



MINI-CURSO:

NOVOS CONCEITOS E CRITÉRIOS TÉCNICOS APLICADOS AO PROJETO DE DESTINAÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Instrutores: Eng^o Francisco José Pereira de Oliveira
Prof^a Míriam Gonçalves (Unicamp)
Setembro de 2013

NOVOS CONCEITOS E TECNOLOGIAS APLICADOS AO PROJETO DE ATERROS SANITÁRIOS



- IMPLANTAÇÃO
- OPERAÇÃO
- ENCERRAMENTO E
- APROVEITAMENTO DE GASES PARA GERAÇÃO DE ENERGIA

Setembro/2013

Novos Conceitos e Tecnologias Aplicados ao Projeto de Aterros Sanitários



- **ATERRO SANITÁRIO** (conceitos advindos da nova Lei nº 12.305 – 02/08/2010 – PNRS)
 - Equipamento onde ocorre a disposição final dos **REJEITOS**;
 - **REJEITO**: último estágio dos processos de tratamento de **RESÍDUOS**;
 - **RESÍDUOS**: materiais provenientes de qualquer processo, passíveis de transformação ou tratamento pelas mais diversas tecnologias de recuperação, reutilização, reciclagem, inclusive, desde que técnica e ambientalmente viável, a recuperação energética.



- PORTANTO:

DESTINA-SE E TRATA-SE RESÍDUOS E DISPÕE-SE, FINALMENTE, REJEITOS.

- *Portanto, em até 4 anos, a todo o Aterro Sanitário deverá estar associado uma ou mais Usinas ou Unidade de Triagem de Resíduos que enviarão seus rejeitos para destinação final no ATERRO SANITÁRIO.*
- *A médio prazo, as características dos materiais para aterramento (os rejeitos) poderão sofrer alterações significativas quanto a sua composição em função dos tratamentos regionais existentes decorrentes das porcentagens e processos de reciclagem associados a esta disposição final.*

EXEMPLO



- *Um RSU que apresenta ao final da coleta uma composição equivalente a:*
 - ✓ 55% - *Matéria Orgânica*
 - ✓ 15% - *Plásticos*
 - ✓ 15% - *Materiais Metálicos*
 - ✓ 10% - *Materiais Fibrosos*
 - ✓ 5% - *Outros*
- *Umidade Total = 50%*
- *Processo de Triagem e Reciclagem:*
 - ✓ *Compostagem – 50% da fração orgânica*
 - ✓ *Recuperação de Plásticos – 20% da fração*
 - ✓ *Recuperação de Metais – 70% da fração*
 - ✓ *Redução de Umidade – 10%*
- *Composição do rejeito final:*
 - ✓ *Matéria Orgânica – 35%*
 - ✓ *Plásticos – 12%*
 - ✓ *Materiais Metálicos – 20%*
 - ✓ *Materiais Fibrosos – 20%*
 - ✓ *Outros – 13%*
- *Consequências:*
 - ✓ *Menor produção de chorume;*
 - ✓ *Menor produção de biogás;*
 - ✓ *Alteração no comportamento mecânico do material aterrado: quanto a sua resistência e compressibilidade*



Principais Tópicos Objeto desta Apresentação



- Destinação Final e Classificação Atual (CETESB)
- Cenário Atual da Destinação Final RSU's nas principais Regiões do País
- Recuperação de Aterros Inadequados
- Exemplo de Gestão Compartilhada
- Fatores que afetam o Desempenho e/ou custos Operacionais totais dos aterros sanitários
- Projeto, Implantação e Monitoramento de Aterros Sanitários
- Biogás Gerado em Aterros Sanitários e Créditos de Carbono
- Fatores que afetam na Qualidade Operacional de Aterros
- Proposta para Gestão Empresarial de Resíduos



Legislação de Aterros Sanitários



- **Normas ABNT**
 - ✓ Projeto Norma ABNT/CB 02: 144.38-001 de Setembro 2009 – Aterros Sanitários de Pequeno Porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação e Operação;
 - ✓ NBR 8419/84 – Apresentação de projetos de aterros sanitários;
 - ✓ NBR 13896/97 – Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação;
 - ✓ Norma Brasileira NBR 10.004 de 1987 (Revisada em 2004) - Classifica resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que estes resíduos possam ter manuseio e destinação adequados; e
 - ✓ Norma Brasileira NBR 15.113/04 - Definem procedimentos para execução de aterros de resíduos não perigosos (ClasseII).
- **Legislação Federal**
 - ✓ Resolução CONAMA nº 308/02 – Licenciamento ambiental de sistemas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em municípios de pequeno porte”.
- **Legislação Estadual**
 - ✓ Lei Estadual nº 12.300/06 Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes.





1. DESTINAÇÃO FINAL E CLASSIFICAÇÃO ATUAL (CETESB/SP)

1.1 Aterro Inadequado ($IQR \leq 6,0$)



AUSÊNCIA

- ✓ IMPERMEABILIZAÇÃO DE BASE;
- ✓ COBERTURA DE RESÍDUOS;
- ✓ SISTEMAS DE DRENAGEM DE CHORUME;
- ✓ SISTEMAS DE DRENAGEM SUPERFICIAL;
- ✓ SISTEMAS DE PROTEÇÃO CONTRA EROÇÃO SUPERFICIAL DE TALUDE;
- ✓ SISTEMA DE CONTROLE E CONTENÇÃO DE EFLUENTES LÍQUIDOS;
- ✓ CONTROLE DE TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS;
- ✓ SISTEMA DE DRENAGEM, CONTROLE E QUEIMA DE EFLUENTES GASOSOS;
- ✓ SISTEMAS DE CONTROLE DE SEDIMENTAÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL;
- ✓ CONTROLE DE EROÇÃO;
- ✓ SISTEMA CONSOLIDADO DE ACESSOS ÀS FRENTES DE DESCARGA E DIVERSAS ÁREAS DO ATERRO;
- ✓ SISTEMA DE CONTROLE GEOTÉCNICO DO MACIÇO (INSTRUMENTAÇÃO E MONITORAMENTO);
- ✓ SISTEMA DE MONITORAMENTO AMBIENTAL (POÇOS DE MONITORAMENTO PARA CONTROLE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E CORPOS D'ÁGUA SUPERFICIAIS DO ENTORNO);
- ✓ CONTROLE DE VETORES (MOSCAS, RATOS, INSETOS, ENTRE OUTROS);
- ✓ CONTROLE DA TIPOLOGIA, ORIGEM E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICA DOS RESÍDUOS ATERRADOS;
- ✓ CONTROLE DA QUANTIDADE (BALANÇA) E ORIGEM DOS RSU'S.

PRESENÇA

✓ CATADORES
ANIMAIS E/OU AVES



Aterro Inadequado Volta Redonda



Aterro Inadequado Rondonópolis



Aterro Inadequado Sinop

1.2 Aterro Controlado ($6,1 \leq \text{IQR} \leq 8,0$)



Aterro Controlado Muribeca



Aterro Controlado Goiânia



Aterro Controlado Novo Gramacho





Aterro Controlado Santana do Parnaíba



Aterro Controlado de Peruibe



Aterro Controlado de Anápolis

1.3 Aterro Adequado ou Sanitário (IQR $\geq 8,0$)



Aterro Sanitário Estre – Paulínia



Aterro Sanitário Essencis



Aterro Sanitário Itaquaquecetuba



Aterro Sanitário Estre – CDR Pedreira





Aterro Sanitário de Santo André



Aterro Sanitário de Igarassu



Aterro Sanitário de Cachoeira Paulista



Aterro Sanitário de Salvador





Aterro Sanitário de Santo André



Aterro Sanitário CTR Nova Iguaçu



Aterro Sanitário de São João



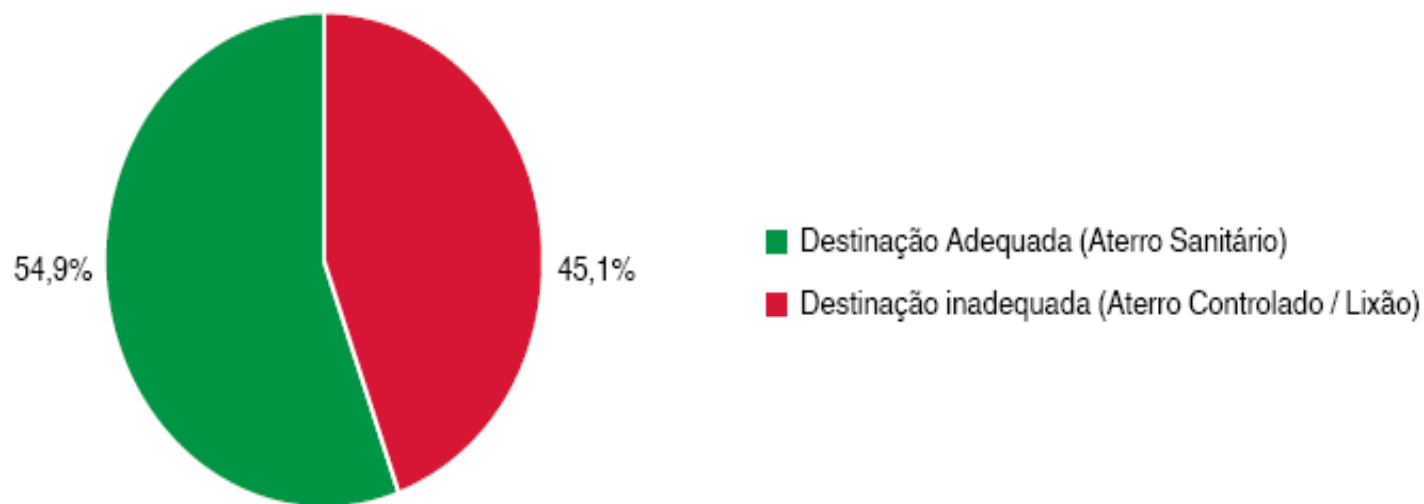
Aterro Sanitário de CTR Nova Iguaçu





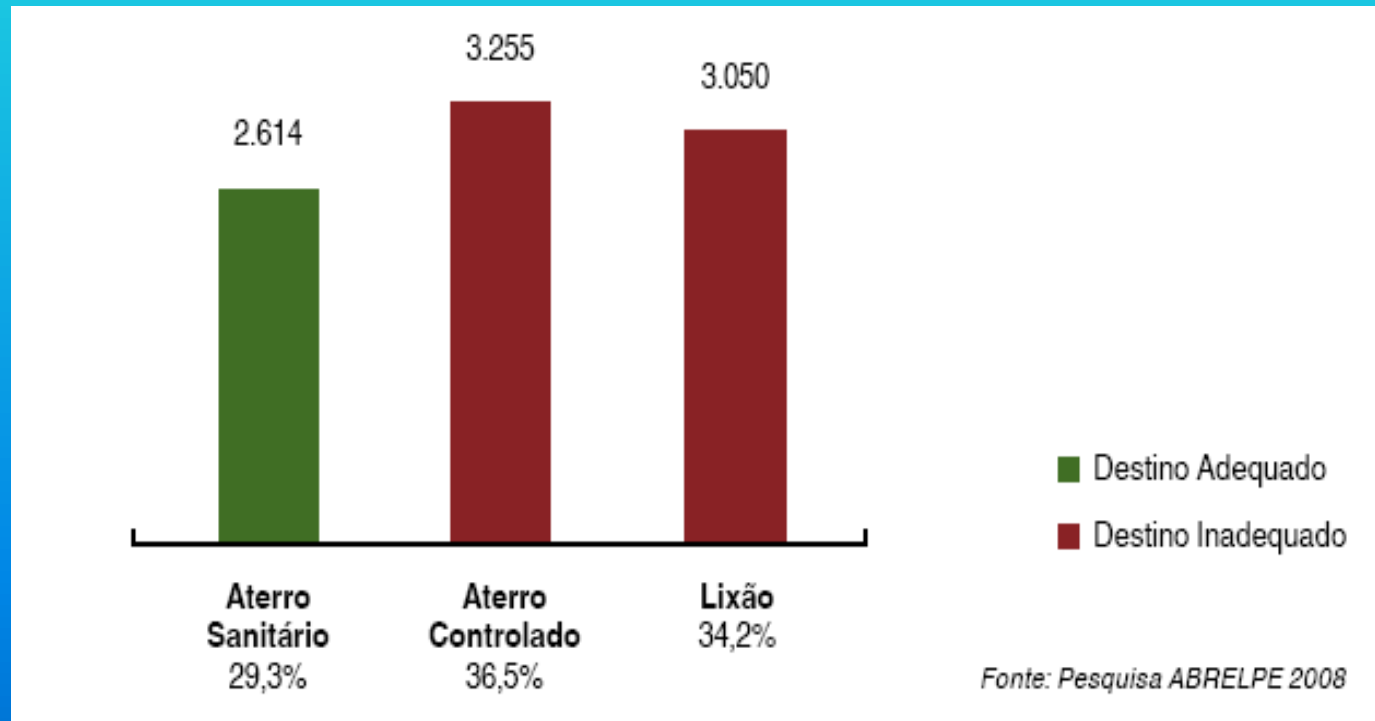
2. CENÁRIO ATUAL DA DESTINAÇÃO FINAL DE RSU'S NAS PRINCIPAIS REGIÕES DO PAÍS

Cenário Atual

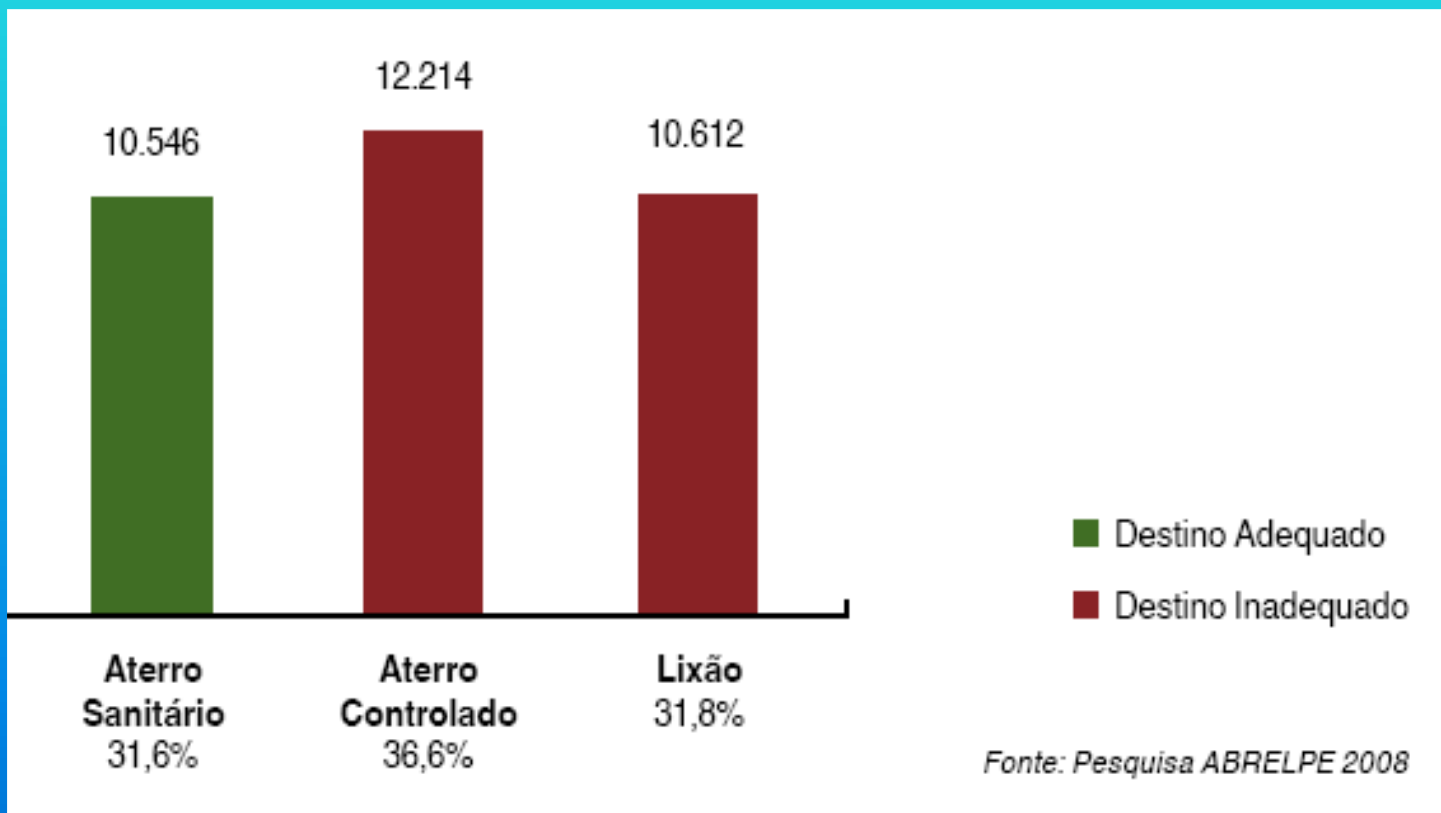


Fonte: Pesquisa ABRELPE 2008

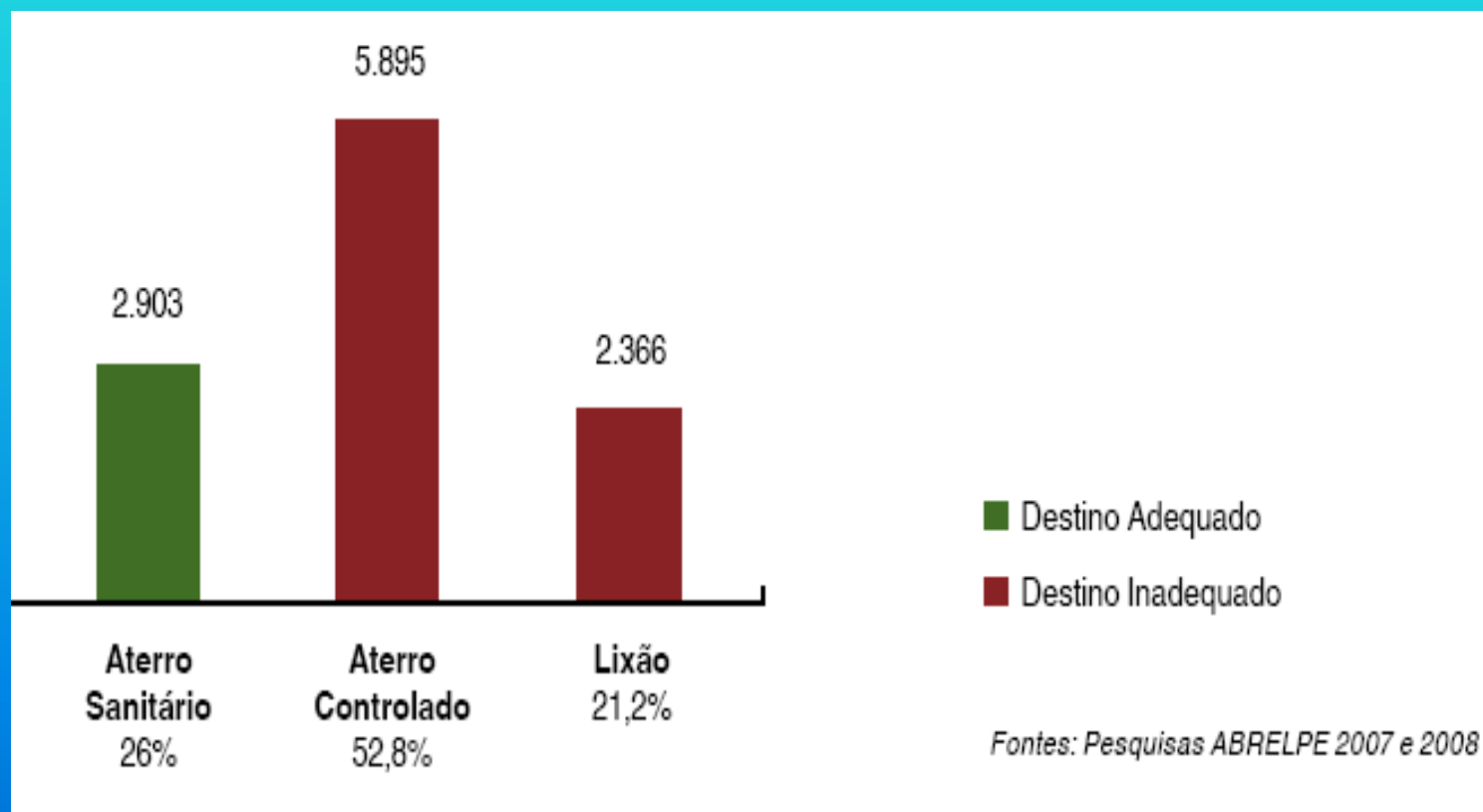
2.1 Destinação Final de RSU na Macrorregião Norte (Ton/dia)



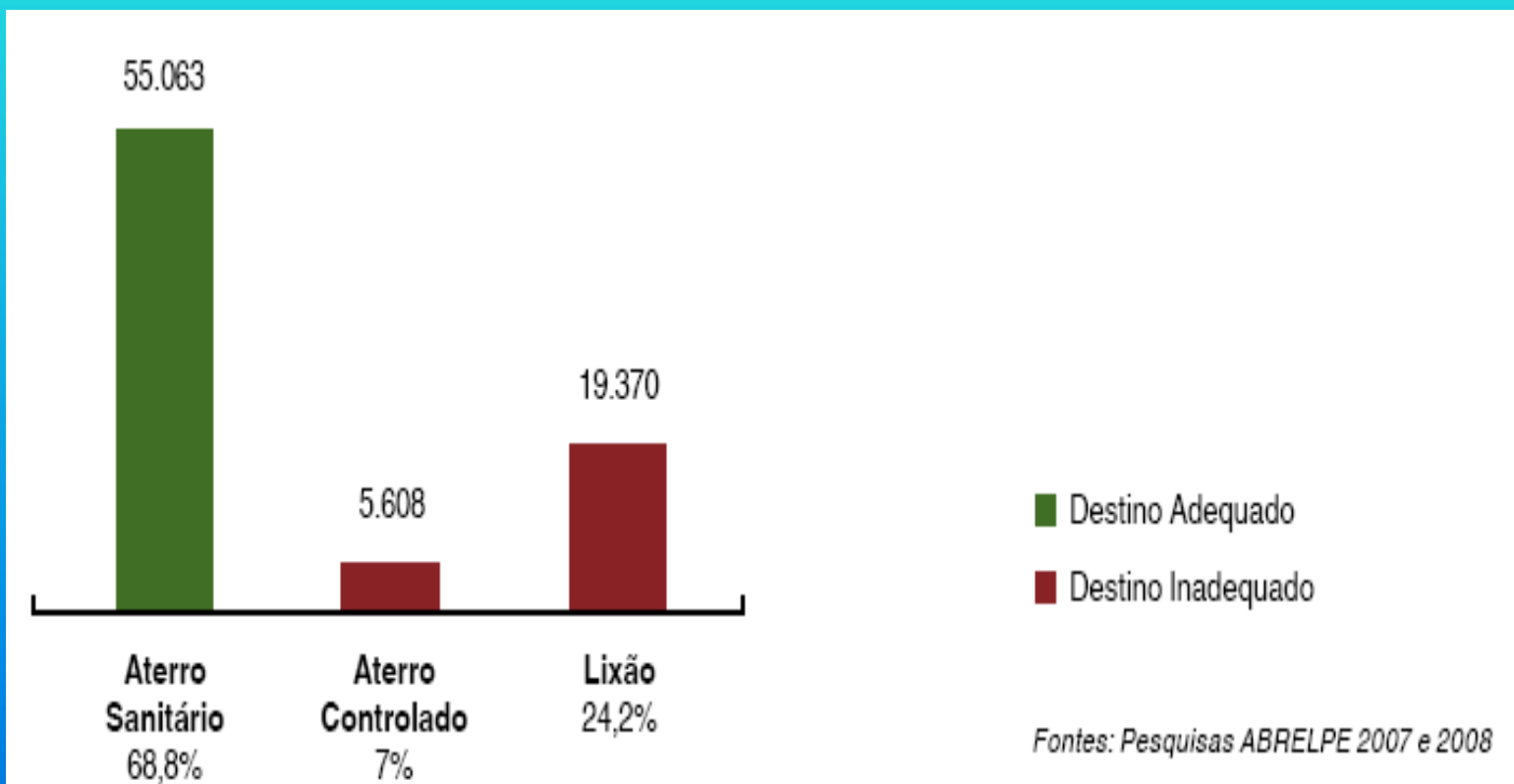
2.2 Destinação Final de RSU na Macrorregião Nordeste (Ton/dia)



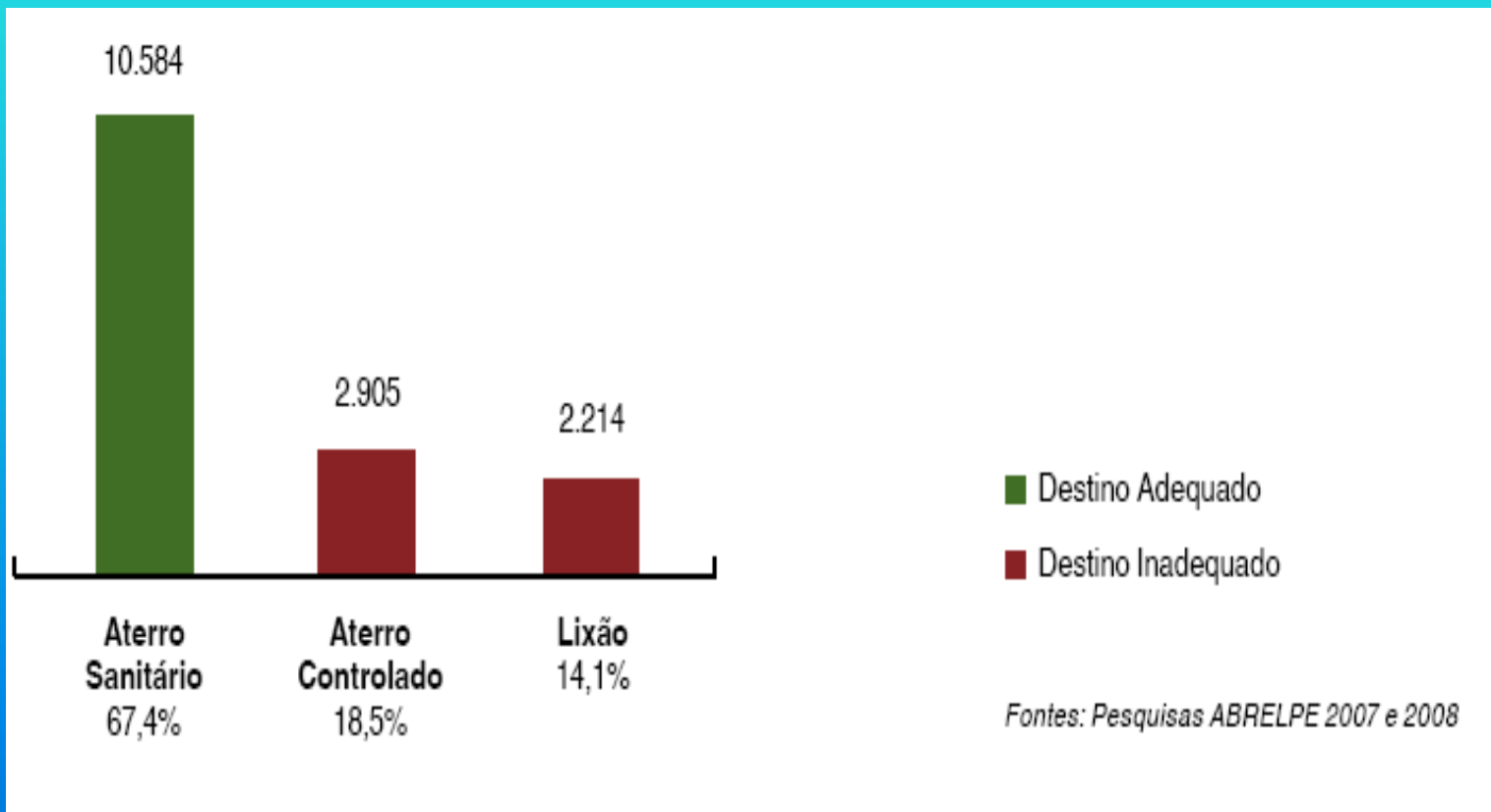
2.3 Destinação Final de RSU na Macrorregião Centro - Oeste (Ton/dia)



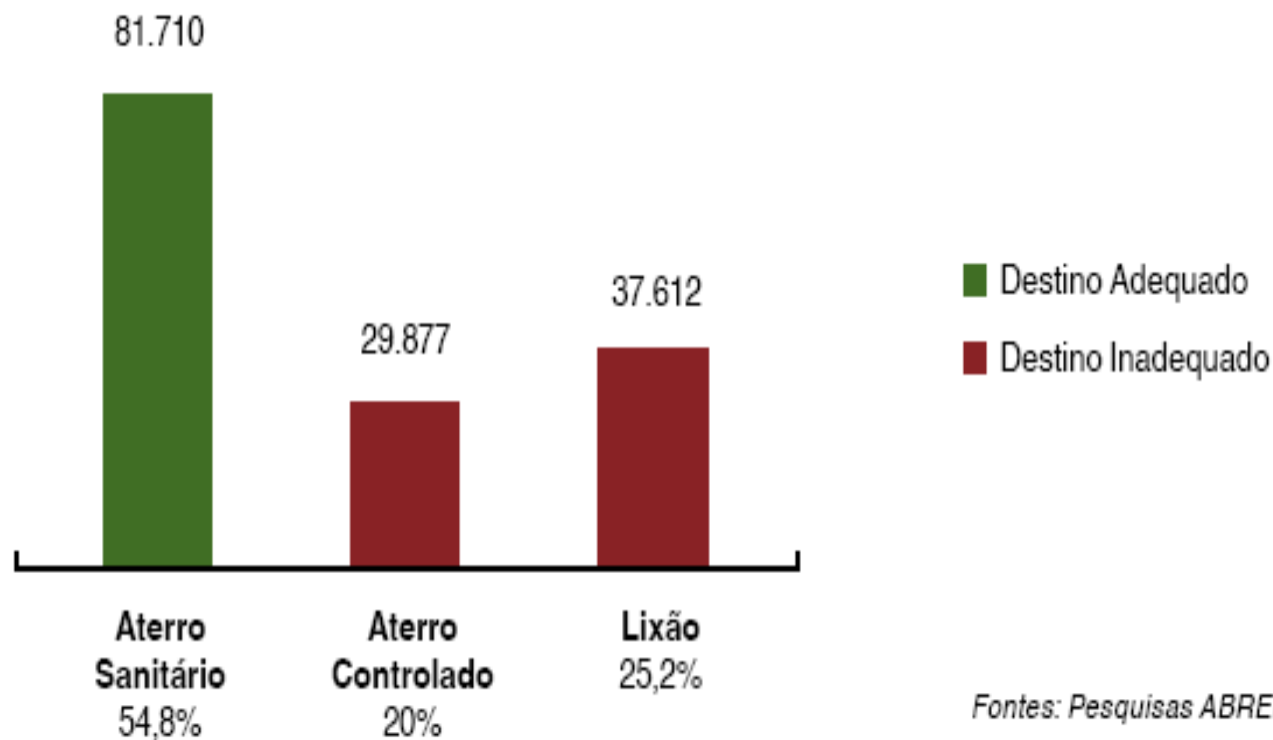
2.4 Destinação Final de RSU na Macrorregião Sudeste (Ton/dia)



2.5 Destinação Final de RSU na Macrorregião Sul (Ton/dia)



2.6 Destinação Final de RSU na Macrorregião Brasil (Ton/dia)



Fontes: Pesquisas ABRELPE 2008

2.7 Quantidade de Municípios por Modalidades Praticadas de Destinação Final de RSU.

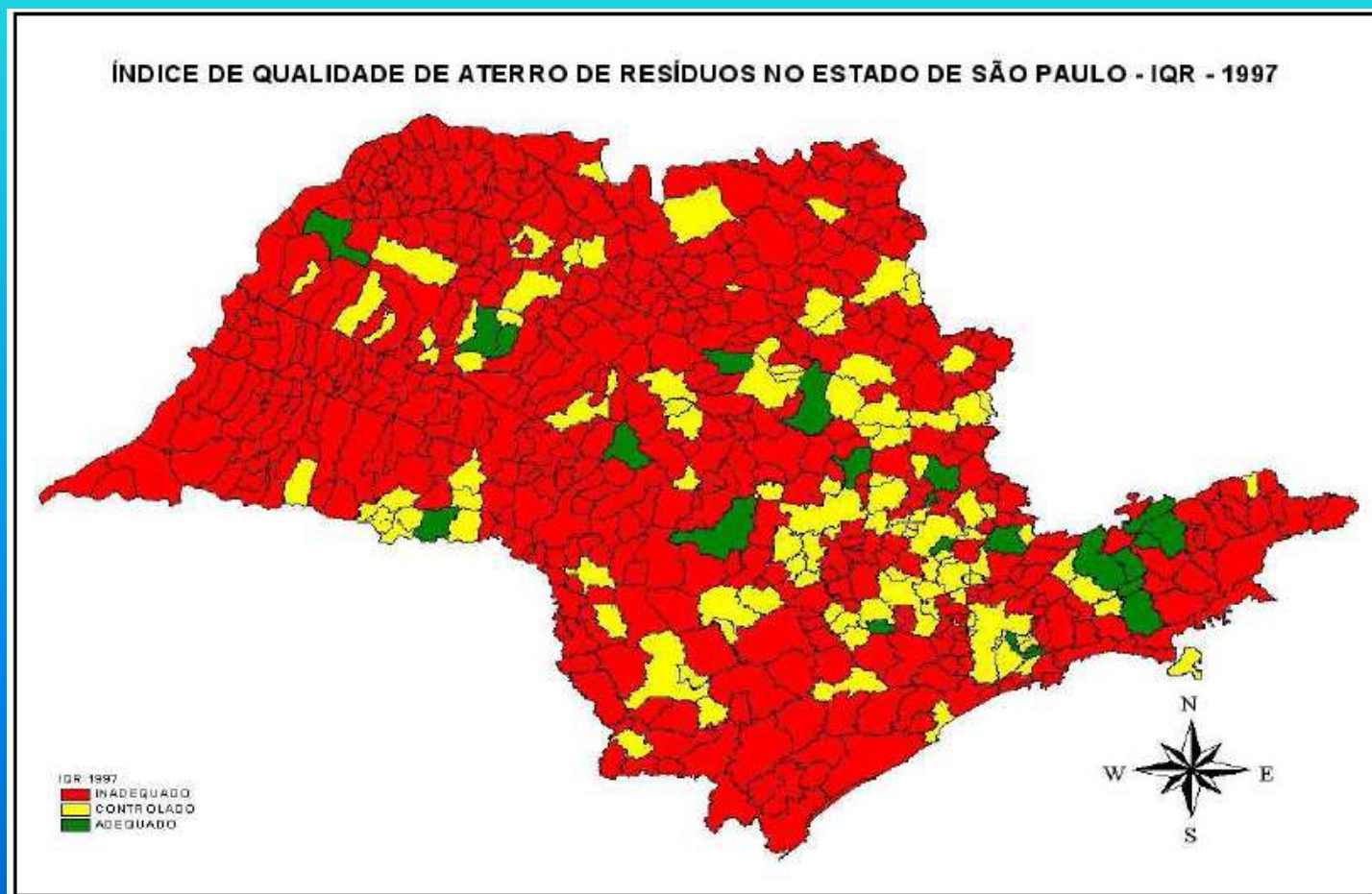


Macrorregiões e Brasil						
Disposição Final	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	Brasil
Aterro Sanitário	67	448	163	789	691	2.158
Aterro Controlado	116	480	163	631	359	1.749
Lixão	266	865	140	248	138	1.657
Brasil	449	1.794	466	1.668	1.188	5.565

Fontes: Pesquisas ABRELPE 2008

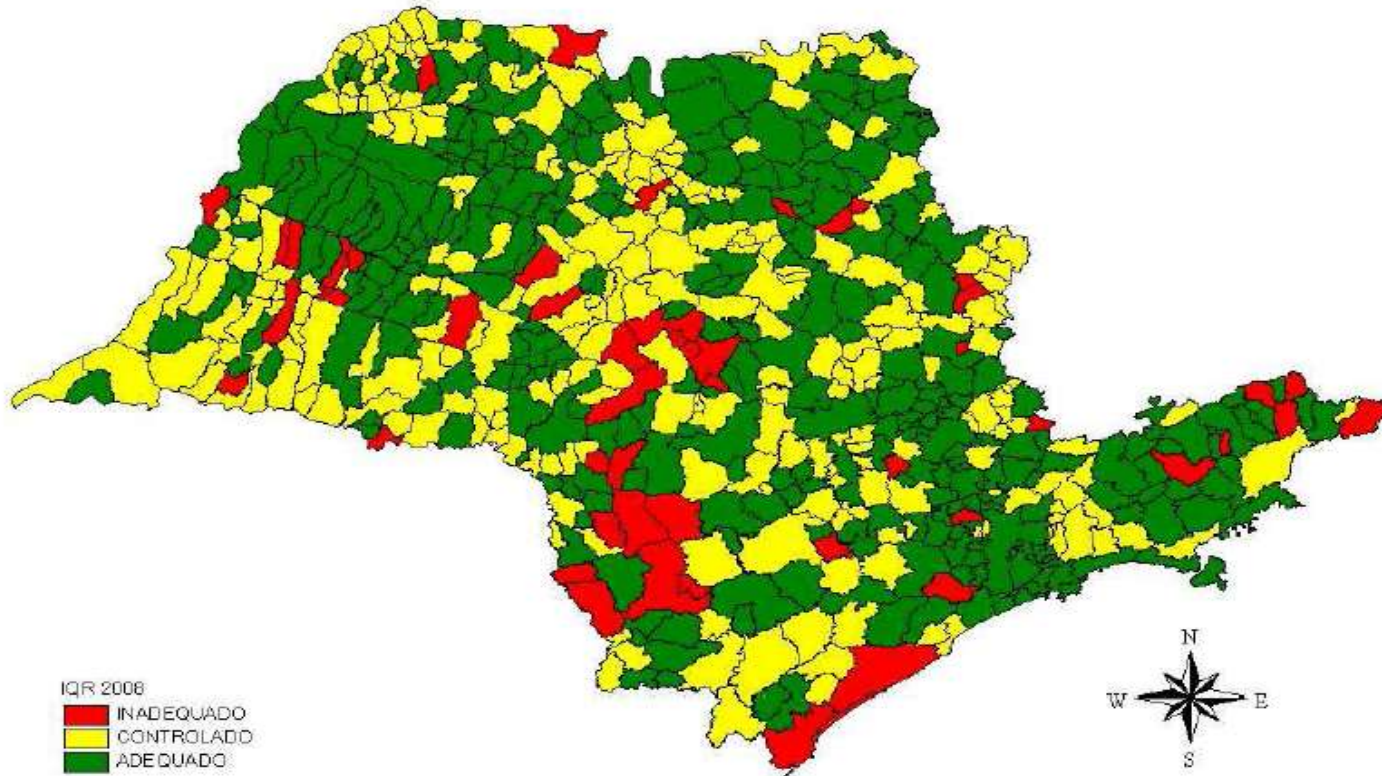
2.8 Destinação Final no Estado de São Paulo (Comparativo 1997-2008).

1997



2008

ÍNDICE DE QUALIDADE DE ATERRO DE RESÍDUOS NO ESTADO DE SÃO PAULO - IQR - 2008





3. RECUPERAÇÃO DE ATERROS INADEQUADOS

3.1 Ações imediatas



- Orientação da população para não utilização da água dos poços rasos;
- Suspensão das atividades e cadastramento dos catadores;
- Levantamento planialtimétrico;
- Vigilância da área; e
- Fechamento da área.

3.2 Principais ações a serem realizadas na área degradada

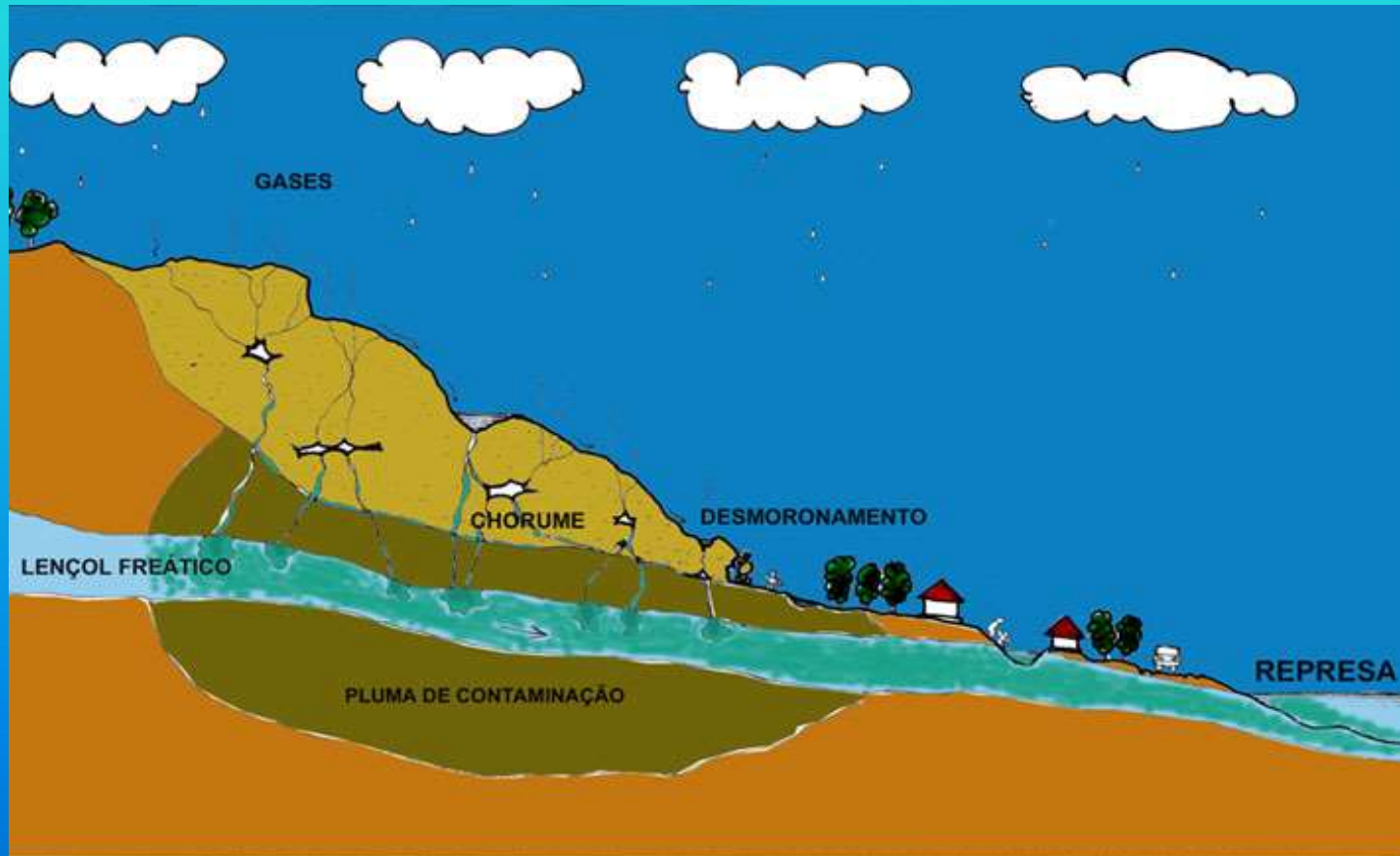


- Remediar o atual lixão através de seu confinamento;
- Drenar efluentes contaminados: chorume e gás;
- Garantir a segurança quanto a estabilidade do maciço;
- Depurar o lençol freático contaminado;
- Reintegrar a região à paisagem; e
- Favorecer a qualidade ambiental.

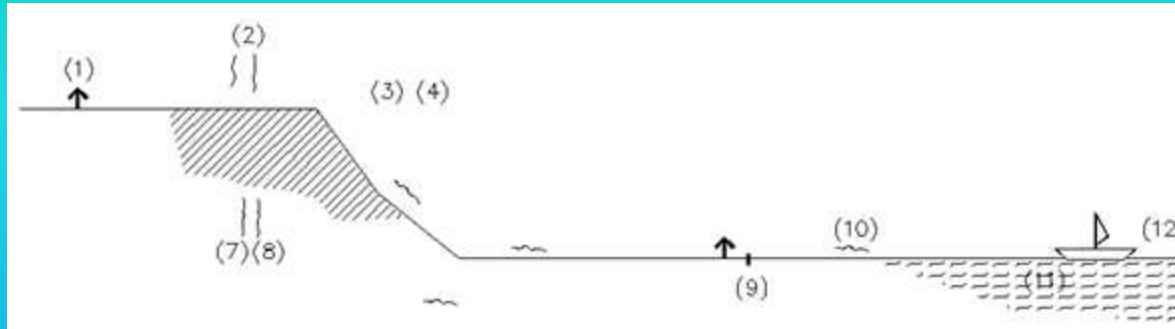
Lixão Alvarenga



3.3 Caracterização da área e Diagnóstico Ambiental



3.4 Caracterização do Problema



- (1) Residências próximas ao depósito de resíduos / contaminação direta;
- (2) Geração de gases, fumaça e odores;
- (3) Presença de macro e micro-vetores (roedores e aves necrófagos, e insetos);
- (4) Visual agressivo e anti-estético a moradores e usuários da Estrada dos Alvarengas;
- (5) Erosão superficial/risco de escorregamento;
- (6) Contaminação da água pluvial que cai sobre o aterro;
- (7) Contaminação do solo;
- (8) Contaminação da água subterrânea;
- (9) Utilização de água contaminada para abastecimento humano e animal, rega e outros usos;
- (10) Contaminação de corpos d'água superficiais;
- (11) Contaminação de sedimentos de fundo;
- (12) Contaminação de organismos aquáticos diversos.

3.5 Possibilidades e Limites de Uso da Área



- **Uso Amplo**
 - Parque Público
 - Centro Esportivo
- **Uso Restrito**
 - Posto de pesquisa para remediação e reintegração ambiental de lixões
 - Centro de referência em reciclagem, tecnologia da recuperação e educação ambiental
- Recuperação para módulo de uso habitacional para fim social
- Limite ao acesso público: Evita depredação de equipamentos e impacto por pisoteio
- Melhorias Associadas
 - a acesso controlado à área: Limite a atração ao processo de ocupação Clandestina

3.6 Alternativas para a Viabilização do Projeto



- Recursos de Programas Estaduais
 - Piscinões
 - Billings - Conbrança pelo Uso da água
- Compensações da Lei de Crimes Ambientais
- Financiamento através do Fundo Nacional do Meio Ambiente
- Financiamento através de Recursos do BNDES
- Financiamento através do Ministérios das Cidades
- Financiamento através da Caixa Econômica (Fundo Ambientais e Habitacionais)
- Empresas parceiras – Medidas Compensatórias
- Medidas compensatórias fiscais (ICMS/Verde)
- Desenvolvimento de parcerias Operacionais
 - ONG's
 - UNIABC
 - UNIFESP
 - Fundações
 - Órgãos de Pesquisa
 - Associações Comerciais
 - Universidades
- Capacitação e envolvimento com a comunidade

3.7 Exemplos de obras realizadas



Embú/SP- Parque Rizzo



Shopping Center Norte/SP



Campo de Golf - Construído no local do aterro sanitário encerrado de Tokyo/Japão

3.8 Exemplo de Recuperação de área degradada



SOLVAY

ANTES



Depois





4. EXEMPLO DE GESTÃO COMPARTILHADA DE RESÍDUOS

4.1 Plano de Gestão Compartilhada de Limpeza Pública no Estado do Espírito Santo



Divisão Regional do Estado

O Estado foi dividido em 10 regiões:

- Grande Vitória
- Aracruz
- Litoral Norte
- Interior Norte-Noroeste
- Colatina
- Das Montanhas
- Caparaó
- Mimoso-Muqui & outros
- Cachoeiro
- Litoral Sul

4.2 Plano de Gestão



Este plano contempla o compartilhamento do sistema de limpeza pública das regiões:



- Caparaó
- Cachoeiro
- Mimoso-Muqui & outros

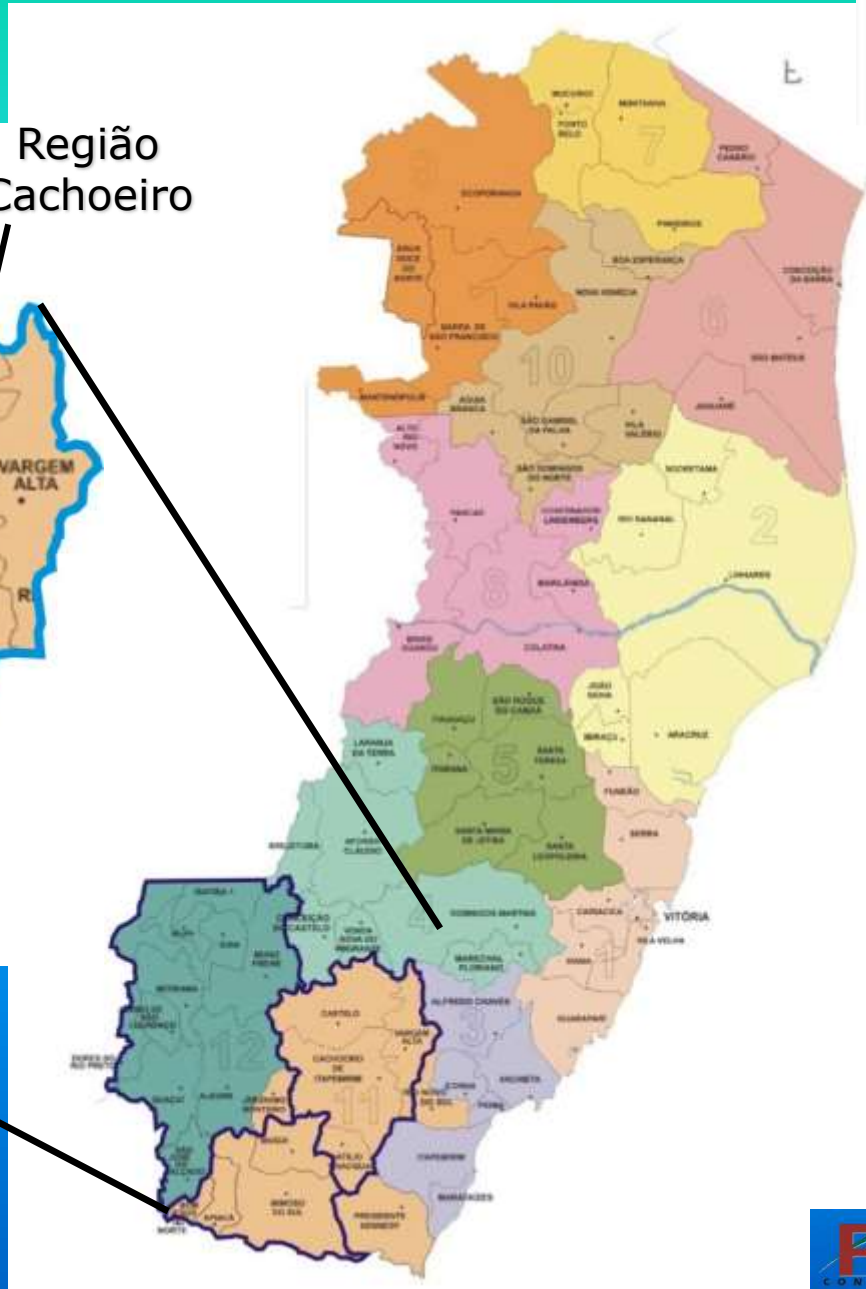
Região do Caparaó



Região Cachoeiro



Região Mimoso-Muqui & Outros



4.3 Região Caparaó



Municípios	Destinação Final	População (IBGE,2006)	Geração de RSU (ton/dia) - população ano 2006
Caparaó			
Alegre	Lixão	32.669	23
Divino de São Lourenço	Lixão	5.354	4
Dores do Rio Preto	Lixão	6.870	5
Guaçuí	Lixão	28.100	20
Ibatiba	Lixão	21.909	15
Ibitirama	Lixão	10.361	7
Irupi	Lixão	10.959	8
Iúna	Lixão	28.433	20
Jerônimo Monteiro	Lixão	11.143	8
Muniz Freire	Lixão	19.344	14
São José do Calçado	Lixão	10.683	7

4.4 Região Mimoso-Muqui & Outros



Municípios	Destinação Final	População (IBGE,2006)
Mimoso - Muqui		
Apiacá	Lixão	8.073
Bom Jesus do Norte	Lixão	10.159
Mimoso Sul	Aterro Licenciado	27.794
Muqui	Lixão	13.708

4.5 Região Cachoeiro



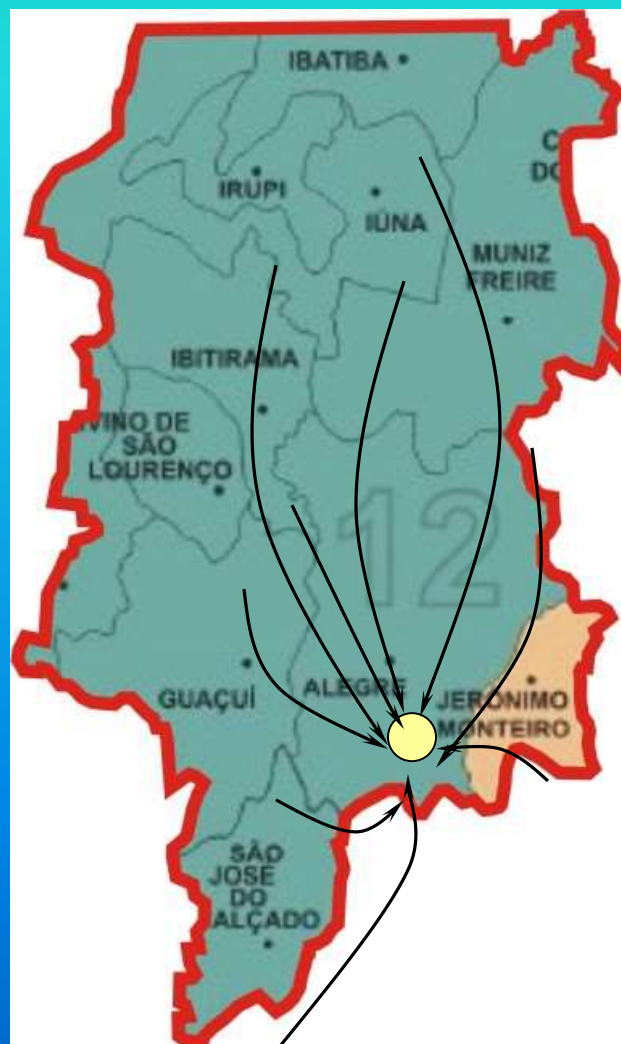
Municípios	Destinação Final	População (IBGE, 2006)	Geração de RSU (ton/dia) – população ano 2006
Cachoeiro			
Atílio Vivacqua	Lixão	9.555	7
Cachoeiro do Itapemirim	Transbordo	198.150	139
Castelo	Lixão	35.054	25
Vargem Alta	Lixão	20.550	14

4.6 Atual Destinação Final



- Município de Cachoeiro do Itapemirim
 - Transbordo
- Município de Mimoso do Sul
 - Aterro Sanitário com LI
- Outros Municípios
 - Lixão

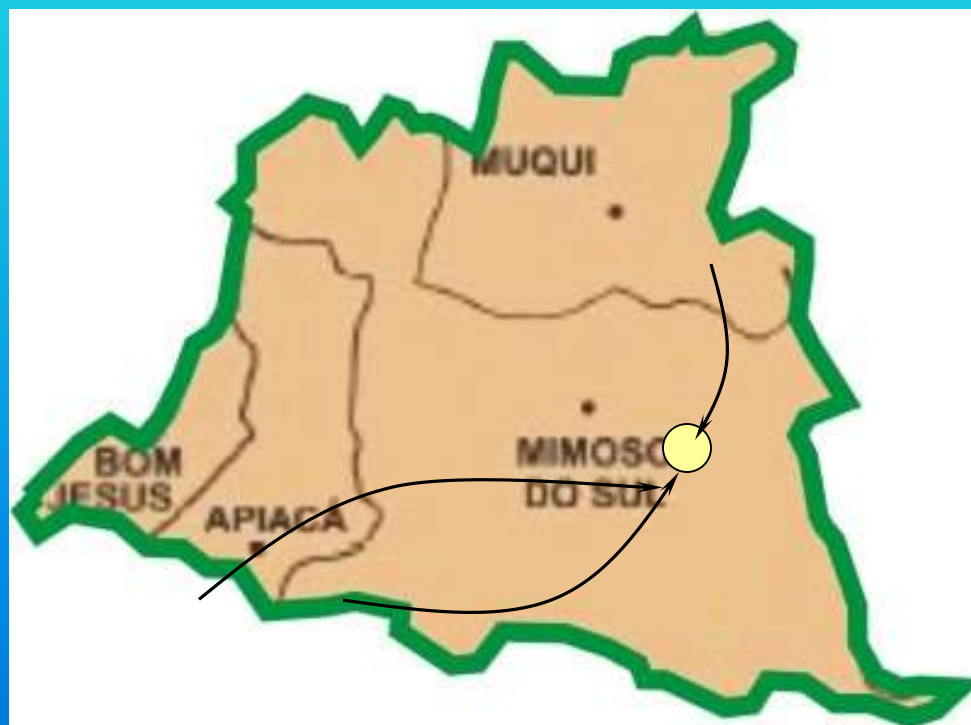
4.7 Sistema Compartilhado Caparaó



● TRANSBORDO

→ COLETA

4.8 Sistema Compartilhado Mimoso - Muqui e Outros



● TRANSBORDO

→ COLETA

4.9 Sistema Compartilhado de Cachoeiro



- ATERRO
- COLETA

4.10 Sistema Compartilhado



● TRANSBORDO

● ATERRO

→ TRANSPORTE DE RSU

4.11 Sistema Compartilhado

- Instalação do Aterro Sanitário no Município de Cachoeiro do Itapemirim;
- Instalação de Estações de Transbordo nos dois Municípios com maior população na Região Caparaó e na Região Mimoso-Muqui & Outros:
 - Alegre (Caparaó); e
 - Mimoso do Sul (Mimoso-Muqui & Outros).
- Encerramento do Aterro de Mimoso do Sul;
- Remediação dos “Lixões” dos outros Municípios.



4.12 Base Estrutural Legal e Organizacional para o Sistema Proposto

- Lei orgânica dos Municípios;
- TAC (Termo de ajustamento de conduta), dispositivo legal de compromissos (deveres/obrigações);
- Lei de Consórcios Públicos (Lei nº 11.107 de 06/04/2005);
- Sustentabilidade econômica através:
 - Investimentos necessários;
 - Custos operacionais de curto e médio prazo (suportados por um fundo de compensação, por exemplo: sócio-ambiental);
 - Custos operacionais de longo prazo (suportados pelos municípios com a implementação gradativa da taxa do lixo);
- Minimização de riscos, fiscalizados pelo IEMA;
- Enquadramento dos gestores na Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605 de 12/02/1998);
- Estruturação, consolidação e fortalecimento da equipe municipal local, bem como sua capacitação;
- Definição de indicadores simples de qualidade dos serviços e sua divulgação.

4.13 Fundo de Compensação (ex: Sócio-Ambiental)



- Compensar os Municípios que detenham unidades de conservação (em seu território) constituídas oficialmente por instrumento legal;
- Apoiar os Municípios que adotem medidas sanitárias adequadas, relativamente à coleta e ao tratamento de lixo;
- Estimular e fortalecer ações que visem à melhoria das condições de saúde e de educação fundamental;
- Fortalecer institucionalmente os Municípios que demonstrem competência administrativa na gestão de seus recursos e na geração de receita própria.





Exemplo do ICMS Verde Implantado em Pernambuco – Pontuações

<i>Tabela 1 - Unidade de Compostagem</i>	<i>Pontuação</i>
LP	2
LI	3
LO	5
Operação Regular	10
Pontuação máxima obtida por unidade de compostagem	20
<i>Tabela 2 - Aterro Sanitário</i>	<i>Pontuação</i>
LP	3
LI	7
LO	10
Operação Regular	40
Desativação do vazadouro	20

4.14 Critérios Preliminares de Inabilitação



- ✓ Quando apresentar crianças catando lixo em aterros ou em lixões;
- ✓ Quando apresentar resíduos sólidos depositados irregularmente a menos de 200 metros de mananciais;
- ✓ Quando apresentar resíduos Classe I (NBR 10.004/ABNT), depositados no solo sem tratamento;
- ✓ Apresentar catadores de lixo residindo nas áreas de disposição final dos resíduos pelos Municípios.



4.15 Taxa do Lixo



- Somente pode ser estabelecida por intermédio de uma lei;
- Base de cálculo deve ser determinada utilizando-se dados físicos do imóvel;
- A lei que a determina deve ser bastante clara;
- Normalmente é cobrado um percentual referente a limpeza pública embutido na taxa de serviços diversos (IPTU).

4.16 Avaliação dos Custos



- Custos de implantação:
 - Das estações de transbordo em Alegre e Mimoso do Sul;
 - Do aterro em Cachoeiro do Itapemirim;
 - Custo de compensação ambiental (encerramento/recuperação urbana) para o Município onde se localiza o aterro=>custo de encerramento.
- Custos de encerramento do Aterro de Mimoso do Sul;
- Custos de remediação dos “lixões” dos municípios;
- Custos de operação:
 - Do aterro de Cachoeiro do Itapemirim;
 - Dos transbordos.
- Custos do transporte dos resíduos dos transbordos até o Aterro.

A COLETA DOS RESÍDUOS DE CADA MUNICÍPIO E O TRANSPORTE DOS MESMOS ATÉ OS TRANSBORDOS SERÁ DE RESPONSABILIDADE DAS RESPECTIVAS PREFEITURAS

4.16.1 Avaliação de Custos Preliminar



Região	Caparaó (11 lixões)	Mimoso-Muqui & Outros (3 lixões)	Cachoeiro (3 lixões)
Descrição			
Recuperação dos "lixões"	R\$ 4.487.978,00	R\$ 1.223.994,00	R\$ 1.223.994,00
Encerramento do Aterro		R\$ 280.925,24	
Implantação de Transbordo	R\$ 590.130,00	R\$ 590.130,00	
Operação de Transbordo (com transporte até o Aterro de Cachoeiro)	R\$ 15.066.615,87	R\$ 2.618.853,17	
Implantação de Aterro			R\$ 7.924.750,38
Operação de Aterro			R\$ 40.721.588,29
CUSTOS TOTAIS POR REGIÃO (10 ANOS)	R\$ 20.144.723,87	R\$ 4.713.902,41	R\$ 49.870.332,67
		TOTAL	R\$ 74.728.958,95
	(Incluindo Transbordos, transporte e destinação final) R\$/ton		R\$ 31,36



- Considerando população total de 508.868 habitantes;
 - Média de 4 habitantes por domicílio;
 - Total de domicílios = 127.217;
 - Considerando 50% de domicílios isentos, portanto: 63.609 domicílios contribuintes; e
 - Custo Anual Total = R\$ 7.472.895,90.
-
- Portanto:
 - Custo Anual por domicílio contribuinte = R\$ 117,48
 - Custo Mensal por domicílio contribuinte = R\$ 9,79



5. Fatores que Afetam o Desempenho e/ou custos Operacionais Totais dos Aterros Sanitários

5.1 Fatores Anteriores à Implantação



ANTERIORES À IMPLANTAÇÃO					
	GASTOS E AÇÕES REALIZADAS		CONSEQUÊNCIAS		
	Suficiente	Necessária	Favorável	Desfavorável	Indiferente
• Projeto					
- Seleção da área (Adequada ou Não Adequada)		x	x		
- Avaliação correta das condicionantes		x	x		
- Diagnóstico Ambiental		x	x		
• Licenciamento					
- Esclarecimentos na ADA		x	x		
- Esclarecimentos na AIA		x	x		
• Aquisição, Desapropriação ou Locação da Área	x		x		
• Compensação Sócio-Ambiental – Fase I	x		x		

5.2 Fatores da Implantação



IMPLANTAÇÃO					
	GASTOS E AÇÕES REALIZADAS		CONSEQUÊNCIAS		
	Suficiente	Necessária	Favorável	Desfavorável	Indiferente
• Obras					
- Equipamentos		X	X		
- Insumos		X	X		
- Controle		X	X		
• Instalações					
- Operacionais		X	X		
- Apoio		X	X		
- Controle		X	X		
• Compensação sócio-ambiental - Fase II	X		X		
• Capacidade Técnica da Mão de Obra					
- Operacional		X	X		
- Controle		X	X		
• Esclarecimentos à População		X	X		

5.3 Fatores durante a Operação



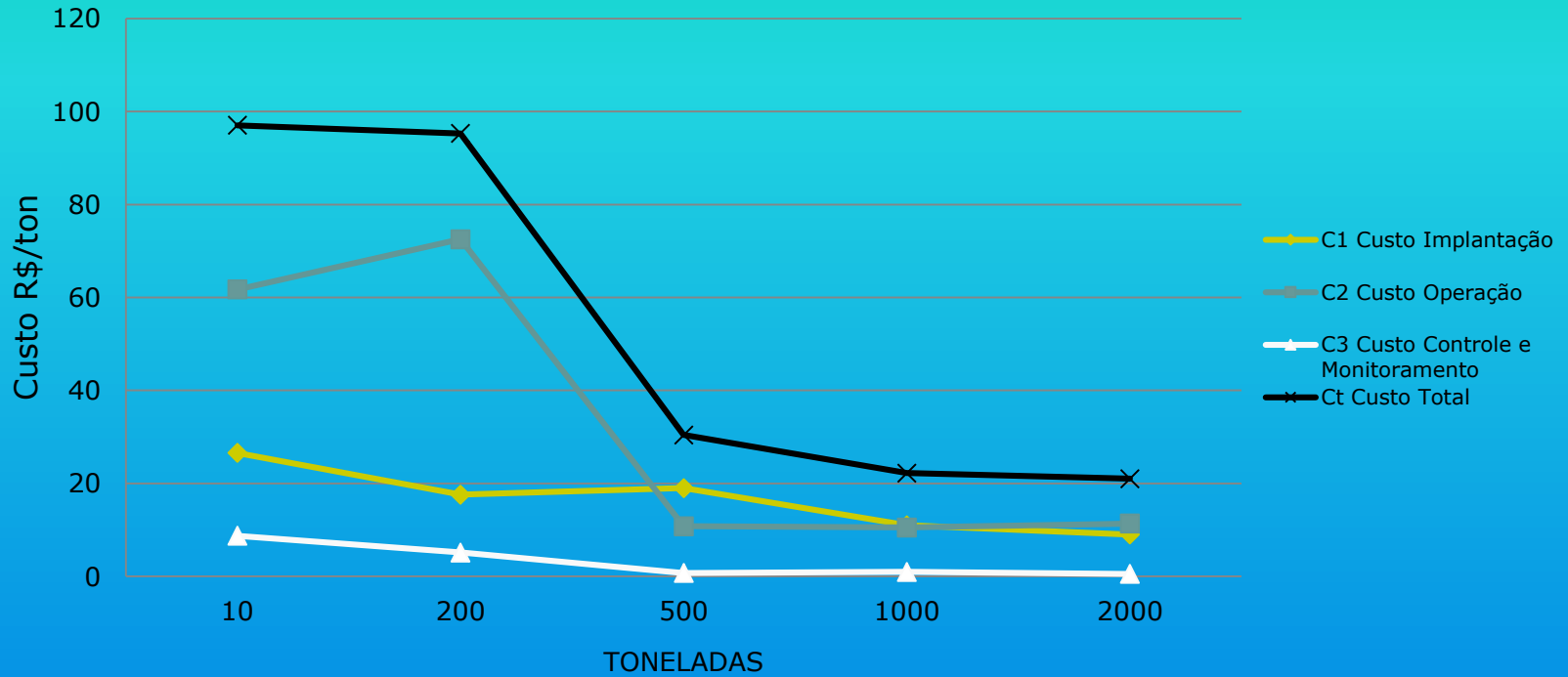
Durante a Operação					
	GASTOS E AÇÕES REALIZADAS		CONSEQUÊNCIAS		
	Suficiente	Necessária	Favorável	Desfavorável	Indiferente
• Obras					
- Equipamentos		X	X		
- Insumos		X	X		
- Controle		X	X		
• Instalações					
- Operacionais		X	X		
- Apoio		X	X		
- Controle		X	X		
• Compensação sócio-ambiental - Fase II		X	X		
• Capacidade Técnica da Mão de Obra					
- Operacionais		X	X		
- Controle		X	X		
• Esclarecimentos à População					X



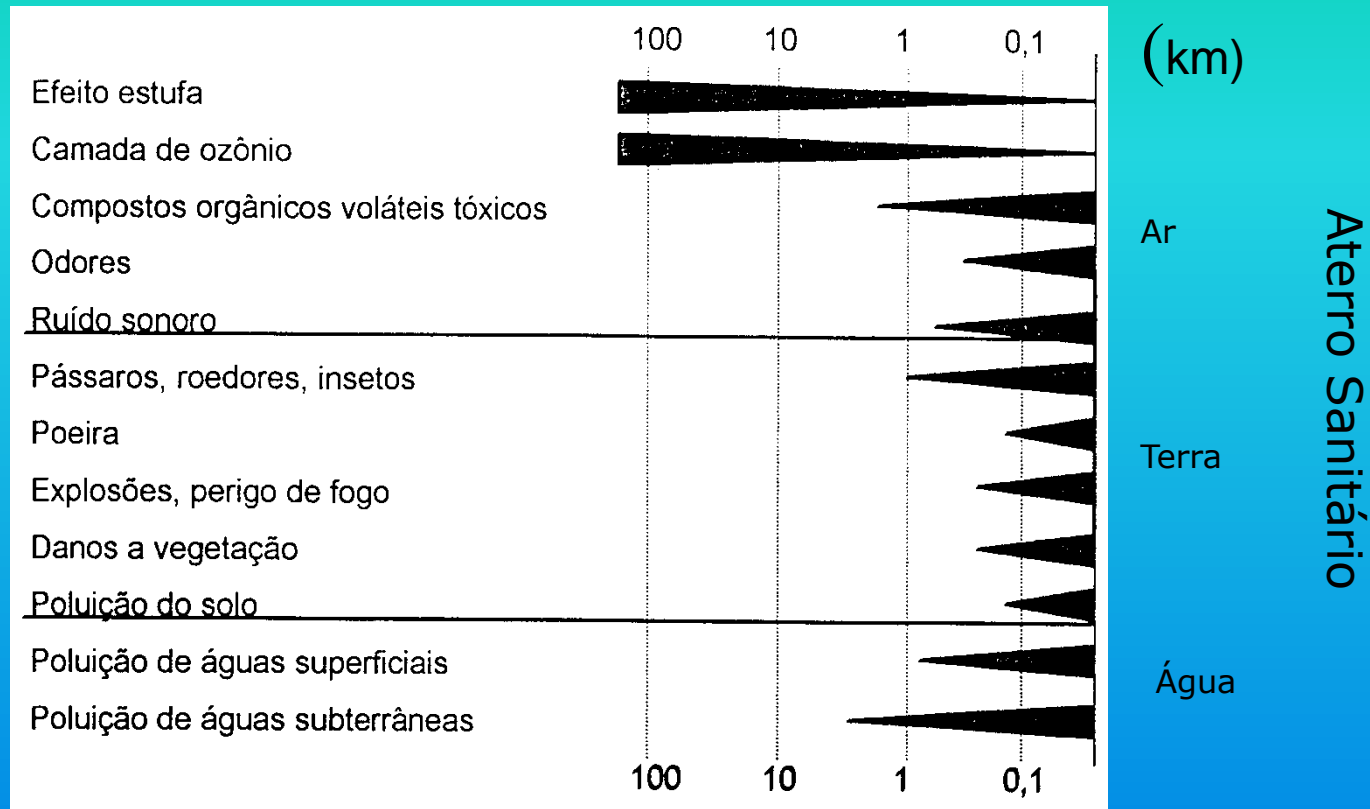
6. Porte e Custos de Implantação e Operação de Aterros Sanitários em Função de seu Porte

PORTE / (TON/DIA)	C1 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO	C2 CUSTOS DE OPERAÇÃO	C3 CUSTOS DE CONTROLE E MONITORAMENTO	CT CUSTO TOTAL/TON
GRANDE PORTE T >1000 TON/DIA	9,00	11,37	0,53	21,00
MÉDIO À GRANDE PORTE 500 TON/DIA < T ≤ 1000 TON/DIA	11	10,52	0,99	22,50
MÉDIO PORTE 200 TON/DIA < T ≤ 500 TON/DIA	19	10,80	0,73	30,43
PEQUENO À MÉDIO PORTE 10 TON/DIA < T ≤ 200 TON/DIA	17,59	72,54	5,14	95,27
PEQUENO PORTE T ≤ 10 TON/DIA	26,55	61,74	8,74	97,03

Porte do aterro/ Custos de Implantação, Operação e Monitoramento



Potencial de Impactos Ambientais



Aterro Sanitário

Possíveis impactos provocados por um aterro sanitário e as respectivas zonas de influência



7. PROJETO, IMPLANTAÇÃO E MONITORAMENTO DE ATERROS SANITÁRIOS

7.1 Critérios de Seleção da Área



- Técnico-econômicos
- Ambientais
- Geo-hidrogeológicos
- Geotécnicos
- Resíduos a serem despositados

7.1.1 Critérios Técnicos - Econômicos



- Acessos
- Distância
- Área disponível
- Volume útil
- Disponibilidade de Solo
- Uso geral
- Titulação
- Infra-estrutura
- Valor do terreno

7.1.2 Critérios Ambientais

- Clima
- Nascentes
- Profundidade e fluxo do lençol freático

7.1.3 Condições Geo-hidrogeológicas

- Vegetação/ Fauna
- Áreas de Preservação
- Drenagem Natural (utilização d' água)
- Proximidade/Contenção do avanço urbano

7.1.4 Critérios Geotécnicos

- Resistência/Capacidade suporte do terreno de base e encostas
- Compressibilidade
- Caracterização do material disponível

7.1.5 Caracterização dos Resíduos

- Origem
- Composição



7.2 Concepção Básica de um Projeto



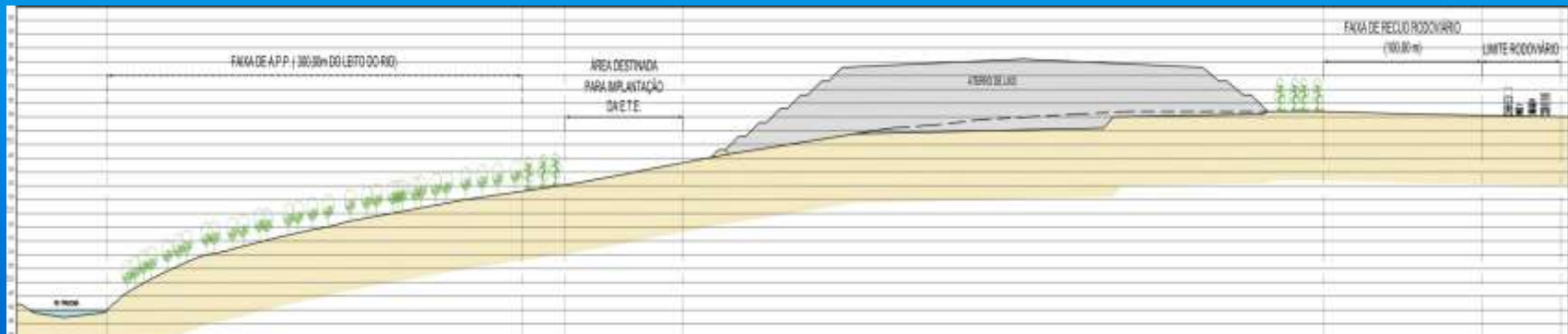
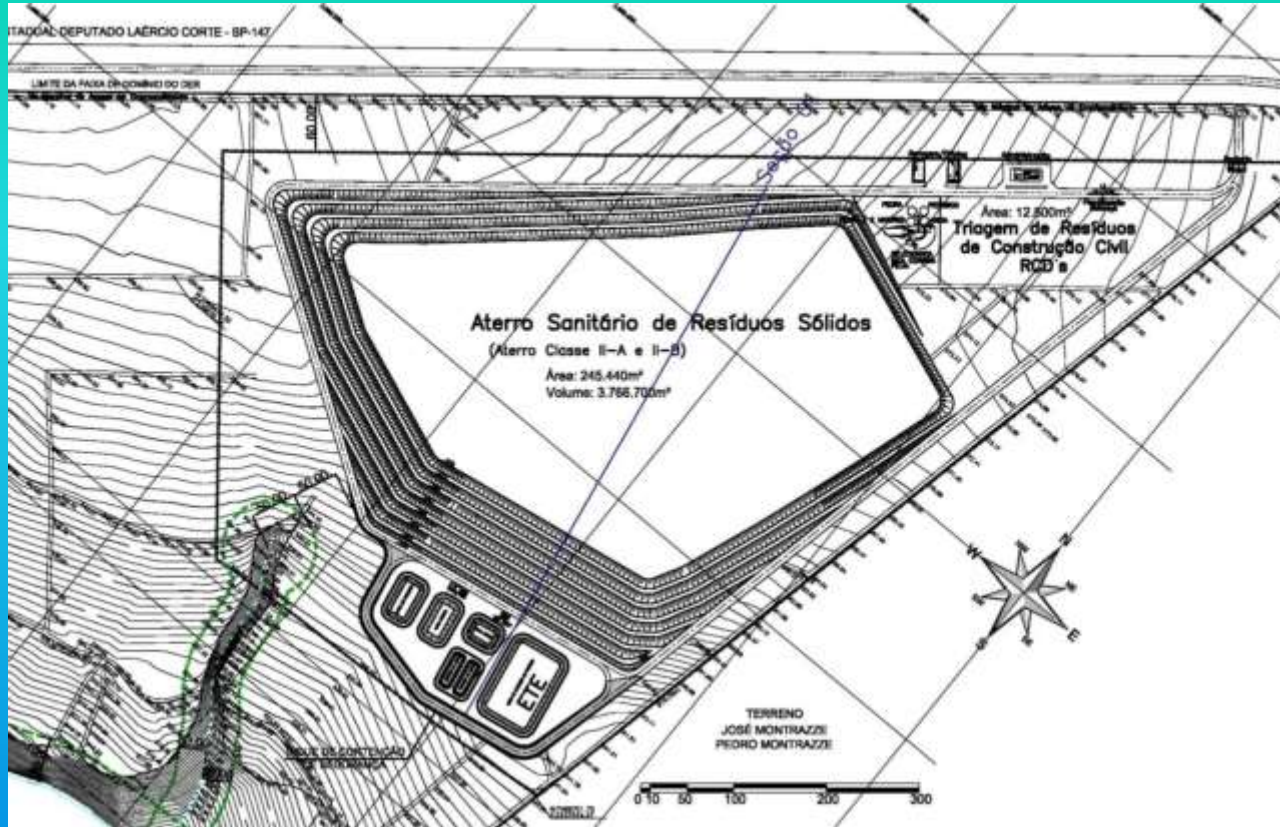
- Implantação
- Impermeabilização de base
- Drenagem de percolado
 - Drenos de fundação
 - Drenos de célula
- Tipologia
 - Altura de células
 - Declividade de Taludes
 - Largura de bermas
 - Camadas de fechamento
 - ✓ Diário
 - ✓ Final
 - Drenagem de Chorume
 - Tratamento de percolado

- Infra-estrutura

- Portaria/escritório/balança
- Oficina de manutenção/almojarifado
- Redes
 - ✓ energia
 - ✓ abastecimento de água/esgoto
 - ✓ Telefonia

- Acessos

Lay-out Geral CGR OASIS



7.3 Estudos Geotécnicos



- Parâmetros característicos;
- Características físicas típicas de RSU's;
- Granulometria;
- Estabilidade do aterro sanitário;
- Deformabilidade.



7.4 Parâmetros Característicos



- Físicos
 - Composição
 - Granulometria
 - Densidade
 - Umidade

- Mecânicos
 - Resistência
 - ✓ Coesão e ângulo de atrito
 - Deformabilidade



7.5 Características Físicas Típicas de RSU's



PARÂMETROS	SÃO PAULO	SALVADOR
Peso Específico Compactado (Kg/m ³)	800 a 1.300	750 a 900
pH	-	-
Umidade	61,28	54,00
Poder Calorífico (cal/g)	3.920,00	-

7.6 Granulometria

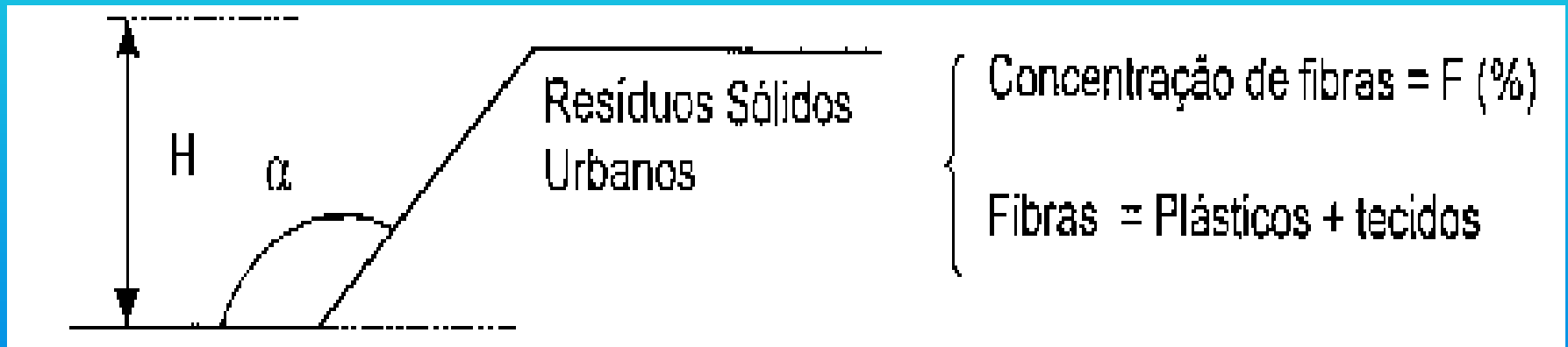


COMPONENTES	DIÂMETRO (mm)
Papelão	431,8
Papel	292,1
Plástico	203,2
Borracha	177,8
Tecidos	139,7
Couro	127,0
Madeira/Metals	121,9
Vidro	101,6
Resíduos Alimentares	88,9
Podas Vegetais	76,2
Outros	38,1



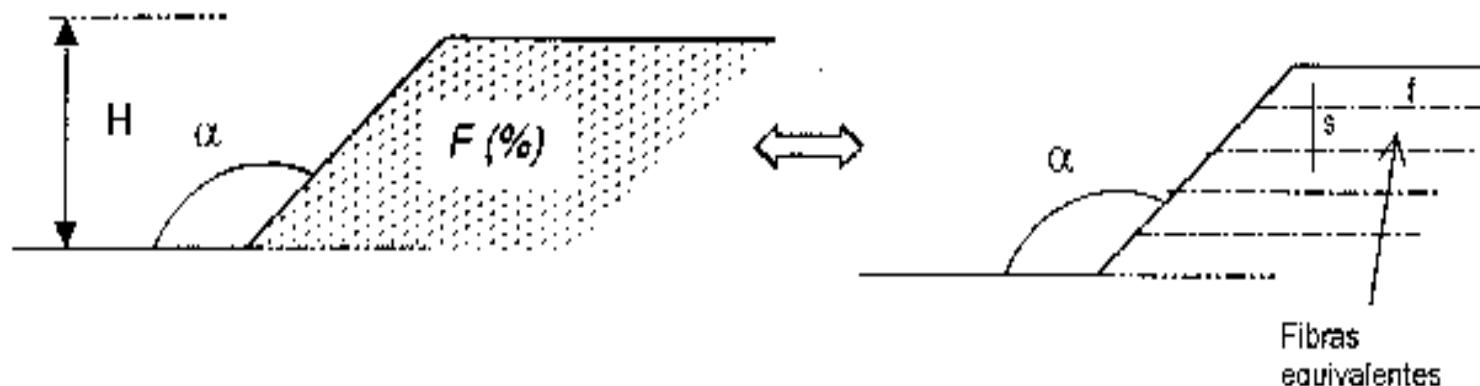
7.7 Estabilidade do Aterro Sanitário

Até o momento, pela ausência de outros modelos consolidados, o estudo da estabilidade de aterros sanitários vem sendo desenvolvido segundo os métodos clássicos de análise de estabilidade por equilíbrio limite.



$$F (\%) = \frac{P_{fibras}}{P_{total}} \times 100$$

7.8 Estabilidade do Aterro Sanitário



F = densidade superficial da "fibra equivalente" para um espaçamento "S" préfixado

S = espaçamento entre fibras equivalentes

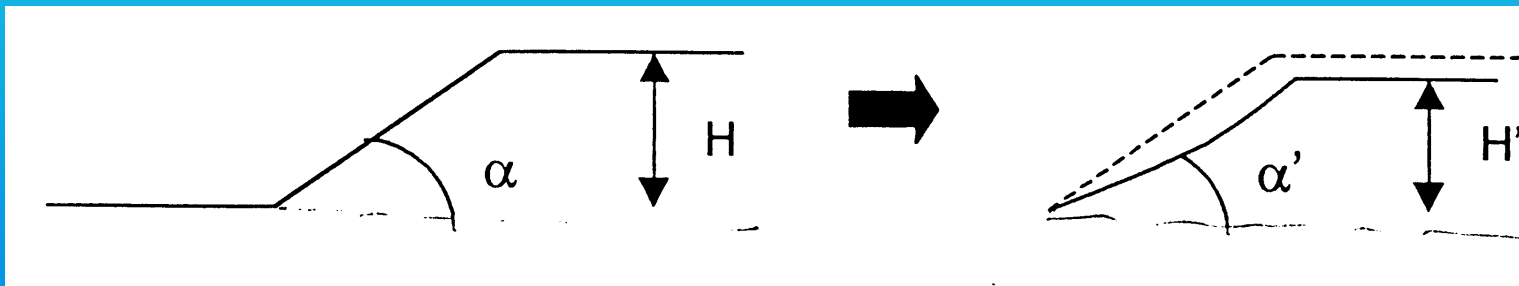
$$F = (F(\%) \times H \times \gamma) / S$$

onde

γ = densidade natural média do resíduo

7.9 Deformabilidade

Aterros sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) apresentam grande deformabilidade vertical e horizontal condicionados pelo baixo módulo de elasticidade destes maciços (E) e fortemente associadas ao período construtivo aos aterros.



$$5t/m^2 < E < 20t/m^2 \text{ (Kolsch)}$$

7.10 Drenagem de Líquidos Percolados



PERCOLAÇÃO (P_{ER})

Avaliação da Vazão

$$P_{ER} = P - ES \times DAS - ER$$



onde:

P = precipitação mensal

ES = escoamento superficial = $C'.P = \alpha.C.P.$

onde: C = coeficiente de escoamento superficial

α = coeficiente de redução

ΔAS = variação da quantidade de água armazenada no solo, mês a mês =
f(capacidade de campo do solo e espessura da camada de cobertura)

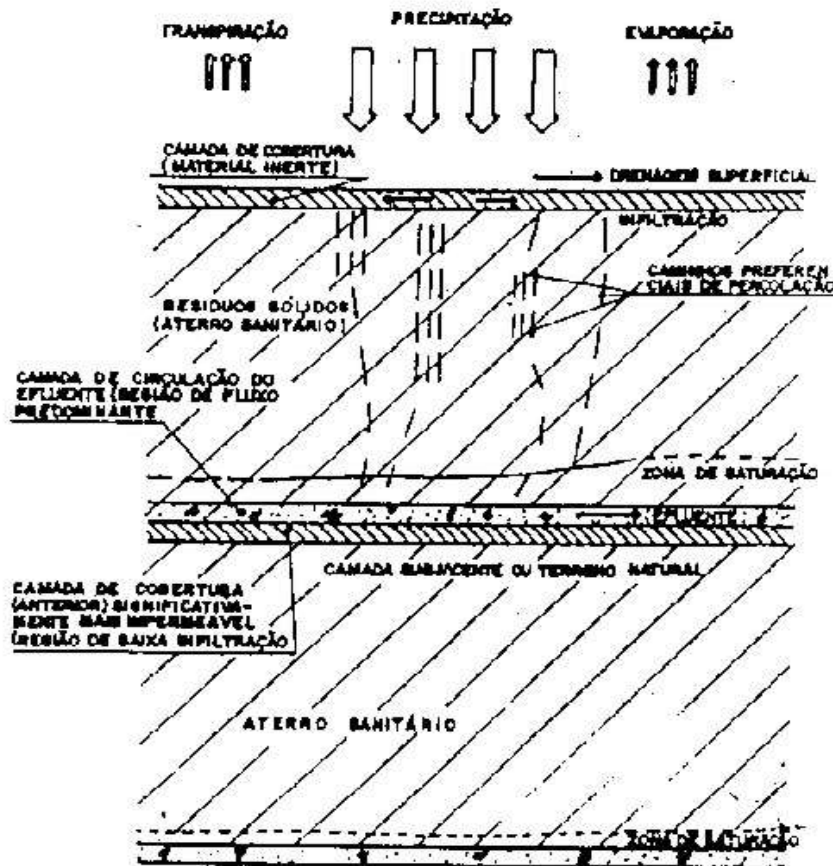
ER = evapotranspiração real = $EP + [(I - EP) - DAS]$

onde: I = Infiltração = $P - \alpha.C.p = p(i - \alpha.c)$

EP = evapotranspiração potencial

Esquema Balanço Hídrico

Figura 13 - Esquemática do Balanço Hídrico em Aterros Sanitários





- Dimensionamiento dos drenos
 - Dreno de fundação
 - Dreno de Célula

7.11 Tratamento de Líquidos Percolados



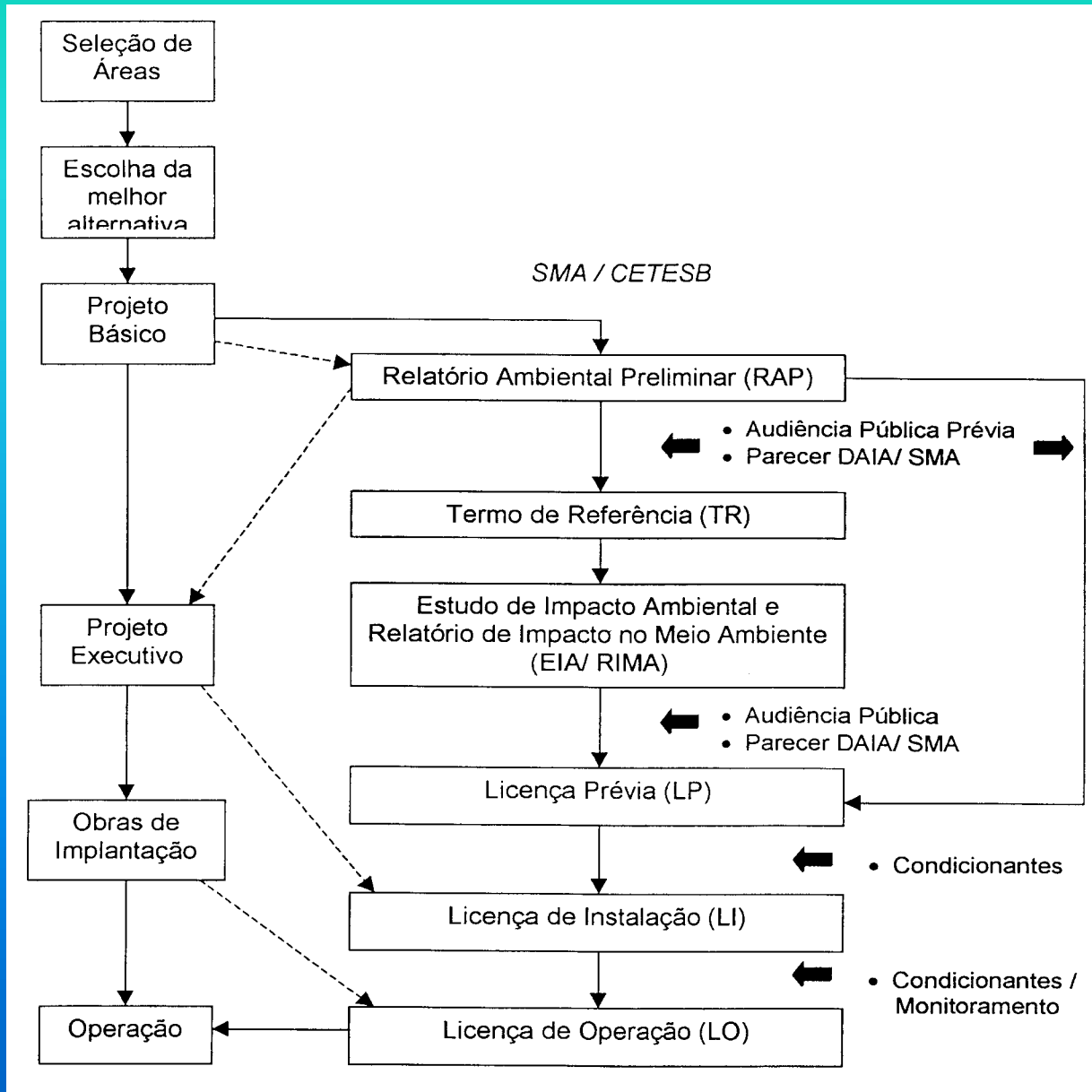
- Balanço hídrico > 0
 - Recirculação + tratamento do excedente
 - Tratamentos biológicos
 - Lagoas facultativas
 - Lodos ativados
 - Fito remediação
 - reatores anaeróbios
 - Tratamentos físico químicos
 - Lagoas aeradas
 - Osmose reversa
 - Carvão ativado



- Balanço Hídrico < 0
 - ❖ Recirculação
 - ❖ Lodos ativados
 - ❖ Lagoas
 - Contenção
 - Tratamento

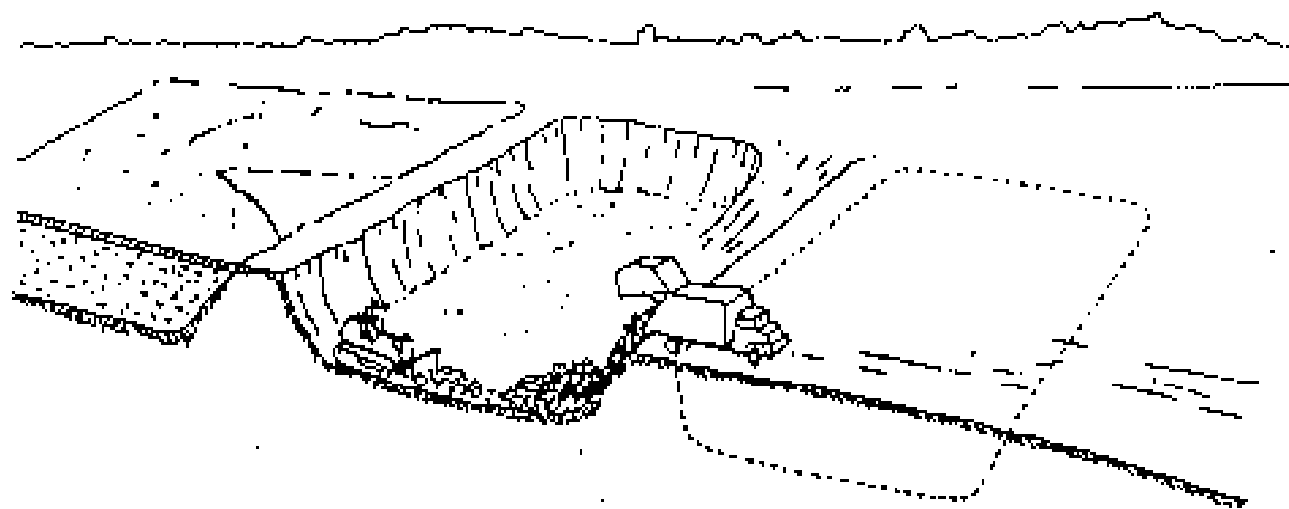


7.12 Fluxograma de Implantação e Licenciamento Ambiental



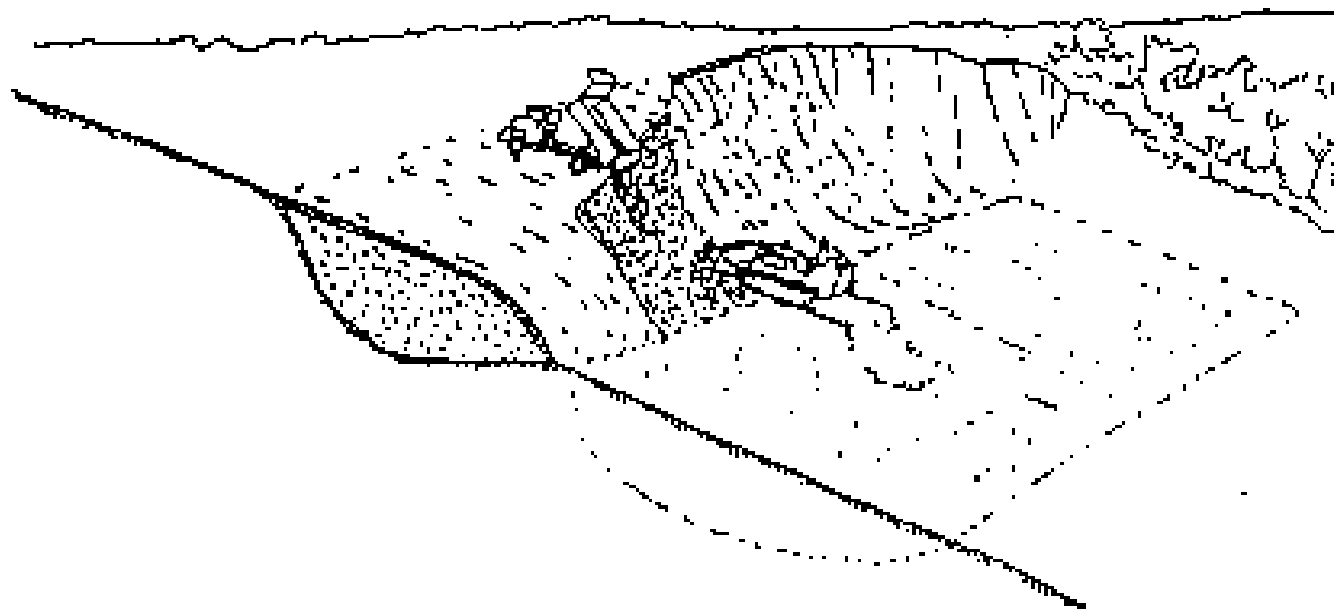
Métodos Operacionais

A – Método da trincheira



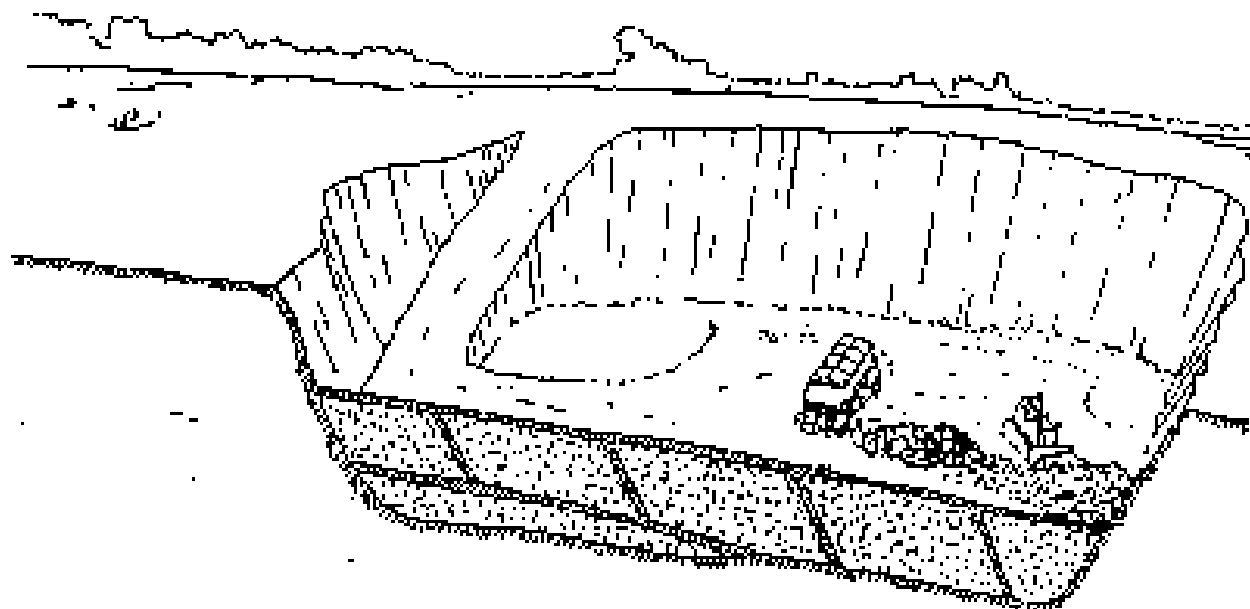
Métodos Operacionais

B – Método da rampa



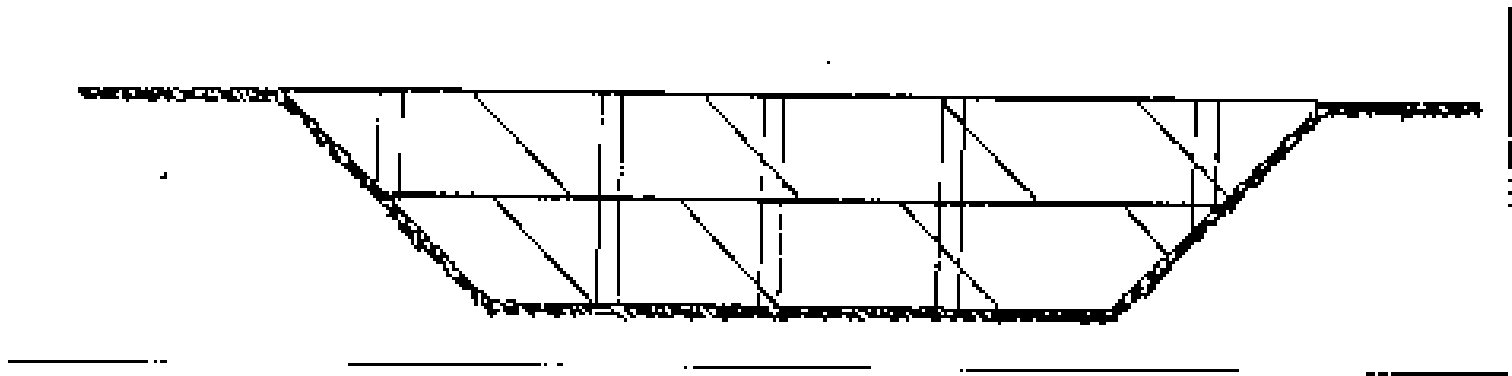
Métodos Operacionais

C - Método da área



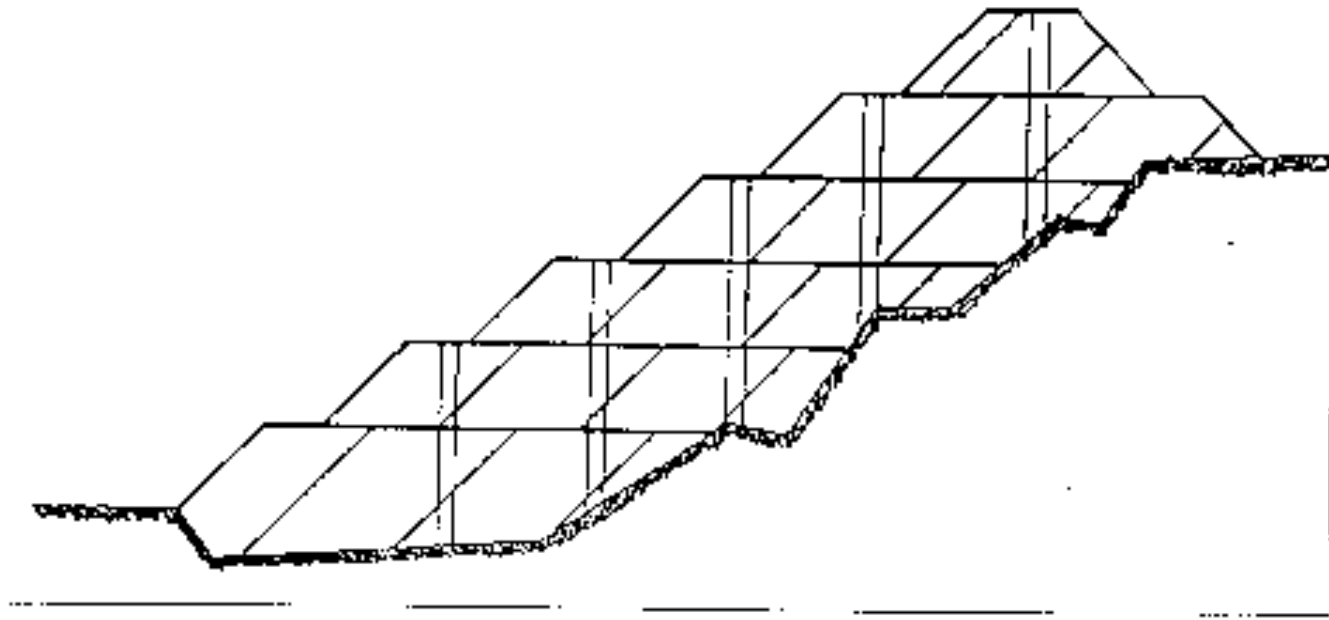
Métodos Operacionais

C.1 - Em cava



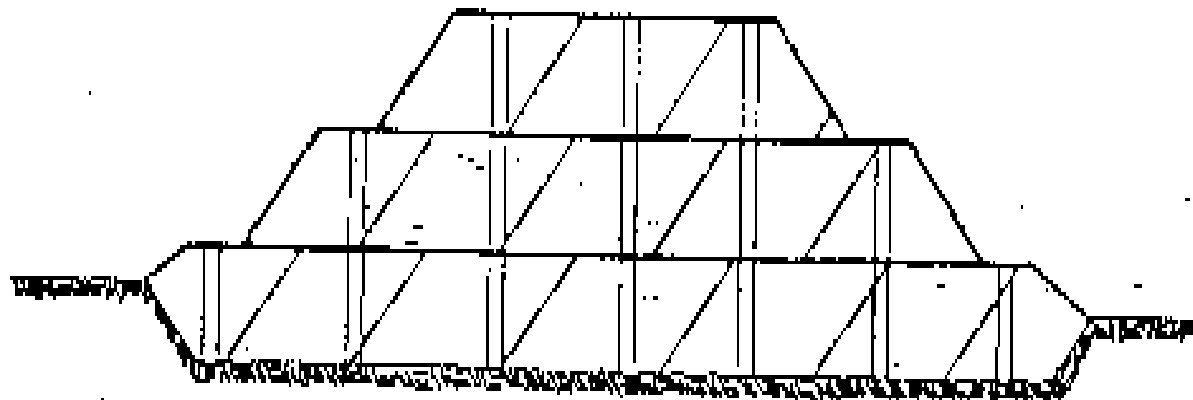
Métodos Operacionais

C.2 - Em meia encosta



Métodos Operacionais

C.3 - Em pilha



7.13 Fases de Implantação



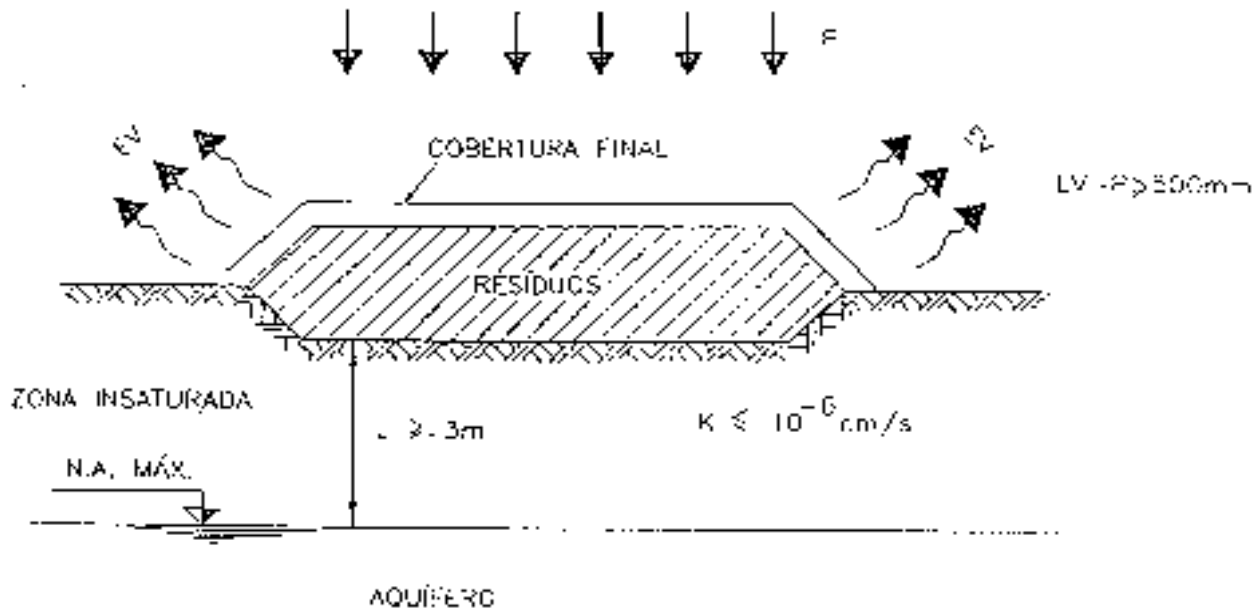
- Trabalhos iniciais
 - Canteiro de obras
 - Terraplanagem e regularização do terreno
 - Drenagem de nascentes



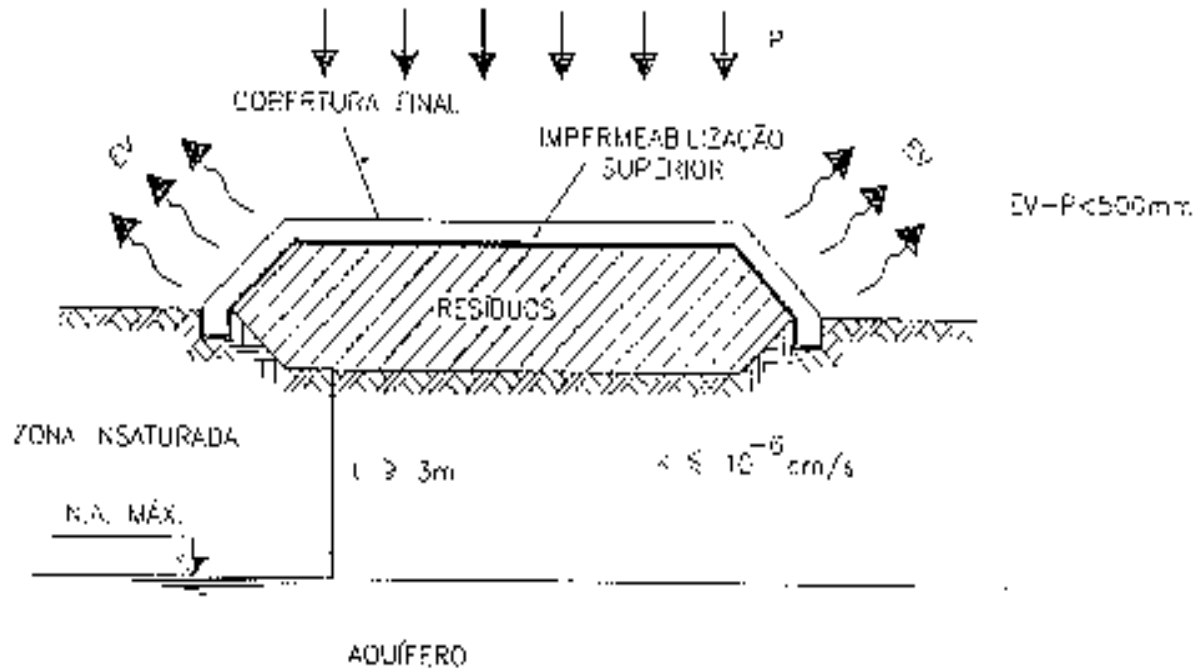


- Impermeabilização de base (“Liners”)
 - Obrigatório a partir da década de 80, incorporando membranas artificiais flexíveis, sobretudo, após as recomendações da EPA, de julho/82
 - “A prevenção (via uma membrana flexível) ao invés de minimização (via camada de argila de impermeabilização), da migração (pluma) de líquidos percolados, produz melhores resultados ambientais e fornece maiores garantias de que não irão ocorrer contaminações no meio ambiente”

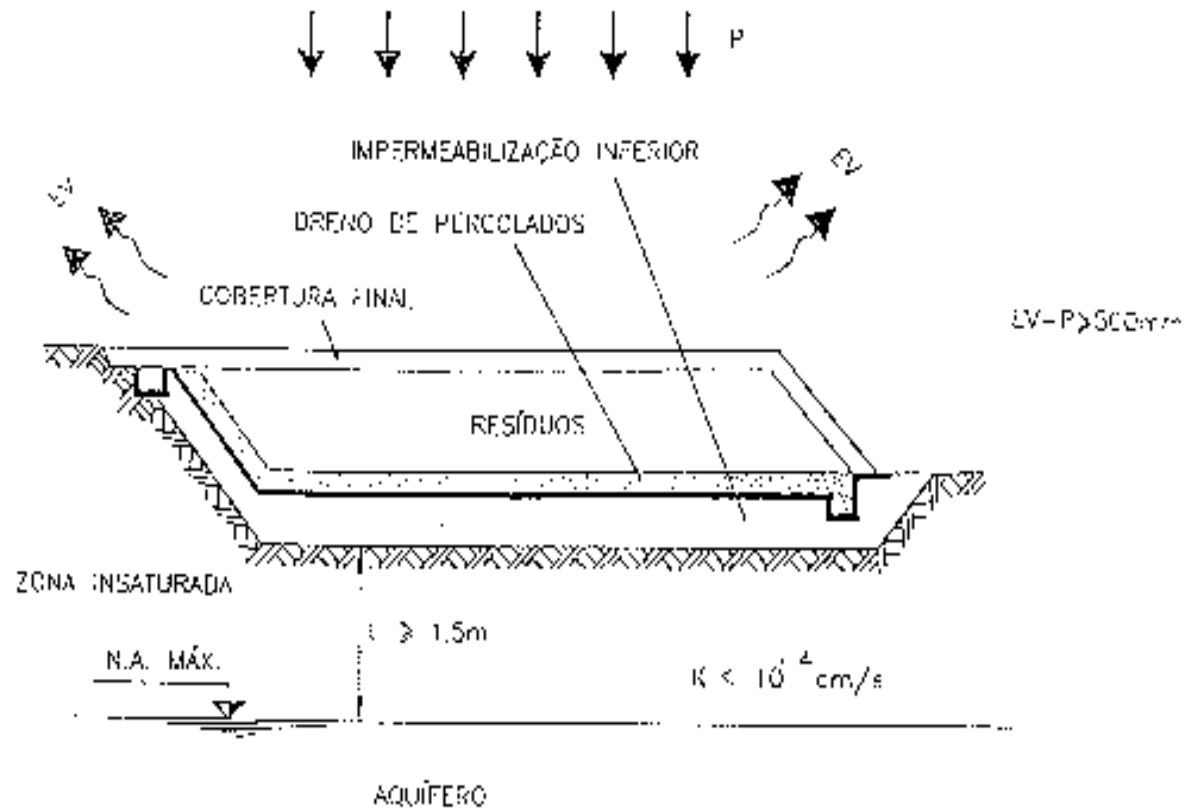
7.13.1 Critérios de Impermeabilização



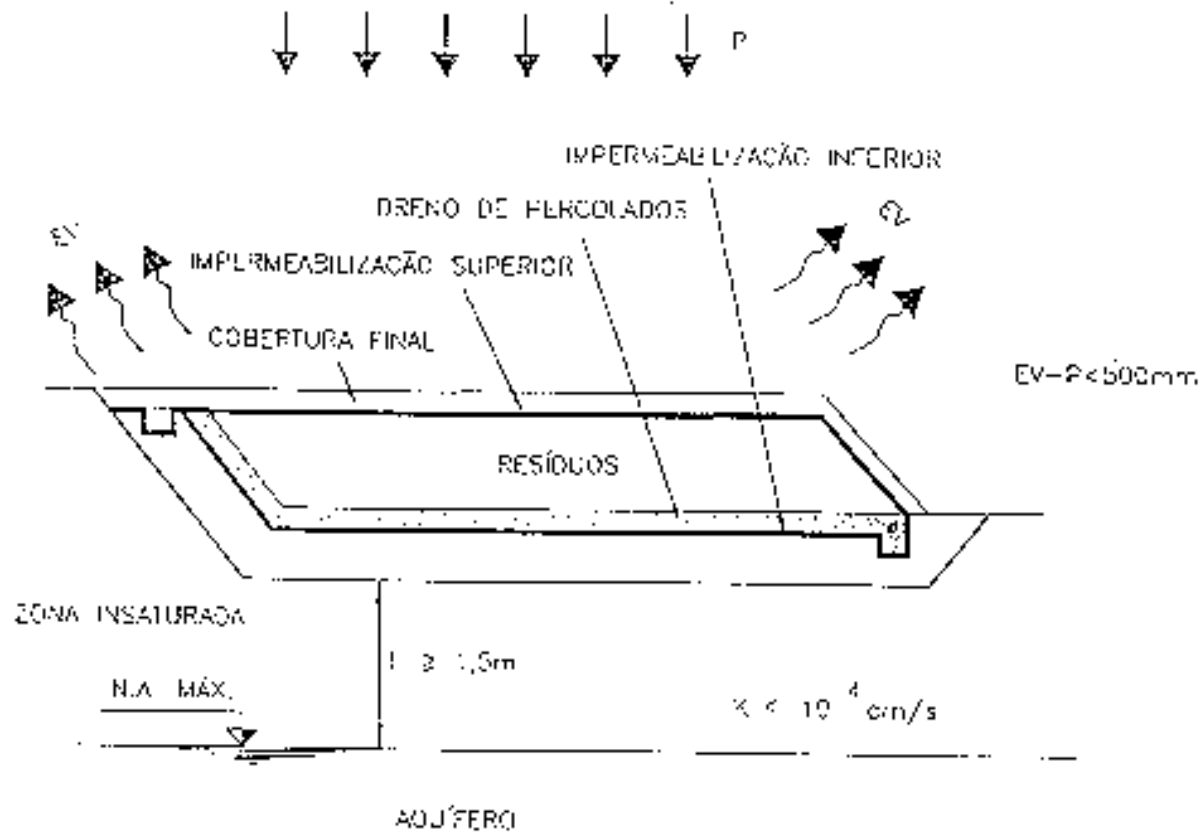
(a) CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E HIDROGEOLÓGICAS FAVORÁVEIS.



(b) - CONDIÇÕES CLIMÁTICAS INSATISFATÓRIAS E HIDROGEOLÓGICAS FAVORÁVEIS



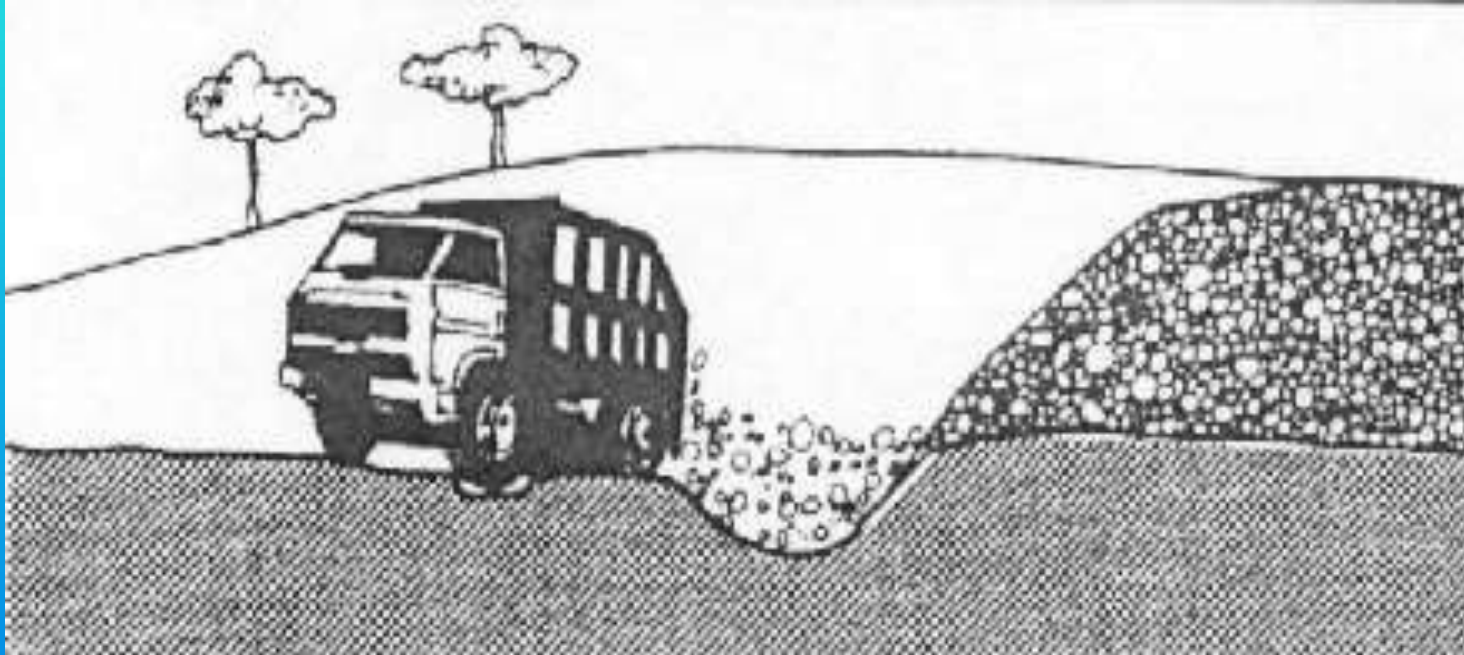
(a) - CONDIÇÕES CLIMÁTICAS FAVORÁVEIS E HIDROGEOLÓGICAS INSATISFATORIAS

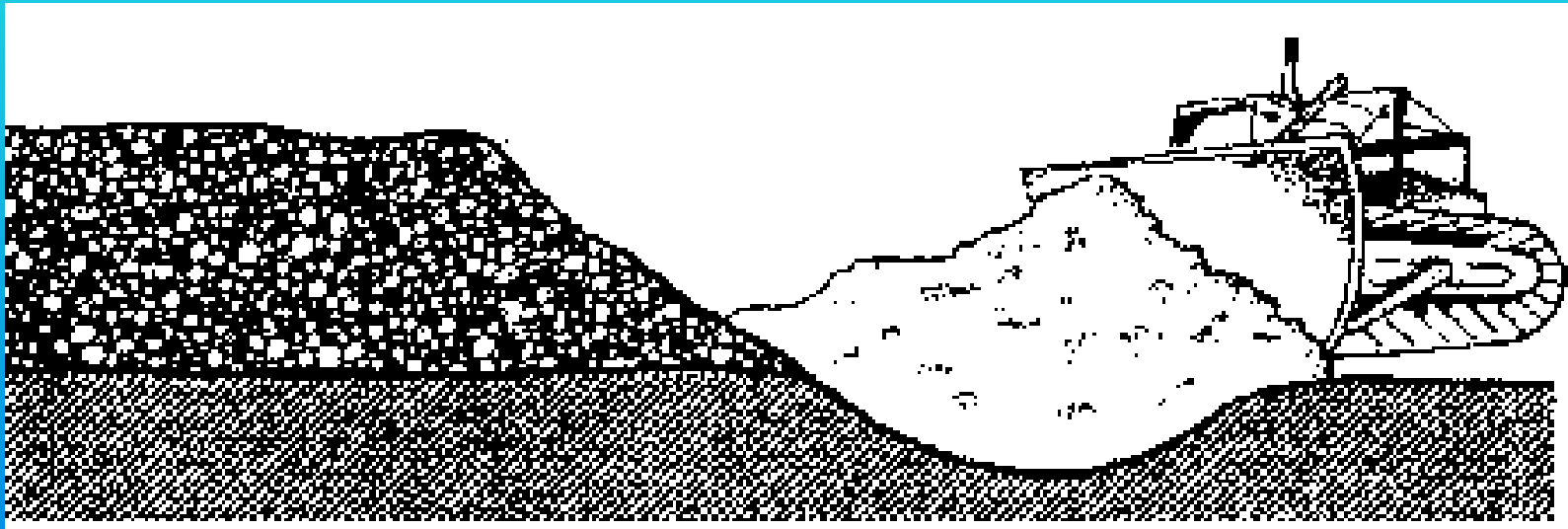


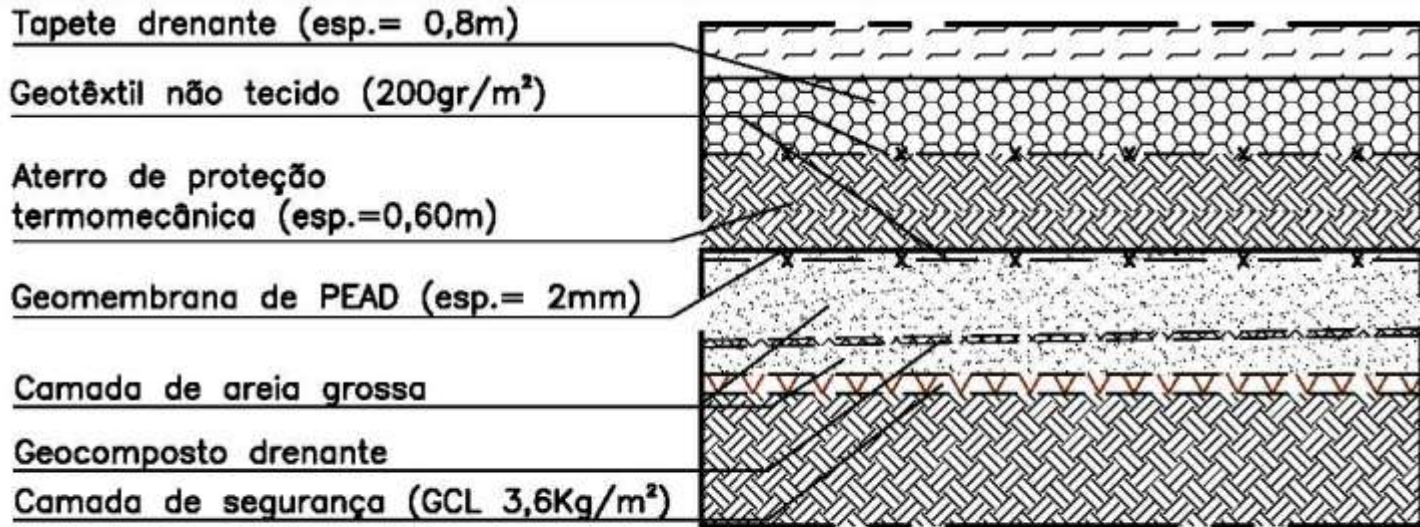
(B) CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E HIDROGEOLOGICAS INSATISFATORIAS

7.13.2 Formação de Célula



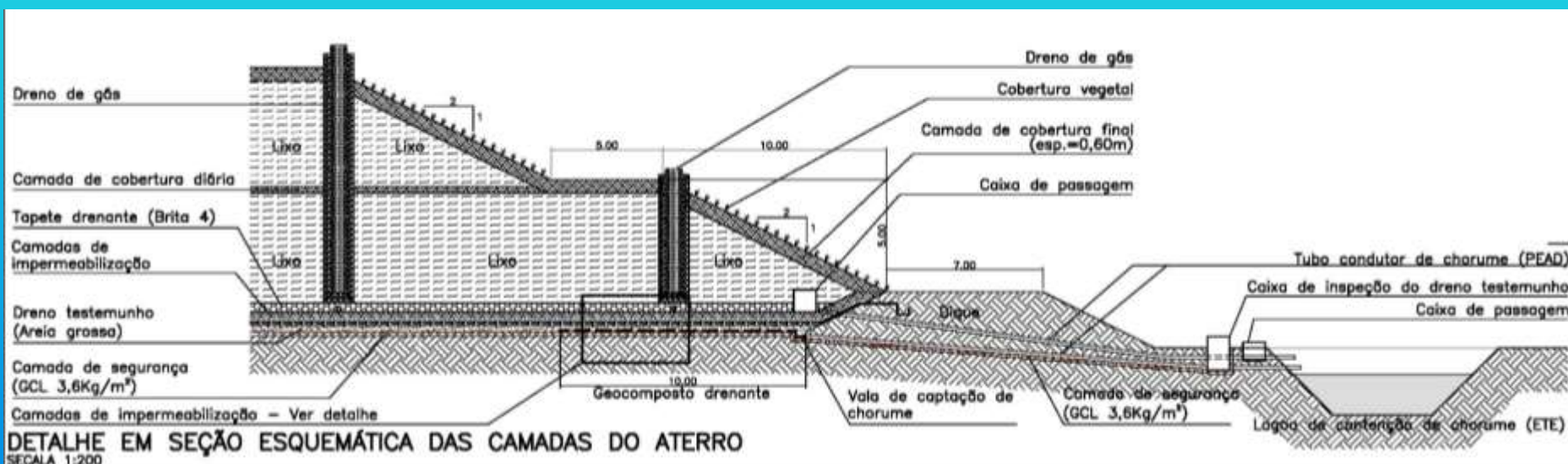


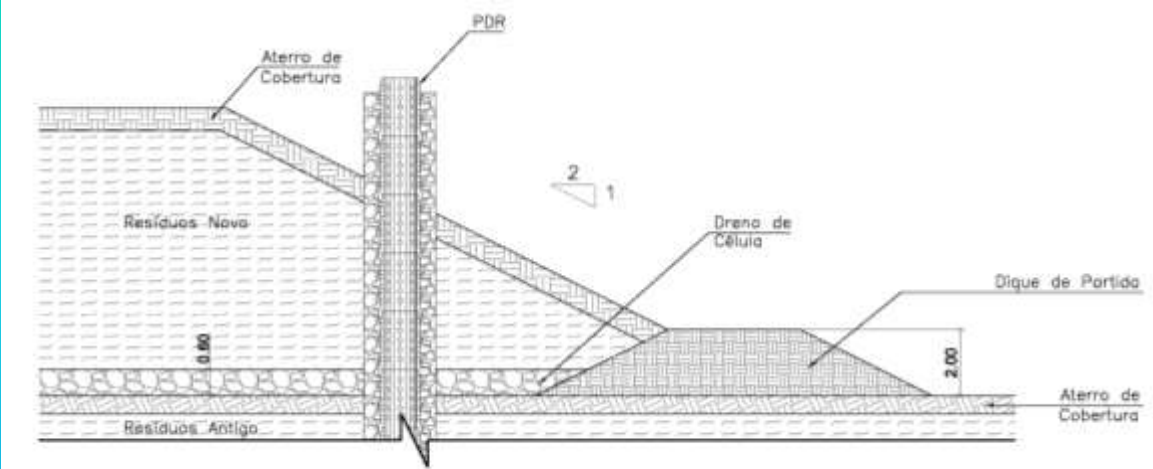




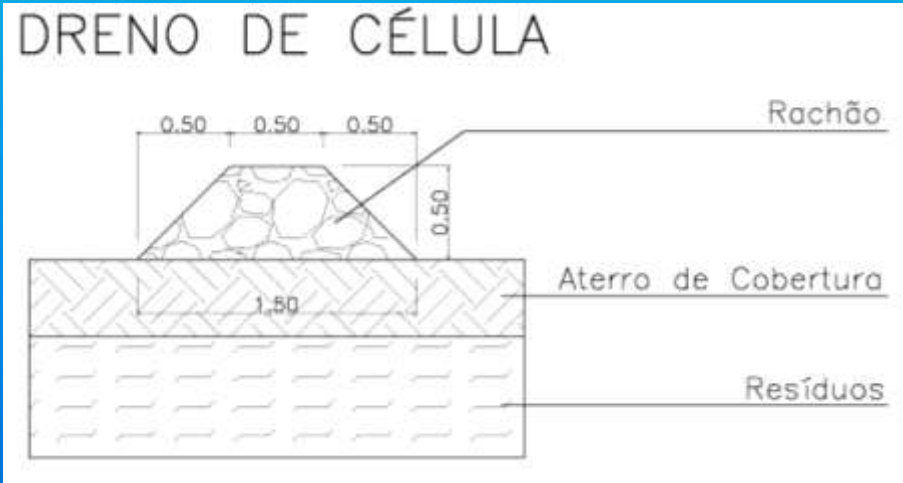
DETALHE DAS CAMADAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO / DRENO TESTEMUNHO
SEM ESCALA

7.13.3 Dispositivos de drenagem





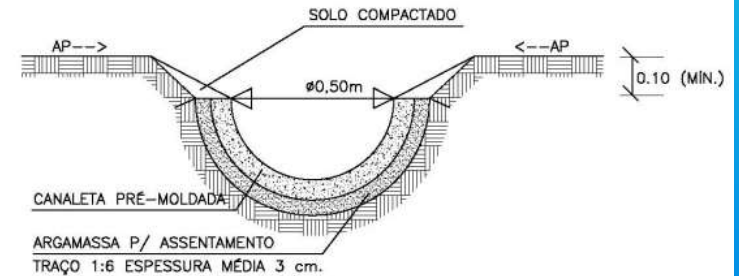
Seção Típica



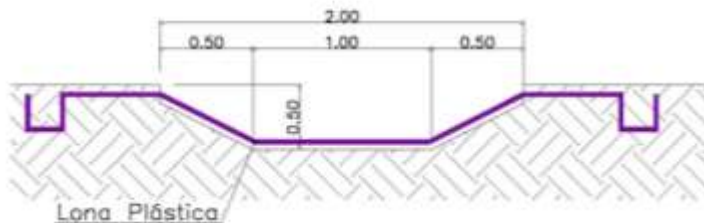
CANALETA DE BERMA (BICA CORRIDA)



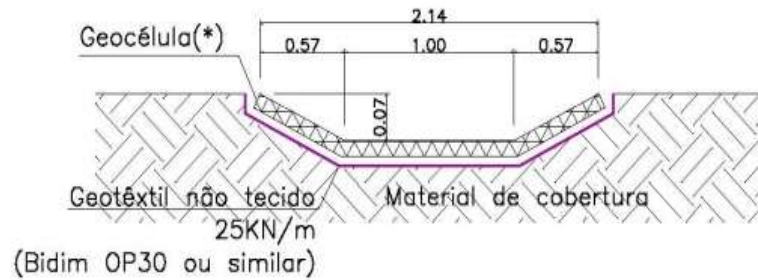
CANALETA PRÉ-MOLDADA DE CONCRETO (MEIA CANA)



CANALETA DE CONTORNO – PROVISÓRIA



DESCIDA D'AGUA EM GEOCÉLULA



- (*) O preenchimento da Geocélula deverá ser com brita 2 ou 3 e recoberto com argamassa
Sem escala

CANALETA DE CONTORNO



Sem escala

Geosynthetic Clay Liner Installation

Deployment

Seams

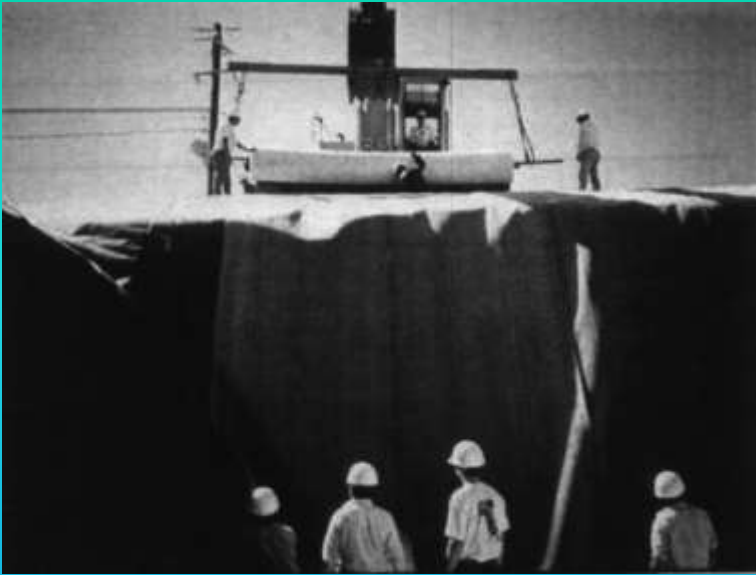
Penetrations

Protection









Overlap Seaming Alternatives

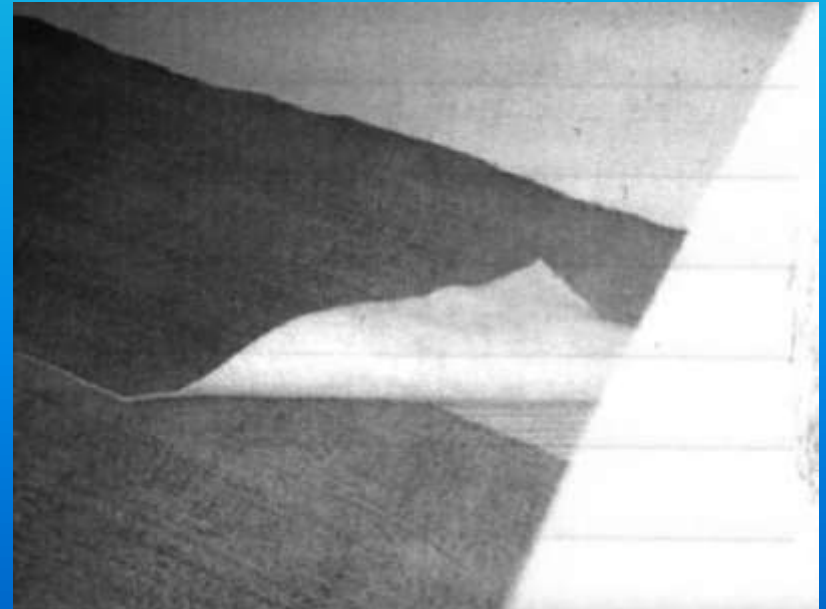


Simple overlap

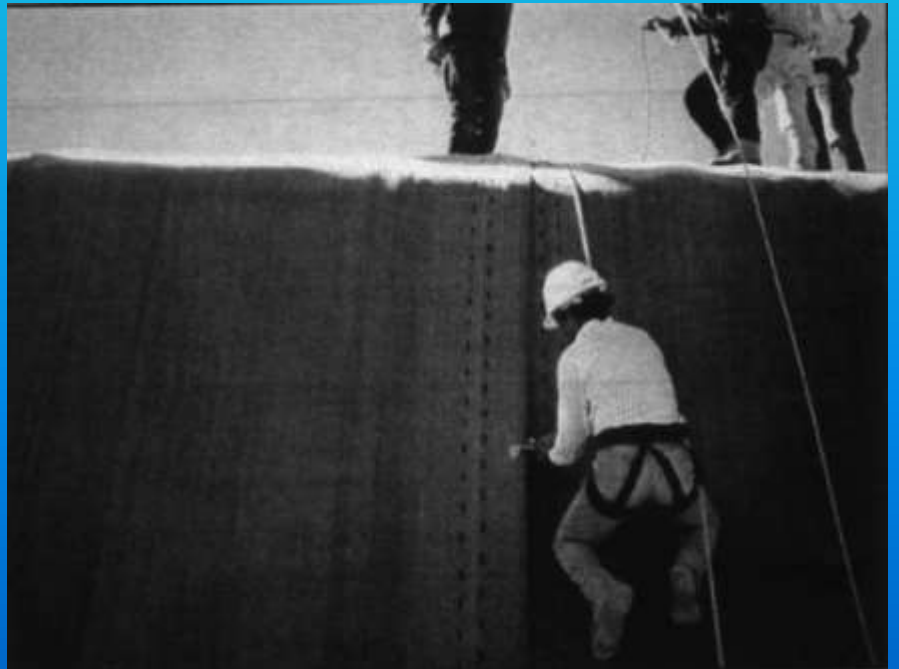
Dry or paste

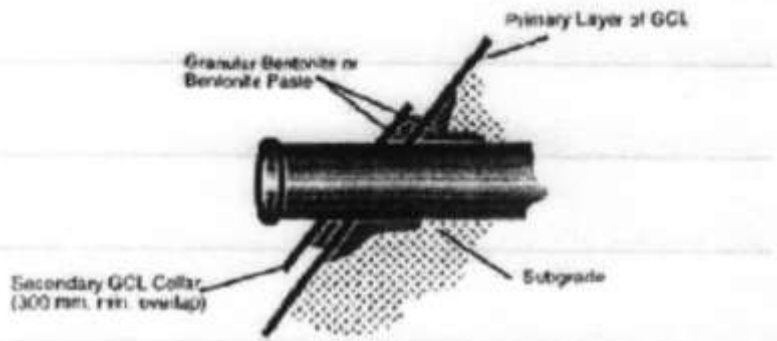


Overlap with bentonite, or Notched

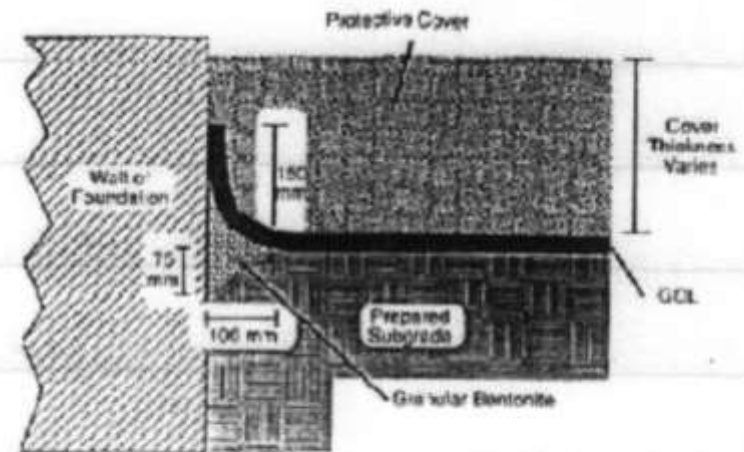








Pipe Penetration - Cross-Section



GCL Wall Seal - Cross Section













GCL Overlap Issue

- No consensus on exact cause of issue
- Occurs on GCL under geomembrane that is not covered by earth
- Shrinkage reproduced in lab by cyclic wetting and drying*
 - Shrinking varies by type/manufacturer
 - Shrinkage up to 25% measured in lab (mirrored worst-case exhumed in field)

*Thiel and Thiel, 2009

GCL Overlap Solution

- Heat tacking followed by pressure with foot or sand bag



*Thiel and Thiel, 2009

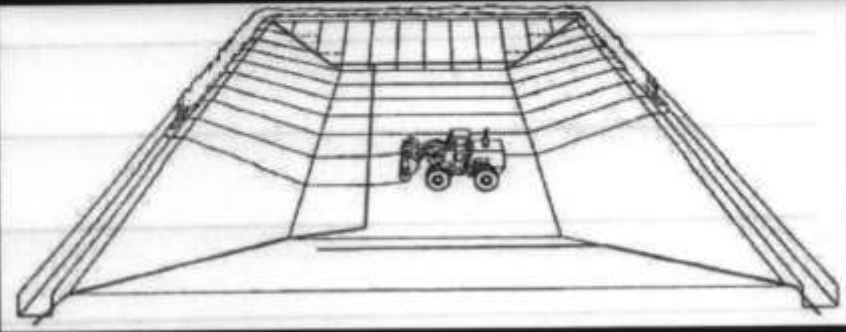


Encapsulated GCL: Preparing for Leak Location Surveys

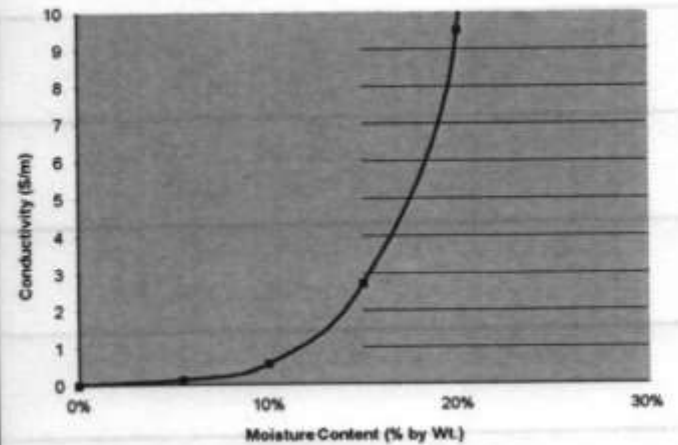
- Needs copper wires for panel overlaps
- Can desiccate during placement in arid climates
- Designers typically refuse to rehydrate before covering with geomembrane
- Once desiccated and encapsulated, Leak Location is impossible on the overlying geomembrane*

*Beck et al. 2008, Peggs 2007

Copper Wire Installation



Conductivity vs. Moisture Content for Sample A1E



*Graph from Beck et al., 2008

Desiccated GCL Solution

- Rehydrate GCL with hand sprayer
- Specify Leak Location Liner or conductive geotextile for dry climates

References

- ASTM D 5888 Standard Guide for Storage and Handling of **Geosynthetic** Clay Liners.
- ASTM D 6102 Standard Guide for Installation of **Geosynthetic** Clay Liners.
- Beck, A., Smith, M. and Kramer, E. (2008). "Specifications for Moisture Content of GCL to Perform Electrical Leak Location Surveys", *EuroGeo4 Conference Proceedings*
- Daniel, D. E. and Gilbert, R. B. (1996). "Practical Methods for Managing Uncertainties for Geosynthetic Clay Liners." *Proceedings of Uncertainty in the Geologic Environment: from Theory to Practice*. ASCE, Madison, Wisconsin, 1331-1346.
- EPA (1995). "Technical Guidance Document for Quality Assurance and Quality Control for Waste Containment Facility." EPA/600/R-93/182.
- Peggs, Ian D. (2007). "Liner integrity / leak location survey: The significance of boundary conditions." *Geosynthetics*, February-March 2007, p. 34.
- Thiel, R. and Richardson, G. N. (2005). "Concern for GCL Shrinkage when Installed on Slopes." *Proceedings of the Geo-Frontiers Conference, Geotechnical Special Publication*, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia.
- Thiel, R. and Thiel, C. (2009). "GCL Shrinkage: A possible Solution", *Geosynthetics*, February.

GCL Properties and Test Methods





Impermeabilização de base



Geocélula



Tapete drenante e PDR

Geotextiles (GT) Main Functions

- filtration
- Separation
- Drainage
- Protection
- Reinforcement



Types of Geotextiles

- Nonwoven needlepunch
- Woven
- Nonwoven Heatbonded



- All three types of geotextiles are used in filtration
- Only nonwoven needlepunched geotextiles are used for geomembrane puncture protection

Geotextiles (GT)

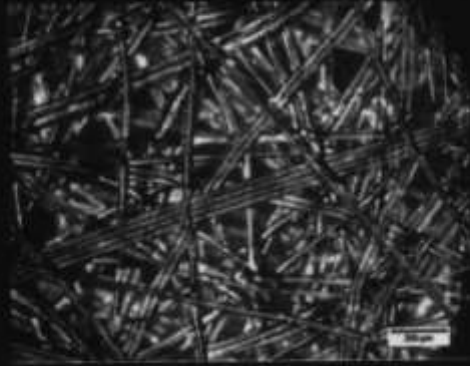
- majority are made from polypropylene fibers
- woven (slit film, monofilament or multifilament)
 - Preferred for high strength applications
 - Woven on loom; uniform appearance
- nonwoven (needle punched or heat bonded)
 - Resemble felt, better for filter applications
- characterized by an open and porous structure
- mechanical and hydraulic properties vary widely
- very versatile in their primary function: usually filtration or protection
- protect the drainage core (geonet or other) from clogging



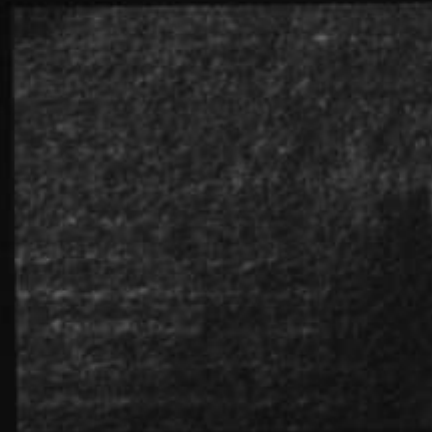
Woven Geotextiles



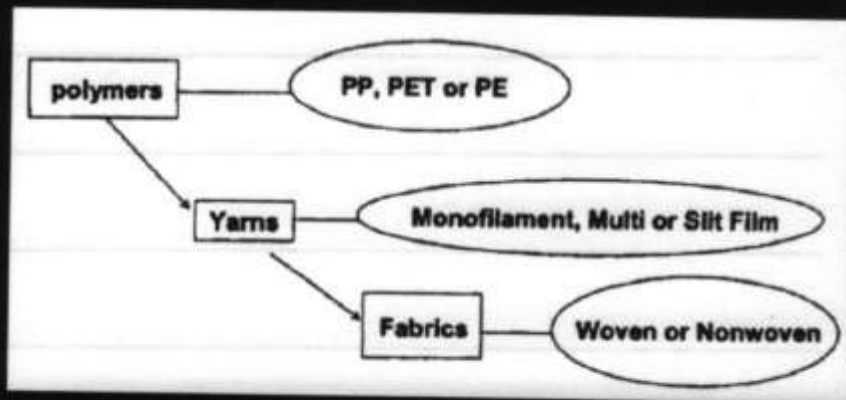
Non-Woven Heat Bonded



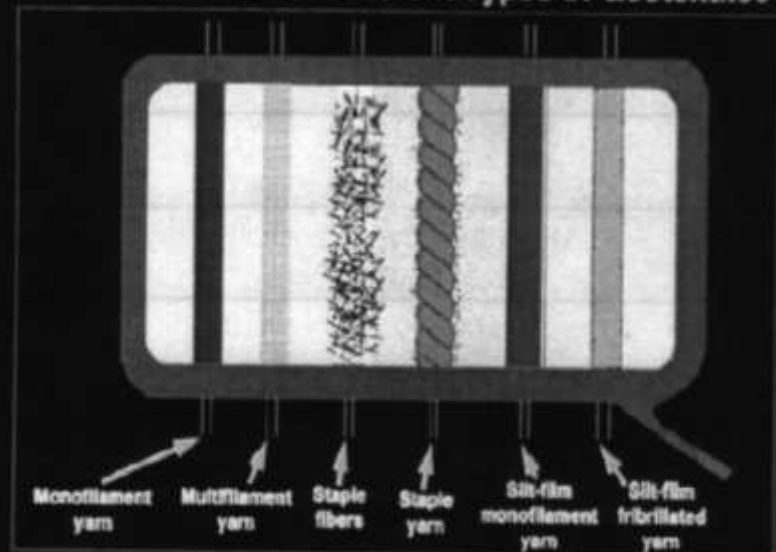
Non-Woven Needle Punched



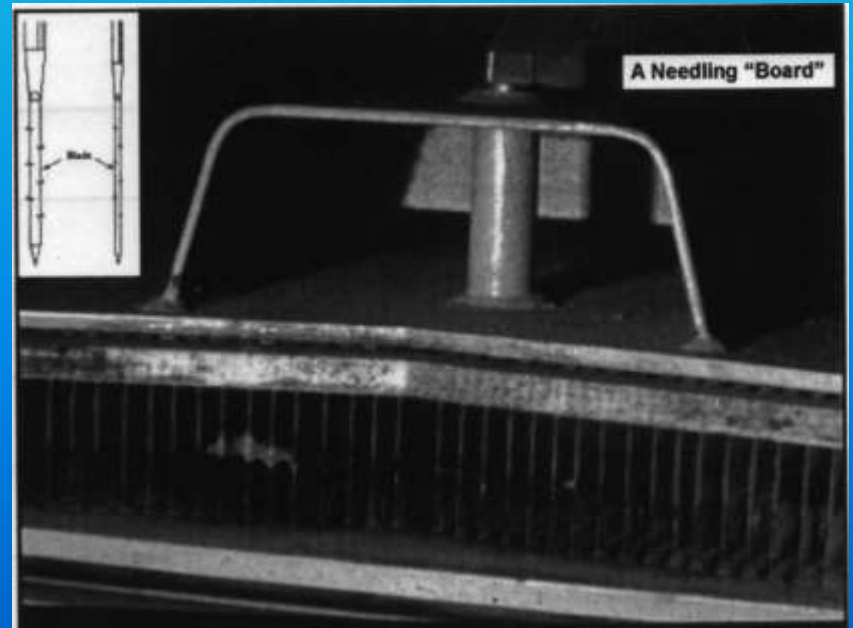
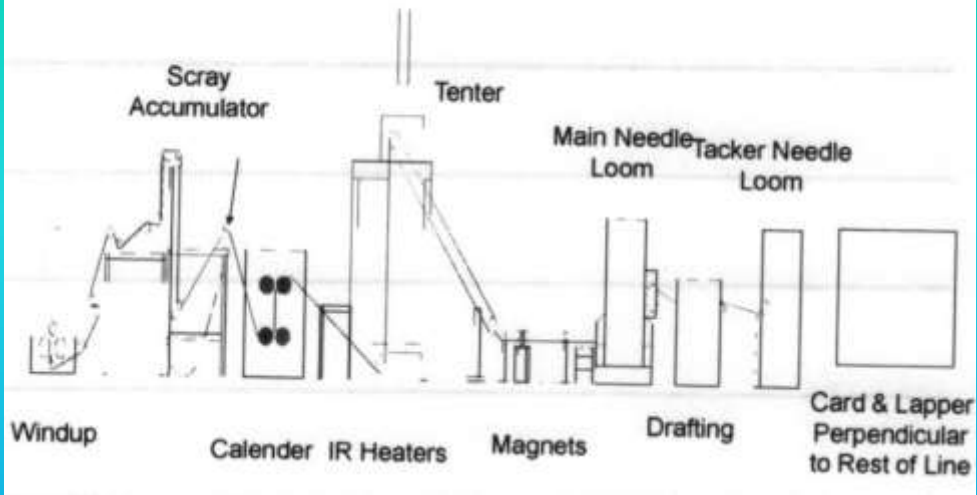
Geotextile Manufacturing



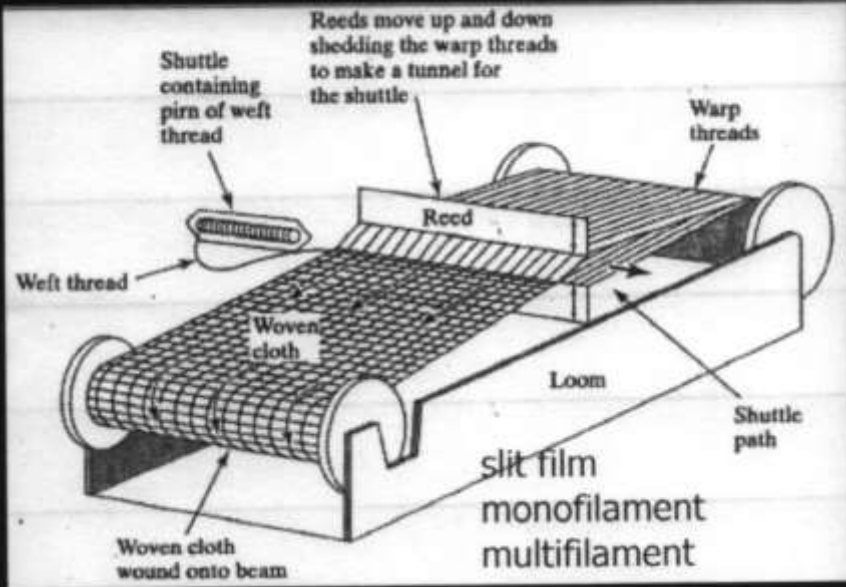
Types of Polymeric Fibers or Yarns Used In the Construction of Different Types of Geotextiles



Generalized Schematic



Manufacturing Wovens



Some Geotextile Issues

- Ultraviolet exposure (QA plan must be specific, e.g., 28 days)
- watch for broken needles in fabric
- QA plan must address reworked and/or recycled polymer additives in formulation (generally no recycled material)



Handling and Storage

- GT rolls covered in PE wrap - repackage after sampling
- wrapped around a core having 100 mm diameter - stack so as to avoid crushing of core
- do NOT push, slide or drag rolls
- storage for longer than 6 months requires a sacrificial cover
- GTs cannot be trafficked
- Trimming done with upward cutting hook blade

Deployment and Repairs

- Anchored and rolled down slope
- Subgrade rutting max. 25 mm
- No entrapping of stones, excessive dust or moisture underneath
- Weighted with sandbags or equivalent
- Repair Patch material same as damaged geotextile
- Repair Patch should extend at least 30 cm beyond damaged portion(s)
- Repair seam same seam direction as damaged geotextile

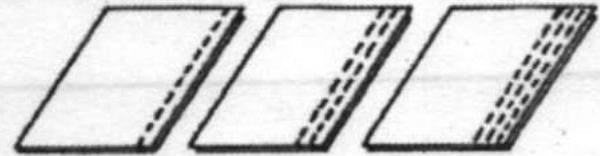
Geotextile Seaming and Overlaps

- Depends on project specifications
- Cushion geotextiles sometimes simply overlapped; filtration geotextiles should be sewn
- Overlap distances clearly stated in specification
- Three types of seams: "Flat", "J", and "butterfly"
- Single or multiple rows of stitching
- Single or two-thread chainstitch
- Thread equivalent UV resistance as geotextile (ore greater)
- Heat seaming may be permitted

Geotextile Seaming



Seam Types



SSa-1

SSa-2

SSa-3

"Flat" or "Prayer" Seam

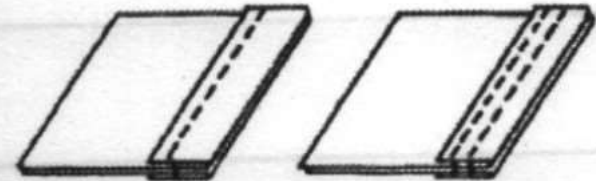


SSb-1

SSb-2

SSb-3

"J" Seam

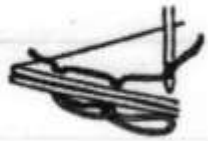


SSc-1

SSc-2

"Butterfly" Seam

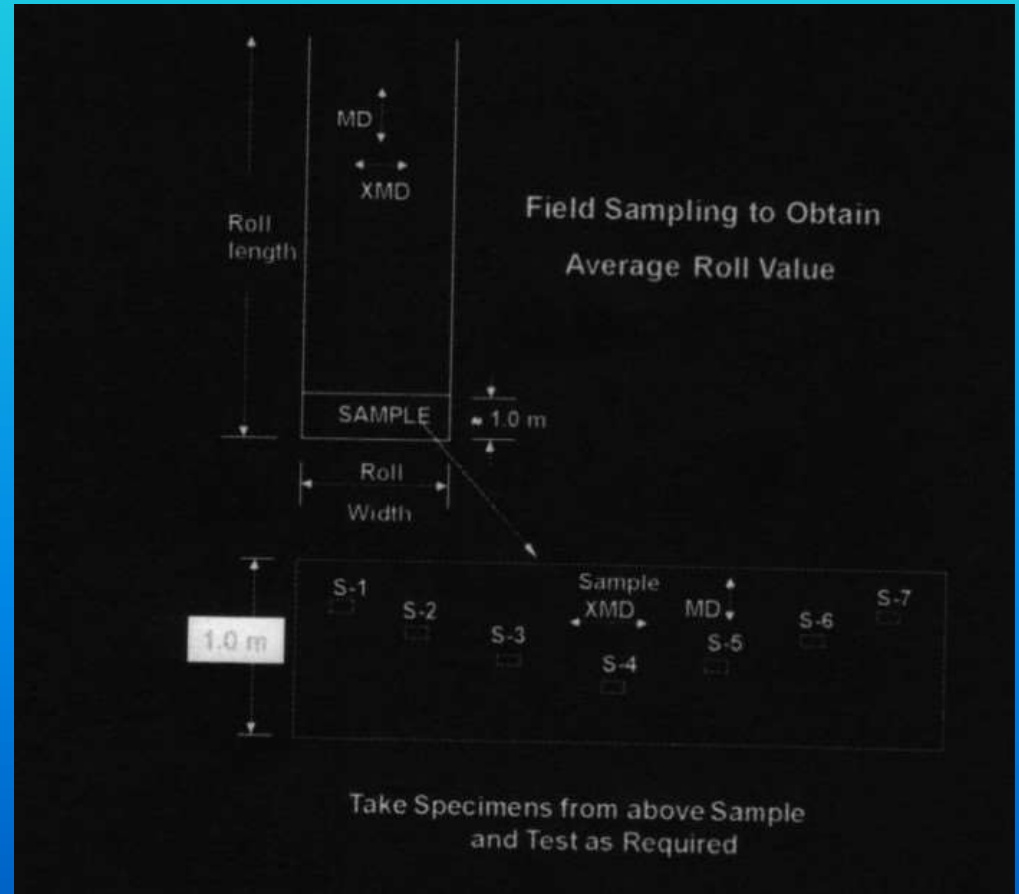
Seam Types



"101" Single Thread Chainstitch



"401" Two-Thread Chainstitch



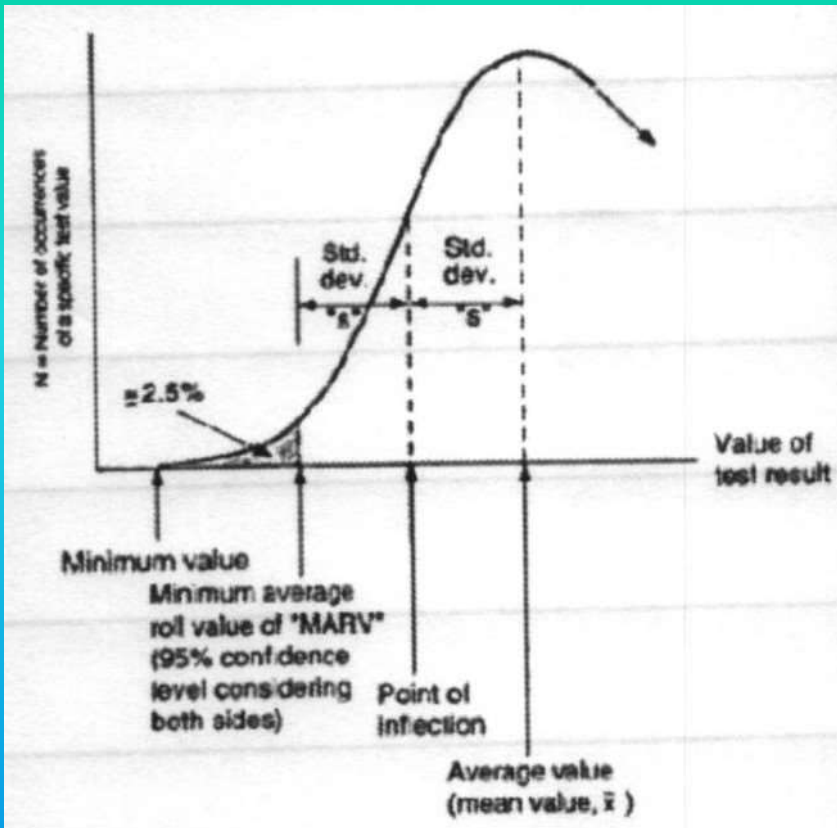
Geotextile Testing

- Typically once per lot
- May include:
 - Mass per unit area (ASTM D5261)
 - Grab tensile strength (ASTM D4632)
 - Trapezoidal tear strength (ASTM D4533)
 - Burst strength (ASTM D3786)
 - Puncture strength (ASTM D4833)
 - Apparent Opening Size (ASTM D4751)
 - Permittivity (ASTM D4491)
- Seam testing (if required) per ASTM D4884
- All values should be MARV



What is MARV?

- Minimum Average Roll Value
- accommodates variation in GS properties
- statistically it's the " $\mu - 2\sigma$ " value
- procedure shown in next screens



Grab Tensile Strength



Trapezoidal Tear Strength

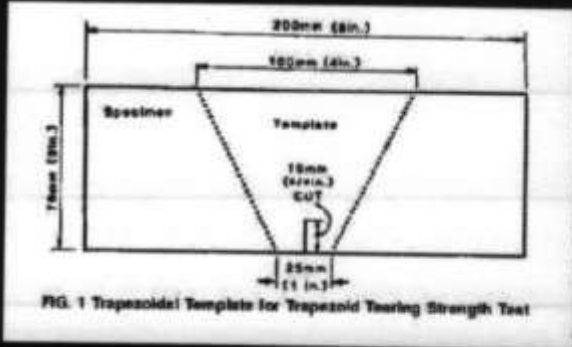
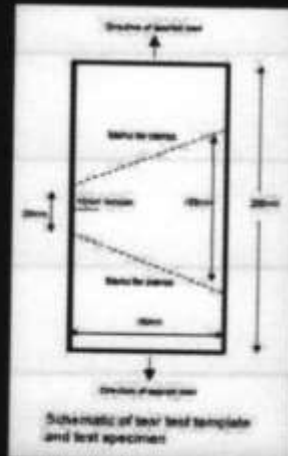
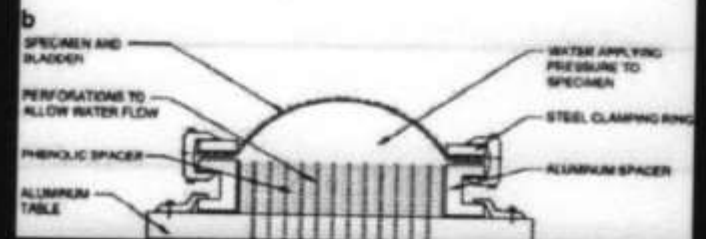


FIG. 1 Trapezoidal Template for Trapezoid Tearing Strength Test



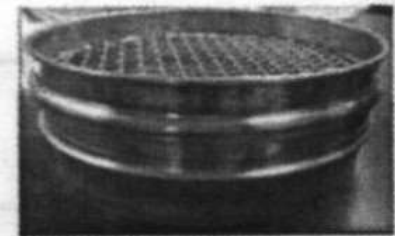
Burst Strength



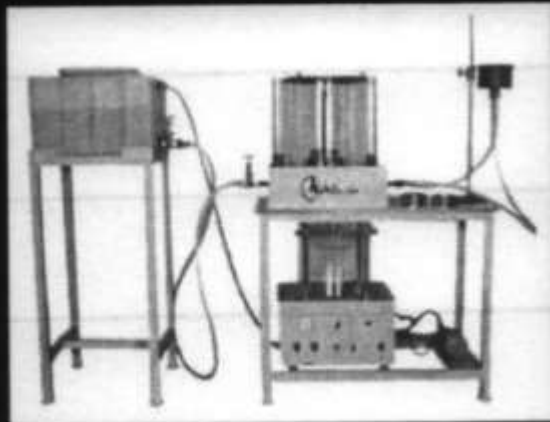
Puncture Strength



Apparent Opening Size



Permittivity



Seam Testing

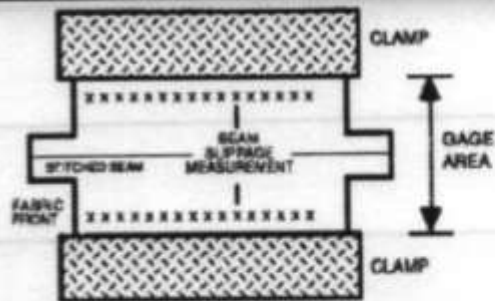


FIG. 3 (a) Gage Area for Measurement of Gooteite/Seam Slippage of Sewn Seem Specimen

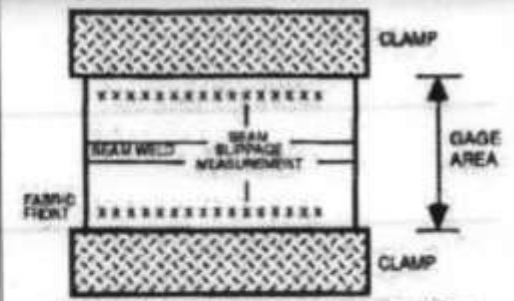
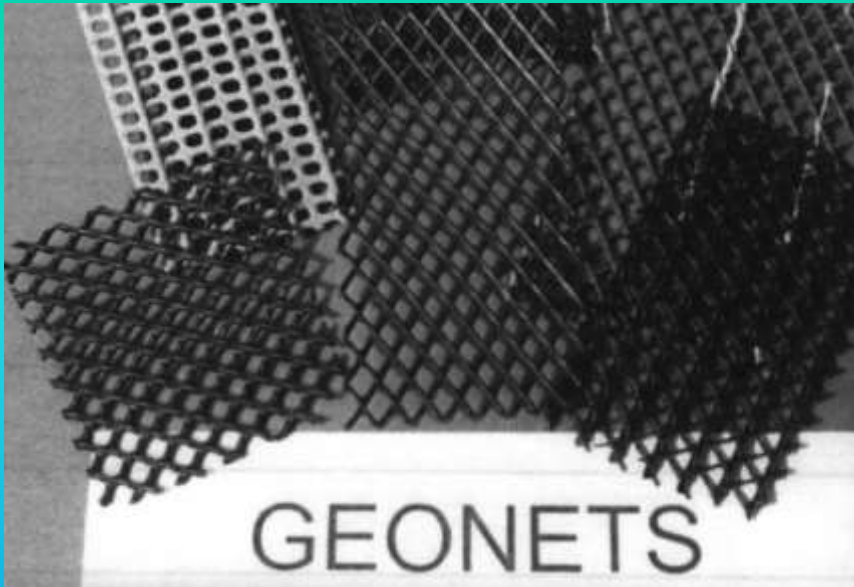


FIG. 3 (b) Gage Area for Measurement of Gooteite/Seam Slippage of Thermally Bonded Seem Specimen (continued)

Conductive Geotextile

- Placed below geomembrane, enables surveys for non-conductive subgrades
- Manufactured by Soleno Textiles; tradename “GEO-DETEX”
- ASTM D7852 draft in development
- Not widely used for large-scale containment (yet)

Geosynthetic Drains



Geonets (GN)

- all are made from high density polyethylene (0.93 to 0.96 g/cc)
- results in parallel sets of ribs as a integral unit
- biplanar – flow is equal in all directions
- triplanar – flow much greater in machine direction
- function is always in-plane drainage

Geonets & Geocomposites



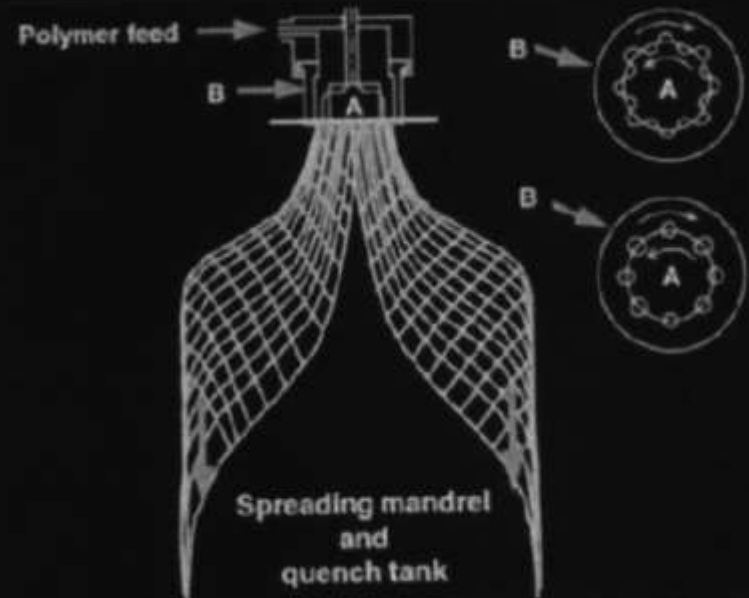
Bi-Planar

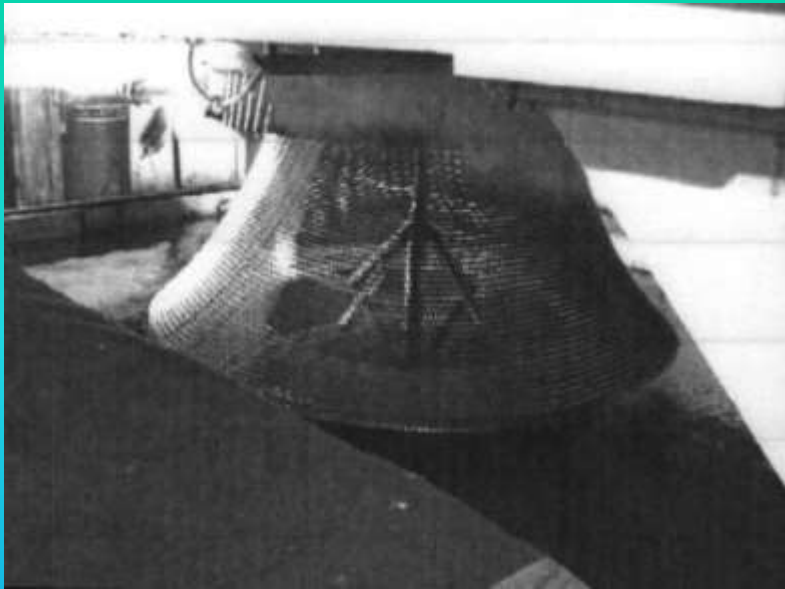


Tri-Planar



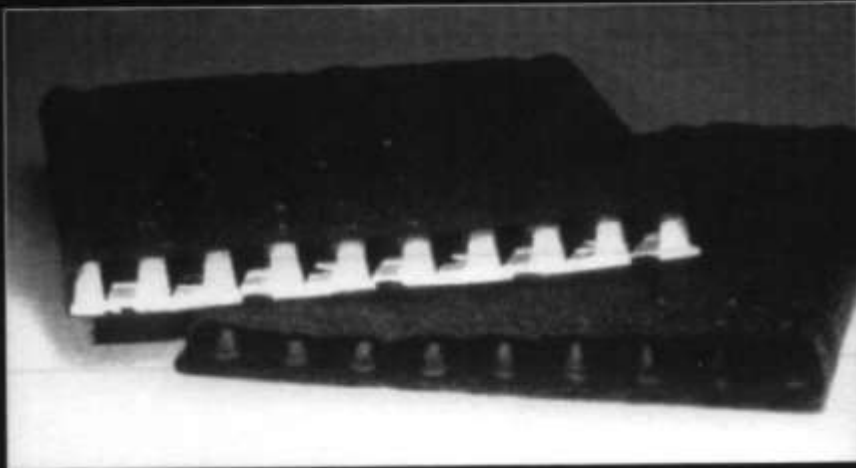
Counterrotating Die Technique for Manufacturing Drainage Geonets







Cusped Drainage Cores



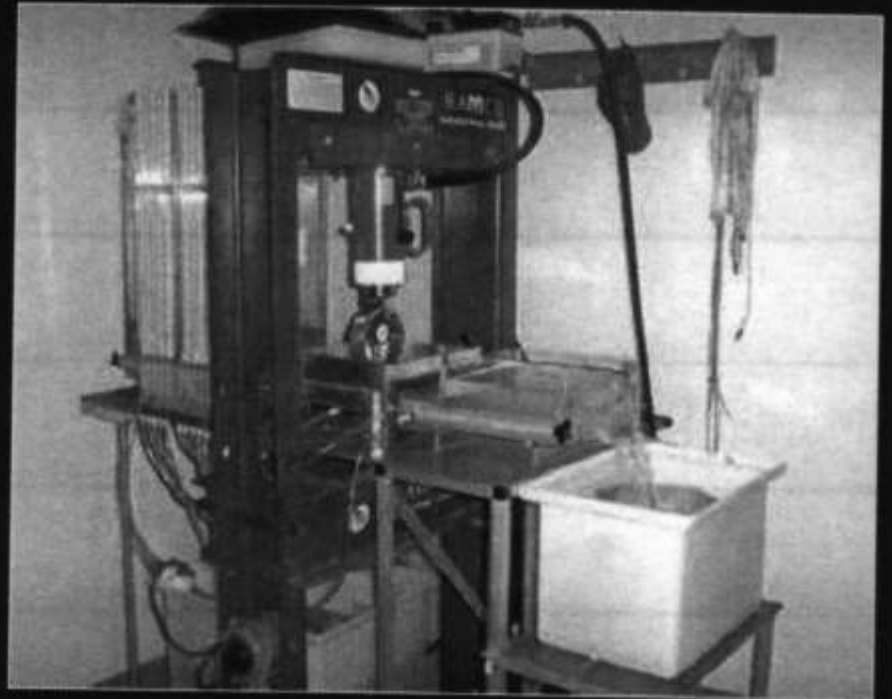
Drainage Geocomposites (GC)

- GN or profiled GM surfaces must be covered; usually with GTs
- GTs serve to filter soil and avoid clogging
- lamination may be performed via wedge heaters or flame
- array of available products
- considerable ongoing innovation

Flame Lamination



Hydraulic Transmissivity



Type of Transmissivity Tests

Index Test

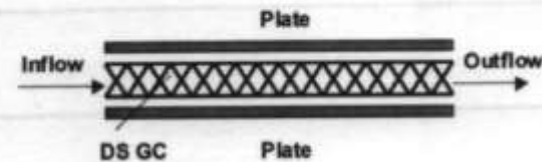
- Based on short term results (15 minutes)
- Plate-sample-plate profile
- QC based parameters: gradient(s) and load(s)
- Quick check

Performance Test

- “In context” testing (w/soil, adjacent GS, etc.)
- Site specific parameters
- Often involves soil characterization/prep/compaction
- TIME DEPENDENCE evaluated – 100 hour tests

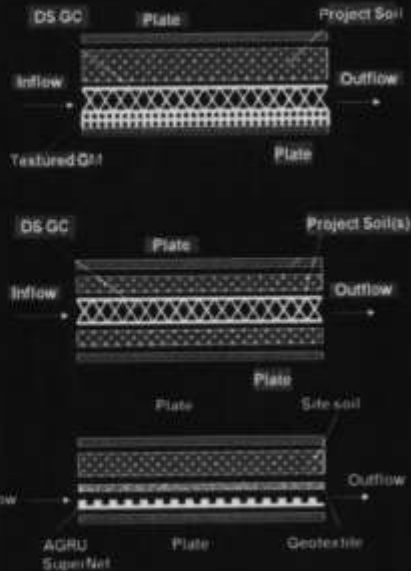


Transmissivity Testing



- Index test
- Production QC/QA only
- Short term
- Easy

Example Performance Test Profiles



Performance test, (but often 1 specimen only)

Related to design & design assurance

More relevant

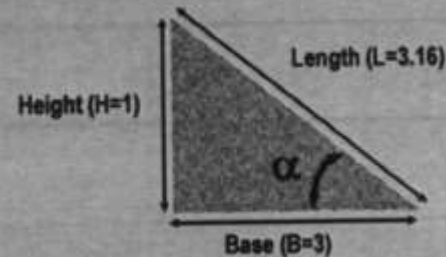
Longer term – often 100 hours

Planning IMPORTANT



Specifying Gradient

- Specify a gradient representative of the slope where the drainage product will be used
 - Example:** 3:1 slope is equivalent to 0.31 gradient



$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{H}{B}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{1}{3}\right) = 18.4^\circ$$

$$i = \sin(\alpha) = \frac{H}{L} = \frac{1}{3.16} = 0.31$$

Hydraulic Gradient

- Defined as the head loss divided by the length of flow over which the head loss takes place

$$\theta = \frac{q}{i}$$

- Transmissivity is inversely proportional to the gradient (lower gradient, higher transmissivity)

Hydraulic Gradient

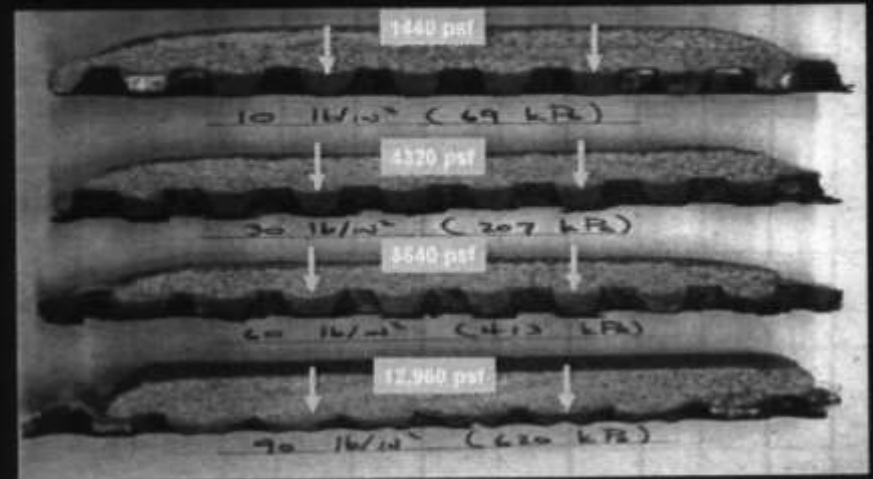
- Should mimic site slope
- General use of sight manometers to establish gradients
- Challenge in establishing small gradients

Specifying Design Test Parameters

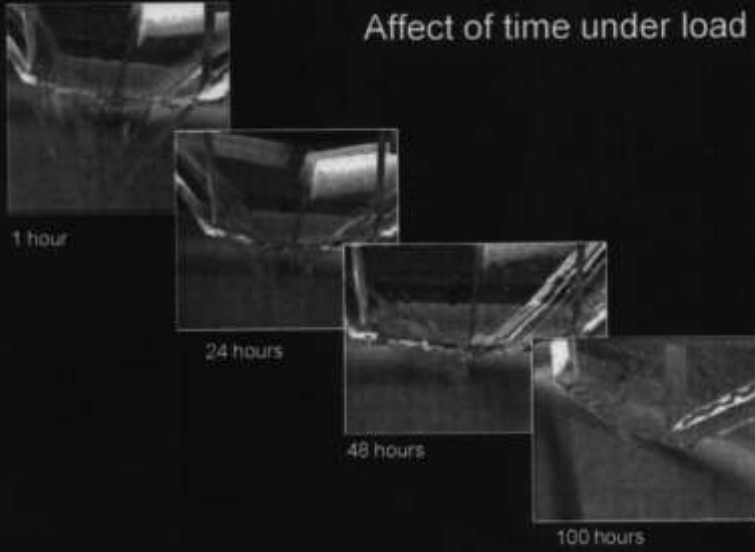


- Five key parameters must be specified:
 - Project specific materials
 - Test gradient
 - Normal load
 - Boundary conditions
 - Seat time (duration of test)

w/Laminating Geotextiles



Affect of time under load



Original: April 17, 2001

GRI Standard – GC8

Standard Guide for

Determination of the Allowable Flow Rate of a Drainage Geocomposite

Basic Formulation – This guide is focused on determination of a “ q_{allow} ” value using the following formula:

$$q_{allow} = q_{100} \left[\frac{1}{RF_{CR} \times RF_{CC} \times RF_{BC}} \right] \quad (1)$$

where

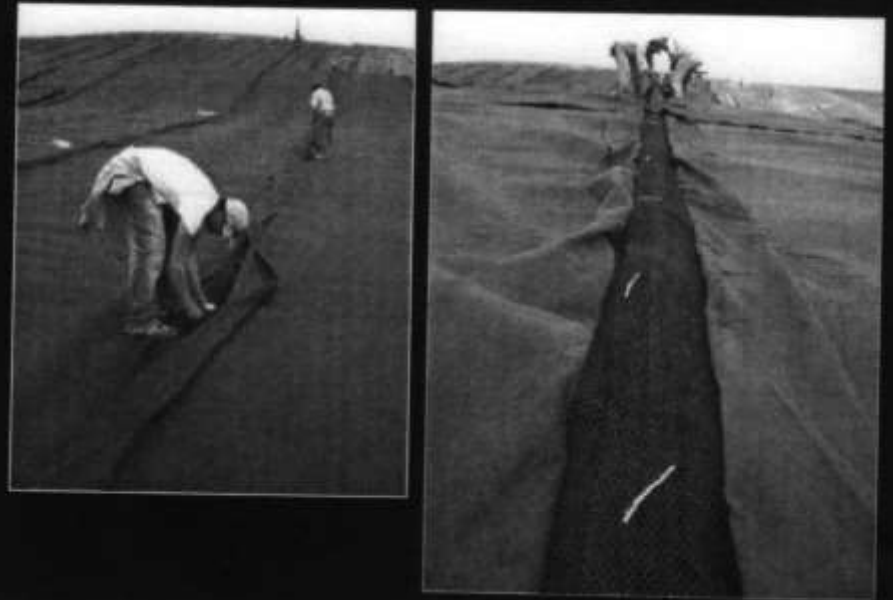
- q_{allow} – allowable flow rate
- q_{100} – initial flow rate determined under simulated conditions for 100-hour duration
- RF_{CR} – reduction factor for creep to account for long-term behavior
- RF_{CC} – reduction factor for chemical clogging
- RF_{BC} – reduction factor for biological clogging

Placement of GN and GC

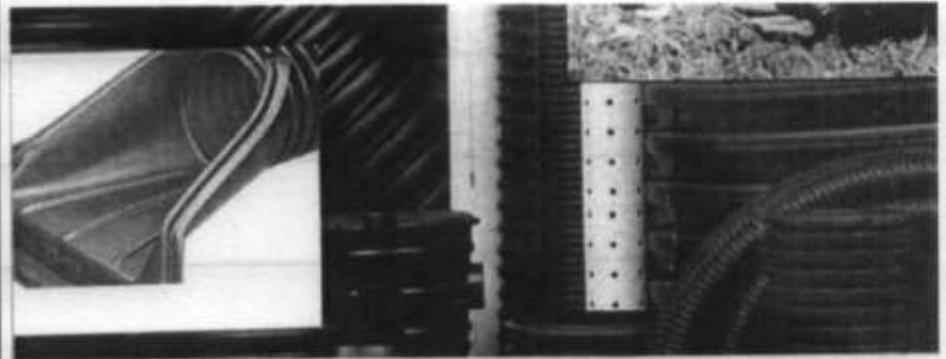
- GNs should NOT be stored on ground due to vegetation / soil clogging
- GCs similar to GTs
- no equipment on underlying GSs
- joined using plastic ties or polymer braid
- QA plan must be specific
- GT must have generous overlap
- GT can be bonded to GN by hot air, hot wedge or hot knife (but needs care if GT



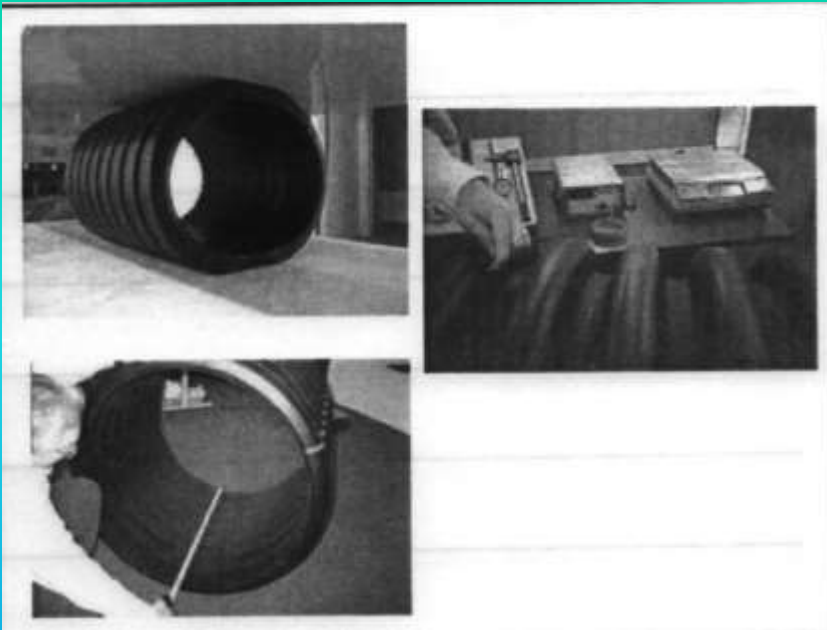
Geocomposite Installation



Geocomposite Installation



GEOPIPE



Geopipe

- buried plastic pipe
- function is always drainage
- HDPE and PVC most common
- both can be smooth walled or corrugated
- corrugated HDPE growth is enormous

HDPE Smooth Wall Pipe

- Resin density > 0.950 g/cc
- fully covered in ASTM standards
- identified via SDR = ave.
dia./thickness
- perforated with holes or slits

HDPE Profiled Pipe

- Resin density > 0.950 g/cc
- generally with smooth interior liner
- perforated with holes or slits
- not covered in ASTM but through
AASHTO standard specifications
(which rely on ASTM tests)
- growth of market is awesome!

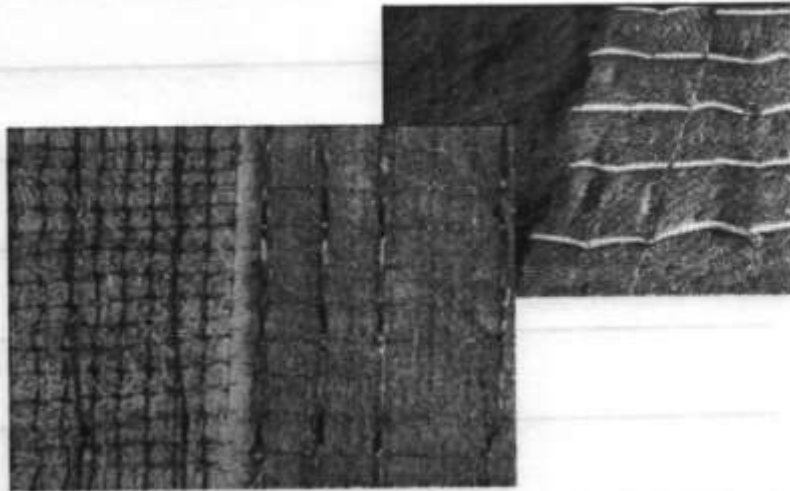
Placement and Backfilling

- Lightweight and easy to handle
- solid wall joined by thermal fusion
- profiled pipe use couplings - bell and spigot
- backfilling is critical, follow ASTM D 2774 (or equivalent)
- approx. 12 states have inspection/cleanout reg.'s
- failures quite expensive

Sumps, Manholes and Risers

- Significant part of liquids management
- sump is at low elevation of cell or site
- hydraulic head tends to be highest
- work is labor intensive
- plans, specs, QA plan must be very precise and detailed

Erosion Control Products

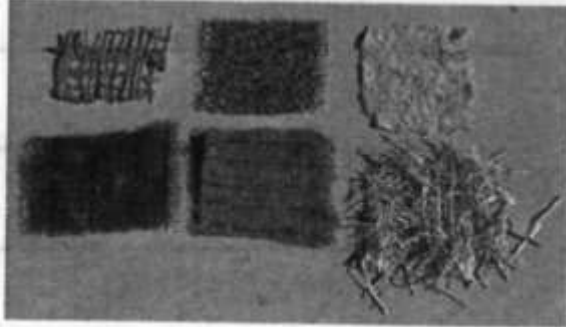


Overview of Product Industry

- Not new
- Manufacturer driven technology
- Relative lack of consensus based specifications
- Significant development of consensus based test procedures
- Testing level and frequency generally inconsistent
- MUCH ACTIVITY!
- Focus on systemic testing and specifications

Erosion Control Materials

- Final cover soil is contentious
- protection soil (when not covered by topsoil) can be very erodable
- topsoil (before full vegetation) can also be erodable
 - needs protection

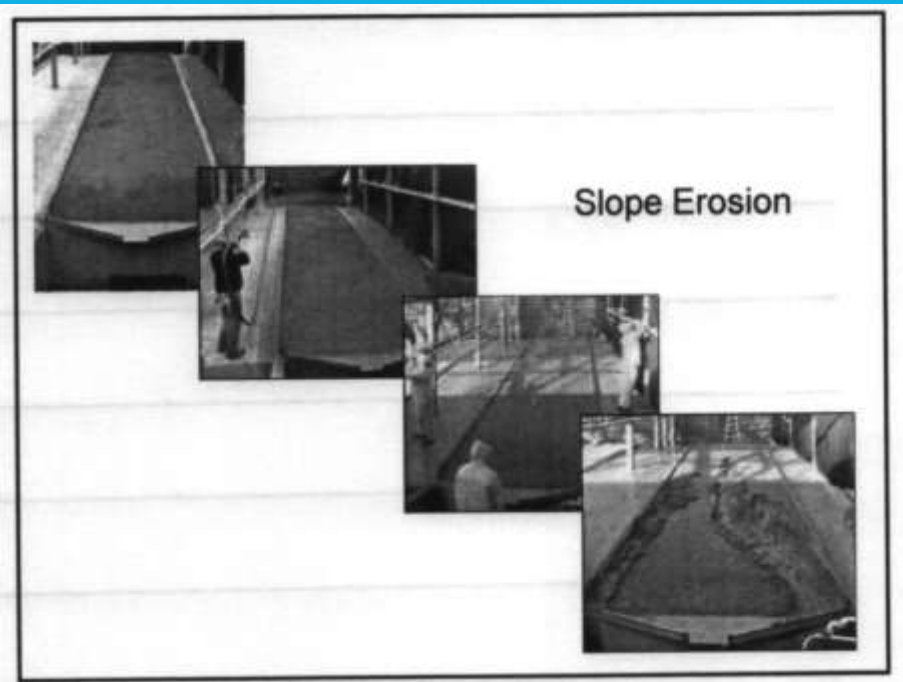


Erosion Control Materials

- Temporary erosion control and revegetation mats (TERMs) - degradable
 - straw, hay, hydraulic mulches
 - include erosion control blankets, meshes, fiber roving systems (FRSs)
- permanent erosion control and revegetation mats - flexible (PERMs-F)
 - include: UV-stabilized FRSs, turf reinforcement mats (TRMs)
- permanent erosion control and revegetation mats - hard (PERMs-H)
 - geocellular containment systems, fabrics formed revetments, concrete block systems, stone rip-rap, gabions

Slope Erosion Testing Objective

- Quantifying erosion of a soil layer resulting from the adverse effects associated with rainfall impact and infiltration, and sheet runoff forces . . . and the protection afforded by an erosion control material.



Calculating Erosion via the
Universal Soil Loss Equation, (USLE)
Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

where:

A = the computed soil loss (mass per area);

R = the rainfall erosion index;

K = the erodibility value for a specific soil;

LS = the topographic factor;

C = the cover factor;

P = the management practice factor.

Difference between protected and unprotected
slope exposed to 150 mm/hr rainfall.



RECP Protected Slope



Control (Unprotected) Slope

Typical C-Factors For Various Slope Treatments

(After Smith And Ports, 1976 & IECA, 1996)

* annualized C-Factor = (<6 wks value $\times 6/52$) + (1.5-6 mos. value $\times 20/52$) + (6-12 mos value $\times 26/52$);
 ** approximate time periods for humid climates; Conversion: $\text{kg/m}^2 \times 4.46 = \text{ton/acre}$

Treatment	Dry Mulch Rate Kg/M ²	Slope %	C-Factor For Growing Period**			
			< 6 Wks	1.5-6 Mos.	6-12 Mos.	Annualized*
No mulching or seeding	all	-	1.00	1.00	1.00	1.00
Seeded grasses	none	all	.70	.10	.05	.15
	0.22	< 10	0.20	.07	.03	.07
	0.34	< 10	.12	.05	.02	.05
	0.45	< 10	.06	.05	.02	.04
	0.45	11-15	0.07	.05	.02	.04
	0.45	16-20	.11	.05	.02	.04
	0.45	21-25	.14	.05	.02	.05
	0.45	26-33	.17	.05	.02	.05
	0.45	34-50	.20	.05	.02	.05
Second Year Grass	-	all	.01	.01	.01	.01
Organic & Synthetic Blankets	-	all	.07	.01	.005	.02
Composite Mats	-	all	.07	.01	.005	.02
Synthetic Mats	-	all	.14	.02	.005	.03
Fully Vegetated Mats	-	all	.005	.005	.005	.005



Channel Erosion



Calculating Erosion for a Grassed Channel Design

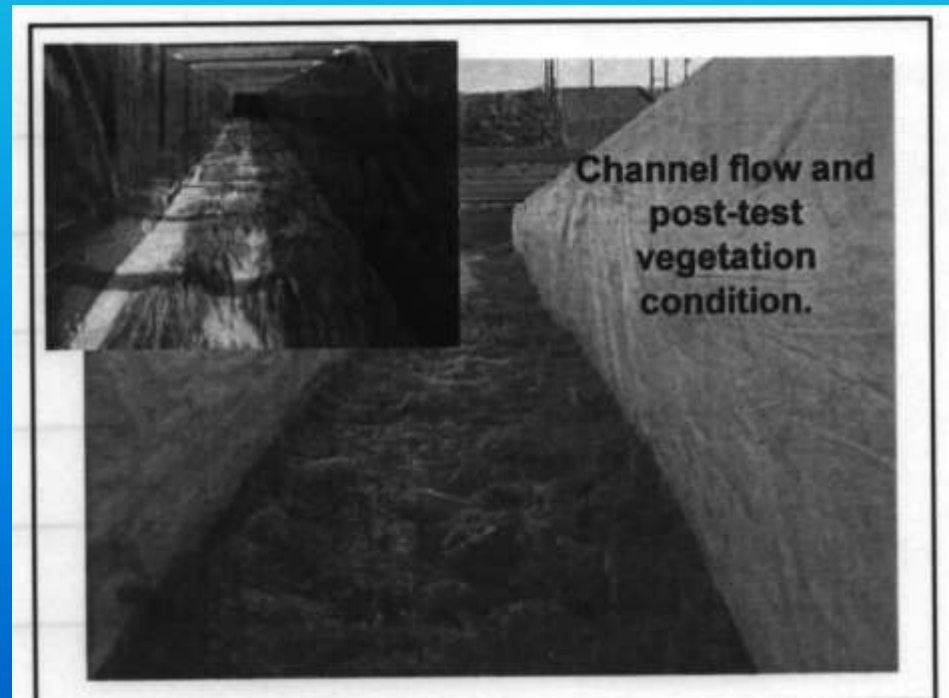
$$T_i = \gamma \times d \times S$$

where:

γ = unit weight of water (1000 kg/m³)

d = depth of flow, m

S = channel slope, m/m



**TABLE 5: Permissible Shear Stress RECPs
(ETC, 1997)**

Category	Product Type	Max. Permissible Shear Stress (kPa)
Degradable RECPs (Unvegetated)	Erosion Control Net	0.7 - 1.4
	Erosion Control Mesh	2.76 - 20.7
	Erosion Control Blanket – Single Net	10.7 - 13.8
	Erosion Control Blanket – Double Net	11.4 - 20.7
Nondegradable RECPs	Unvegetated TRM	13.8 - 27.8
	Partially Vegetated TRM	27.8 - 41.4
	Fully Vegetated TRM	34.5 - 69

If the permissible shear stress is greater than the computed shear, the lining is considered acceptable.

Introduction to Erosion Control Products, a.k.a. ECPs

- Rolled Erosion Control Products – RECPs
- Hydraulically-Applied Erosion Control Products – HECPs

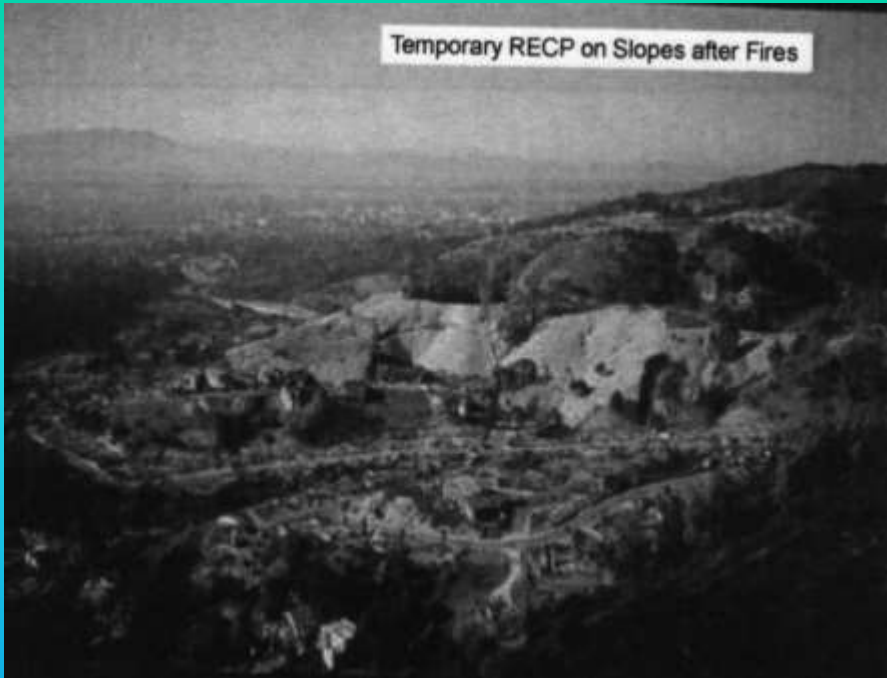
Rolled Erosion Control Products, RECPs

RECPs

- Light-weight synthetic nets or woven organic meshes;
- Organic (straw, coconut, excelsior) fiber mats attached to organic or synthetic netting;
- Synthetic fiber mats attached to or sandwiched between synthetic nets;
- 2- and 3-dimensional welded or woven synthetic filament mat structures;

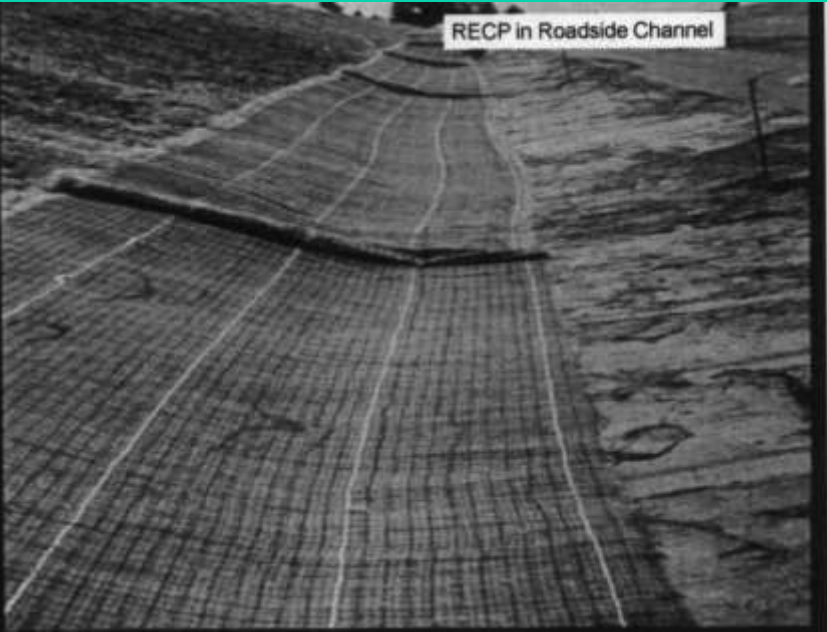


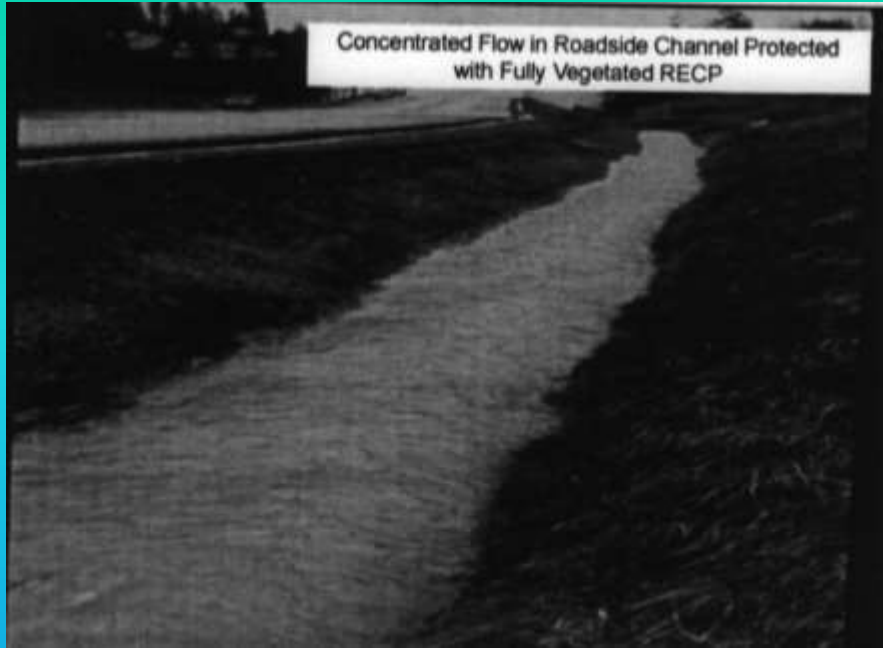
Temporary RECP on Slopes after Fires



Roadside Channel Graded for RECP







Erosion Control Case History Replacing Riprap with Vegetated TRM/ECB



Riprap removed; channel regraded and seeded before
deploying TRM



TRM deployed and anchored over
seeded subgrade





Soil placed over deployed TRM, seeded, and covered with straw.



Vegetation emerging from seeded TRM.



Hydraulically-applied Erosion Control Products, HECPs

FIBER TYPES

- **Paper (macerated)** – Inexpensive, higher water holding capacity than wood; decreased application rates compared to wood.
- **Wood (Virgin fiber)** - Good Coverage; Increased performance over paper
- **Straw** – Pulpy; easy to spray; Creates a porous matrix
- **Cotton** – (Reclaimed plant) - Water absorbent; interlocking properties; Low C:N ratio
- **Coconut** - Extended longevity; increased price over shorter lived fibers
- **Synthetic** - Extended Longevity; interlocking properties; require UV protection

Hydraulically-applied Erosion Control Products, HECPs

TACKIFIERS

- Two basic types of tackifiers
 - Water soluble tackifiers
 - Insoluble hydro-colloidal tackifiers
- Standard mulches typically use water soluble tackifiers
- High-performance mulches use insoluble tackifiers
 - Cross-linked insoluble hydro-colloidal tackifiers: A chemical binder that introduces molecular charges that bind soil particles together



HECP Applications

- Slope Protection
- Natural Re-vegetation



HECP Applications



HECP Applications

- Landfills/Mines
- Winter Armoring
- Golf Courses
- With Turf Reinforcement



Bench-scale “Indexed” Performance Tests



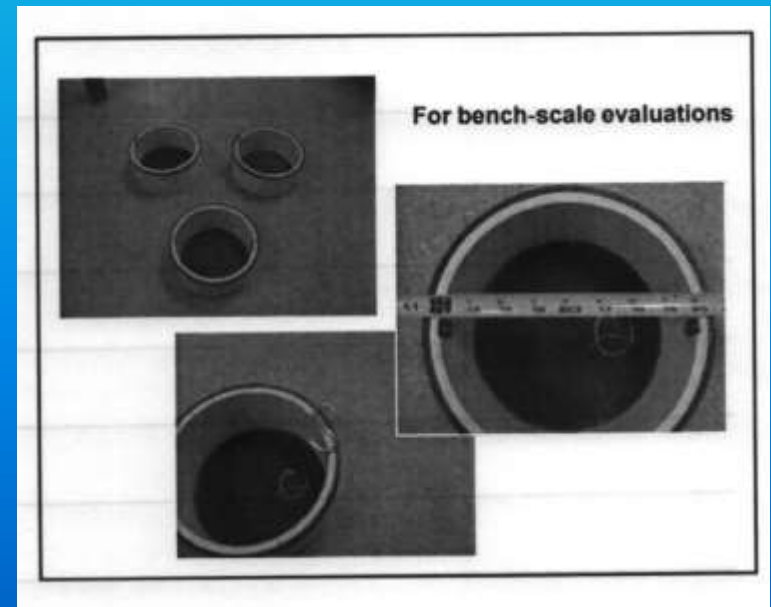
Bench-Scale “Indexed” Performance Tests

- Developed to test the RECP/soil system under carefully controlled “standard” conditions, but on a scale that facilitates lower cost and quicker testing.
- These tests include:
 - slope erosion (C-Factor)
 - channel erosion ($\tau = 13$ mm soil loss in 30 min.)
 - germination & vegetation enhancement (%)
 - biodegradation (t50)

Bench-scale Slope Erosion Test

“Determination of RECP Performance in Protecting Soil from Rainsplash”

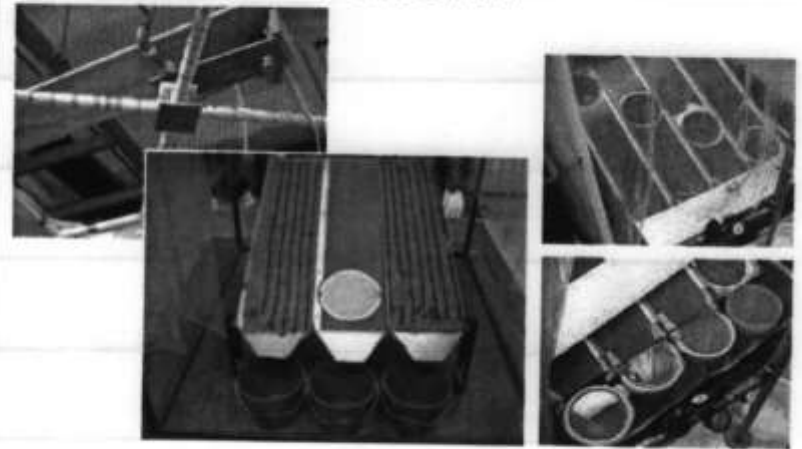
- Evaluates the ability of RECPs to protect soils from runoff and rainsplash-induced erosion.
- Sample must absorb the impact force of raindrops and localized sheet flow, thereby reducing soil particle loosening through “splash” mechanisms.



Slope
Erosion
Bench-
scale
Test



Bench-scale Simulated Slope Testing –
ASTM D 7101

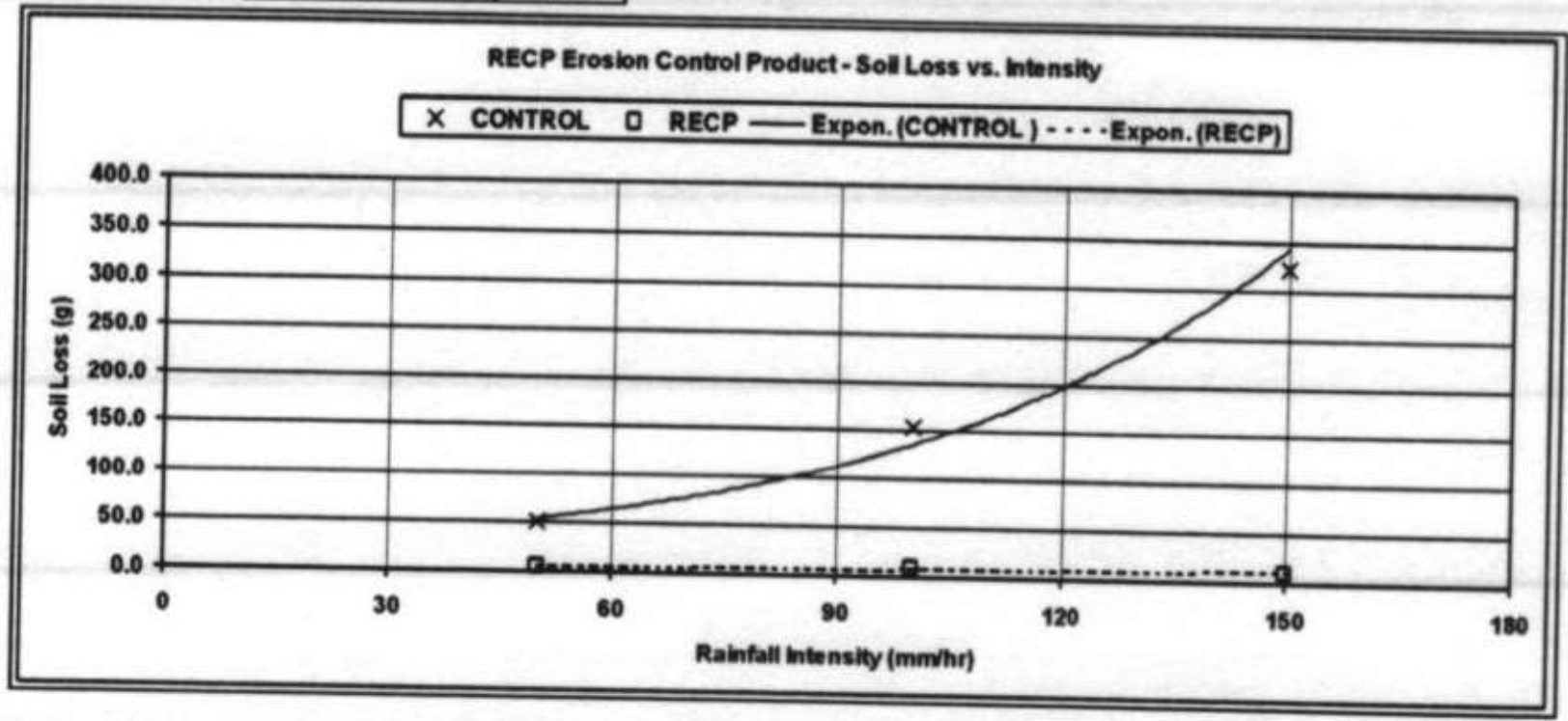


Slope erosion: rain splash and overland flow

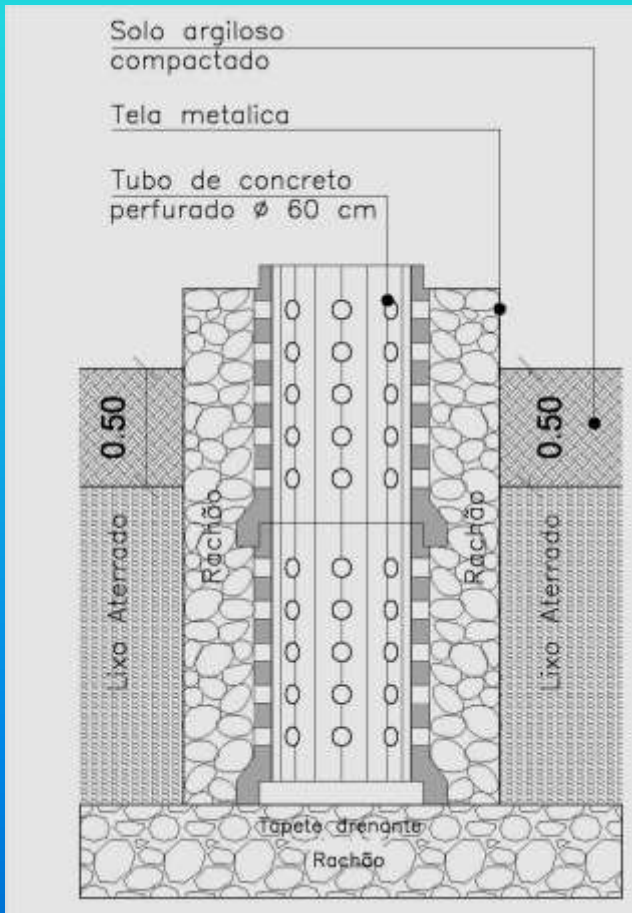
Slope Testing - Sample Report



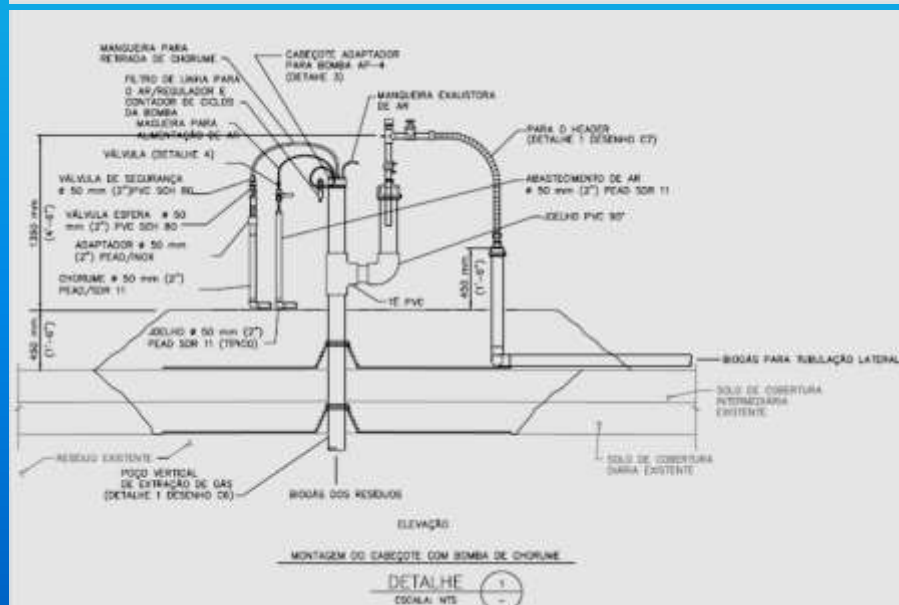
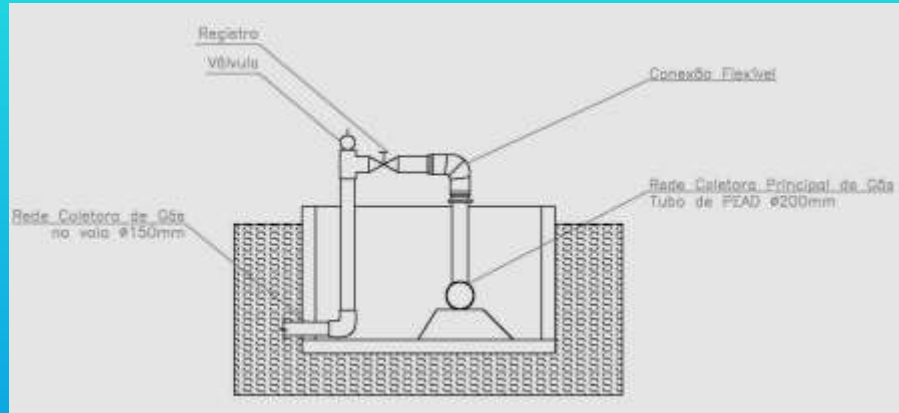
Soil Loss Ratio* Based on Raw Data		
Rain Intensity, mm/hr		
50	100	150
12.50	18.26	32.10
0.08	0.05	0.03



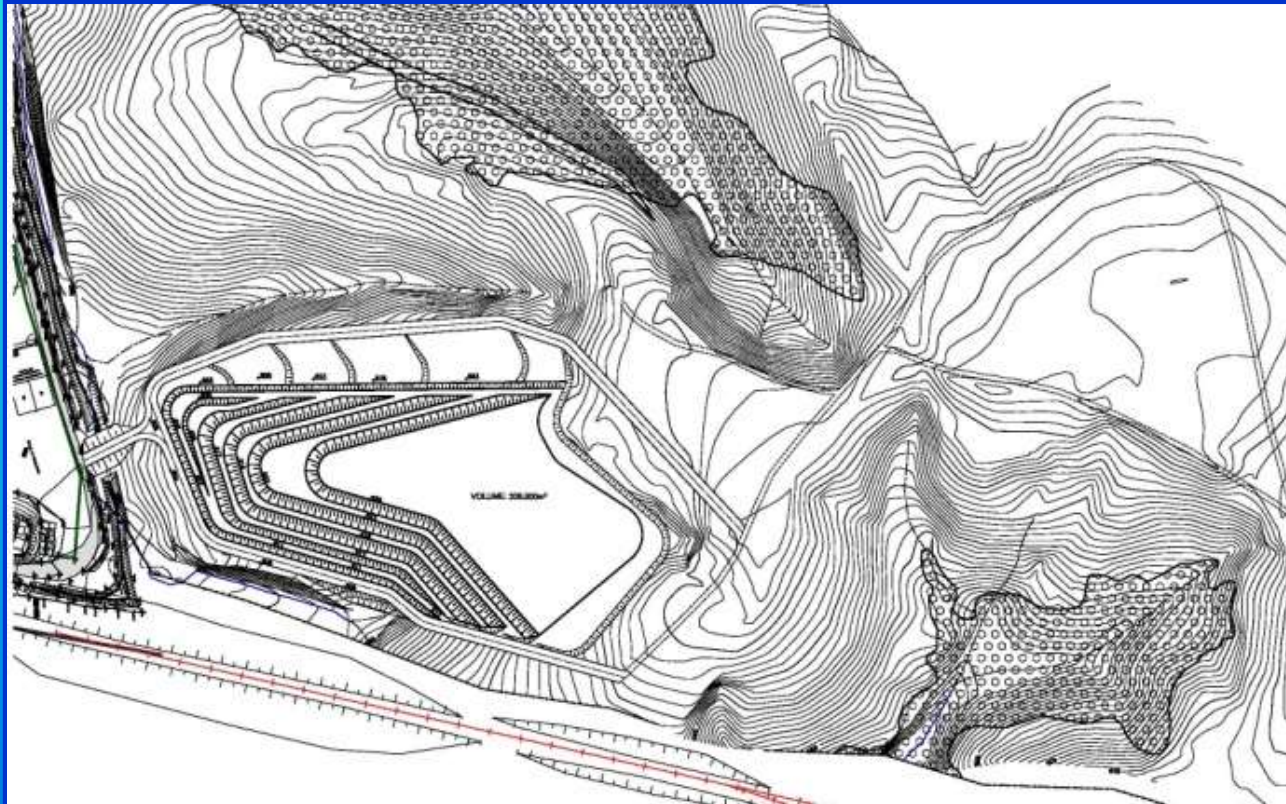
Drenagem vertical passiva de gás com dreno de Chorume



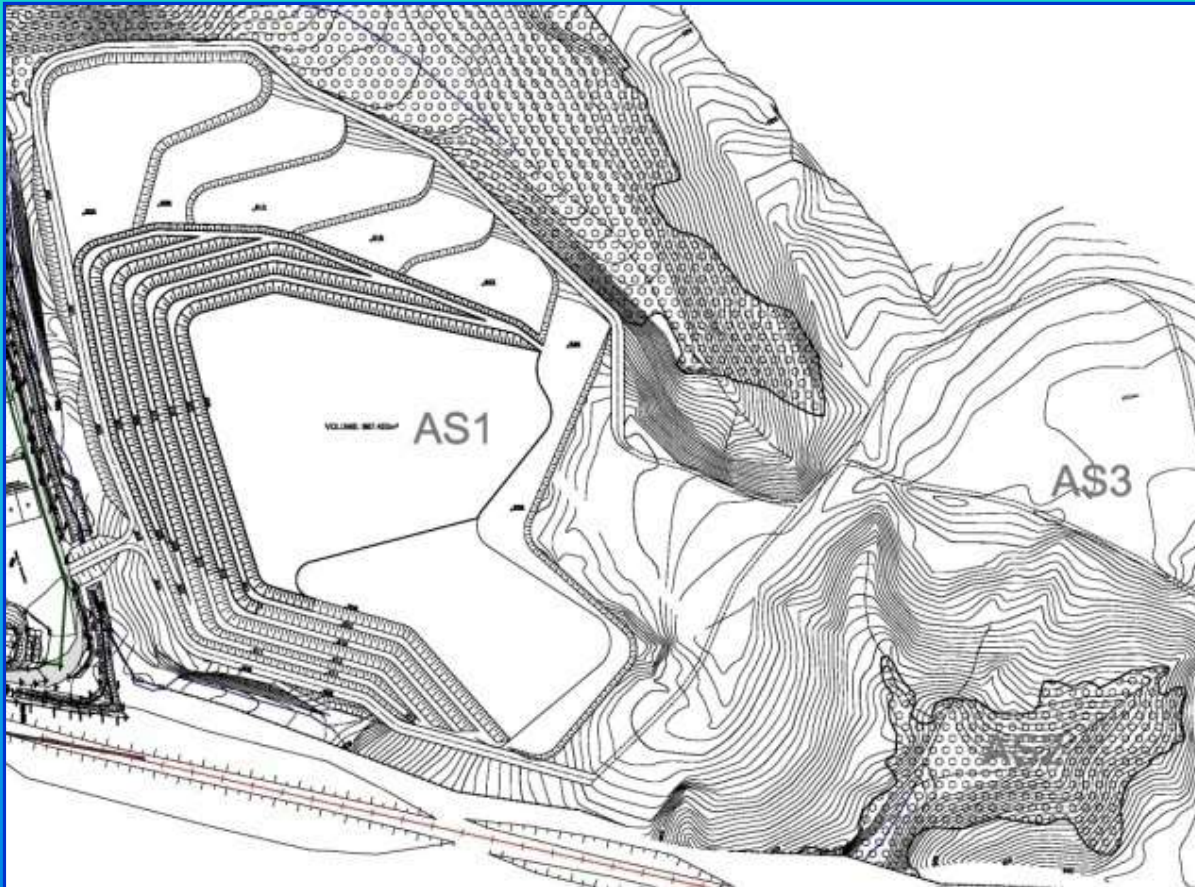
Dreno Horizontal de Gás



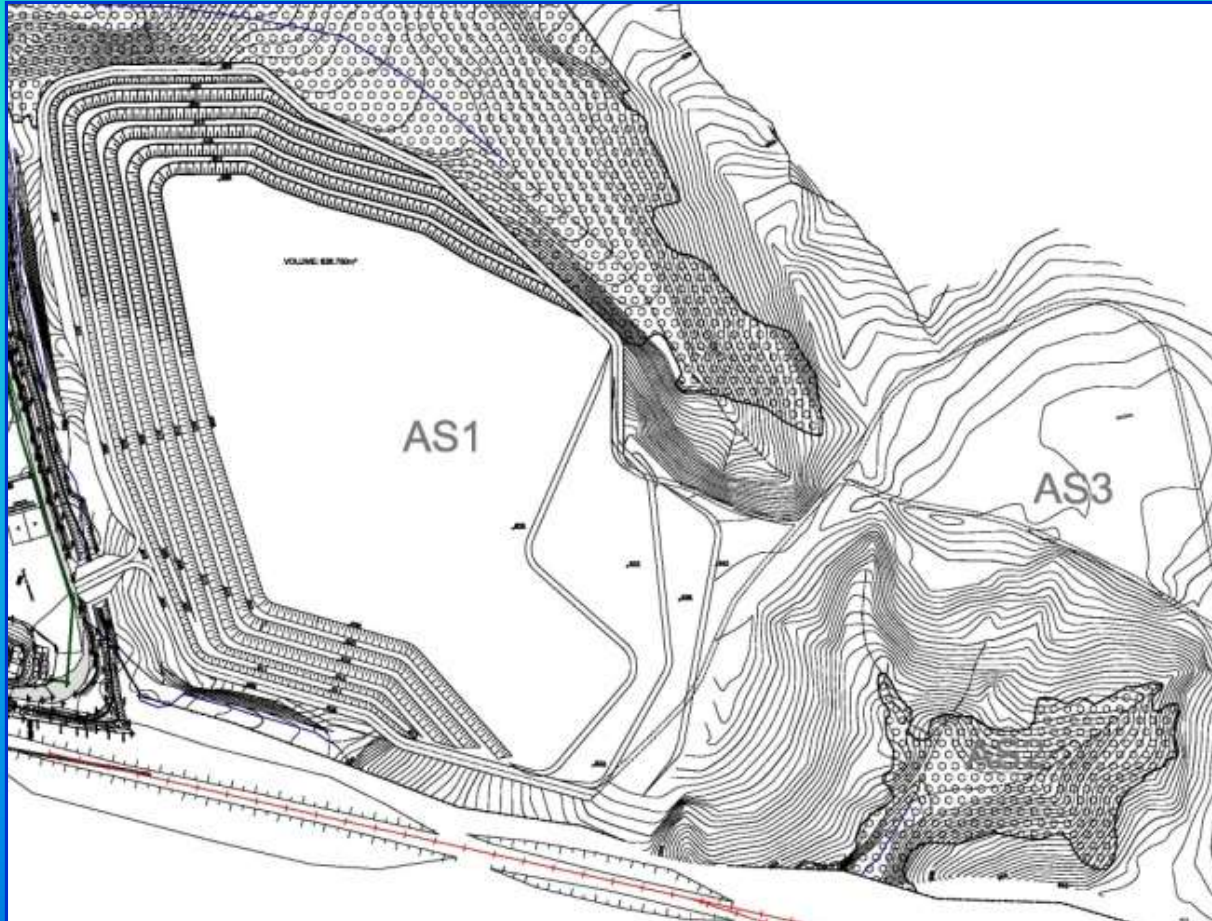
7.13.4 Fases de Evolução – Aterro Sanitário



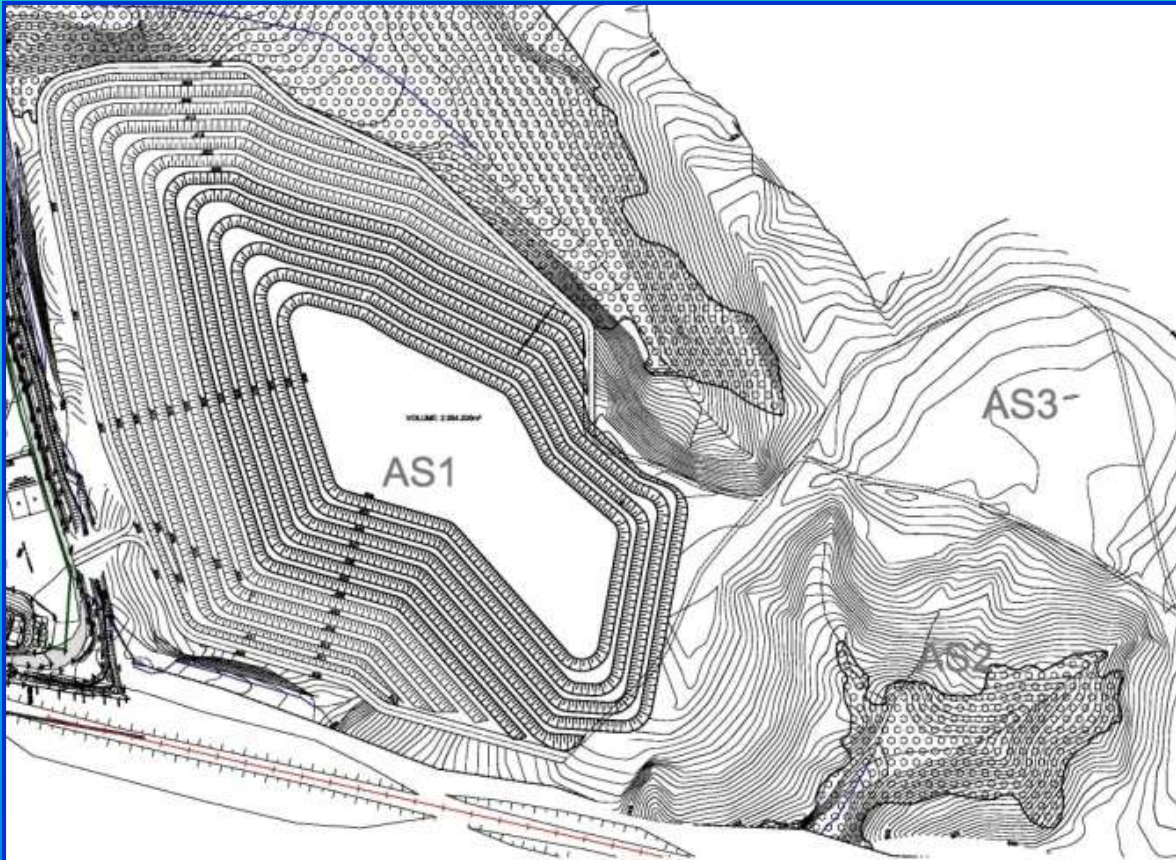
Etapa 1



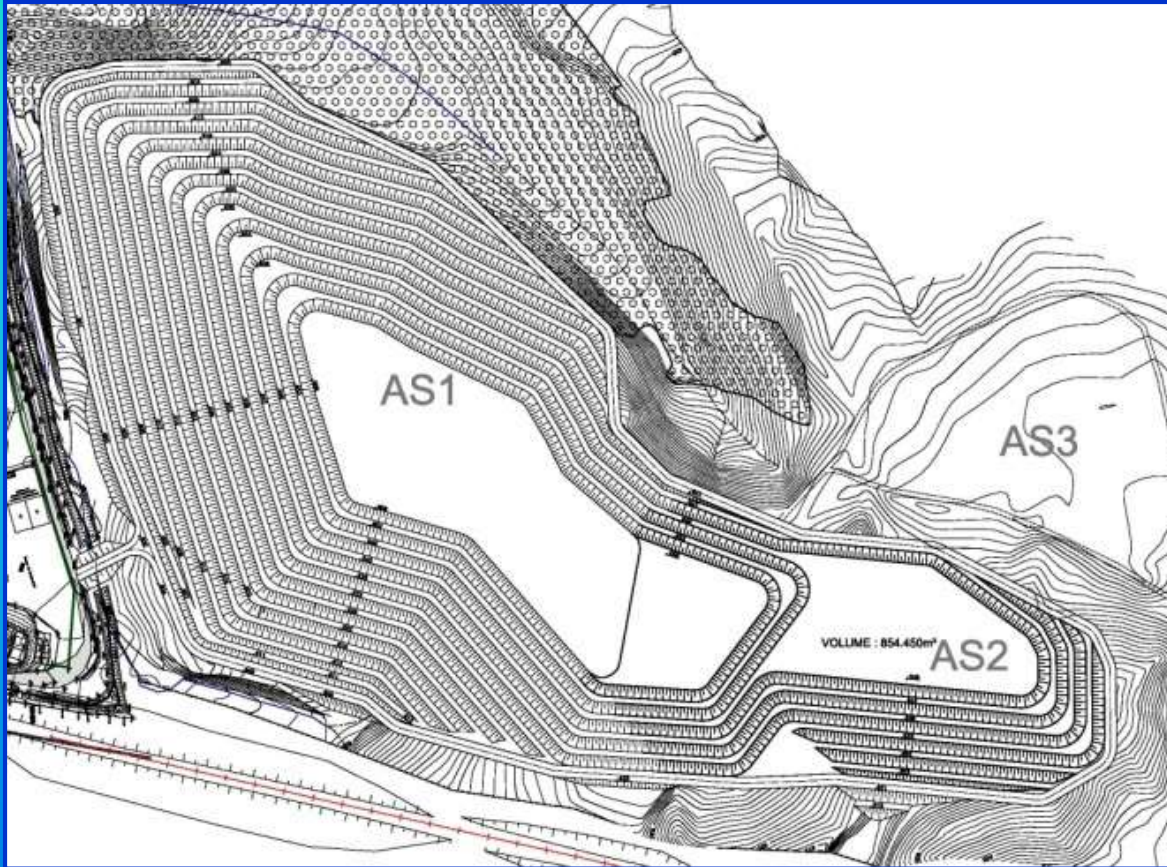
Etapa 2



Etapa 3



Etapa 4



Etapa 5

08. ATERROS PEQUENO PORTE

Aterros sanitário implantados para disposição de até 20 toneladas por dia de resíduos sólidos urbanos.

8.1 *Elementos de proteção ambiental do aterro sanitário de pequeno porte*

Os componentes do aterro sanitário de pequeno porte destinados a minimizar os impactos ambientais decorrentes da disposição dos resíduos sólidos urbanos no solo são:

- Impermeabilização de base;
- Sistema de cobertura ;
- Sistema de drenagem de águas pluviais;
- Sistema de drenagem e tratamento de lixiviados;
- Sistema de drenagem e tratamento de emissões gasosas; e
- Paisagismo.

8.2 **Adequações dos elementos de proteção ambiental aos condicionantes físicos locais**



A adequação dos elementos de proteção ambiental dos aterros sanitários de pequeno porte aos condicionantes físicos locais e às características da operação deve ser feita caso a caso. Cada projeto de aterro sanitário de pequeno porte deve apresentar as justificativas para adoção ou não dos elementos de proteção ambiental.

Como por exemplo:

Impermeabilização de base

A adoção de impermeabilização, deverá ser executada por meio de compactação com controle tecnológico de solo local, ou importado ou com aplicação de geossintético impermeabilizante, deve ser analisada especialmente nas situações em que ocorram riscos para as águas subterrâneas, muito embora não desejável e procurado ser evitado:

- ✓Solo local apresente alta permeabilidade
- ✓Seja pequena a profundidade do aquífero
- ✓Seja positivo o balanço hídrico local

Drenagem , Reservação e Tratamento de Lixiviados

Estes elementos podem ser dispensados, quando o balanço hídrico indicar ausência de líquidos a serem drenados durante todos os meses do balanço hídricos .

Drenagem e Tratamento de Gases

Os aterros de pequeno porte deverão dispor de elementos de drenagem de biogás do aterro, com a previsão de queima de gases em flare, para minimizar pelo menos as emissões causadoras de efeito estufa dentre outros impactos. Nesse sentido a cobertura final deverá ter características de permeabilidade adequada para evitar as emissões de maneira difusa, tendo os sistemas de drenagem e disciplinamento da saída de biogás função de aliviar as pressões internas.

8.3 ***Projeto de Aterros sanitários de pequeno porte***



- ✓ O projeto de um aterro sanitário de pequeno porte deve conter todas as informações técnicas necessárias para a adequada implantação de todos os seus componentes físicos, informações essas as serem convenientemente apresentadas sob a forma de desenhos técnicos (projeto gráfico e detalhamento construtivo) , memorial descritivo, memorial técnico de dimensionamento, planos de operação, de monitoramento e de fechamento da instalação, com suficiente nível de detalhes.



09. MONITORAMENTO



Monitoramento Ambiental



- Efluentes
 - Gasosos
 - Líquidos

- Instrumentação
 - Lisímetros
 - Sondas
 - Poços
 - Sondas elétricas
 - Sensores térmicos

Monitoramento Geotécnico

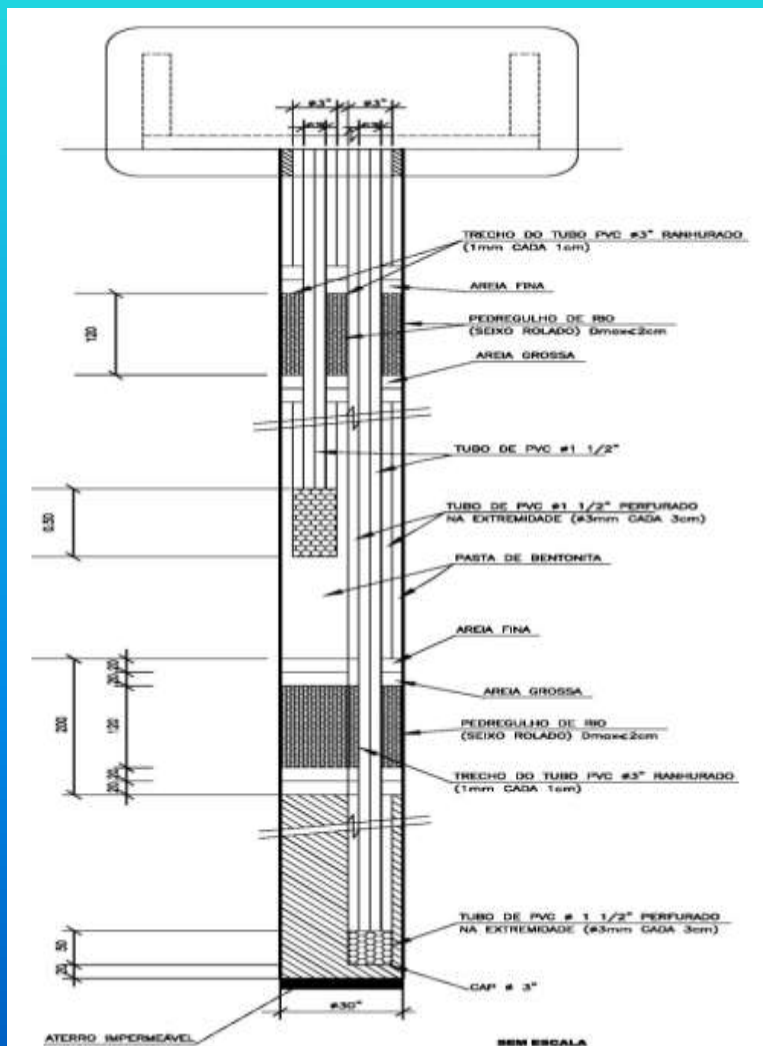


- Deformações
 - Verticais
 - Horizontais
- Pressões neutras
- Estabilidade dos taludes
- Instrumentação
 - Marcos superficiais
 - Piezômetros tipo sifão

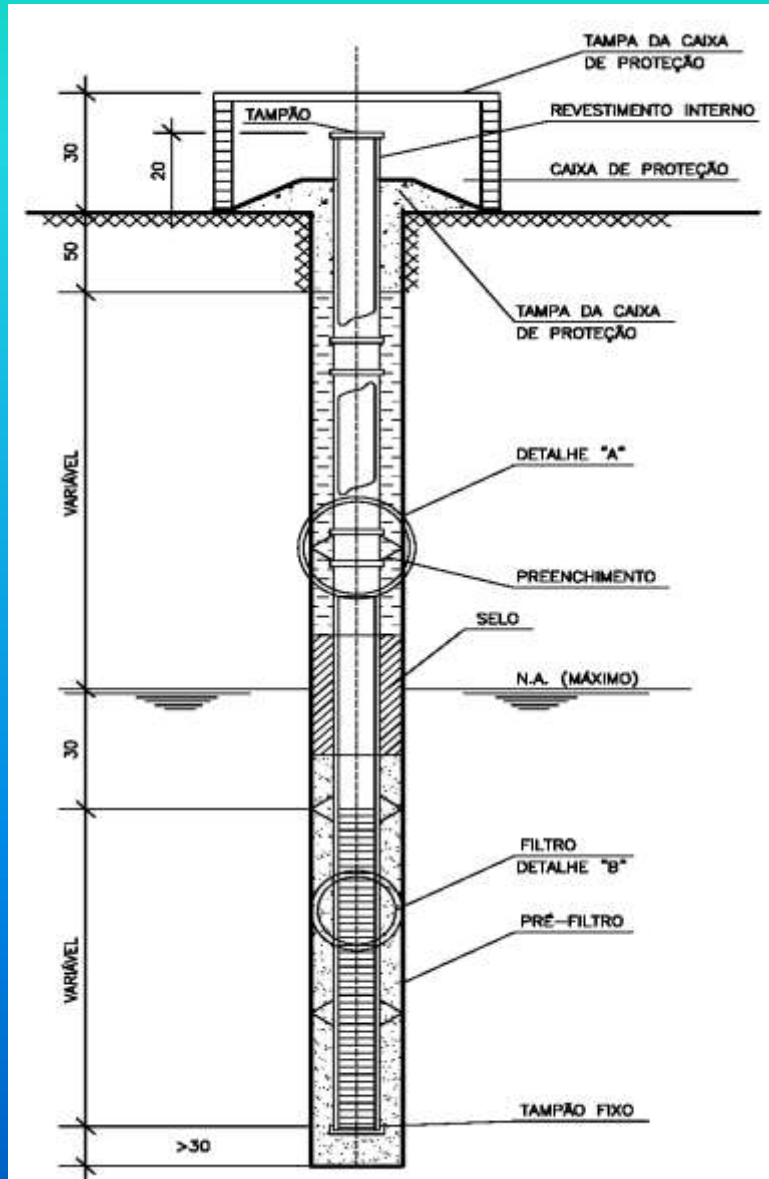


9.1 Ilustração dos Instrumentos

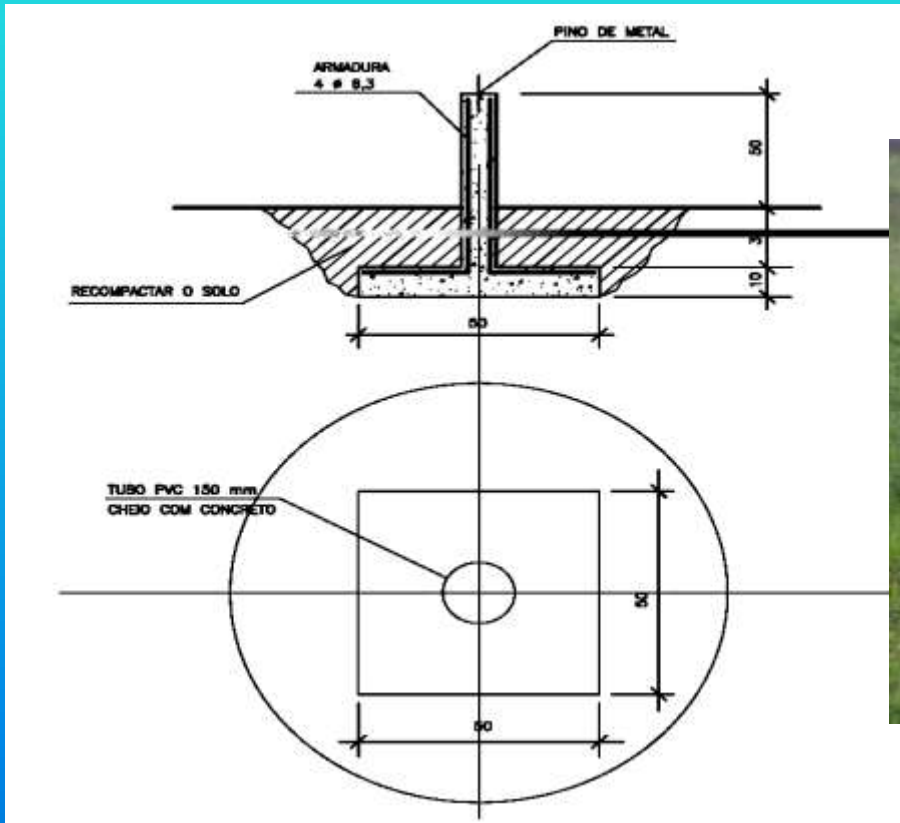
Piezômetro



Poço de Monitoramento

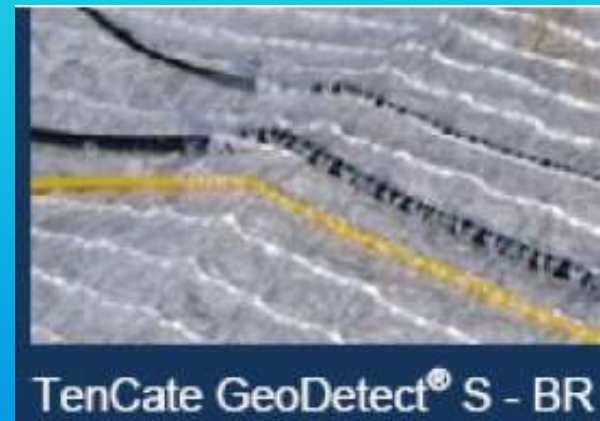
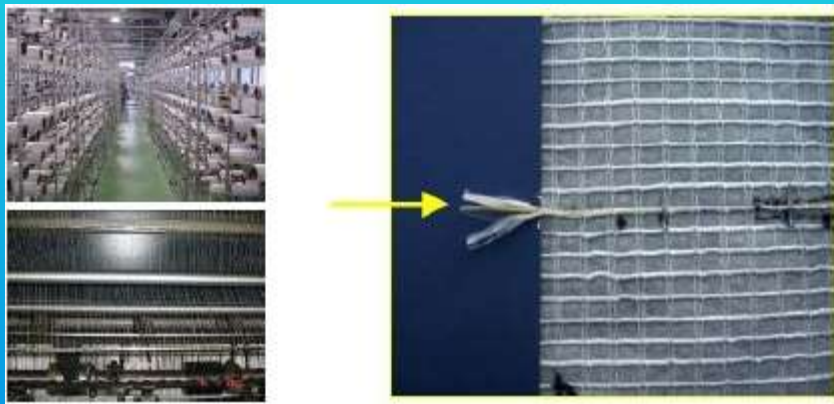


Marco Superficial



9.2 Exemplo de Tecnologia para auxílio do monitoramento geotécnico

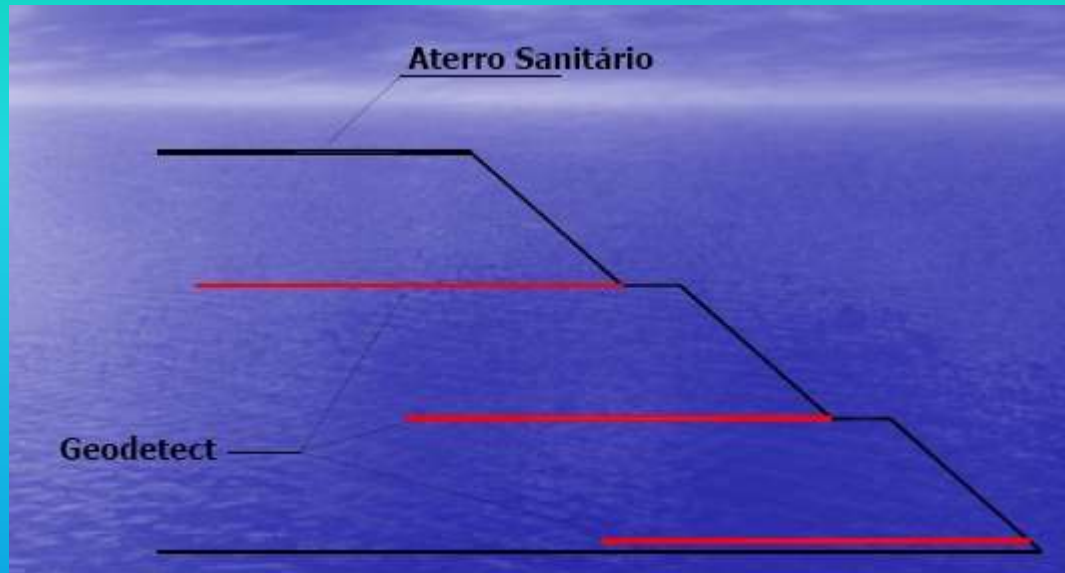
Geodetect – geossinético que possui em seu interior fibras ópticas que permitem o monitoramento contínuo de diversas grandezas, através de um sistema de hardware específico



● Aplicações:

- Muros de solo reforçado;
- Encontros de ponto em solo reforçado;
- Aterro reforçado sobre solos moles;
- Aterro estruturado sobre solos moles;
- Aterros Sanitários;
- Dutos;
- Barragens/ Diques; e
- Ferrovias.

Utilização em Aterro Sanitário



- Avaliação da estabilidade continuamente (segurança);
- Auxílio em retro-análises para obtenção de parâmetros de resistência – (lixo novo/ lixo antigo); e
- Medidas de temperatura.



10. BIOGÁS GERADOS EM ATERROS SANITÁRIOS E CRÉDITOS DE CARBONO

10.1 Biodegradação dos RSU's



Aterros Sanitários são reatores biológicos:

- Elementos de entrada e alimentação:
 - Resíduos sólidos
 - Água
- Elementos de Saída
 - Líquidos percolados
 - Biogás



Fatores que influenciam a cinética dos processos de biodegradação:

- Granulometria
- Composição e idade do resíduo
- Umidade do resíduo
- Temperatura do aterro
- Quantidade e qualidade de nutrientes
- pH dos líquidos no aterro
- Densidade e grau de compactação dos resíduos

10.2 Composição do Gás Gerado em Aterros Sanitários



Basicamente:

De 40% a 60% de metano, com volume remanescente:

- Dióxido de carbono
- De 1% a 2% de outros gases inorgânicos



Aterro	CH4	CO2	N2	O2
Azuza Western (CA)	50	50	-----	-----
Bradley(CA)	50	50	-----	-----
Sonoma (CA)	50	50	-----	-----
Norristown(PA)	46	53	1	
Newitt(CA)	45	55	-----	-----
Mountain View(CA)	44	34	21	1
Palos Verdes(CA)	53	43	3	-----
Denver(CO)	45	55	-----	-----
Glendale(CA)	40	51	7	2

Composição de alguns gases para aterros nos EUA

10.3 Mecanismo de Geração de Biogás em Aterros Sanitários



- Fase Aeróbia
- Fase Anaeróbia Acidogênica
- Fase Anaeróbia Metanogênica Instável
- Fase Anaeróbia Metanogênica Estável
- ▶ Maturação Final



10.4 Fase Aeróbia



- 1ª fase de decomposição
- Consome o O₂ do ar que está contido na massa
- Temperatura sobe
- São formados:
 - Dióxido de carbono
 - Água
 - Nitratos
 - Nitritos



10.5 Fase Anaeróbia



- Decomposição mais lenta que a 1ª fase
- Bactérias transformam os compostos orgânicos em matéria orgânica simples ácidos orgânicos de cadeia curta
- Ocorre a formação adicional de gases (principalmente CO₂)
- pH chega a 4,5
- Lixiviado se forma
- Presença de ácidos voláteis orgânicos no interior da massa



10.6 Fase Anaeróbia Metanogência Instável e Estável



- Instável:
 - Bactérias metanogênicas que transformam o substrato anterior com:
 - Redução de CO_2
 - Desaparecimento do H_2
- Estável:
 - Relação CO_2/CO_4 constante
 - Ph de 6,8 a 7,2

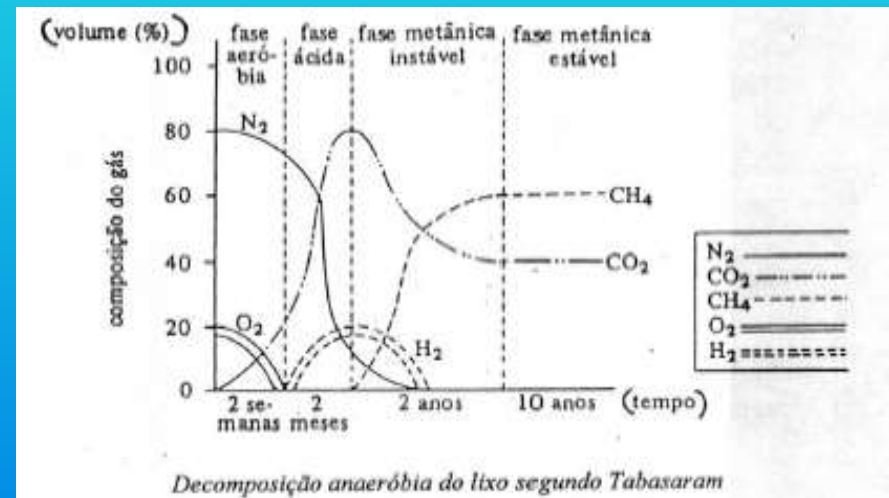
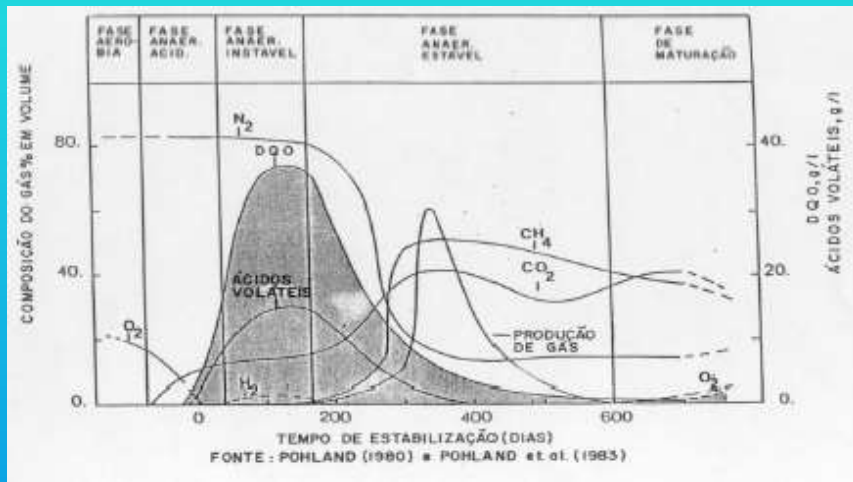
10.7 Fase de Maturação Final



- Volta do O_2
- Volta de organismos aeróbios
- Quase extinção de gás



10.8 Evolução do Processo de Decomposição



Fases da decomposição anaeróbica do lixo, composição do gás e tempo de produção

10.9 Parâmetros Indicativos de Estabilização



Parâmetro	Fase Anaeróbia	Fase Anaeróbia acid.	Fase Anaeróbia Inst.	Fase Anaeróbia Est.
DBO/DQO	0.23-0.87	0.4-0.8	0.17-0.64	0.02-0.13
DBO	100-10.900,0	1000-57700,0	600-3400,0	4-120
DQO	480-18000,0	1500,0-71100,0	580,0-9760,0	31-900,0
COT	100-3000,0	3000,0-18800,0	250-4000,0	0,0
DQO/COT	4,3-4,8	2,1-3,4	2,0-3,0	0,4-2,0
PH	6-7	4,7-7,7	6,3-8,8	7,1-8,8
SO4	10-458	10-3240,0	0,0	0,0
METANO	0,0	<1%	30-60%	<10%
DIOX.CARB.	0-10	10-30	30-60	<40%
NITROG.	70-80	60-80	<20%	>20%

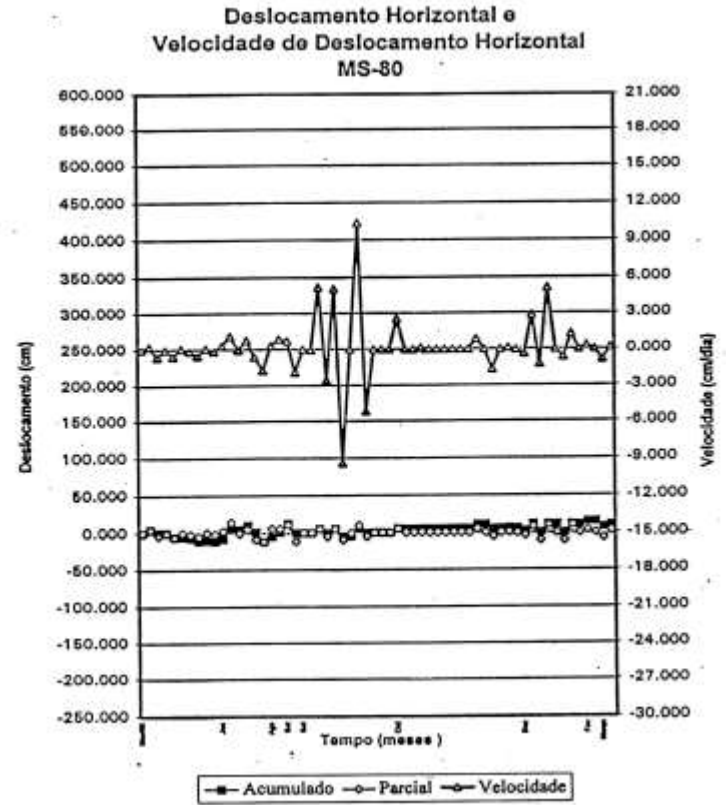
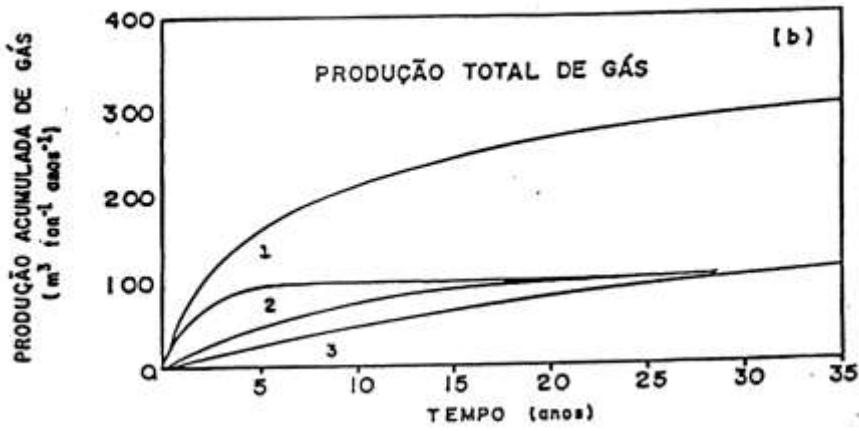
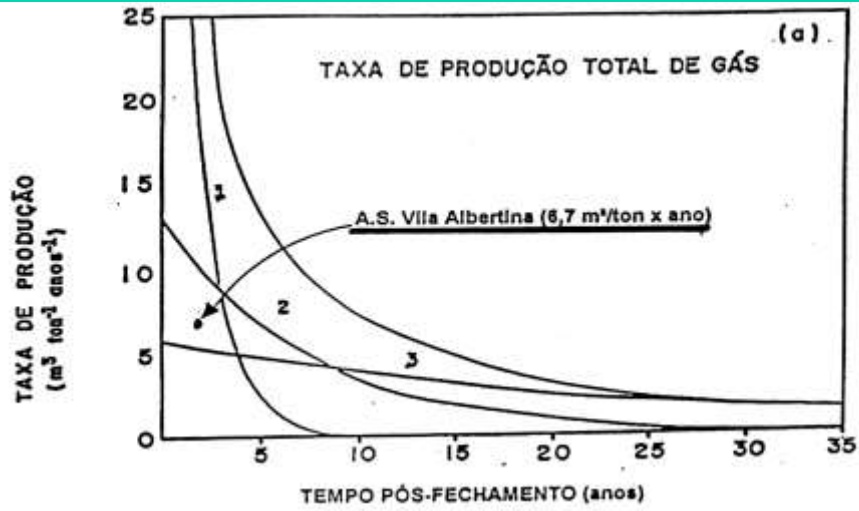
onde DBO= demanda bioquímica de oxigênio
DQO= demanda bioquímica de oxigênio
COT= carbono
SO4= sulfato



11. INFLUÊNCIA NA GERAÇÃO DE GÁS NO COMPORTAMENTO DO MACIÇO ATERRO SANITÁRIO VILA ALBERTINA EFEITO “EXAUSTÃO”

11.1 Aterro Vila Albetina









12. PRODUÇÃO DE GÁS

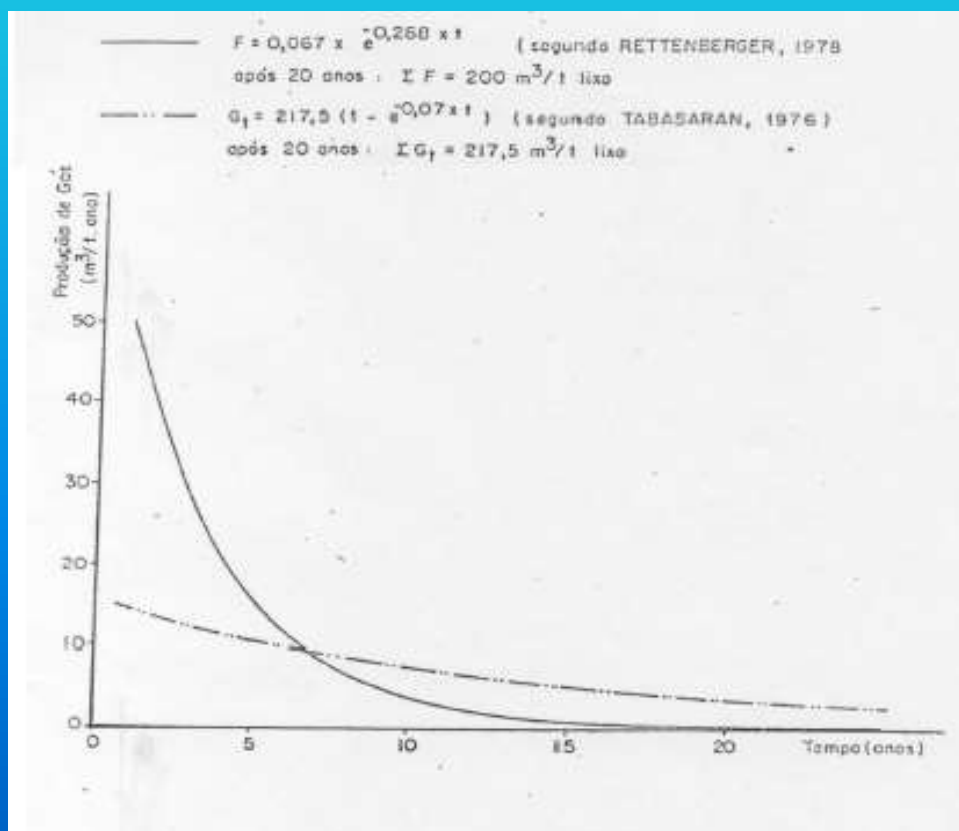
- Características do lixo:
 - Lixo doméstico possui substrato altamente orgânico;
 - Não possui inibidores da decomposição.
- Umidade:
 - Água é fundamental no ambiente anaeróbio necessário para a formação do CH₄;
 - Aumento de umidade, aumenta a formação de CH₄ até o limite de 60% (estimado).
- Temperatura:
 - Afeta a atividade microbiológica e vice e versa.
 - Camadas superiores do aterro (1m a 2m):
 - 50°C < T < 70°C;
 - Camadas de 2m a 3m: 25°C < T < 45°C;
 - Maior temperatura, mais rápida decomposição e, portanto, maior geração de gás.



12.1 Taxa de Produção de Gás

Rettemberger, 1978 e Tabasaram, 1976

- Maior produção de gás nos 2 primeiros anos do aterro.
- Caimento posterior em ordem exponencial:



$$P = 0,067 * e^{(-0,288 * t)} \quad (\text{RETTEMBERG})$$

$$P = 217,5 * (1 - e^{(-0,07 * t)}) \quad (\text{TABASARAN})$$

onde P = Produção de gás (m³/ ton.*ano)
t = Tempo(anos)

Curvas de variação de velocidade de produção de gás para aterros sanitários.

12.2 Taxa de Produção de Gás

Experimentos Recentes



- Produção de metano baixa durante as primeiras 3 primeiras fases da decomposição;
- Após 3ª fase, cresce vertiginosamente;
- Atinge o pico na 4ª fase;
- Decaindo daí em diante.

$$Po = 0,8 * K * Po * e^{(-kt)}$$

Onde:

K = coef. de degradação

Po = fração de matéria orgânica contida no lixo (seca)



12.3 Taxa de Produção de Gás Tipos de Materiais Orgânicos



- Facilmente degradáveis: restos de comida;
 - Medianamente degradáveis: folhas, podas, verduras cruas, papel higiênico, etc;
 - Difícilmente degradáveis: papéis encorpados, papelões, trapos e panos, madeira, etc;
 - Não degradáveis: plástico, borracha, etc.
- Com os seguintes parâmetros de degradação:

item	coeficiente K	Vida média(anos)
Facilm. degrad.	0,693 ano ⁻¹	1 ano
Median degrad.	0,169 ano ⁻¹	5 anos
Difícil. degrad.	0,046 ano ⁻¹	15 anos

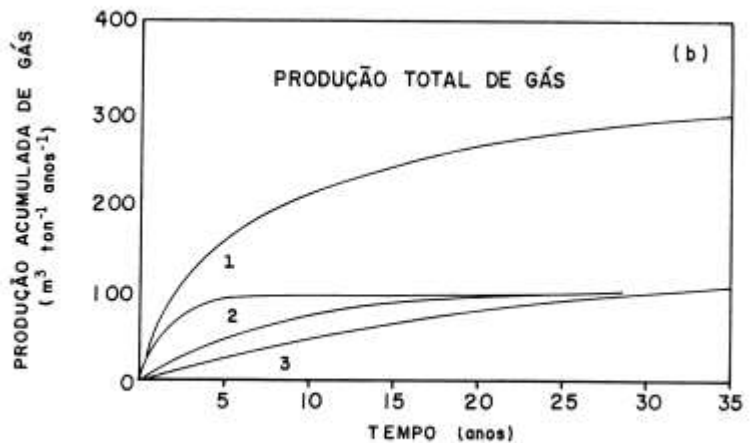
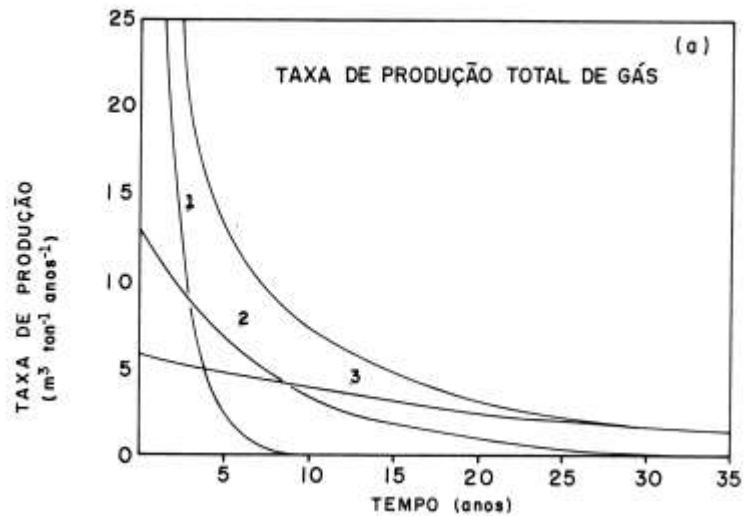


FIGURA 3

- (a) Produção de gás por ano, totais, para diversas frações;
- (b) Volume total de gás produzido no aterro, por 1ton de lixo, por cada fração.
- Fração 1: facilmente degrad.
- Fração 2: medianam. degrad.
- Fração 3: difícilm. degrad.
- Gás gerado após 15º ano é oriundo da parcela difícilmente degradável

12.4 Digestão Anaeróbia



Fundamentos

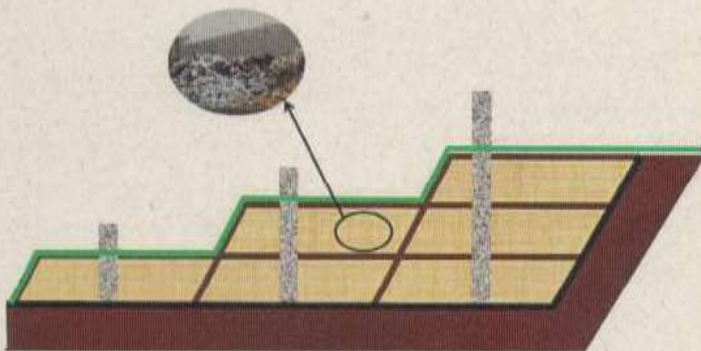
- Decomposição da matéria orgânica por bactérias anaeróbias (na ausência de oxigênio)
- Principais fatores:
 - ✓ Temperatura
 - ✓ Matéria Orgânica
 - ✓ pH
 - ✓ Nutrientes
- Comportamento da digestão anaeróbia em diferentes locais nos Aterros Sanitários
- Decomposição ocorre ao longo dos anos, devido à quantidade de matéria orgânica recebida;
- Maior dificuldade em controlar os parâmetros
- Maior dificuldade em controlar o processo
- Quantidade de biogás produzida é significativamente grande
- Composição: 45-50% CH₄ / 50-45% CO₂ / traços de outros gases (N₂ H₂O, O₂, H₂, siloxinas)







GERAÇÃO DE BIOGÁS Aterros Sanitários



GERAÇÃO DE BIOGÁS Aterros Sanitários



GERAÇÃO DE BIOGÁS Aterros Sanitários



GERAÇÃO DE BIOGÁS Aterros Sanitários



12.5 Projeto "Capping"

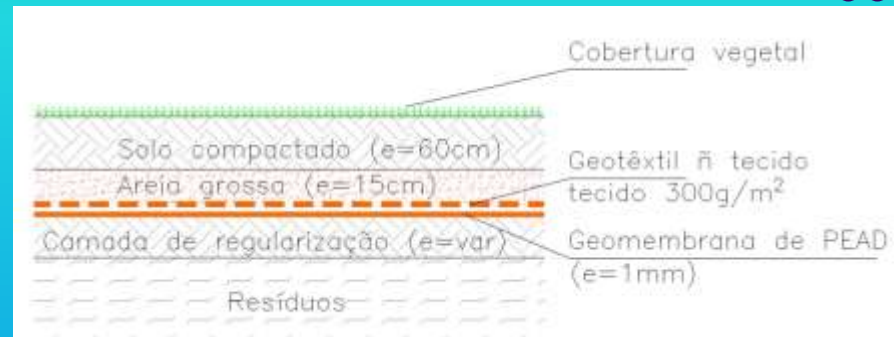


- Necessário de acordo com os resultados dos estudos de perdas pela superfície
- Trata-se da execução de cobertura superficial no aterro
- Garantindo a captação da demanda de gás fugitivo
- Isolando a superfície do aterro
- Impermeabilizando o aterro das águas pluviais



12.6 Conceção

- Camada de regularização de solo: tornar a área a ser impermeabilizada regular, conduzindo as águas de chuva para o sistema de drenagem



- Geomembrana de PEAD (1mm) para impermeabilização da área
- Barreira capilar composta por:
 - Geotêxtil não tecido
 - Camada de 15cm de areia grossa
 - Elementos que irão drenar e conduzir as águas para o sistema de drenagem
- Camada de 60cm de solo compactado, onde será disposta a cobertura vegetal com grama



13. Fatores que Afetam a Qualidade Operacional de Aterros



- Falta de Investimento;
- Falta de Gestão Econômico-Financeiro;
- Falta de Capacitação Técnica de Gestão e Operação;
- Descontinuidade Política – Administrativa Públicas; e
- Falta de “Agenda” e motivação administrativa, pública, política e social para a questão dos resíduos.



14. Proposta para Gestão Empresarial de Resíduos

14.1 Proposta para Gestão Empresarial de Resíduos



Incrementos econômicos e fiscais voltados à minimização, valorizando:



1. O operador do sistema;
2. O usuário do sistema;
3. O catador e a Política Nacional de Resíduos.

Exemplo Aplicativo da Proposta

✓ Cidade/Município com:

- 1,5 x 10⁶ habitantes;
- Per capita atual = 1,0kg/hab.dia;
- Dias de coleta: 26 dias/mês;
- Cobertura da coleta: 100%;
- Média mensal coletada: 1,5 x 10⁶ x 1,0 x 26 = 39 x 10⁶Kg/mês

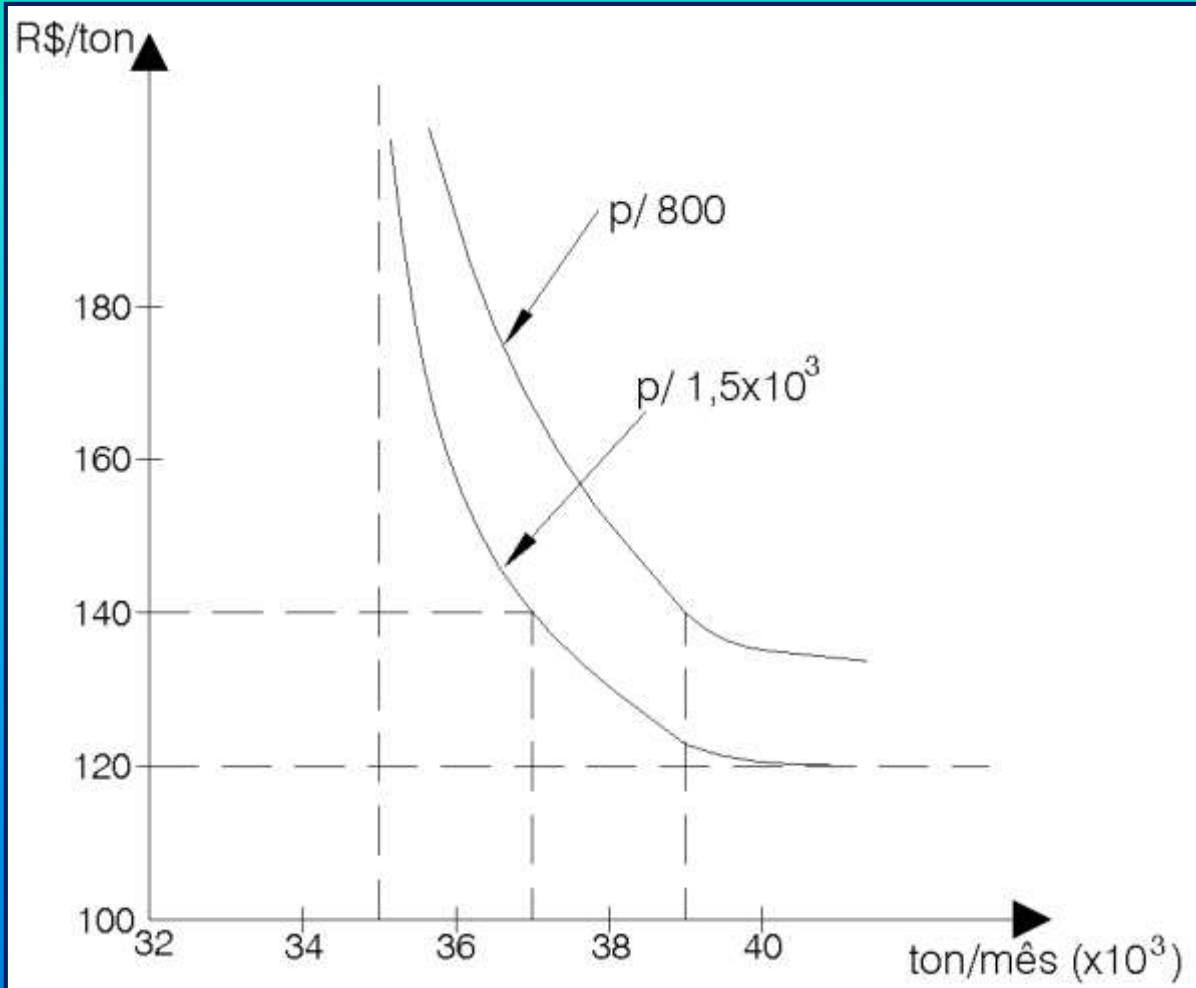
39 x 10³ ton/mês;

- Índice de recuperação de recicláveis: 0,5%;
- Quantidade mensal de recicláveis: 200 ton/mês;
- Total mensal de resíduos a serem tratados/aterrados: 38,8 ton x mês;
- Metas:
 - 2,5% - 2 anos – 1.000 ton;
 - 5,0% - 5 anos – 2.000 ton.

OU

- 0,973 Kg/hab – 2 anos;
- 0,948 Kg/hab – 5 anos.





OBRIGADO!!!



Engº Francisco Oliveira

franciscojpoliveira@fralconsultoria.com.br

Profª Míriam Gonçalves

mgmiguel@fec.unicamp.br