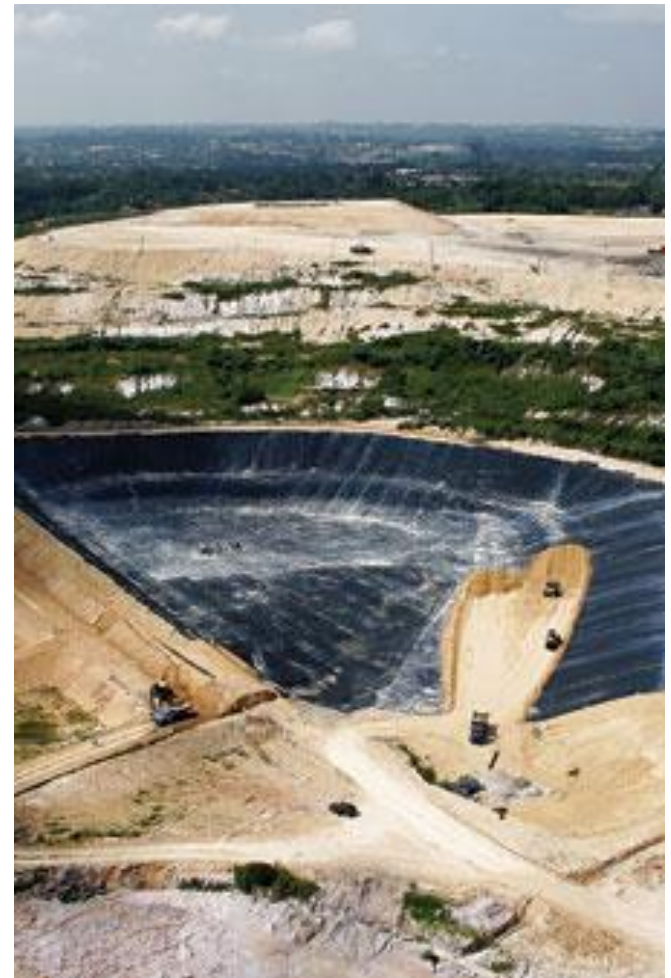


DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

Profa. Margarita Ma. Dueñas O.



DEFINIÇÃO

ATERRO

É uma forma de disposição de resíduos no solo que, fundamentada em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, garante um confinamento seguro em termos de poluição ambiental e de proteção à saúde pública.

CETESB, 1993

DEFINIÇÃO

Os aterros são empreendimentos passíveis de elaboração de EIA/RIMA, conforme resolução CONAMA 001 de 23/01/86, devendo o estudo ser submetido à apreciação do órgão ambiental competente

DEFINIÇÃO – ATERROS

- **SANITÁRIOS**

- RSU



- **INDUSTRIAIS**

- RSI



SITUAÇÃO “ATUAL”

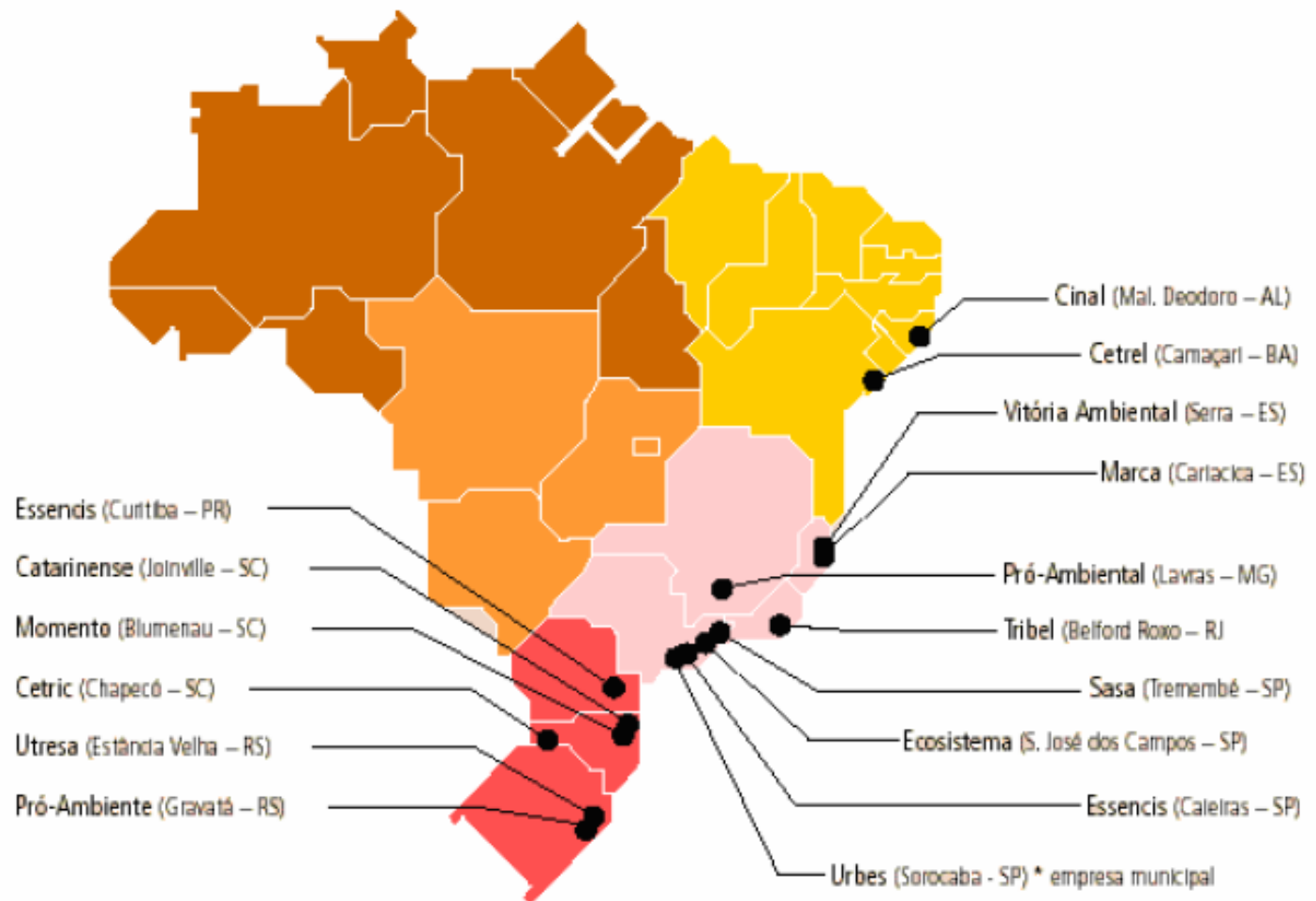


Figura 1: Localização dos Aterros para resíduos classe I.
Fonte: ABRELPE (2006)

OUTROS

Dentre as formas de disposição de resíduos industriais incluem-se a disposição em aterros sanitários ou industriais, a injeção em poços profundos e a colocação em minas abandonadas.

DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS EM ATERROS

- Somente devem ser dispostos em aterros:
 - Resíduos passíveis de atenuação no solo;
 - Por processo de degradação
 - Por processo de retenção (filtração, adsorção, troca iônica etc.)

RESÍDUOS CUJA DISPOSIÇÃO NÃO É ACEITA EM ATERROS

- Inflamáveis;
- Reativos;
- Oleosos;
- Orgânicos persistentes; e
- Que contenham líquidos livres.



ATERRO INDUSTRIAL

REQUER:

- Localização adequada
- Elaboração de projeto criterioso:
 - com implantação de infra-estrutura de apoio; e
 - com implantação de obras de controle.
- Adoção de regras operacionais específicas



Propiciam

Confinamento seguro dos resíduos, em termos de controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública

ATERROS - NORMAS TÉCNICAS

Gerais:

- NBR 10.004 - Resíduos Sólidos - Classificação
- NBR 10.005 - Lixiviação de Resíduos
- NBR 10.006 - Solubilização de Resíduos
- NBR 10.007 - Amostragem de Resíduos

- NBR 12.988 - Líquidos Livres - Verificação em Amostra de Resíduo
- NBR 13.895 - Construção de Poços de Monitoramento e Amostragem

ATERROS - NORMAS TÉCNICAS

Específicas:

- **NBR 8418** - Apresentação de Projetos de Aterros de Resíduos Industriais Perigosos
- **NBR 8419** - Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos
- **NBR 10.157** - Aterros de Resíduos Perigosos – Critérios para Projeto, Construção e Operação
- **CETESB - LI.030** - Membranas Impermeabilizantes e Resíduos. Determinação da Compatibilidade - Método de ensaio
- **NBR 13.896** - Aterros de Resíduos Não Perigosos - Critérios para Projeto, Implantação e Operação

SELEÇÃO DE LOCAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERROS IND.

Deve atender:

- Ao planejamento do desenvolvimento econômico, social e urbano da região;
- Às diretrizes fixadas para uso e ocupação do solo;
- À proteção da saúde pública; e
- À proteção do meio ambiente.

SELEÇÃO DE LOCAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERROS IND.

Aspectos a considerar:

- Grau de urbanização e compatibilidade da vizinhança
- Valor comercial do terreno
- Distância do ponto(s) gerador(es)
- Condições de acesso
- Caracterização hidrogeológica
 - Águas superficiais e subterrâneas
 - Mananciais de abastecimento

ESCOLHA DE ÁREA - REQUISITOS

CONDIÇÕES OBSERVADAS

- Distância mínima de 500m a núcleos habitacionais;
- Distância mínima de 200m de corpos de água superficiais
- Declividade superior a 1% e inferior: a 20% para classe I e 30% para classe II;
- Área não sujeita a inundações, em períodos de recorrência de 100 anos;

ESCOLHA DE ÁREA - REQUISITOS

- Vida útil mínima de 10 anos;
- Área em conformidade com a legislação local de uso do solo; e



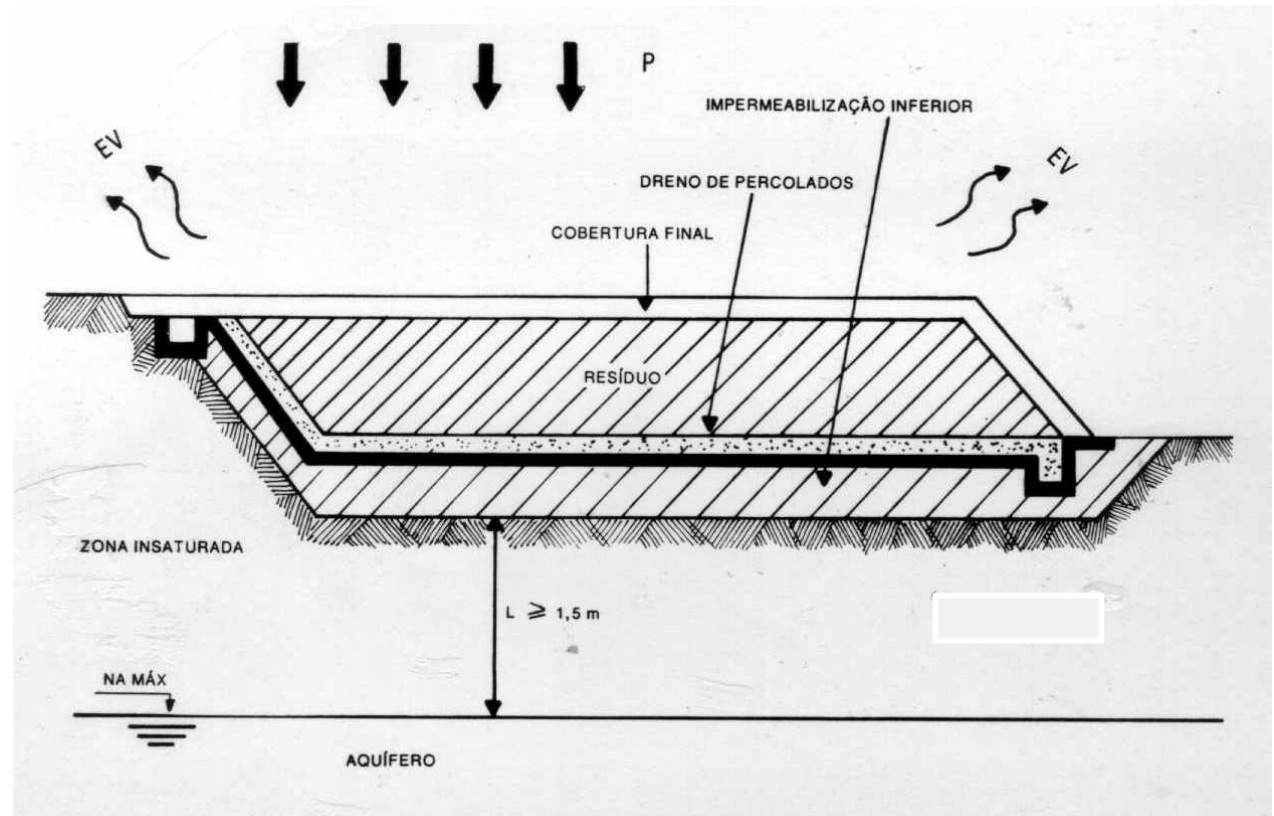
ESCOLHA DE ÁREA - REQUISITOS

Baixo potencial de contaminação do aquífero

- Subsolo com alto teor de argila;
- Camada insaturada $\geq 1,5\text{m}$ entre o fundo do aterro e o nível mais alto do lençol freático;
- Subsolo constituído predominantemente por material com coeficiente de permeabilidade inferior a $5 \times 10^{-5}\text{cm/s}$;
- Baixo índice de precipitação; e
- Alto índice de evapotranspiração.

ESCOLHA DE ÁREA - REQUISITOS

Baixo potencial de contaminação do aquífero



CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

- Definição das camadas constituintes do subsolo;
- Determinação da profundidade do aquífero freático;
- Conhecimento da dinâmica, qualidade e importância econômica das águas subterrâneas;
- Importância do terreno em termos de recarga de aquíferos; e
- Avaliação de riscos de ruptura ou erosão acentuada do terreno de fundação.

CONDIÇÕES HIDROGEOLÓGICAS EM ATERROS

Condições Hidrogeológicas		Unidade	Aterro de Resíduos	
			Perigosos	Não Perigosos
Desejável	Espessura da Camada Insaturada (L)	m	3,0	3,0 ⁽²⁾
	Coefficiente de Permeabilidade (K)	cm/s	10^{-7}	10^{-6} ⁽²⁾
Mínima	Espessura da Camada Insaturada (L)	m	1,5 ⁽¹⁾	1,5 ⁽²⁾
	Coefficiente de Permeabilidade (K)	cm/s	5×10^{-5} ⁽¹⁾	5×10^{-5} ⁽²⁾

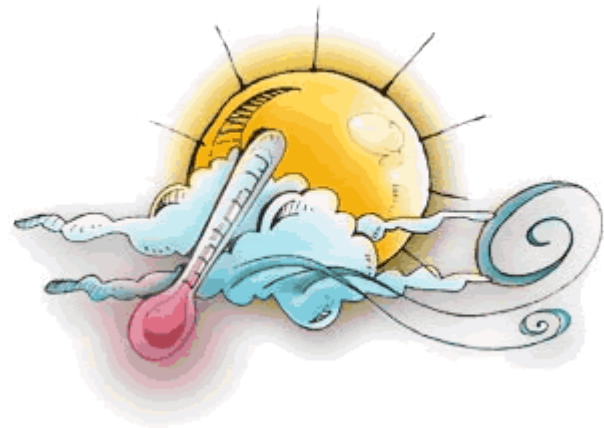
Notas:

- ⁽¹⁾ NBR 10157/87 - "Aterros de Resíduos Perigosos - Critérios para Projeto, Construção e Operação"
- ⁽²⁾ NBR 13896/97 - "Aterros de Resíduos Não Perigosos - Critérios para Projeto, Implantação e Operação"

CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

Compilar informações climáticas

- Precipitação
- Evaporação
- Temperatura
- Direção do vento



INFRAESTRUTURA

- **Cerca**, para isolamento da área ao acesso de pessoas e animais;
- **Placa de sinalização**, para identificação do local;
- **Faixa de proteção sanitária** de 5 a 10 m de largura em toda a volta do aterro, destinada ao plantio de arbustos e árvores, formando uma cerca viva para melhorar a estética do local e dificultar a visão do interior da área;
- **Guarita**, para controle da entrada de veículos;
- **Balança**, para controle da quantidade de resíduos a serem dispostos no aterro;
- **Portaria**, para controle do tipo de resíduo a ser disposto no aterro;
- **Escritório**, para o desenvolvimento das atividades administrativas;
- **Laboratório**, para realização de análises expeditas;
- **Pátio de estocagem de materiais**, tais como brita, tubos, terra etc;
- **Pátio para estocagem de resíduos**;
- **Iluminação**, para operação noturna;
- **Banheiros e refeitórios**;
- **Sistema de comunicação** interna e externa e
- **Acessos às frentes de aterramento**, que devem permitir o trânsito dos veículos sob quaisquer condições e serem, no mínimo, cascalhados.

ELEMENTOS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL

- Sistema de drenagem de águas pluviais;
- Sistema de impermeabilização inferior;
- Sistema de coleta e tratamento de líquidos percolados;
- Sistema de detecção de vazamentos através da impermeabilização;
- Sistema de impermeabilização superior - Cobertura Final; e
- Sistema de monitoramento das águas subterrâneas.

SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS



Estruturas dimensionadas para drenar:

- Chuva de pico com período de retorno de 5 anos – aterros de resíduos não perigosos (Classe II)
- Chuva de pico com período de retorno de 25 anos – aterros de resíduos perigosos (Classe I)

SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

- Águas que precipitam à montante da área do aterro;
- Águas que precipitam sobre a área do aterro, durante a fase de operação;
- Águas que precipitem sobre o aterro concluído.

SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO

Características esperadas de um sistema de impermeabilização em aterros:

- Estanqueidade
- Durabilidade
- Resistência a esforços mecânicos
- Resistência as intempéries
- Resistência aos microorganismos do solo
- Compatibilidade com os resíduos a serem aterrados

SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO

Os materiais comumente empregados em impermeabilização de aterros são:

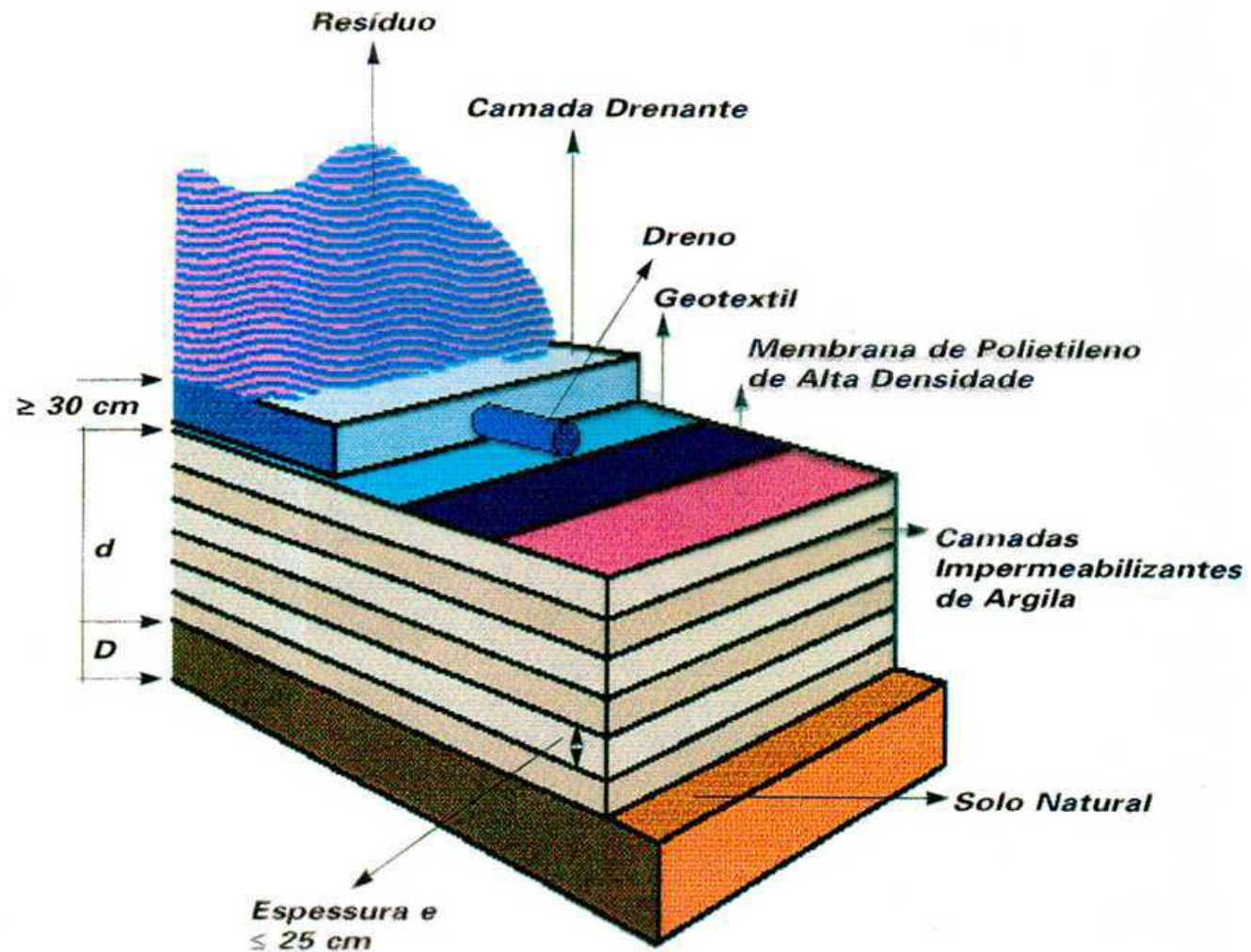
- Argilas compactadas;
- Geomembranas sintéticas,
- Geotextil.



SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO

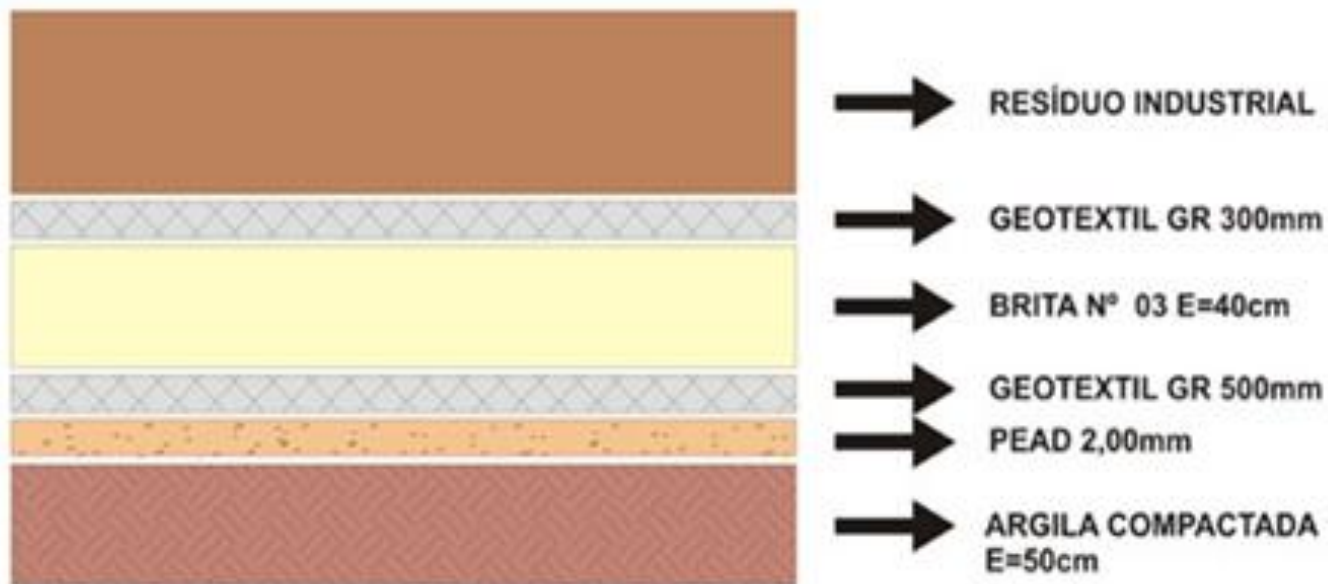
- A camada de argila deverá ser executada em camadas compactadas de no mínimo 20 cm de espessura, com controle tecnológico da compactação;
- O coeficiente de permeabilidade obtido no maciço compactado deverá ser inferior a 10^{-7} cm/s.

SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO



SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO

DET. CAMADAS SEM ESCALA



GEOMEMBRANAS EM ATERROS INDUSTRIAIS

As características necessárias a uma geomembrana para aplicação em aterros industriais são:

- Compatibilidade com os resíduos a serem aterrados;
- Resistência a esforços mecânicos;
- Resistência a intempéries; e
- Resistência a microorganismos do solo.

GEOMEMBRANAS EM ATERROS INDUSTRIAIS



PREPARAÇÃO DA CAVA

COLOCAÇÃO DA GEOMEMBRANA



GEOMEMBRANAS EM ATERROS INDUSTRIAIS

VANTAGENS

- Capacidade de conter grande variedade de fluidos com perda mínima por percolação
- Relativa facilidade e economia de instalação e manutenção



DESVANTAGENS

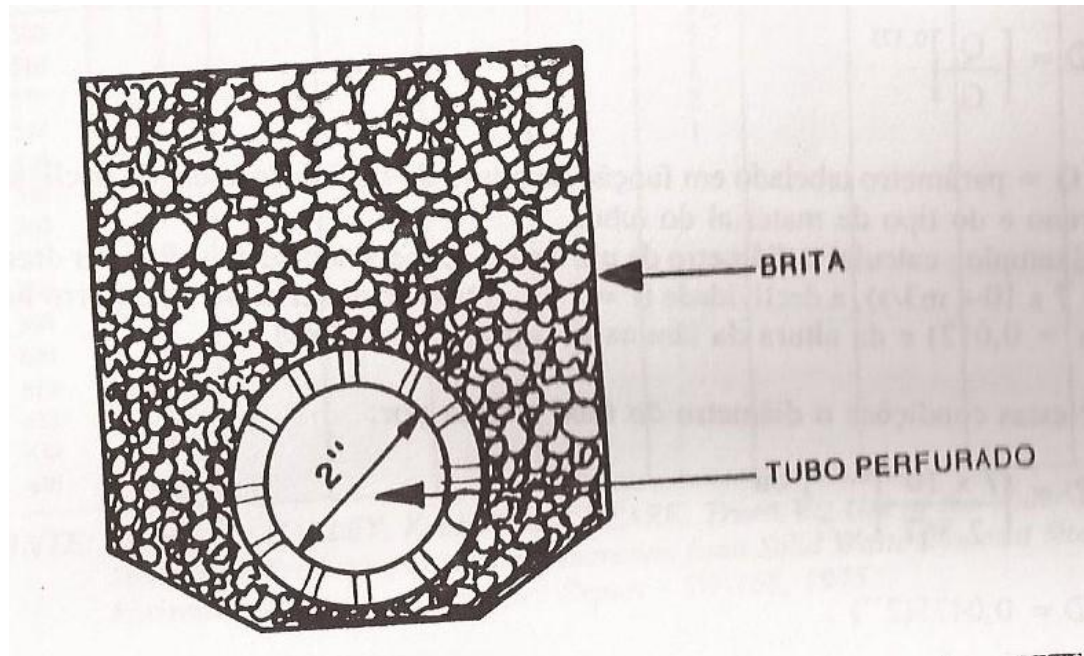
- Vulnerabilidade a raios UV
- Limitada resistência a esforços de pressão e tensão de maquinaria pesada
- Suscetíveis a laceração, abrasão e punção por objetos cortantes (aparas metálicas, pedras, raízes de árvores)

SISTEMA DE COLETA E TRATAMENTO DE LÍQUIDOS PERCOLADOS

Sistema composto por:

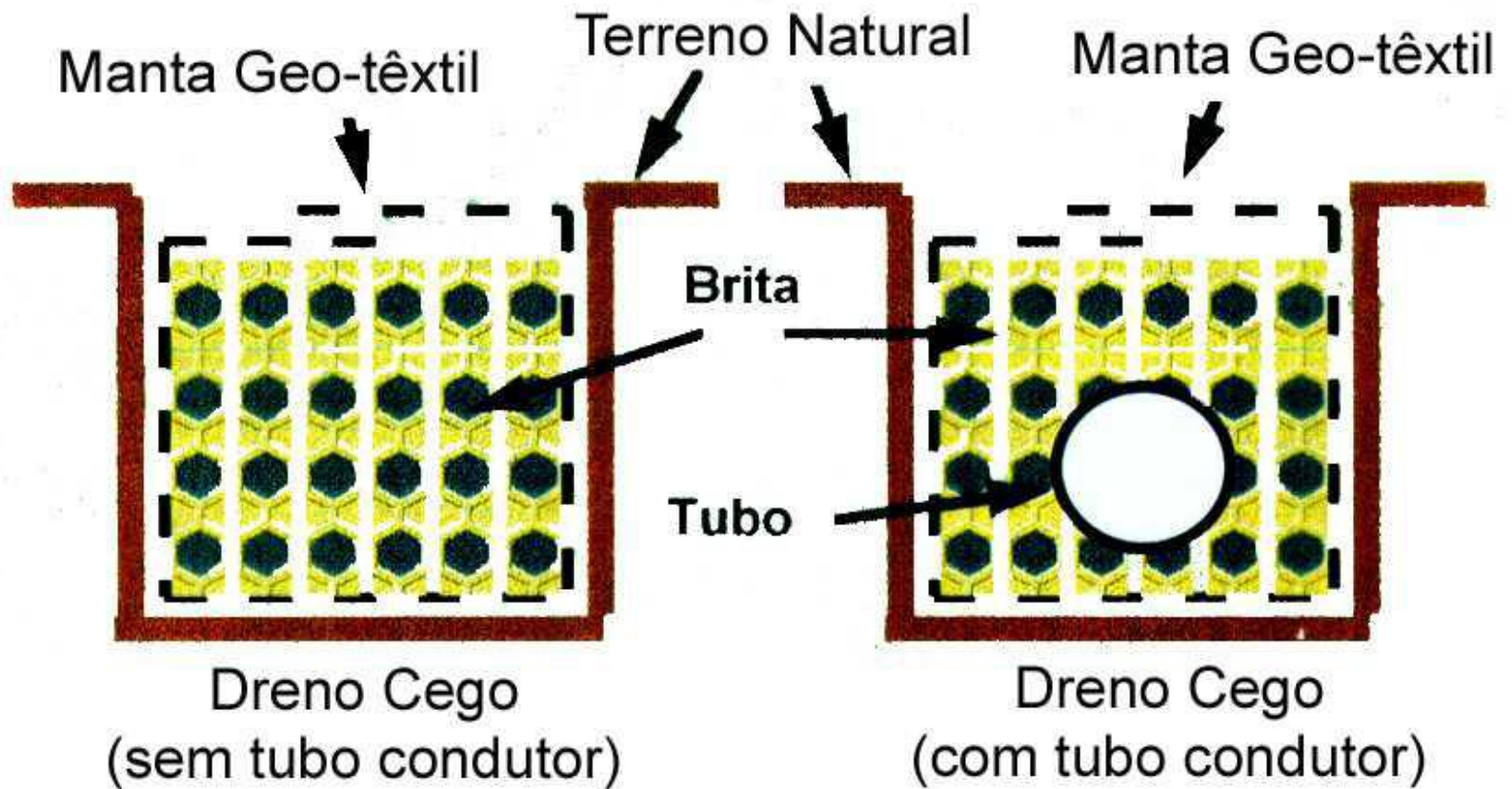
- Dreno de brita com tubo guia;
- Caixas de acumulação;
- Estação de bombeamento; e
- Estação de tratamento de líquidos percolados.

SISTEMA DE COLETA E TRATAMENTO DE LÍQUIDOS PERCOLADOS



Dreno de percolados
Fonte: Cetesb, 1997

SISTEMA DE COLETA E TRATAMENTO DE LÍQUIDOS PERCOLADOS

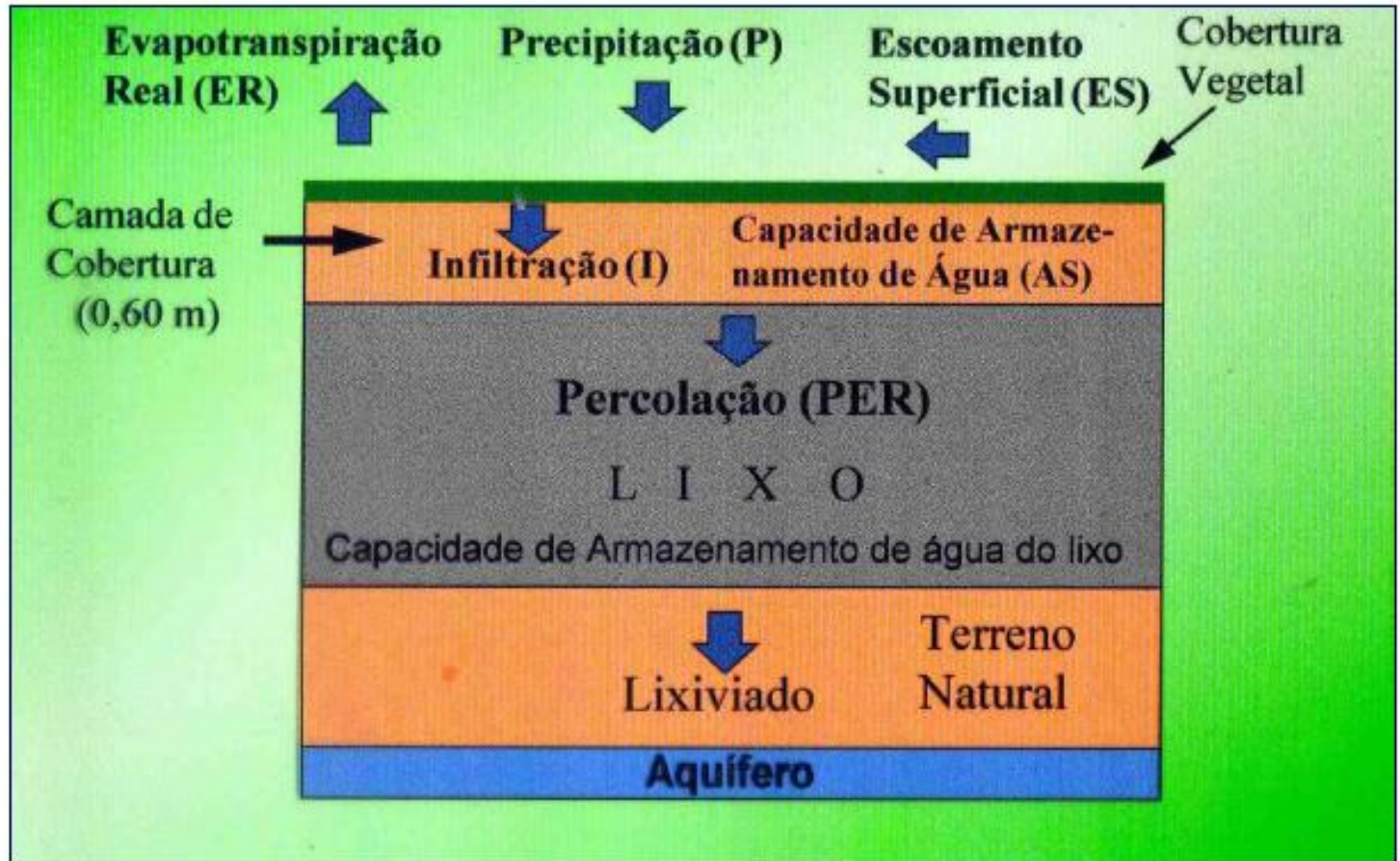


SISTEMA DE COLETA E TRATAMENTO DE LÍQUIDOS PERCOLADOS

Formas de tratamento de líquidos percolados:

- Processos físico-químicos convencionais;
- Processos biológicos; e
- Processos de tratamento avançados.

SISTEMA DE COLETA E TRATAMENTO DE LÍQUIDOS PERCOLADOS



Método de Balanço de Água – vazão a ser drenada

SISTEMA DE DETECÇÃO DE VAZAMENTOS

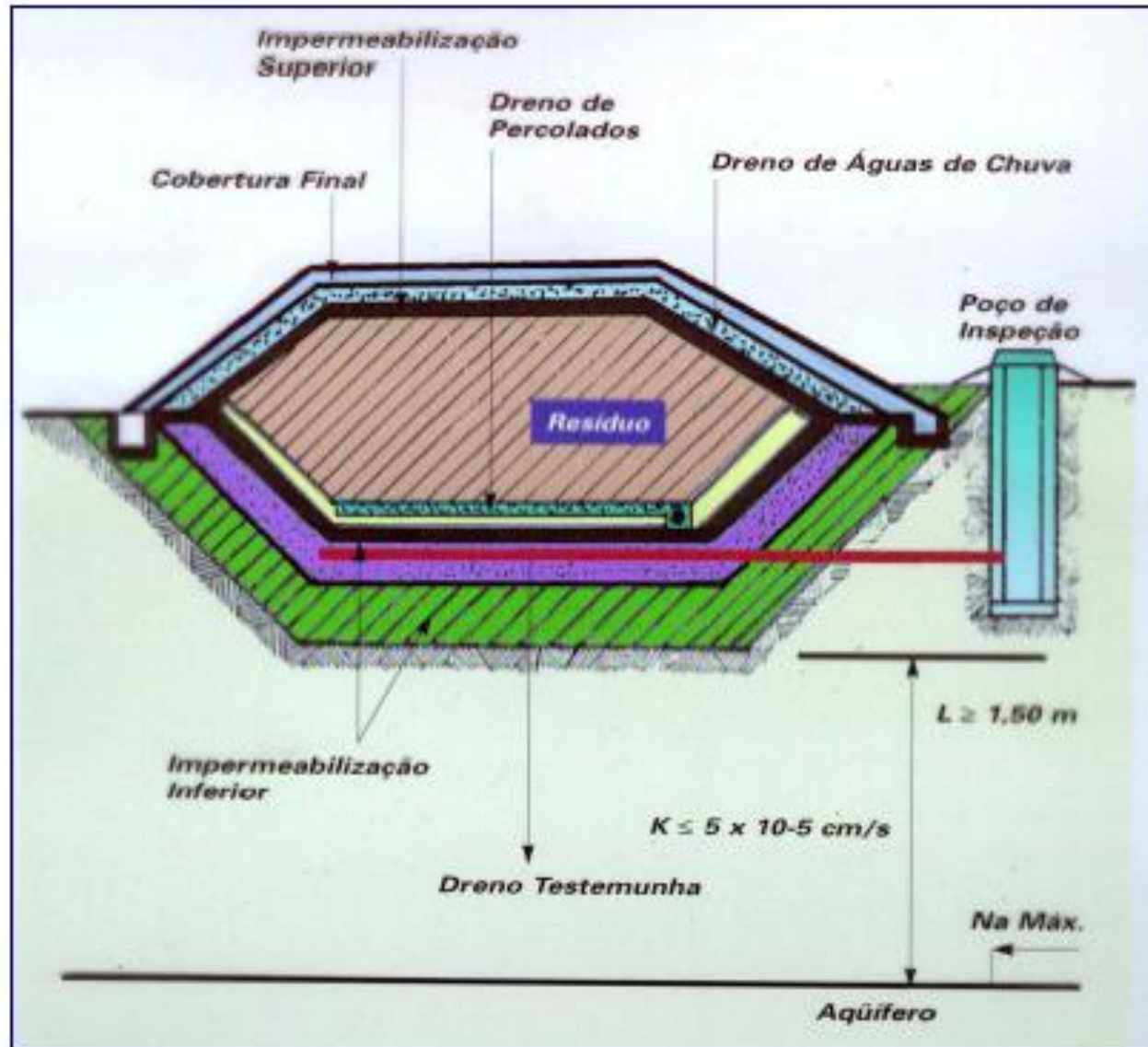
Os sistemas de detecção de vazamentos, através das camadas de impermeabilização, são compostos por:

- Drenos-testemunha; e
- Poços de inspeção.

Os drenos-testemunha são compostos por:

- Estruturas drenantes de superfície (colchão de areia); e
- Estruturas drenantes lineares (tubo guia).

SISTEMA DE DETECÇÃO DE VAZAMENTOS



DRENAGEM DE GASES

- Gases formados: CO_2 e CH_4 – matéria orgânica e reações entre resíduos incompatíveis – gases tóxicos.
- Drenos verticais: formados por tubos perfurados colocados em camisa de brita do solo até a camada superior.
- Distância dos drenos: 30 a 70 m se os gases não forem aproveitados, queimar para lançamento na atmosfera.



CRITÉRIOS PARA PROJETO

Alguns critérios para projetos são:

- Vida útil de 10 anos;
- Implantação de um sistema de drenagem de águas pluviais capaz de suportar uma chuva de pico com 25 anos de período de ocorrência;
- Implantação de um duplo sistema de impermeabilização inferior com drenos-testemunha;
- Implantação de sistema de cobertura final; e
- Implantação de um sistema de coleta e tratamento de líquidos percolados.

GERENCIAMENTO E OPERAÇÃO DO ATERRO

Planos a serem apresentados nos projetos de aterros industriais:

- Plano de registro e controle de resíduos;
- Plano de segregação de resíduos;
- Plano de inspeção e manutenção;
- Plano de emergência;
- Plano de monitoramento do aquífero; e
- Plano de encerramento.

REGISTRO E CONTROLE DE RECEBIMENTO DE RESÍDUOS

- Descrição e quantidade de cada resíduo recebido;
- Data e local de disposição no aterro;
- Registro das análises efetuadas no resíduo;
- Registro de ocorrências; e
- Dados referentes ao monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

PLANO DE AMOSTRAGEM DE RESÍDUOS

- Método de amostragem (NBR 10.007)
- Ensaaios a serem realizados
- Métodos de análise
- Frequências das análises
- Características de periculosidade
- Incompatibilidade com outros resíduos

PLANO DE SEGREGAÇÃO DE RESÍDUOS

Tabela 2 - Incompatibilidade de resíduos

Grupo 1-A

- Lama de acetileno
- Líquidos fortemente alcalinos
- Líquidos de limpeza alcalinos
- Líquidos alcalinos corrosivos
- Líquido alcalino de bateria
- Águas residuárias alcalinas
- Lama de cal e outros álcalis corrosivos
- Soluções de cal
- Soluções cáusticas gastas

Efeitos de mistura de resíduos do Grupo 1-A com os do Grupo 1-B

Grupo 1-B

- Lama ácidas
- Soluções ácidas
- Ácidos de bateria
- Líquidos diversos de limpeza
- Eletrólitos ácidos
- Líquidos utilizados para gravação em metais
- Componentes de líquidos de limpeza
- Banhos de decapagem e outros ácidos corrosivos
- Ácidos gastos
- Mistura de ácidos residuais
- Ácido sulfúrico residual

Geração de calor, reação violenta

NBR 10157/87

PLANO DE INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO

Tabela 5.23
Plano de Inspeção e Manutenção

COMPONENTE ESTRUTURA EQUIPAMENTO	POSSÍVEIS FALHAS OU DETERIORAÇÃO	FREQÜÊNCIA DE INSPEÇÃO	AÇÕES CORRETIVAS
CERCA	DANIFICAÇÃO OU REMOÇÃO DE ELEMENTOS	SEMANAL	REPARO OU REPOSIÇÃO
BALANÇA	DANIFICAÇÃO DE COMPONENTES	SEMANAL	REPAROS
ACESSOS INTERNOS	BURACOS, EROÇÃO OU EMPOÇAMENTO DE ÁGUA	DIÁRIA	REPAROS
DRENOS DE ÁGUAS PLUVIAIS	DANIFICAÇÃO OU INTERRUPTÃO DA SEÇÃO	SEMANAL	REPAROS
	ASSOREAMENTO OU OBSTRUÇÃO POR TERRA OU RESÍDUOS	SEMANAL	DESOBSTRUÇÃO
POÇOS DE INSPEÇÃO E DRENOS-TESTEMUNHA	DANIFICAÇÃO DA TAMPA	DIÁRIA	EXECUÇÃO DE REPAROS
	REMOÇÃO DA TAMPA	DIÁRIA	REPOSIÇÃO DA TAMPA
	PRESENÇA DE LÍQUIDOS NO SEU INTERIOR	DIÁRIA	VERIFICAÇÃO DA PROCEDÊNCIA DOS LÍQUIDOS E CORREÇÃO DA IRREGULARIDADE
	PRESENÇA DE RESÍDUOS OU MATERIAIS NO ENTORNO	DIÁRIA	REMOÇÃO E LIMPEZA DO ENTORNO
CAMADA DE PROTEÇÃO DA IMPERMEABILIZAÇÃO	DANIFICAÇÃO POR CHUVAS	DIÁRIA	EXECUÇÃO DE REPAROS
	DANIFICAÇÃO POR ESFORÇOS DURANTE O ATERRAMENTO	DIÁRIA	EXECUÇÃO DE REPAROS
TALUDES E OUTRAS SUPERFÍCIES	EROSÃO	SEMANAL	REPOSIÇÃO DE TERRA
	DANIFICAÇÃO DA CAMADA DE PROTEÇÃO	SEMANAL	EXECUÇÃO DE REPAROS
POÇOS DE MONITORAMENTO DE AQUÍFERO	DANIFICAÇÃO DA CAIXA OU DA PROTEÇÃO SANITÁRIA	SEMANAL	EXECUÇÃO DE REPAROS
	DIFICULDADE DE ACESSO	SEMANAL	DESOBSTRUÇÃO DO ACESSO

PLANO DE EMERGÊNCIA

- a) Informações de possíveis incidentes e das ações a serem tomadas;
- b) Indicação das pessoas que atuarão como coordenador das ações de emergência, indicando telefones e endereços; esta lista deve estar sempre atualizada; e
- c) Lista de todos os equipamentos de segurança existente, incluindo localização, descrição do tipo e capacidade.
- d) Organismos e entidades contatáveis em caso de emergência com endereços e telefones

PLANO DE FECHAMENTO E ENCERRAMENTO

- Monitoramento das águas após o término das operações, por período mínimo de 20 anos,
- Previsão de recursos financeiros para custeio das despesas de manutenção pós fechamento.

PLANO DE MONITORAMENTO DO AQUÍFERO

- Número de poços;
- Localização;
- Parâmetros a serem monitorados;
- Frequência de amostragem; e
- Procedimentos para coleta e preservação das amostras.

- Os poços têm que possibilitar a extração de amostras (Φ adequado, revestidos e tampados).
 - São exigidos, pelo menos, 4 poços – 1 a montante e 3 a jusante do aterro.

EXEMPLO

ATERRO CLASSE I

Destina-se a resíduos industriais perigosos, que após pré-tratamento se tornam não-reativos e não inflamáveis, com baixo teor de solventes, óleos ou água.

RESÍDUOS

lodos de estação de tratamento de efluentes e galvânicos,
borras de retífica e de tintas,
cinzas de incineradores,
entre outros.

PRÉ-TRATAMENTOS

Estabilização,
Solidificação,
Neutralização e
Encapsulamento



EXEMPLO

- Os cuidados ambientais tomados pela Essencis para o Aterro Classe I contemplam o sistema de impermeabilização com argila e dupla geomembrana de PEAD - que protege o solo e os lençóis de água subterrâneos do contato com os resíduos e com o efluente gerado, que ao ser captado pelo sistema de drenagem é encaminhado para tratamento.
- Além disso, a extensão da frente de serviço do Aterro é coberta por uma estrutura metálica móvel que impede a incidência de chuvas na área de operação.



EXEMPLO

ATERRO CLASSE IIA

Destina-se à disposição de resíduos industriais não-perigosos e não-inertes, e também para a disposição de resíduos domiciliares.

Os Aterros Classe IIA possuem as seguintes características: impermeabilização com argila e geomembrana de PEAD, sistema de drenagem e tratamento de efluentes líquidos e gasosos e completo programa de monitoramento ambiental.

ATERRO CLASSE IIB

Devido à característica inerte dos resíduos dispostos, o Aterro Classe IIB dispensa a impermeabilização do solo. Esse aterro possui sistema de drenagem de águas pluviais e um programa de monitoramento ambiental que contempla o acompanhamento geotécnico (movimentação, recalque e deformação) do maciço de resíduos.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Evitar disposição de resíduos úmidos e pastosos.
- Resíduos devem ser, quanto possível, secos, estáveis pouco solúveis e não voláteis.
- AI requerem projeto e execução mais elaborado que AS
 - Impermeabilização rigorosa de base
 - Cobertura impermeável para células
- Laboratório (res. perigosos)
- Treinamento

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ROCCA, Alfredo Carlos C. **Resíduos sólidos industriais**. 2 ed. rev. ampl. São Paulo: CETESB, 1993. 233 P.
- TOCCHETTO, Marta Regina Lopes. **Gerenciamento de resíduos industriais** . Departamento de Química – CCNE, Curso de Química Industrial - UFSM. 97 p.
- ABNT NBR 10157/84 – **Aterros de Resíduos Perigosos – Critérios para Projeto, Construção e Operação**.