo: granulometria e textura do solo**. São Paulo: [s.n.]. [20--?]. Disponível em: <http://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/12833/mod_resource/content/2/Aula%20Textura.pdf> Acessado em: 26 dez. 2012.

DANIEL, T. C. et al. Sediment and Nutrient Yield from Residential Construction Sites. **Journal of Environmental Quality**, Wisconsin, v.8 n.3, jun. 2007.

DEFLOS DEFESA FLORESTAL LTDA. **Consulta geral a homepage oficial**. Disponível em: <<http://www.deflor.com.br/>>. Acesso em: 04 jan. 2013.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. **Consulta geral a homepage oficial**. Disponível em: <<http://www.dae.sp.gov.br/>> Acesso em: 23 abr. 2013.

FERREIRA, A.B.H. **Novo Dicionário Aurélio Básico da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1988.

FIFIELD, J. S. **Designing for effective sediment and erosion control on construction sites**. 2. ed. Santa Barbara: Forester Press, 2004.

FIGUEIREDO, C.; BOZZA, J. L. **Manual técnico de geotêxtil BIDIN**: Obras de proteção ao meio ambiente. São Paulo: Rhodia, 1993. 85p.

FONSECA, K. Eutrofização. **Brasil Escola**. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com>> Acesso em: 27 dez. 2012.

FUNDAÇÕES ESPECIAIS - FUNDESP. **Pesquisa sobre lama bentonítica.**

Disponível em: <http://www.fundesps.com.br/port/pt_04_m2.htm>. Acesso em: 25 fev. 2013.

GREEN BUILDING DESIGNER AND CONSTRUCTION. **LEED reference guide for designer and construction.** Washington: U. S, Green Building Council, 2009.

HARBOR, J. Engineering geomorphology at the cutting edge of land disturbance: erosion and sediment control on construction sites. **Geomorphology**, West Lafayette, v.31, dez. 1999. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/>> Acesso em: 20 ago. 2013.

INFO ESCOLA. **Consulta geral a homepage oficial.** Disponível em: <<http://www.infoescola.com.br>>. Acesso em: 28 dez. 2012.

LANDCON. **Managing Urban Stormwater: Soils and Construction.** 4. ed. New South Wales: New South Wales Government, 2004.

MORGAN, R. P. C. (ed.); RICKSON, R. J. **Slope Stabilization and Erosion Control: A Bioengineering Approach: A Bioengineering Approach.** London, E & FN Spon, 2005.

OLIVEIRA, M. C. **Proposição de técnicas para a prevenção e o controle da intensificação de processos erosivos à montante da captação de água para abastecimento público do município de Cunha.** 2011. 80f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Ambiental) – Centro Universitário SENAC, São Paulo, 2011.

PITT, P. CLARK, S.E. LAKE, D. **Construction site erosion and sediment controls: planning, design and performance.** Lancaster: Destech Publications, 2007.

PORTAL DO GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **SP Notícias.** Disponível em: <<http://www.saopaulo.sp.gov.br/spnoticias/lenoticia.php?id=217555&c=5349>> Acesso em: 09 set. 2012.

RESENDE, F.; CARDOSO, F. F. **Poluição atmosférica por emissão de material particulado: avaliação e controle nos canteiros de obras de edifícios.** São Paulo: EPUSP, 2008. 34 p.

ROCHA, S. A. LOUGON, M. S. GARCIA, G. O. Influência de diferentes fontes de poluição no processo de eutrofização. **Revista Verde de Agrologia e Desenvolvimento Sustentável.** Mossoró, v.4, n.4, p.01, out. 2009. Disponível em: <<http://www.gvaa.com.br>> Acesso em: 27 dez. 2012.

SISTEMA NACIONAL DE INUNDAÇÕES DE SÃO PAULO – SAISP. **Consulta geral a homepage oficial.** Disponível em:

<http://www.saisp.br/estaticos/sitenovo/sobre_radar4.xml?TEXT=4> Acesso em: 23 abr. 2013.

SANTOS, A. R. **Enchentes e deslizamentos**: causas e soluções. São Paulo: PINI, 2012. 136 p.

SANTOS, A. R. **Diálogos Geológicos**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2008. 184 p.

SÃO PAULO (Cidade). Lei nº 13.478, de 30 de dezembro de 2002. Dispõe sobre a organização do Sistema de Limpeza Urbana do Município de São Paulo; cria e estrutura seu órgão regulador; autoriza o Poder Público a delegar a execução dos serviços públicos mediante concessão ou permissão; institui a Taxa de Resíduos Sólidos Domiciliares - TRSD, a Taxa de Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde - TRSS e a Taxa de Fiscalização dos Serviços de Limpeza Urbana - FISLURB; cria o Fundo Municipal de Limpeza Urbana - FMLU, e dá outras providências..**Prefeitura Municipal de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.leismunicipais.com.br/legislacao-de-sao-paulo/216198/lei-consolidada-13478-2002-sao-paulo-sp.html>> Acesso em: 19 set. 2012.

SÃO PAULO (Cidade). Lei nº 13.276, de 4 de janeiro de 2002. Torna obrigatória a execução de reservatório para as águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500,00m² (quinhentos metros quadrados). **Prefeitura Municipal de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.leispaulistanas.com.br/sites/default/files/ReservatorioDeAgua/LEI%2013276.PDF>> Acesso em: 23 abr. 2013.

SÃO PAULO (Cidade). Lei nº 13.522, de 19 de fevereiro de 2003. Dá nova redação a dispositivos e aos anexos I, III, IV e VI da Lei nº 13.478, de 30 de dezembro de 2002, que dispõe sobre a organização do Sistema de Limpeza Urbana do Município de São Paulo; cria e estrutura seu órgão regulador; autoriza o Poder Público a delegar a execução dos serviços públicos mediante concessão ou permissão; institui a Taxa de Resíduos Sólidos Domiciliares (TRSD), a Taxa de Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde (TRSS) e a Taxa de Fiscalização dos Serviços de Limpeza Urbana (Fislurb); cria o Fundo Municipal de Limpeza Urbana - FMLU, e dá outras providências. **Prefeitura Municipal de São Paulo**. Disponível em: <<http://ww2.prefeitura.sp.gov.br//arquivos/secretarias/financas/legislacao/Lei-13522-2003.pdf>> Acesso em: 19 set. 2012.

SÃO PAULO (Estado). Decreto 54.487, de 26 de junho de 2009. Altera a redação e inclui dispositivos e anexos no Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, aprovado pelo Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, que dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente e dá outras providências. **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/documentos/dec_54487_2009.pdf> Acesso em: 19 set. 2012.

SECRETARIA DE VIGILÂNCIA DA SAÚDE. **Cartilha enchentes**. Disponível em: <http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/cartilha_enchentes.pdf> Acesso em: 19 set. 2012.

SOUZA, R. **Diálogos com a construção: qualidade, gestão, sustentabilidade, inovação**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2012a.

SOUZA, R. Inovação na construção, uma prioridade para o futuro próximo. **CTE Notícias**, São Paulo, 14 nov. 2012b. Disponível em: <http://www.cte.com.br/site/informativo_noticia.php?id_artigo=8414> Acesso em: 14 nov. 2012.

VERTEMATTI, J. C. (Coord.). **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES): General Permit for Discharges from Construction Activities**. Disponível em: <<http://cfpub.epa.gov/npdes/>> Acesso em: 16 out. 2012.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Consulta geral a homepage oficial**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/>> Acesso em: 16 out. 2012.

US GREEN BUILDING COUNCIL – USGBC. **Consulta geral a homepage oficial**. Disponível em: <<http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CategoryID=19>>. Acesso em: 15 set. 2012.

ZOCCAL, J. C. **Adequação de erosões: causas, consequências e controle da erosão rural**. In: Soluções cadernos de estudos em conservação do solo e água. Presidente Prudente: CODASP, 2007. v. 1, n.1, mai. 2007. Disponível em: <<http://www.codasp.sp.gov.br>> Acesso: 20out. 2012.

APÊNDICE A

Exemplos de poluição em canteiros de obras e boas práticas para prevenção e controle dos impactos ambientais.

APÊNDICE A

EXEMPLOS DE POLUIÇÃO EM CANTEIROS DE OBRAS E BOAS PRÁTICAS PARA PREVENÇÃO E CONTROLE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS

Documento desenvolvido como complemento a Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Habitação: Planejamento e Tecnologia.

Área de Concentração: Tecnologia de Construção de Edifícios – TCE

Aluno: Fabio Pozzer Rosa

Um canteiro de obras possui diversos poluentes, cujas fontes nem sempre podem ser identificadas - é a chamada poluição difusa - tais como disposição irregular de resíduos e vazamentos de óleo diesel e lubrificantes das máquinas, veículos e equipamentos sobre o solo, que pode ser carregado junto com a água do escoamento superficial, assim como a própria velocidade do escoamento da água sobre os solos expostos, ocasionando processos erosivos e o carregamento de sedimentos.

Nos tópicos que se seguem são apresentadas as principais fontes de poluição da água de drenagem provisória em canteiros de obras, os conceitos sobre a prevenção e controle das fontes de poluição e exemplos de estratégias que podem ser implementadas para minimizar os impactos.

1. Óleo diesel ou óleos lubrificantes

Um canteiro de obras pode possuir diversos equipamentos movidos a óleo diesel ou gasolina,; veículos de carga e descarga de materiais, que podem apresentar vazamentos de óleo nos momentos em que estão circulando pela obra ou aguardando para desempenhar sua função (Foto A1); retroescavadeiras, perfuratrizes, geradores e outras máquinas, que podem apresentar vazamentos durante sua operação, seja pela falta de manutenção preventiva e periódica (Foto A2), descuidos durante o abastecimento (Foto A3) ou em eventuais acidentes, como por exemplo um rompimento de mangueira hidráulica (Foto A4).

Fotografia A1 – Vazamento de óleo de veículo durante a descarga de materiais.



Fonte: O autor (2010)

Fotografia A2 – Turbidez em lagoa dificulta a entrada de luz e reduz qualidade da água.



Fonte: O autor (2010)

Fotografia A3 – Gerador de energia elétrica com evidencia de vazamento durante seu abastecimento com óleo diesel.



Fonte: O autor (2010)

Fotografia A4 – Vazamento de óleo devido a rompimento de mangueira hidráulica da perfuratriz dos tirantes.



Fonte: O autor (2010)

Todos os veículos, máquinas e equipamentos que utilizam combustíveis ou lubrificantes contaminantes, devem ser inspecionados pela obra em sua chegada, visando identificar pontos de vazamento de óleo, o que indicará a necessidade de instalação imediata de sistema de contenção de vazamentos. Estes, em geral, são constituídos por bandejas estanques dispostas abaixo do vazamento (Foto A5), as quais devem passar por verificação e manutenção constantemente. Os equipamentos menores devem estar protegidos de intempéries (Foto A6), para impedir que a água da chuva possa carrear o óleo para o solo, tanto o óleo disposto sobre a carenagem e peças do próprio equipamento ou o acumulado nas bandejas de contenção, e com isso propiciar seu carreamento pelo escoamento pluvial ou sua percolação até o lençol freático (CTE, 2012).

Fotografia A5 – Sistemas de contenção de vazamentos com bandejas plásticas.



Fonte: O autor (2011)

Fotografia A6 – Gerador e depósito de diesel protegidos contra vazamentos e intempéries.



Fonte: O autor (2012)

O local de acondicionamento de óleo diesel no canteiro de obras deve ser constantemente monitorado, devido ao grande risco de ocorrerem vazamentos (Foto A7), risco que pode ser reduzido com o uso de sistemas de abastecimento através de bombas de combustível. Também o acondicionamento e manuseio de peças lubrificadas por óleo, como as formas dos corpos de prova do concreto (Foto A8), devem prevenir a contaminação do solo e estarem em locais protegidos de intempéries (Fotos A9 a A11).

Fotografia A7 – Reservatório de diesel com vazamento no ponto de abastecimento.



Fonte: O autor (2011)

Fotografia A8 – Óleo lubrificante dos moldes dos corpos de prova do concreto, dispostos sem proteção, sendo carregado pelo escoamento pluvial.



Fonte: O autor (2012)

Fotografia A9 – Moldes dos corpos de prova do concreto em bandeja plástica, sistema que controla possíveis vazamentos.



Fonte: O autor (2011)

Fotografia A10 – Bandejas com corpos de prova do concreto protegidas contra intempéries.



Fonte: O autor (2011)

Mesmo com a implementação das ações preventivas contra contaminação, a obra deve estar preparada para a mitigação de possíveis vazamentos de óleo e outros contaminantes no canteiro, pois estes podem ocorrer sobre solos, águas e até mesmo em locais pavimentados. Em todos os casos é necessária a coleta do produto vazado, recolhendo o próprio solo com o produto contaminante impregnado ou através do uso de materiais absorventes (Foto A12), os quais devem ser dispostos sobre o produto contaminante e recolhidos após algum tempo de absorção.

Fotografia A11 – Área para armazenamento temporário de corpos de prova, protegida de intempéries e com contenção de vazamento do óleo lubrificante.



Fonte: O autor (2011)

Fotografia A12 – Funcionário mitigando vazamento de óleo espalhando material absorvente sobre vazamento.



Fonte: O autor (2008)

O resíduo coletado impregnado de óleo, considerado perigoso pela ABNT NBR 10004 de 2004 (Classificação de resíduos sólidos), deve ser acondicionado corretamente no canteiro de obras. Para que essas ações ocorram de forma organizada, é preciso que haja disponível no canteiro de obras o “kit mitigação” (Fotos A13 e A14), disposto em recipiente identificado e na cor laranja, segundo orientação da Resolução CONAMA 275/2001. Este kit deve ser composto basicamente por: pá anti-faísca; material absorvente, como travesseiros e mantas absorventes de hidrocarboneto, ou outros materiais que não sejam inflamáveis, como a vermiculita; recipiente estanque ou saco plástico resistente para acondicionamento temporário do material coletado e EPIs - Equipamentos de Proteção Individuais, tais como luvas e óculos de segurança.

Fotografia A13 – Kit Mitigação disposto nas frentes de serviço da obra.



Fonte: O autor (2012)

Fotografia A14 – Componentes de um Kit mitigação.



Fonte: Arquivo Kauê Fakri (2011)

2. Depósito e manuseio de produtos contaminantes.

São usados diversos produtos químicos para a construção de obras civis: desmoldantes, impermeabilizantes, aditivos para o concreto, adesivos, tintas, etc., produtos que podem contaminar o solo ou serem carregados pelas chuvas. Estes produtos devem ser acondicionados em estruturas especiais, que garantam o controle de possíveis vazamentos durante sua estocagem, como em depósitos de produtos contaminantes (ABNT NRB 12235/1992). Durante seu manuseio, nas frentes de serviços, devem ficar sobre bandejas de contenção de vazamentos e protegidos de intempéries (Foto A15). Em alguns casos, esses produtos não devem ser aplicados em áreas externas em dias com previsão de chuva, por possuírem risco de diluição ou carreamento pelas águas pluviais (Foto A16).

Fotografia A15 – Tanques de óleo diesel e de aditivo do concreto acondicionados protegidos e com uso de mangueira para abastecimento, o que reduz os riscos de vazamentos e acidentes.



Fonte: O autor (2012)

Fotografia A16 – Aplicação de impermeabilizante sobre as sapatas da fundação em dia chuvoso, o produto foi carregado para a água de chuva empossada ao seu redor.



Fonte: O autor (2010)

Caso sejam lavados os pincéis e demais ferramentas que tenham contato com produtos químicos, a lavagem deve ocorrer em sistema fechado, de maneira que o efluente gerado possa ser coletado para destinação correta (Fotos A17 e A18).

Fotografia A17 – Teste para floculação do efluente de lavagem de pincel.



Fonte: O autor (2010)

Fotografia A18 – Sistema para filtragem da borra de tinta após a floculação do efluente de lavagem de pincel.



Fonte: O autor (2010)

3. Acondicionamento temporário de resíduos.

Os resíduos provenientes das atividades de construção, até que sejam retirados e transportados ao seu destino final, ficam acondicionados temporariamente nos canteiros de obras. Neste período, caso estejam em áreas externas diretamente sobre o solo (Foto A19), eles poderão ser transportados pelas

águas pluviais até a infraestrutura da drenagem provisória, contribuindo para o aporte de sedimentos e outros poluentes que terão que ser retirados das águas de drenagem antes do seu descarte.

Todos os resíduos da obra devem ser acondicionados separadamente, segundo a regulamentação pertinente (Resolução CONAMA 357/2002 e 431/2012), e em locais que organizem e controlem o material, como em caçambas de resíduos lacradas (Foto A20) ou em baias de resíduos, executadas em local pavimentado, em cota superior ao solo do entorno e providas de cobertura (Foto A21), impedindo seu deslocamento acidental e mantendo o potencial de reciclagem dos resíduos.

Fotografia A19 – Resíduo disposto diretamente sobre o solo, em risco de ser carreado pelas águas pluviais.



Fonte: O autor (2010)

Fotografia A20 – Acondicionamento temporário de resíduos em caçambas metálicas identificadas e protegidas de intempéries.



Fonte: O autor (2012)

Os resíduos perigosos da obra - areia e solo contaminados com óleo, pincéis, ferramentas e EPIs contaminados, embalagens de produtos químicos, etc. - requerem especial atenção; o acondicionamento destes materiais deve ocorrer em baia isolada e segundo os critérios preconizados pela ABNT NBR 12235/1992, que dispõe sobre o armazenamento de resíduos perigosos (Foto A22), para que sejam destinados em conformidade com as regulamentações locais e a ABNT NBR 10004/2004, que classifica como resíduos perigosos (Classe I) aqueles que sejam inflamáveis, corrosivos, reativos ou patogênicos, e disponibiliza uma tabela com diversos resíduos perigosos conhecidos.

Fotografia A21 – Exemplo de baia para acondicionamento de resíduos (papel e plástico).



Fonte: O autor (2012)

Fotografia A22 – Exemplo de baia para acondicionamento de resíduos perigosos.



Fonte: O autor (2010)

4. Concretagem.

O manuseio do concreto, principalmente nas obras com sistema construtivo em estrutura de concreto armado moldado in loco, deve ser devidamente organizado, pois a nata de cimento, proveniente da operação das betoneiras estacionárias (Foto A23) e dos veículos específicos para bombeamento do concreto (Foto A24), também gerada durante a lavagem das bicas dos caminhões betoneiras (Foto A25), deve ser contida e destinada para decantação, evitando a disposição irregular deste resíduo (NPDES, 2012), que pode atingir a drenagem provisória da obra e alcalinizar a água e o solo, devido ao seu potencial hidrogeniônico¹ alcalino (ABCP, 2013).

Fotografia A23 – Betoneiras estacionárias para produção de argamassa e concreto.



Fonte: O autor (2012)

Fotografia A24 – Caminhão para bombeamento do concreto.



Fonte: O autor (2010)

¹ Índice que indica a acidez ($\text{pH} < 7$), neutralidade ($\text{pH} = 7$) ou alcalinidade ($\text{pH} > 7$) de um meio qualquer, é determinado pela concentração de íons hidrogênio (H^+), quanto maior a concentração dos íons H^+ menor o pH.

O controle desta condição começa com a disposição de bandejas estanques sob o cocho da bomba de concreto (foto A26), para coletar os vazamentos e respingos do processo. Para a lavagem do cocho da bomba ou da bica dos caminhões betoneira, deve ser implantado um sistema de lavagem específico (Fotos A27 e A28), prevendo-se a separação entre a água e a nata de cimento, por decantação, possibilitando assim o reuso da água ou o controle do pH antes do seu descarte.

Fotografia A25 – Lavagem de bica do caminhão betoneira de maneira desorganizada e sobre calha da drenagem provisória da obra.



Fonte: Arquivo Daniel Ohnuma (2007)

Fotografia A26 – Bandeja plástica disposta sob o cocho da bomba de concreto para controlar vazamentos.



Fonte: Arquivo Kauê Fakri (2012)

Fotografia A27 – Sistema de lava bicas dos caminhões betoneiras, preparado para eventual necessidade de tratamento do fator pH do efluente.



Fonte: O autor (2011)

Fotografia A28 – Teste do fator pH da água de lavagem das bicas dos caminhões betoneiras.



Fonte: O autor (2011)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS (APÊNDICE A)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-12235**: Armazenamento de resíduos sólidos perigosos - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 14p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Consulta geral a homepage oficial**. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br>> Acesso em: 05 jan. 2013.

BRASIL. Resolução nº 275, de 25 de abril de 2011. Estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva. **Ministério do Meio Ambiente e Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=273>> Acesso em: 20 out. 2012.

BRASIL. Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Ministério do Meio Ambiente e Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>> Acesso em: 16 out. 2012.

BRASIL. Resolução nº 431, de 24 de maio de 2011. Altera o art. 3º da Resolução no 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso. **Ministério do Meio Ambiente e Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=649>> Acesso em: 16 out. 2012.

APÊNDICE B

Relatório dos Ensaio em Laboratório – Compilação dos Dados Obtidos pelo Autor

CONTROLE DE EROSIÃO E SEDIMENTAÇÃO EM SISTEMAS DE DRENAGEM PROVISÓRIA DE OBRAS

RELATÓRIO DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO - COMPILAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

Considerações iniciais

Objetivos do ensaio

O objetivo do ensaio é estudar o desempenho de membrana geotêxtil não tecida para uso em sistemas de retenção de sedimentos, os quais possuem formato de cerca e são submetidos a fluxos de água misturada com solo. Esses dispositivos são comumente usados em projetos de drenagem provisória de obras, localizadas em pontos estratégicos do terreno, em cotas mais baixas e alinhados com as curvas de nível, receberão a água proveniente do escoamento pluvial superficial, e espera-se que atuem como um filtro, retendo o solo carreado pela chuva e permitindo a passagem da água.

Com os resultados dos ensaios, pretende-se entender o comportamento das cercas filtrantes quanto a sua capacidade para filtrar água com solo diluído, obtendo assim parâmetros/diretrizes para uso destes dispositivos em projetos de drenagem provisória de obras.

Simulações de equivalência do ensaio de laboratório em relação a uma situação real no campo

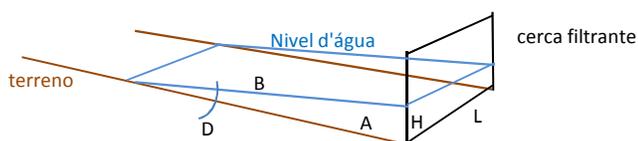
A dimensão da cerca filtrante ensaiada em laboratório, 60 cm de altura por 1,06 m de largura, representa a escala real encontrada em um canteiro de obras, podendo-se tratar os resultados obtidos como proporcionais ao metro linear de cerca filtrante que será executada.

Devido as dimensões do tanque de ensaio e do volume médio de água com sedimentos lançado por teste (450l), pode-se considerar por exemplo que os ensaios representam na média, para uma chuva forte de 25mm*, que a área de contribuição atrás da cerca é equivalente a 18 m² por metro linear da cerca filtrante, ou em outro exemplo, uma chuva de 10mm sobre uma área de 45m² por metro linear de cerca filtrante**.

A respeito da declividade deste terreno de contribuição suposto, se considerado que em laboratório a maior altura da lamina de água junto a cerca filtrante foi 15cm, isso representaria um terreno com declividade de 2,5 % para os exemplos anteriores. Pode-se ainda simular que caso o terreno possui-se uma declividade superior a 17,8 %, o volume de água que chegaria a cerca iria ultrapassar a altura de 2/3 da cerca (40cm), o que provavelmente extravasaria a cerca, devido a barriga/deformação formada no geotêxtil pela pressão da água num caso real.

*Fonte: U.S. Environmental Protection Agency, 2012.

**1 mm de altura de uma coluna/lâmina d'água com cobertura de 1 m², equivale a 1 litro de água.



A = Área do triângulo formado entre a cerca, terreno e nível d'água
B = Base do triângulo formado entre a cerca, terreno e nível d'água
H = Altura do triângulo formado entre a cerca, terreno e nível d'água
L = Largura da cerca

Cálculo simulação:

$A \times L (1,06) = \text{Volume de água (450l)}$, portanto $A = 0,424\text{m}^2$

Área do triângulo = $(B \times H)/2$;

Declividade = H/B ;

se $H = 0,15\text{m}$, logo $B = 5,65\text{m}$ e $D = 0,026$ ou 2,6%

Nomenclaturas e definições utilizadas neste trabalho

Efluente: Água proveniente da rede pública de abastecimento do município de São Paulo, tendo sua composição original alterada em laboratório através da adição exclusiva de solo, cujo processo ocorre em caixa d'água de 1000l provida de misturador automático (Fotografia 8), gerando um fluido de característica próxima a homogeneidade.

Índice de sólidos sedimentáveis: Valor expresso em ml/l, resultado do ensaio de 1 hora de decantação do efluente em "cone de Imhoff", metodologia referenciada pela Resolução CONAMA 430/12 e NBR 10561.

CONTROLE DE EROSIÃO E SEDIMENTAÇÃO EM SISTEMAS DE DRENAGEM PROVISÓRIA DE OBRAS

RELATÓRIO DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO - COMPILAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

Cerca filtrante (Figuras 2 e 3): Conjunto formado por moldura metálica nas dimensões de 1,08 x 0,60 metros, cuja tela tensionada pela moldura é constituída de membrana geotêxtil, a qual permite a passagem de água mas restringe a passagem de solo.

Tanque de ensaios (Fotografias 3 a 6): Tanque totalmente estanque, de secção horizontal de 1,11 x 4,50, caimento médio de 2% até o local de fixação da cerca, local este distante 3,45 metros do início do tanque, determinando uma área de 3,81 m². Foi ajustado para os ensaios a partir de tanque pré existente no laboratório do CT-Obras no IPT, cujo caimento foi gerado por aterro de areia média, sub base de argamassa magra sobre lona plástica, previamente vedada por silicone nas laterais, e superfície de graute (nata de cimento). Local onde ocorre a experiência em si, onde o efluente é analisado durante sua passagem por elemento "filtrante".

Período total do ensaio: Tempo decorrido desde a primeira coleta de amostra referente ao ensaio, ou desde o início do lançamento do efluente no tanque, é expresso numa escala de minutos, sendo o minuto 1 (um) sempre o primeiro minuto do lançamento do efluente na caixa. Os minutos apresentados como negativos representam coleta de amostra anterior ao lançamento de efluente no tanque de ensaios, ou seja, ainda na caixa 1 onde ocorre a preparação do efluente.

Volume de efluente lançado do tanque de ensaios: Definido através da medição do volume de efluente existente na caixa 1 antes do início dos ensaios (equação da área da caixa a meia altura multiplicada pela altura máxima do efluente na caixa), subtraindo-se o volume do efluente que resta na caixa 1 após o ensaio (equação da área da caixa 1 na sua base multiplicada pela altura do efluente na caixa), considerando que o volume de efluente retido no mangote ligado a bomba de lançamento é devolvido para a caixa 1.

Tempo de lançamento do efluente: Expresso em minutos, é cronometrado a partir da visualização da água saindo pelo mangote ligado a bomba e localizado no interior do tanque de ensaios, até sua interrupção.

Vazão média de lançamento do efluente: Considera-se o volume de efluente lançado no tanque de ensaios em função do tempo de lançamento do efluente.

Descrição do ensaio

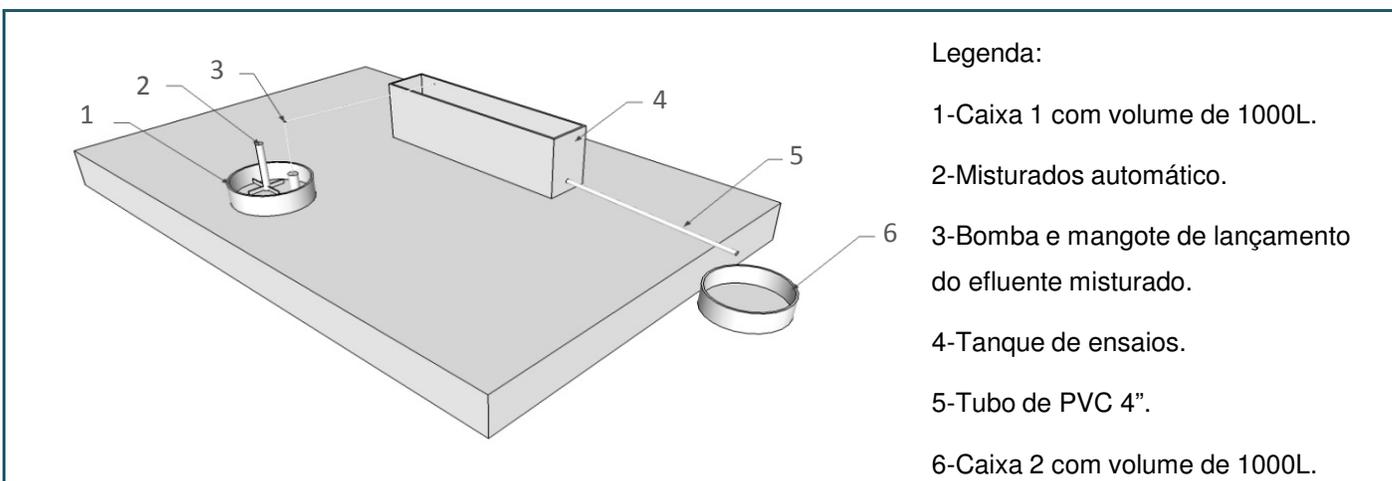


Figura B1: Esquema da estrutura do ensaio

O ensaio consiste em misturar água com solo numa caixa d'água de 1000l (caixa 1), lançar este efluente em tanque de dimensões conhecidas, o qual atinge uma barreira constituída por membrana geotêxtil, denominada cerca filtrante. A água que atravessa a cerca é coletada por um tubo de PVC e conduzida para um segundo reservatório (caixa 2). É monitorado o volume e vazão do efluente lançado, e coletadas amostras no lançamento do efluente, antes de atingir a cerca filtrante, visando aferir o índice de sólidos sedimentáveis, e amostras na entrada da caixa 2, visando aferir a vazão e índice de sólidos sedimentáveis ao longo do tempo.

CONTROLE DE EROSIÃO E SEDIMENTAÇÃO EM SISTEMAS DE DRENAGEM PROVISÓRIA DE OBRAS

RELATÓRIO DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO - COMPILAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

Equipamentos e materiais utilizados nos ensaios

1 - Tanque estanque, com caimento médio de 2% e saída circular com 2" de diâmetro:



Foto B1: Tanque de ensaios



Foto B2: Tanque de ensaios



Foto B3: Detalhe da saída do tanque



Foto B4: Detalhe de preparação do tanque

CONTROLE DE EROSIÃO E SEDIMENTAÇÃO EM SISTEMAS DE DRENAGEM PROVISÓRIA DE OBRAS

RELATÓRIO DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO - COMPILAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

2 - Caixa d'água de 1000 litros (2 unidades)

3 - Mangueira de lona de PVC com 2"

4 - Tubo de 4" para transporte do efluente

5 - Cavalete metálico

6 - Misturador automático trifásico com aletas estendidas de madeira



Foto B5: Caixa d'água 1, cavalete metálico e misturador.



Foto B6: Caixa d'água 2 e tubo de PVC ligado ao tanque

7 - Bomba d'água submersa de 2"



Foto B7: Bomba d'água



Foto B8: Detalhe aleta de madeira e bomba

CONTROLE DE EROSIÃO E SEDIMENTAÇÃO EM SISTEMAS DE DRENAGEM PROVISÓRIA DE OBRAS

RELATÓRIO DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO - COMPILAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

8 - Cinco baldes de 10 litros graduados (calibrados)



Foto B9: Recipientes calibrados antes do ensaio

9 - Recipientes com volume aproximado de 1,5 litros



Foto B10: Becker padrão usado para calibragem

10 - Cone de Imhoff de vidro (calibrado)

12 - Cone de Imhoff de acrílico (calibrado)



Foto B11: Cone de Imhoff de vidro e acrílico

11- Cronometro profissional (calibrado)

13 - Prancheta de anotações, formulários padrão e canetas

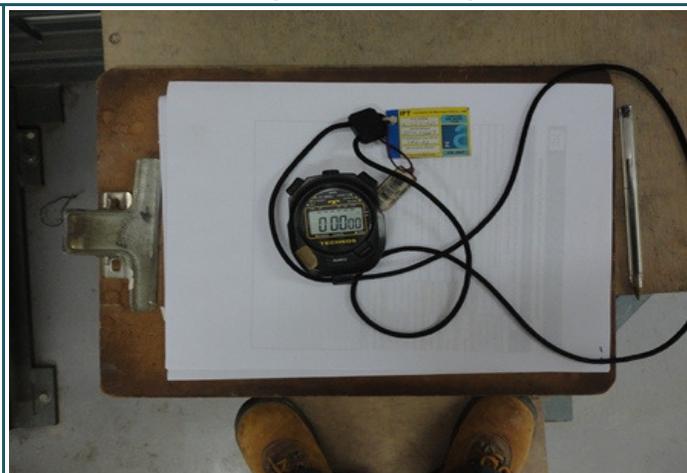


Foto B12: Cronometro

CONTROLE DE EROÇÃO E SEDIMENTAÇÃO EM SISTEMAS DE DRENAGEM PROVISÓRIA DE OBRAS

RELATÓRIO DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO - COMPILAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

14 - Moldura metálica para ensaios de cercas filtrantes

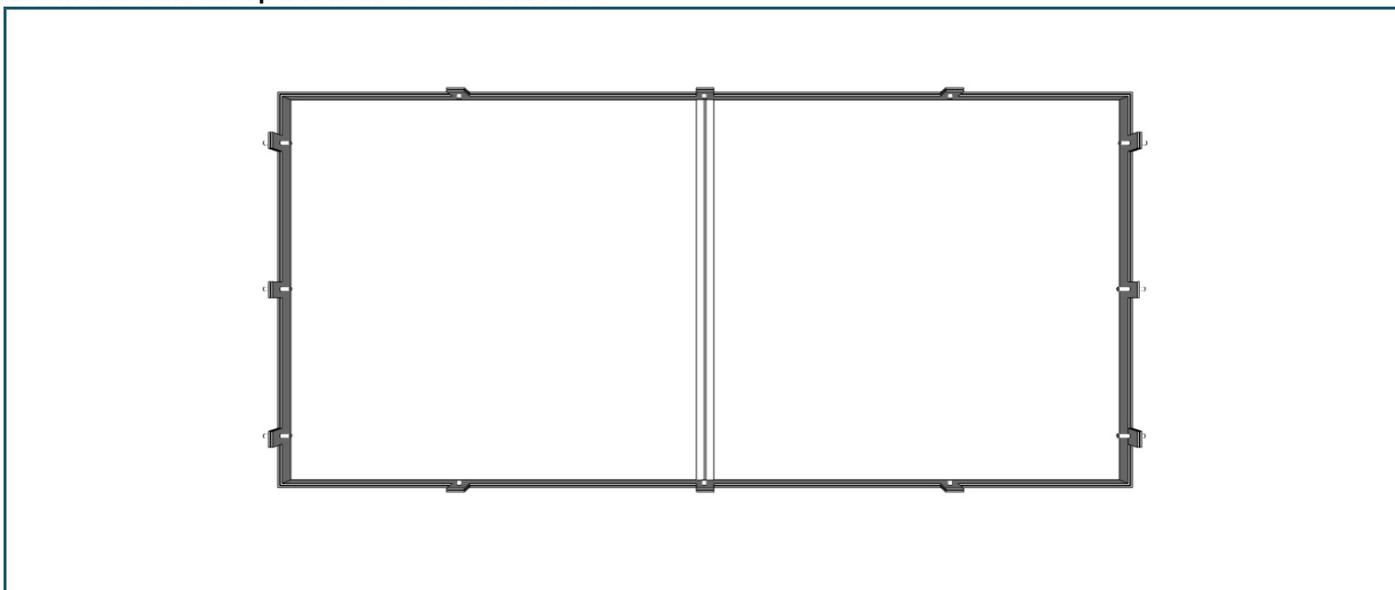


Figura B2: Desenho 3D da moldura metálica

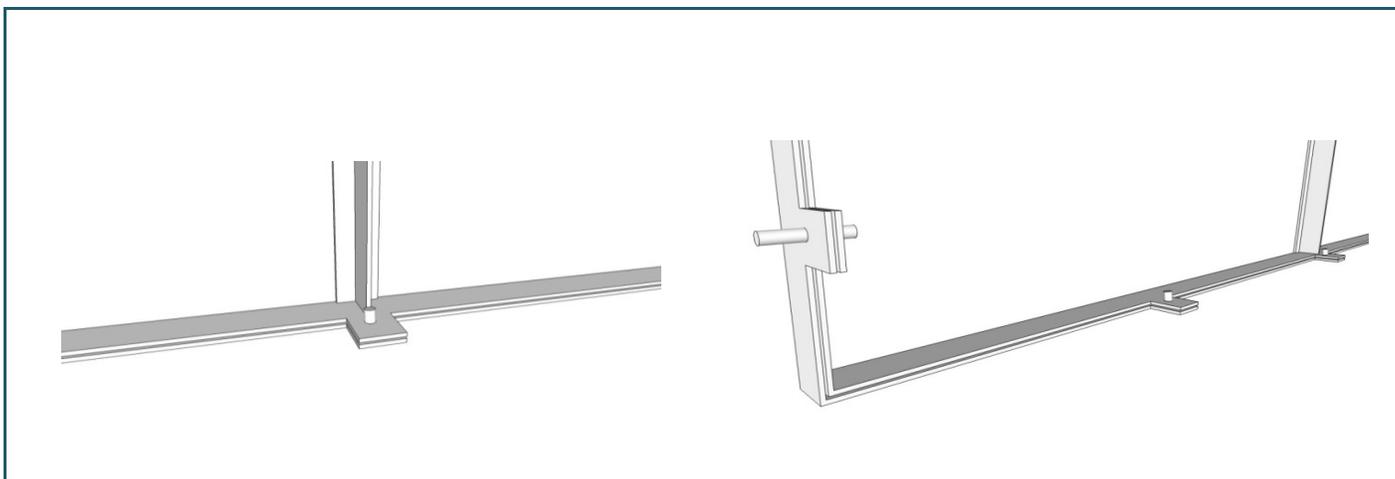


Figura B3: Detalhes do encaixe da moldura metálica

CONTROLE DE EROÇÃO E SEDIMENTAÇÃO EM SISTEMAS DE DRENAGEM PROVISÓRIA DE OBRAS

RELATÓRIO DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO - COMPILAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

15 - Mantas geotêxtil de 130, 200 e 500 gramas por metro quadrado (g/m²)

16 - Solos areia siltosa e areia argilosa



Foto B13: Ensaio tato visual dos solos



Foto B14: Peneiramento do solo

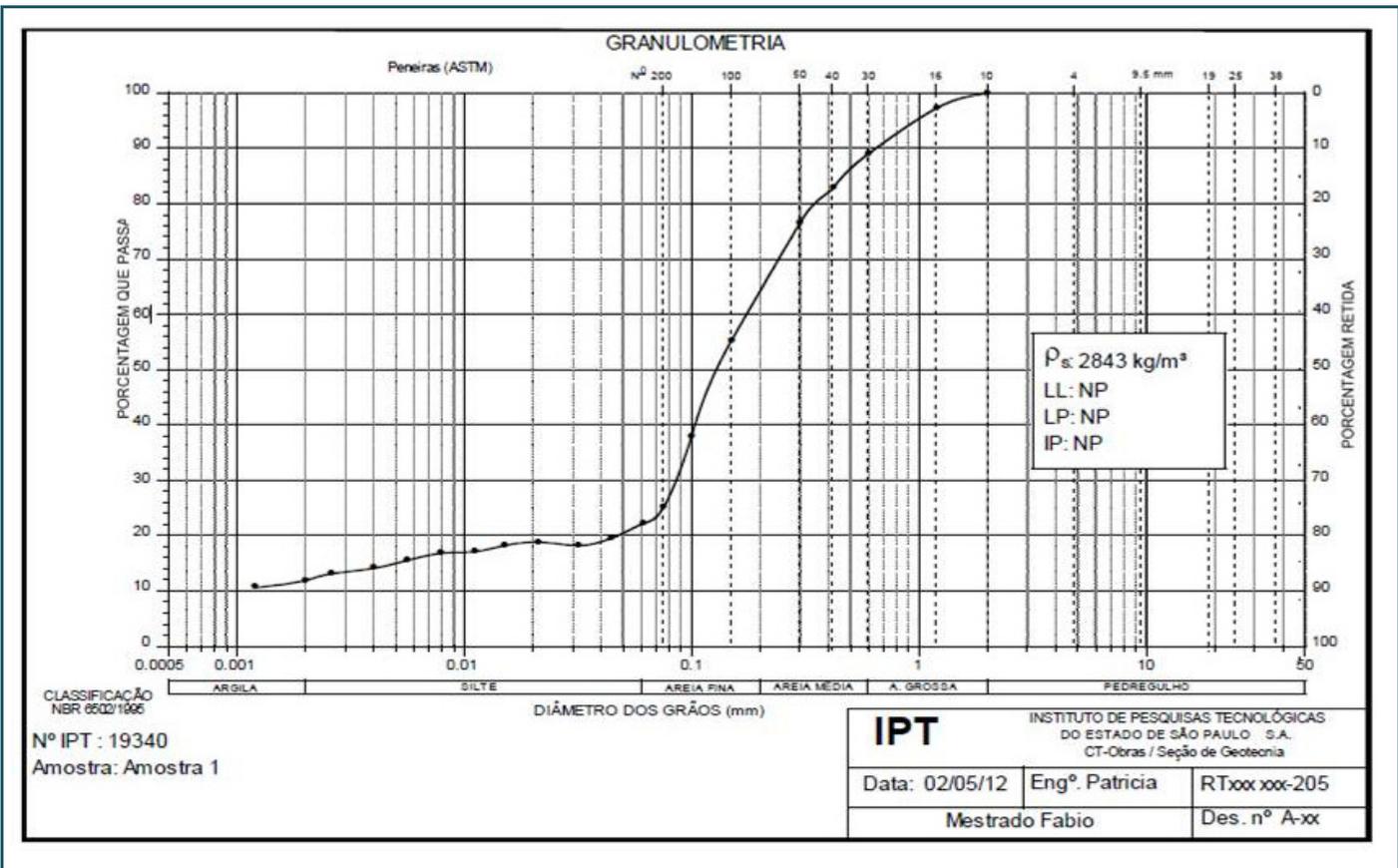


Figura B4: Curva granulométrica solo areia siltosa - Amostra 1

CONTROLE DE EROSIÃO E SEDIMENTAÇÃO EM SISTEMAS DE DRENAGEM PROVISÓRIA DE OBRAS

RELATÓRIO DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO - COMPILAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

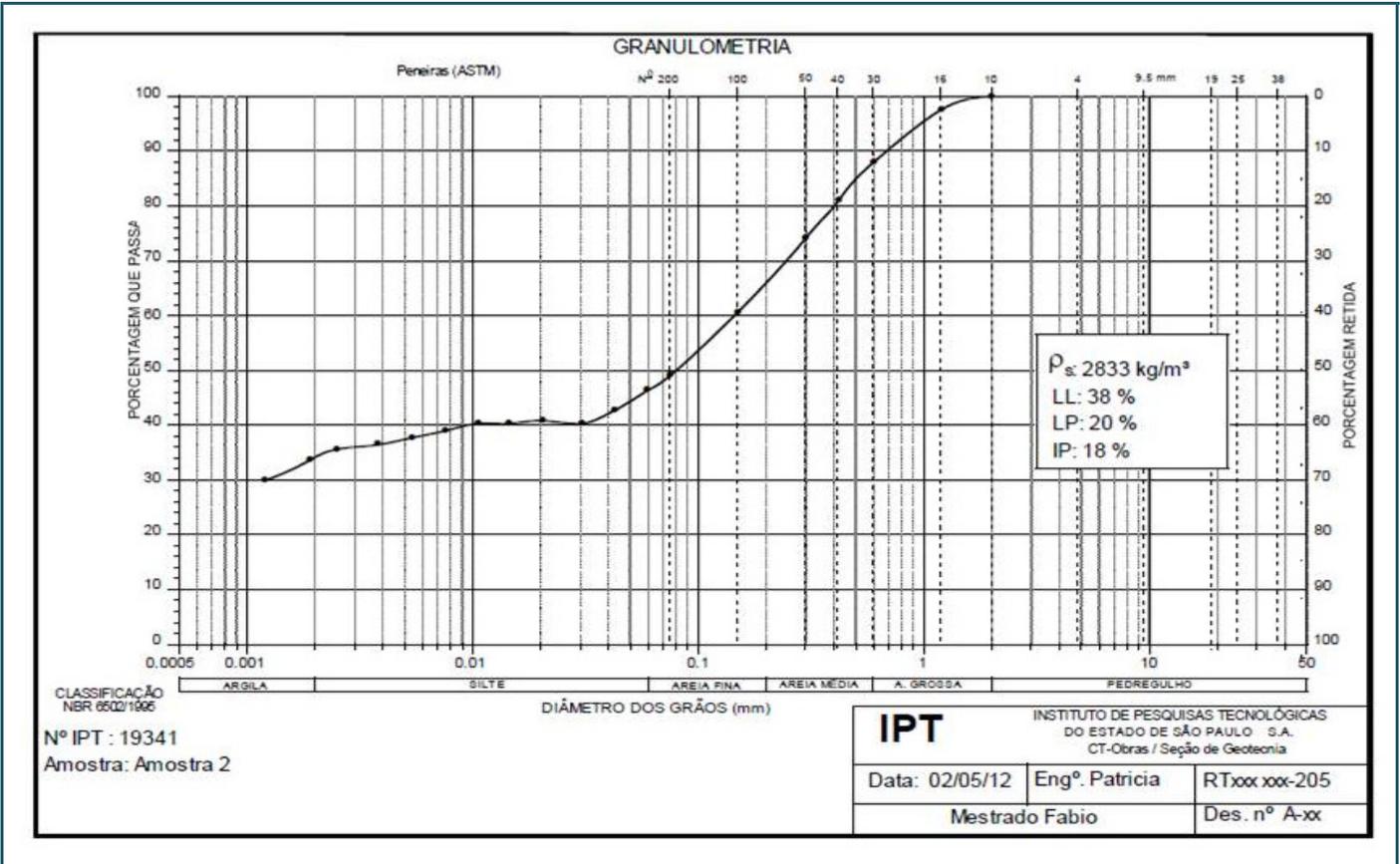


Figura B5: Curva granulométrica solo areia argilosa- Amostra 2

CONTROLE DE EROSIÃO E SEDIMENTAÇÃO EM SISTEMAS DE DRENAGEM PROVISÓRIA DE OBRAS

RELATÓRIO DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO - COMPILAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

QUADRO RESUMO

Tempo (min.)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	16	19	21	26	27	28	33	34	39	45	47	51
Ensaio	Vazão (l/min)																								
	S.S.* (ml/l)																								
Ensaio 1			74,54	92,94			92,38	95,8																	
			0	0			0	0																	
Ensaio 2																									
Ensaio 3				6				2,8								1						0,82			
				13				6								0						0			
Ensaio 4													1,7					0,06							
													0,1					0							
Ensaio 5	17,95			16,1				4,77						2,5				1,5							0,76
	14			2,25				0,25						0,05				0							0
Ensaio 6								2,99		2,02						1,2				0,83					0,45
								0,5		0,1						0				0					0
Ensaio 7	8,93		7,78			1,81						1,07											0,53		
	2,2		5,5			0,3						0											0		
Ensaio 8		0,27																							
		0,2																							
Ensaio 9				4,06					1,65		0,93														
				25					2,3		0														
Ensaio 10				6,8		8,44					2,59					0,82					0,48			0,34	
				1,7		1,9					0,1					0,05					0,05			0	
Ensaio 11					7,36			3,03						1,11					0,76					0,51	
					6			8						0,5					0,5					0,2	

* S.S. Índice de sólidos sedimentáveis em 1 hora no cone de Imhoff

Figura 6: Valores de vazão e sólidos sedimentáveis aferidos pelas amostras coletadas nos ensaios e o período em que foram coletadas

Legenda Nomenclatura da Amostras		01	AEC1	E01	200412	__h__
		número da amostra	tipo de amostra	Número do ensaio a que pertence	Data da amostra	Hora da Amostra
AS	Amostra Solo		AEC1	Amostra Efluente Caixa 1		
AETQ	Amostra de efluente Tanque de ensaios		AEC2	Amostra Efluente Caixa 2		

CONTROLE DE EROSIÃO E SEDIMENTAÇÃO EM SISTEMAS DE DRENAGEM PROVISÓRIA DE OBRAS

RELATÓRIO DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO - COMPILAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

INFORMAÇÕES SOBRE OS ENSAIOS

Ensaio 1	Análise da restrição à vazão de fluxo de água isento de sólidos sedimentáveis, ao atravessar uma membrana geotêxtil de 130 g/m ² .
Objetivo	Estabelecer o índice base de vazão para a membrana filtrante, possibilitando a comparação de mudanças de vazão em função da adição de sedimentos ao efluente nos testes seguintes.
Descrição	Preparar 900l de efluente com 0ml/l de sólidos sedimentáveis na caixa 1. Utilizando a bomba d'água, lançar aproximadamente 80% do efluente no tanque de ensaios, o qual deverá ultrapassar a membrana filtrante e ser acumulado novamente na caixa 2.

Dados Gerais

Data do ensaio	23/04/2012
Período total do ensaio	A partir do minuto 1 até o minuto 10
Característica do efluente utilizado	Água proveniente da rede de combate a incêndio
Volume de efluente lançado do tanque de ensaios	719 litros
Tempo de lançamento do efluente	10 minutos
Vazão média de lançamento do efluente no tanque	71,9 l/min

Resultados das Amostras Ensaeadas

Amostra	Vazão de entrada do efluente na caixa 2	Índice de sólidos sedimentáveis
03 - AETQ - E01 - 230412 - 13h27	74,54 l/min.	0 ml/l
04 - AETQ - E01 - 230412 - 13h30	92,94 l/min.	0 ml/l
07 - AEC2 - E01 - 230412 - 13h29	92,38 l/min.	0 ml/l
08 - AEC2 - E01 - 230412 - 13h32	95,80 l/min.	0 ml/l

Cronograma realizado - Escala em minutos

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	
período de lançamento do efluente																																		
		3		7	4	8																												

Comentários

- 1) A membrana filtrante de geotêxtil com 130 g/m² apresentou resistência a passagem de água, chegando a reter atrás da cerca filtrante durante o ensaio um volume máximo de 170 litros de água.
- 2) A configuração do tanque de ensaios, que possui uma saída de 2" na ligação com a caixa 2, restringe a vazão e causa um acúmulo de água num primeiro momento, depois, como a pressão da água acumulada (cerca de 30cm), a vazão de entrada de água na caixa 2 torna-se maior que a vazão média de entrada de água no tanque.
- 3) A faixa de geotêxtil que atuou como filtro durante o ensaio apresentou coloração marrom claro, indicando retenção de impurezas da água utilizada.

Conclusões

A membrana geotêxtil por si só funciona como um redutor de vazão para fluxos de água, porém, não muito significativo após poucos minutos.

CONTROLE DE EROSIÃO E SEDIMENTAÇÃO EM SISTEMAS DE DRENAGEM PROVISÓRIA DE OBRAS

RELATÓRIO DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO - COMPILAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

Relatório fotográfico do ensaio 1 (fonte: arquivo pessoal Fabio Pozzer)



Foto B15: Cerca filtrante fixa no tanque para o ensaio.



Foto B16: Vista do tanque e caixa 1, prontos para o ensaio.



Fotos B17 e B18: Cerca filtrante após o ensaio apresenta coloração marrom na faixa onde a água atravessou.



Fotos B19 e B20: Coletores das amostras identificados e dispostos próximos do local de coleta.

CONTROLE DE EROSÃO E SEDIMENTAÇÃO EM SISTEMAS DE DRENAGEM PROVISÓRIA DE OBRAS

RELATÓRIO DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO - COMPILAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

Ensaio 2	Ensaio da cerca filtrante com membrana geotêxtil de 130g/m ² com água a aproximadamente 100ml/l de sólidos sedimentáveis.
Objetivo	Verificar a mudança de vazão em função da adição de 100ml/l de sólidos sedimentáveis à água padrão, assim como, a capacidade de retenção dos sedimentos presentes no efluente através da passagem deste pela membrana filtrante.
Descrição	Foi preparado na caixa 1, com uso de misturador automático, em torno de 800l de efluente com aproximadamente 100ml/l. Deste efluente, foi transferido pouco mais de 100l até suspender o ensaio por falha na estanqueidade da cerca filtrante.

Dados Gerais

Data do ensaio	23/04/2012
Período total do ensaio	A partir do minuto 0 até o minuto 05
Característica do efluente utilizado	Água com 100ml/l de sólidos sedimentáveis
Característica e volume do solo utilizado	0,1 m ³ do solo 1 - Areia siltosa peneirada (peneira n ^o 4)
Volume de efluente lançado do tanque de ensaios	-
Tempo de lançamento do efluente	-
Vazão média de lançamento do efluente no tanque	-

Comentários

1) Identificou-se no primeiro minuto de ensaio, que haviam alguns pontos abaixo da cerca filtrante permitindo a passagem de efluente sem transpor de maneira efetiva a membrana geotêxtil, numa vazão muito baixa, mas que poderia resultar em dados incorretos no ensaio. Por tanto, optou-se pela interrupção do ensaio para análise e ajustes, através da inserção de pedaço de geotêxtil abaixo da cerca filtrante e principalmente nos locais de travamento da moldura metálica.

CONTROLE DE EROSÃO E SEDIMENTAÇÃO EM SISTEMAS DE DRENAGEM PROVISÓRIA DE OBRAS

RELATÓRIO DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO - COMPILAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

Relatório fotográfico do ensaio 3 (fonte: arquivo pessoal Fabio Pozzer)



Foto B21 e B22: Vedação da base da cerca filtrante



Foto B23: Vedação das laterais da cerca filtrante



Foto B24: Vista do ensaio em andamento



Foto B25: Efluente retido na cerca (aproximadamente 10 minutos de ensaio). Observa-se rápida decantação dos sedimentos.



Foto B26: Membrana geotêxtil praticamente colmatada após 10 minutos de ensaio.

CONTROLE DE EROSÃO E SEDIMENTAÇÃO EM SISTEMAS DE DRENAGEM PROVISÓRIA DE OBRAS

RELATÓRIO DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO - COMPILAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

Relatório fotográfico do ensaio 4 (fonte: arquivo pessoal Fabio Pozzer)



Foto B27: Liberação do efluente do ensaio 3.

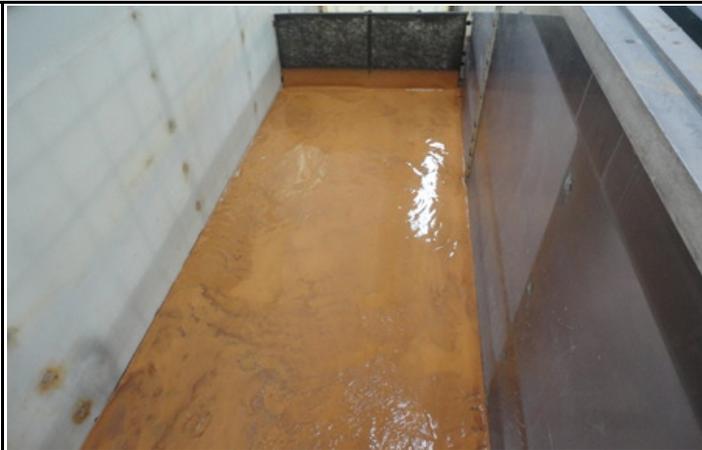


Foto B28: Tanque antes do ensaio, sedimentos no piso e retidos na cerca.



Fotos B29 e B30: Tanque após o ensaio com efluente retido antes da cerca filtrante.



Foto B31: Tanque após o ensaio e liberação do efluente retido.

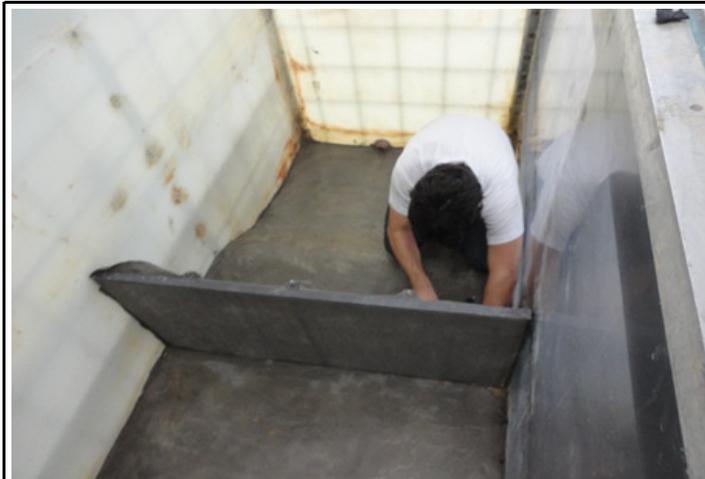


Foto B32: Sedimentos retidos na cerca, colmatando a membrana filtrante.

CONTROLE DE EROSIÃO E SEDIMENTAÇÃO EM SISTEMAS DE DRENAGEM PROVISÓRIA DE OBRAS

RELATÓRIO DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO - COMPILAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

Relatório fotográfico do ensaio 5 (fonte: arquivo pessoal Fabio Pozzer)



Fotos B33 e B34: Preparação da cerca filtrante para ensaio.



Foto B35: Efluente sendo preparado na caixa 1.



Foto B36: Ensaio em andamento.



Fotos B37 e B38: Coleta de amostras na entrada da caixa 2.

CONTROLE DE EROÇÃO E SEDIMENTAÇÃO EM SISTEMAS DE DRENAGEM PROVISÓRIA DE OBRAS

RELATÓRIO DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO - COMPILAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

Ensaio 6	Repetição do ensaio da cerca filtrante com membrana geotêxtil de 130g/m ² com água a aproximadamente 25ml/l de sólidos sedimentáveis, buscando indicadores de fadiga do sistema.
Objetivo	Verificar o desempenho do sistema em repetição do ensaio sem limpeza do tanque e da cerca filtrante, analisando as alterações do resultado causada pelo acúmulo de sedimentos na membrana geotêxtil.
Descrição	Foi preparado na caixa 1, com uso de misturador automático, 589,6l de efluente com aproximadamente 20ml/l de sólidos sedimentáveis, aferido pelas amostras 49 a 52, coletadas na entrada de água no tanque. Deste efluente, foi transferido 358,6l para o tanque de ensaios. Foram coletadas 5 amostras do efluente na entrada da caixa 2.

Dados Gerais

Data do ensaio	27/04/2012
Período total do ensaio	A partir do minuto 1 (11h40) até o minuto 64 (12h43)
Característica do efluente utilizado	589,6l de água misturada com solo
Característica e volume do solo utilizado	Solo 1 - Areia siltosa peneirada (peneira nº4)
Volume de efluente lançado do tanque de ensaios	358,6l
Tempo de lançamento do efluente	4 minutos e 50 segundos (4'50")
Vazão média de lançamento do efluente	74,2l/min.

Resultados das Amostras Ensaçadas

Amostra	Vazão de entrada do efluente na caixa 2	Índice de sólidos sedimentáveis
49 - AETQ - E06 - 270412 - 11h41	-	21 ml/l
50 - AETQ - E06 - 270412 - 11h42	-	20 ml/l
51 - AETQ - E06 - 270412 - 11h43	-	19 ml/l
52 - AETQ - E06 - 270412 - 11h44	-	18 ml/l
53 - AEC2 - E06 - 270412 - 11h46	2,99 l/min.	0,5 ml/l
54 - AEC2 - E06 - 270412 - 11h48	2,02 l/min.	< 0,01 ml/l
55 - AEC2 - E06 - 270412 - 11h58	1,20 l/min.	0 ml/l
56 - AEC2 - E06 - 270412 - 12h07	0,83 l/min.	0 ml/l
57 - AEC2 - E06 - 270412 - 12h26	0,45 l/min.	0 ml/l

Cronograma - Escala em minutos

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	...	47	...	63	64	
período de lançamento do efluente																																		
	49	50	51	52		53	54										55										56				57			

Comentários

- O efluente iniciou a passagem pela cerca filtrante após ter ultrapassado a altura/faixa do geotêxtil que foi atingida pelo efluente do ensaio 5, porém, mesmo após baixar a marca anterior, a vazão prosseguiu, mas reduzida. Com isso pode-se concluir que o silte não encharcado aderido ao geotêxtil causa restrição a passagem do efluente, porém, quando já encharcado, permite relativa passagem.
- Foi descartado o efluente retido antes da cerca filtrante após a vazão estar inferior a 0,45 l/min, e reduzindo. Se permanecesse constante a vazão neste momento, ainda levaria 11 horas para esvaziar o tanque.
- Observa-se melhora no desempenho da cerca filtrante para retenção de sedimentos quando já há grãos de silte aderidos à membrana geotêxtil.

Conclusões

- Conclui-se que, ao sujeitar a cerca filtrante com geotêxtil de 130 g/m², a um segundo evento de efluente com 20ml/l de sólido sedimentáveis siltoso em vazão de até 70l/min por metro linear do sistema, o mesmo funciona como uma barreira de contenção, restringindo a vazão acima de 95% logo nos primeiros minutos, e controlando o índice de sólidos sedimentáveis que ultrapassa a cerca dentro do determinado por legislação.

CONTROLE DE EROÇÃO E SEDIMENTAÇÃO EM SISTEMAS DE DRENAGEM PROVISÓRIA DE OBRAS

RELATÓRIO DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO - COMPILAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

Relatório fotográfico do ensaio 6 (fonte: arquivo pessoal Fabio Pozzer)



Foto B39: Tanque antes do início do ensaio 6 de repetição.

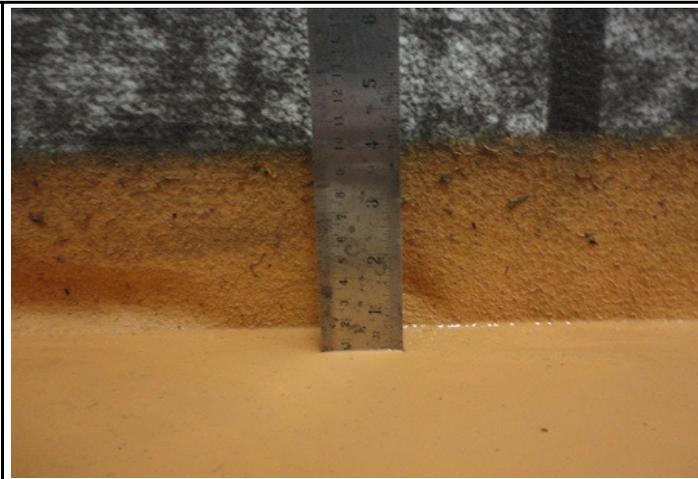


Foto B40: Detalhe da altura atingida pelo efluente do ensaio anterior.



Fotos B41 e B42: Tanque funciona como barreira de contenção desde os primeiros minutos.



Foto B43: Amostras 49 a 52, coletadas na entrada do tanque.



Foto B44: Amostra 50 em ensaio de 1 hora no cone de Imhoff.

CONTROLE DE EROSIÃO E SEDIMENTAÇÃO EM SISTEMAS DE DRENAGEM PROVISÓRIA DE OBRAS

RELATÓRIO DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO - COMPILAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

Ensaio 7	Ensaio da cerca filtrante com membrana geotêxtil de 200 g/m ² com água a aproximadamente 25ml/l de sólidos sedimentáveis.
Objetivo	Verificar a mudança de vazão em função da adição de 25 ml/l de sólidos sedimentáveis à água padrão, assim como, a capacidade de retenção dos sedimentos presentes pela membrana filtrante.
Descrição	Foi preparado na caixa 1, com uso de misturador automático, 542l de efluente com aproximadamente 20ml/l de sólido sedimentáveis, amostras 70, 71 e 72 coletadas na entrada do tanque. Deste efluente, foi transferido 348,4l para o tanque de ensaios, foram coletadas 5 amostras do efluente na entrada da caixa 2.

Dados Gerais

Data do ensaio	15/05/2012
Período total do ensaio	A partir do minuto 1 (12h08) até o minuto 52 (12h59)
Característica do efluente utilizado	542l de água misturada com solo
Característica e volume do solo utilizado	10l do solo 1 - Areia siltosa peneirada (peneira nº4)
Volume de efluente lançado do tanque de ensaios	348,4l
Tempo de lançamento do efluente	4 minutos e 30 segundos (4'30")
Vazão média de lançamento do efluente	77,4 l/min.

Resultados das Amostras Ensaçadas

Amostra	Vazão de entrada do efluente na caixa 2	Índice de sólidos sedimentáveis
70 - AETQ - E07 - 150512 - 12H08	-	19 ml/l
71 - AETQ - E07 - 150512 - 12H09	-	20 ml/l
72 - AETQ - E07 - 150512 - 12H11	-	18 ml/l
74 - AEC2 - E07 - 150512 - 12H08	8,93 l/min.	2,2 ml/l
73 - AEC2 - E07 - 150512 - 12H10	7,78 l/min.	5,5 ml/l
76 - AEC2 - E07 - 150512 - 12H13	1,81 l/min.	0,3 ml/l
75 - AEC2 - E07 - 150512 - 12H19	1,07 l/min.	0 ml/l
77 - AEC2 - E07 - 150512 - 12H46	0,53 l/min.	0 ml/l

Cronograma - Escala em minutos

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	...	39	...	50	51	52	
período de lançamento do efluente																																	
70	74	71	73	72	76							75																					77

Comentários

- 1) Após 30 minutos do ensaio, já a 25 minutos do encerramento da contribuição de efluente no tanque, o líquido que atravessa a cerca não apresenta sólidos sedimentáveis nem turbidez.
- 2) A restrição a vazão causada pela membrana geotêxtil de 200g/m² pode ser considerada 2 vezes superior a restrição causada pelo geotêxtil de 130g/m², com uma restrição de cerca de 90% nos primeiros 5 minutos, e superior a 98% a partir de 10 minutos do início de lançamento, já encerrada a contribuição de efluente no tanque, ou seja, a partir do momento em que o efluente não atinge alturas na cerca filtrante com geotêxtil novo, a vazão cai, demonstrando o rápido efeito de colmatação do solo siltoso.
- 3) Houve um aumento na contenção de sedimentos nos primeiros minutos do ensaio 7 em relação ao ensaio 5, acima de 50% mais eficiente, porém, após 5 minutos de ensaio, o geotêxtil de 200g/m² assume eficiência semelhante ao geotêxtil de 130 g/m² ambos inferiores a 1ml/l.
- 4) Considerando o volume de efluente lançado no tanque, e o volume de sólidos sedimentáveis que ultrapassou a cerca filtrante (cálculo teórico, 107ml), pode-se dizer que o sistema obteve desempenho médio de 0,30 ml/l.

Conclusões

O sistema de cerca filtrante com geotêxtil de 200 g/m², obteve um desempenho satisfatório em relação a retenção de sedimentos, quando comparado aos parâmetros definidos pela Resolução CONAMA 430, e superior ao desempenho da membrana geotêxtil de 130g/m², porém, com uma restrição a vazão alta. Portanto, entende-se que o sistema é útil em projetos que não demandem a passagem total da água num prazo de um dia.

CONTROLE DE EROÇÃO E SEDIMENTAÇÃO EM SISTEMAS DE DRENAGEM PROVISÓRIA DE OBRAS

RELATÓRIO DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO - COMPILAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

Relatório fotográfico do ensaio 7 (fonte: arquivo pessoal Fabio Pozzer)



Foto B45: Montagem de cerca filtrante na armação metálica.



Foto B46: Tanque lavado antes do início do ensaio.



Foto B47: Detalhe da vedação abaixo da cerca filtrante.



Foto B48: Cerca filtrante fixada no tanque, com laterais e base vedadas



Foto B49: Amostra 70 em ensaio de 1 hora em cone de Imhoff.



Foto B50: Água isenta de sedimentos e turbidez na entrada da caixa 2.

CONTROLE DE EROSIÃO E SEDIMENTAÇÃO EM SISTEMAS DE DRENAGEM PROVISÓRIA DE OBRAS

RELATÓRIO DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO - COMPILAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

Ensaio 8	Repetição do ensaio da cerca filtrante com membrana geotêxtil de 200g/m ² com água a aproximadamente 25ml/l de sólidos sedimentáveis, buscando indicadores de fadiga do sistema.
Objetivo	Verificar o desempenho do sistema em repetição do ensaio sem limpeza do tanque e da cerca filtrante, analisando as alterações do resultado causada pelo acúmulo de sedimentos na membrana geotêxtil.
Descrição	Foi preparado na caixa 1, com uso de misturador automático, 694l de efluente com aproximadamente 15ml/l de sólidos sedimentáveis, aferido pelas amostras 81 e 82 coletadas na entrada de água no tanque. Deste efluente, foi transferido 240l para o tanque de ensaios. Foi coletada 1 amostra do efluente na entrada da caixa 2.

Dados Gerais

Data do ensaio	25/05/2012
Período total do ensaio	A partir do minuto 1 (14h14) até o minuto 15 (14h28)
Característica do efluente utilizado	694l de água misturada com solo
Característica e volume do solo utilizado	Solo 1 - Areia siltosa peneirada (peneira nº4)
Volume de efluente lançado do tanque de ensaios	240l
Tempo de lançamento do efluente	2 minutos e 30 segundos (2'30")
Vazão média de lançamento do efluente	96l/min.

Resultados das Amostras Ensaçadas

Amostra	Vazão de entrada do efluente na caixa 2	Índice de sólidos sedimentáveis
81 - AETQ - E08 - 250512 - 14h15	-	13 ml/l
82 - AETQ - E08 - 250512 - 14h16	-	14 ml/l
83 - AEC2 - E08 - 250512 - 14h15	0,27 l/min.	0,3 ml/l

Cronograma - Escala em minutos

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----

período de lançamento do efluente

81 83 82

Comentários

- 1) O nível do efluente lançado no ensaio não ultrapassou a marca de altura máxima no geotêxtil deixada pelo ensaio anterior.
- 2) Durante os 10 primeiros minutos do ensaio, a cerca filtrante permitiu apenas a passagem de 2,5 litros do efluente, com índice de sólidos sedimentáveis aceitável (0,3ml/l), sendo que a vazão manteve-se reduzindo a partir de então.

Conclusões

Conclui-se que, caso o evento de contribuição de efluente subsequente seja menor que o anterior, a cerca de geotêxtil de 200g/m² sem manutenção (limpeza e desassoreamento) funciona como uma barreira.

CONTROLE DE EROSIÃO E SEDIMENTAÇÃO EM SISTEMAS DE DRENAGEM PROVISÓRIA DE OBRAS

RELATÓRIO DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO - COMPILAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

Relatório fotográfico do ensaio 8 (fonte: arquivo pessoal Fabio Pozzer)



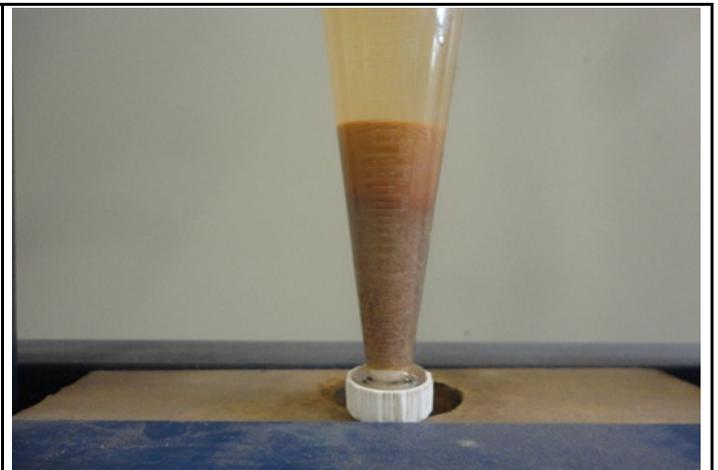
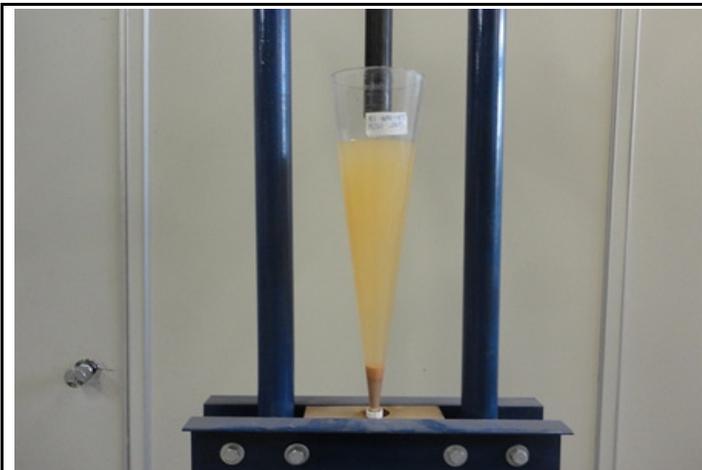
Foto B51: Efluente sendo preparado na caixa 1.



Foto B52: Tanque antes do início do ensaio 8 de repetição.



Fotos B53 e B54: Tanque funciona como barreira de contenção desde os primeiros minutos.



Fotos B55 e B56: Amostra 81 em ensaio de 1 hora em cone de Imhoff.

CONTROLE DE EROSIÃO E SEDIMENTAÇÃO EM SISTEMAS DE DRENAGEM PROVISÓRIA DE OBRAS

RELATÓRIO DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO - COMPILAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

Ensaio 9	Ensaio da cerca filtrante com membrana geotêxtil de 200g/m ² com água a aproximadamente 100ml/l de sólidos sedimentáveis.
Objetivo	Verificar a mudança de vazão em função da adição de 100 ml/l de sólidos sedimentáveis (siltoso) a água padrão, assim como, a capacidade de retenção dos sedimentos presentes no efluente pela membrana filtrante.
Descrição	Foi preparado na caixa 1, com uso de misturador automático, 564,2l de efluente com aproximadamente 110ml/l de sólidos sedimentáveis, aferido pelas amostras 90 e 92 coletadas na entrada de água no tanque. Deste efluente, foi transferido 446,04l para o tanque de ensaios. Foram coletadas 3 amostras do efluente na entrada da caixa 2.

Dados Gerais

Data do ensaio	25/05/2012
Período total do ensaio	A partir do minuto 1 (16h17) até o minuto 20 (16h36)
Característica do efluente utilizado	564,2l de água misturada com solo
Característica e volume do solo utilizado	10l do solo 1 - Areia siltosa peneirada (peneira n ^º 4)
Volume de efluente lançado do tanque de ensaios	446,04l
Tempo de lançamento do efluente	6 minutos
Vazão média de lançamento do efluente	74,34l/min.

Resultados das Amostras Ensaçadas

Amostra	Vazão de entrada do efluente na caixa 2	Índice de sólidos sedimentáveis
90 - AETQ - E09 - 250512 - 16h19	-	110 ml/l*
91 - AETQ - E09 - 250512 - 16h21	-	110 ml/l*
92 - AEC2 - E09 - 250512 - 16h20	4,06 l/min.	25 ml/l
93 - AEC2 - E09 - 250512 - 16h24	1,65 l/min.	2,3 ml/l
94 - AEC2 - E09 - 250512 - 16h26	0,93 l/min.	0 ml/l

* Os cones de Imhoff utilizados nos ensaios não possuem precisão a partir da marca de 100ml, o índice apresentado é uma aproximação.

Cronograma - Escala em minutos

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
período de lançamento do efluente																			
		90	92	91			93		94										

Comentários

- Houve uma restrição a vazão em mais de 90% da contribuição logo no quarto minuto de ensaio, pouco menos do dobro de restrição em relação ao ensaio 7, quando foi usado efluente com 1/5 do índice de sólido sedimentáveis (20m/l).
- Considerando o volume de efluente lançado no tanque, e o volume de sólidos sedimentáveis que ultrapassou a cerca filtrante (cálculo teórico, 414,72ml), pode-se dizer que o sistema obteve desempenho médio de 0,93 ml/l.

Conclusões

O sistema de cerca filtrante com geotêxtil de 200 g/m², quando submetido a efluentes com média de 100ml/l de sólidos sedimentáveis, obteve um desempenho satisfatório em relação a retenção de sedimentos, quando comparado aos parâmetros definidos pela Resolução CONAMA 430, porém, com uma restrição à vazão alta. Portanto, entende-se que o sistema se aplicado isoladamente é útil em projetos que não demandem a passagem total da água num prazo de um dia, ou seja, em condições climáticas de chuvas esporádicas.

CONTROLE DE EROSIÃO E SEDIMENTAÇÃO EM SISTEMAS DE DRENAGEM PROVISÓRIA DE OBRAS

RELATÓRIO DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO - COMPILAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

Relatório fotográfico do ensaio 9 (fonte: arquivo pessoal Fabio Pozzer)

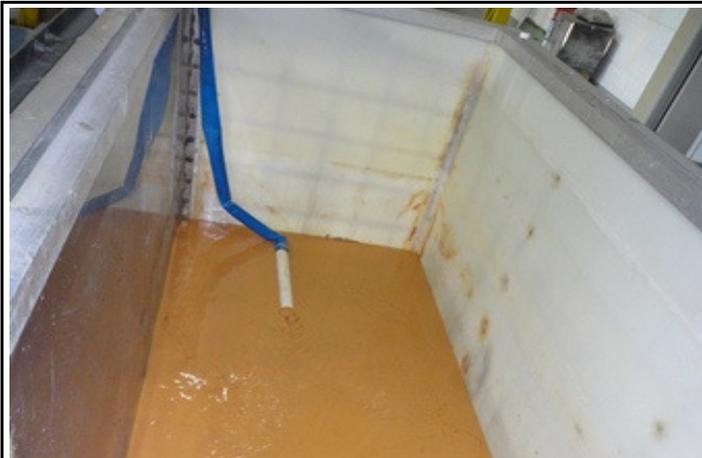


Foto B57: Lançamento do efluente no tanque de ensaio.



Foto B58: Efluente atravessa a cerca em baixa vazão.

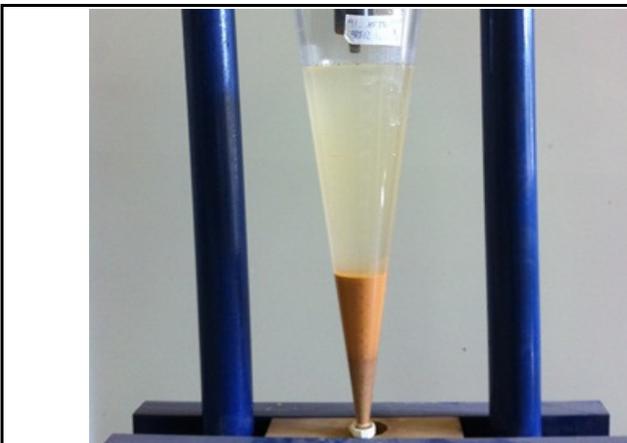


Foto B59: Amostra 91 em ensaio de 1 hora em cone de Imhoff.



Foto B60: Após 15 minutos da imagem ao lado, ainda há retido 13,6 cm de efluente junto a cerca filtrante (0,1cm corresponde a 3,8 litros).



Foto B61: Efluente isento de sólidos sedimentáveis na entrada da caixa 2 após 15 minutos de ensaio



Foto B62: Após 25 minutos de ensaio o cerca atua com barreira do efluente.

CONTROLE DE EROSIÃO E SEDIMENTAÇÃO EM SISTEMAS DE DRENAGEM PROVISÓRIA DE OBRAS

RELATÓRIO DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO - COMPILAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

Relatório fotográfico do ensaio 10 (fonte: arquivo pessoal Fabio Pozzer)



Foto B63: Limpeza da caixa 1 antes do início do ensaio 10.



Foto B64: Tanque limpo e cerca filtrante fixa, prontos para início do ensaio.



Fotos B65 e B66: Peneiramento do solo argiloso e lançamento na caixa 1 para preparação do efluente.



Foto B67: Amostra 100 em ensaio de 1 hora em cone de Imhoff.



Foto B68: Após 1h de ensaio o efluente ainda apresenta grande turbidez.

CONTROLE DE EROSIÃO E SEDIMENTAÇÃO EM SISTEMAS DE DRENAGEM PROVISÓRIA DE OBRAS

RELATÓRIO DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO - COMPILAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

Relatório fotográfico do ensaio (fonte: arquivo pessoal Fabio Pozzer)



Foto B69: Tanque e cerca filtrante preparados para início do ensaio.



Foto B70: Efluente que ultrapassa a cerca filtrante apresenta grande turbidez.



Fotos B71 e B72: Ensaio em andamento, cerca filtrante funciona como barreira, reduzindo muito a vazão.



Foto B73: Efluente sendo coletado na entrada da caixa 2.



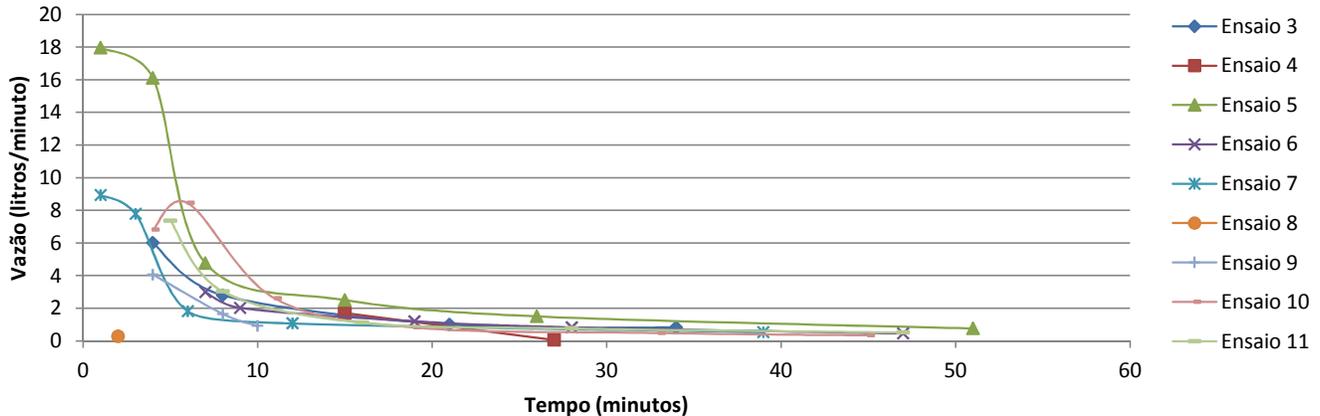
Foto B74: Amostra 111 em ensaio de 1 hora em cone de Imhoff.

CONTROLE DE EROÇÃO E SEDIMENTAÇÃO EM SISTEMAS DE DRENAGEM PROVISÓRIA DE OBRAS

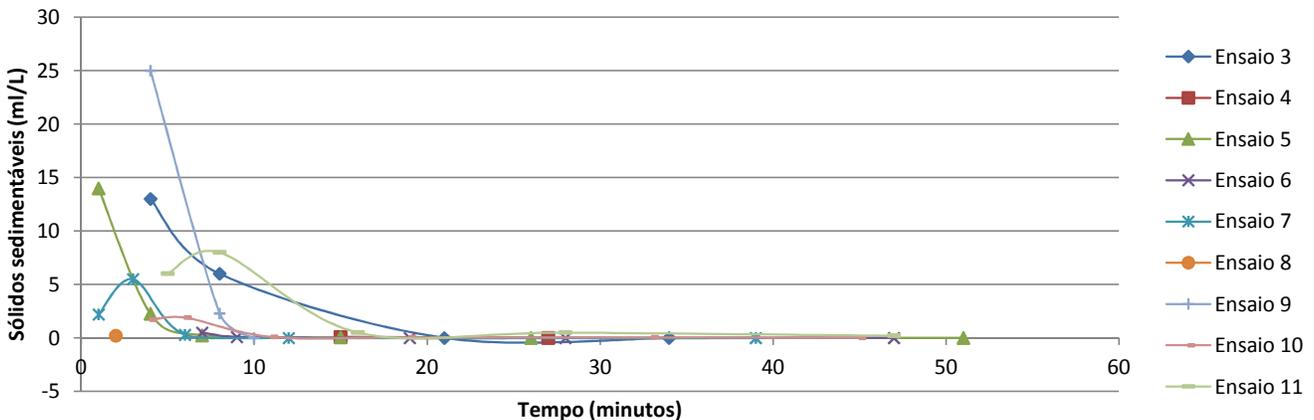
RELATÓRIO DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO - COMPILAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

Gráficos de desempenho

Vazão do efluente na entrada da caixa 2



Sólidos sedimentáveis do efluente na entrada da caixa 2



Conclusões Geral

Partindo do pressuposto que a vazão de passagem do efluente pela cerca filtrante é baixa em todas as tipologias de membrana geotêxtil ensaiadas (130, 200 ou 500g/m²), seja com a adição do solo com silte ou argila predominantes, e considerando que a média do índice de sólidos sedimentáveis no efluente de solo areia siltosa que ultrapassou o geotêxtil de 200 g/m², é igual ou inferior ao índice de sólidos sedimentáveis que ultrapassou o geotêxtil de 130g/cm², e que na maioria dos casos em média atende ao limite estabelecido, e no caso do solo arenoso argiloso, o índice médio de sólido sedimentáveis que ultrapassa a cerca é satisfatório, conclui-se que os sistemas de cercas filtrantes com membrana geotêxtil são úteis como filtro para parâmetro de sólidos sedimentável de efluentes com solo Areia siltosa e arenoso argilosos, porém, para projetos que estejam prevendo eventos espaçados de chuvas. Para projetos que não contemplem essa situação, os sistemas são úteis como barreiras do fluxo de água com sedimentos, devendo ser associados a outras estratégias para esgotamento de água, como coletores da lâmina superficial do efluente retido a montante da cerca filtrante, que possui melhores condições de sólidos sedimentáveis, assim como, o projeto deve ser dimensionado considerando a possibilidade de retenção de volumes de água superiores a um evento de chuva forte.