



CETESB

Eng.º JOÃO ANTONIO FUZARO
Reg. n.º 01.1620-8

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

Resíduos Sólidos Domésticos: Tratamento e Disposição Final

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
DIRETORIA DE TREINAMENTO E TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA
Departamento de Tratamento para Águas Ambientais
TAP/TAP2/TAP3

**RESÍDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS: TRATAMENTO E
DISPOSIÇÃO FINAL**

Eng.º JOÃO ANTONIO FUZARO
Reg. n.º 01.1620-B

SÃO PAULO
1993

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Engº João Antonio Fuzaro

DOCENTE

Engº João Antonio Fuzaro

CAPÍTULO 14

ATERRO SANITÁRIO

SUMÁRIO

- 1. INTRODUÇÃO, 1**
- 2. DEFINIÇÃO, 1**
- 3. TIPOS DE ATERRO SANITÁRIOS, 3**
 - 3.1 Acima do Nível Original do Terreno, 3**
 - 3.1.1 Terrenos acidentados, 3**
 - 3.1.2 Terrenos planos, 6**
 - 3.2 Abaixo do Nível Original do Terreno, 10**
 - 3.2.1 Escavações já existentes, 10**
 - 3.2.2 Escavações especiais, 17**
 - 3.2.1.1 Trincheiras de grandes dimensões, 18**
 - 3.2.2.2 Trincheiras de pequenas dimensões, 21**
 - 3.3 Cálculo das Dimensões das Células de Lixo, 25**
- 4. INSTALAÇÕES DE APOIO, 29**
- 5. MEDIDAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL, 33**
 - 5.1 Sistema de Proteção dos Aquíferos Subterrâneos, 37**

- 5.1.1 Drenagem de nascente, 37
- 5.1.2 Impermeabilização do solo, 41

- 5.2 Sistema de Drenagem de Líquidos Percolados, 43

- 5.2.1 Cálculo da vazão a ser drenada, 44
- 5.2.2 Dimensionamento da rede de drenagem, 56

- 5.3 Sistema de Tratamento de Líquidos Percolados, 56
- 5.4 Sistema de Drenagem de Gases, 61
- 5.5 Sistema de Drenagem de Águas Pluviais, 64
- 5.6 Monitoramento do Aterro, 73

- 6. EQUIPAMENTOS, 77

- 6.1 Tratores de Esteiras, 77
- 6.2 Pás-Carregadeiras, 80
- 6.3 Retroescavadeiras, 81
- 6.4 Caminhões Basculantes, 82

- 7. ENCERRAMENTO DO ATERRO, 83

- 8. BIBLIOGRAFIA, 86

1. INTRODUÇÃO

O aterro sanitário é um aprimoramento de uma das técnicas mais antigas utilizadas pelo homem para descarte de seus resíduos, que é o aterramento.

Modernamente, é uma obra de engenharia que tem como objetivo acomodar no solo resíduos no menor espaço prático possível, sem causar danos ao meio ambiente ou à saúde pública.

Essa técnica consiste basicamente na compactação dos resíduos no solo, na forma de camadas que são periodicamente cobertas com terra ou outro material inerte.

A despeito de ser de longe o método sanitário mais simples de destinação final de resíduos sólidos, o aterro sanitário exige cuidados especiais e técnicas específicas a serem seguidas, desde a seleção e preparo da área até sua operação e monitoramento.

2. DEFINIÇÃO

O Projeto de Norma 1:63.01-001, de outubro de 1987, da ABNT, que trata sobre Degradação do Solo - Terminologia, define aterro sanitário como:

"Forma de disposição final de resíduos urbanos no solo, através do confinamento em camadas cobertas com material inerte, geralmente solo, segundo normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais".

No glossário sobre resíduos sólidos, da Organização Mundial da Saúde ("Glossary on Solid Waste" - WHO/1980), encontram-se as seguintes definições, adotadas da "EPA - Environmental Protection Agency", órgão de proteção ambiental dos Estados Unidos:

- "Sanitary landfill - a site where solid is disposed of using sanitary landfilling techniques" (Aterro sanitário - um sítio onde resíduos sólidos são dispostos utilizando-se técnicas de aterramento sanitário).
- "Sanitary landfilling - an engineered method of disposing of solid waste on land a manner that protects the environment, by spreading the waste in thin layers, compacting it to the smallest practical volume, and covering it with soil by the end of each working day" (Aterramento sanitário - um método de engenharia para disposição de resíduos sólidos sobre o solo de uma maneira que proteja o ambiente, através do espalhamento dos resíduos em camadas finas, compactando-os ao menor volume prático possível e cobrindo-os com terra ao fim de cada dia de trabalho).

O aterro sanitário é amplamente utilizado para disposição dos resíduos sólidos de origem urbana, mas praticamente a maioria dos resíduos pode ser admitida nesses locais, inclusive os de origem industrial, com exceção daqueles especiais ou perigosos, que requerem tratamentos específicos.

3. TIPOS DE ATERROS SANITÁRIOS

O objetivo primordial do aterro sanitário é o de destinar resíduos sólidos no solo. Entretanto, em situações especiais, pode assumir um objetivo secundário, porém não menos importante, de recuperar áreas degradadas pela ação do homem ou da própria natureza.

Evidentemente, os cuidados e a técnica a serem observados neste caso devem ser os mesmos preconizados pela idéia básica - confinamento dos resíduos sólidos no menor espaço prático possível sem causar danos ao meio ambiente ou à saúde pública.

Ao longo da história e como consequência das variadas condições de trabalho, desenvolveram-se diferentes tipos de aterro, diferenciados basicamente pelas formas construtivas e operacionais adotadas. Esses aterros são detalhados abaixo.

3.1 Acima do Nível Original do Terreno

Este método consiste na formação de camadas de resíduos compactados, que são sobrepostas acima do nível original do terreno. Os aterros desenvolvidos desta forma podem ser subdivididos em duas situações distintas, conforme o tipo de terreno.

3.1.1 Terrenos acidentados

Quando o terreno onde será implantado o aterro apresenta topografia acidentada, os resíduos são descarregados junto à base de um desnível já existente, sendo em seguida compactados por um trator de esteiras, conforme demonstrado na Figura 3.1.

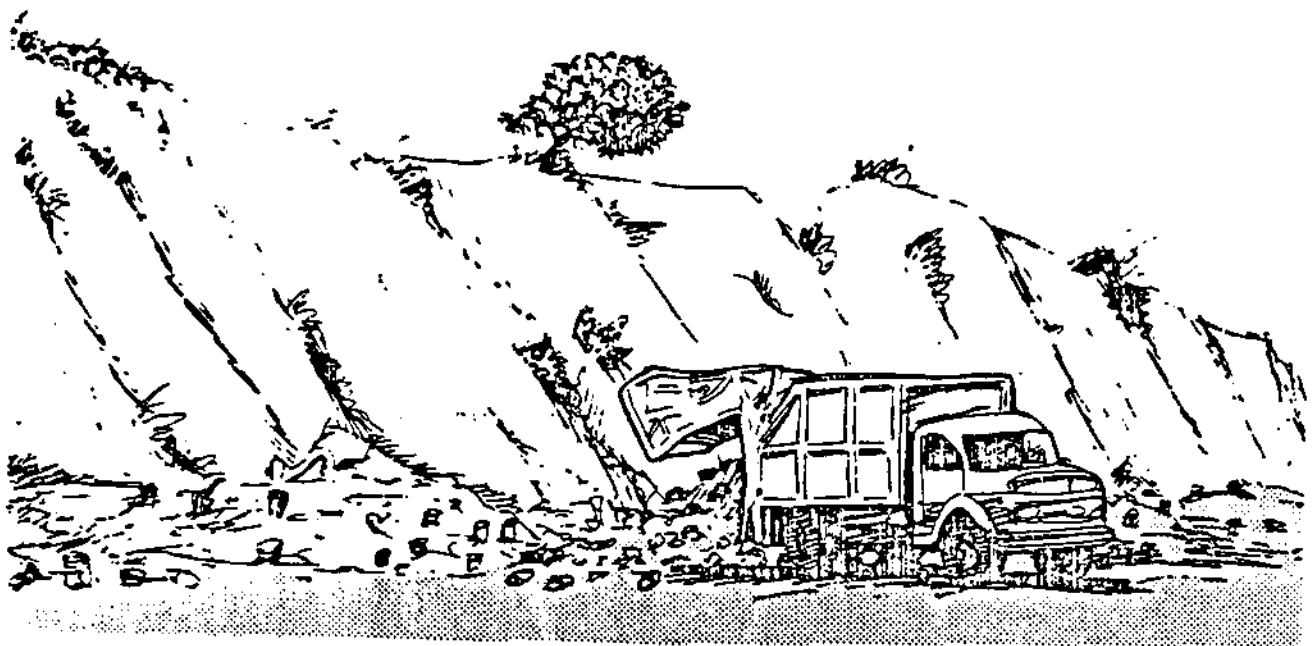


Figura 3.1 - Os resíduos são inicialmente descarregados junto à base de uma elevação natural do terreno

A compactação é executada empurrando-se os resíduos de encontro a esse desnível natural, em movimentos ascendentes, formando uma rampa com taludes de inclinação aproximada de 1(V):3(H).

Para uma melhor compactação, os resíduos são espalhados sobre essa rampa, formando camadas de mais ou menos 0,4 metro de espessura, sobre as quais o trator de esteiras passa de 3 a 5 vezes. A sobreposição dessas camadas dá origem a uma elevação de lixo compactado, de formato prismático, que periodicamente é coberta com terra ou outro material inerte, formando uma célula de lixo.

As Figuras 3.2 e 3.3 resumem essas operações.

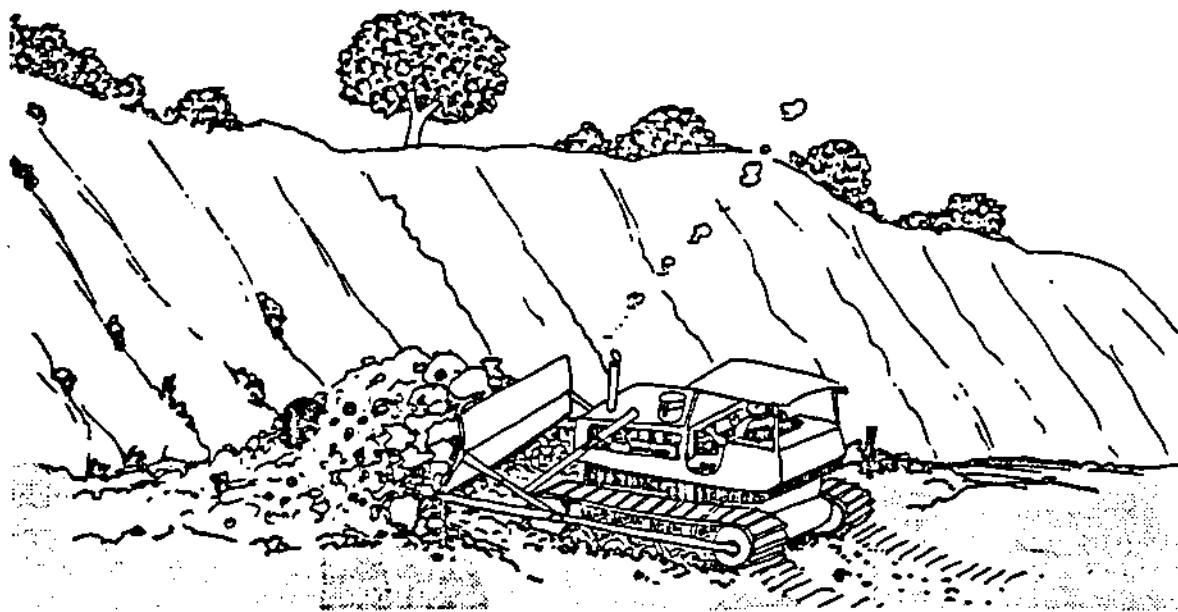


Figura 3.2 - Os resíduos são empurrados de encontro a uma elevação natural do terreno

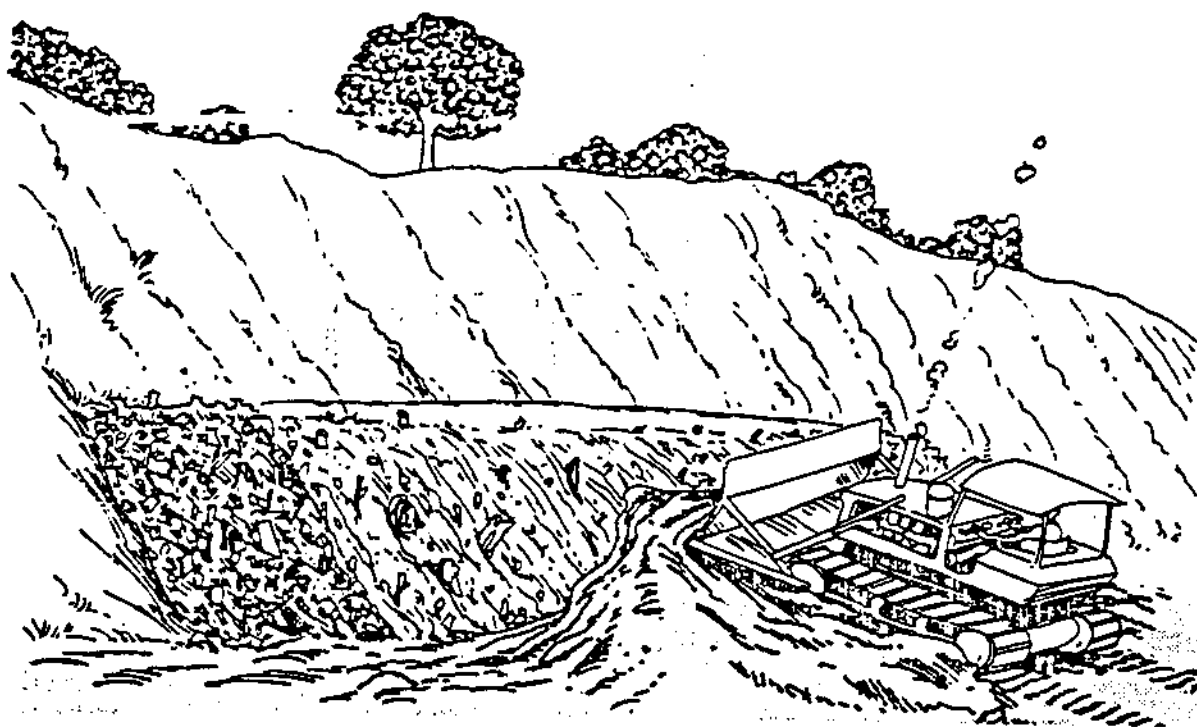


Figura 3.3 - Os resíduos compactados formam uma célula que é finalmente coberta com terra ou outro material inerte

As dimensões dessas células dependem da quantidade de lixo aterrado, conforme demonstrado na seqüência de cálculo apresentada no item 3.3. Normalmente, são construídas células de altura variando entre 2 e 5 metros.

As células de lixo são construídas umas ao lado das outras, formando camadas de lixo sobre a superfície do terreno, conforme demonstrado na Figura 3.4.

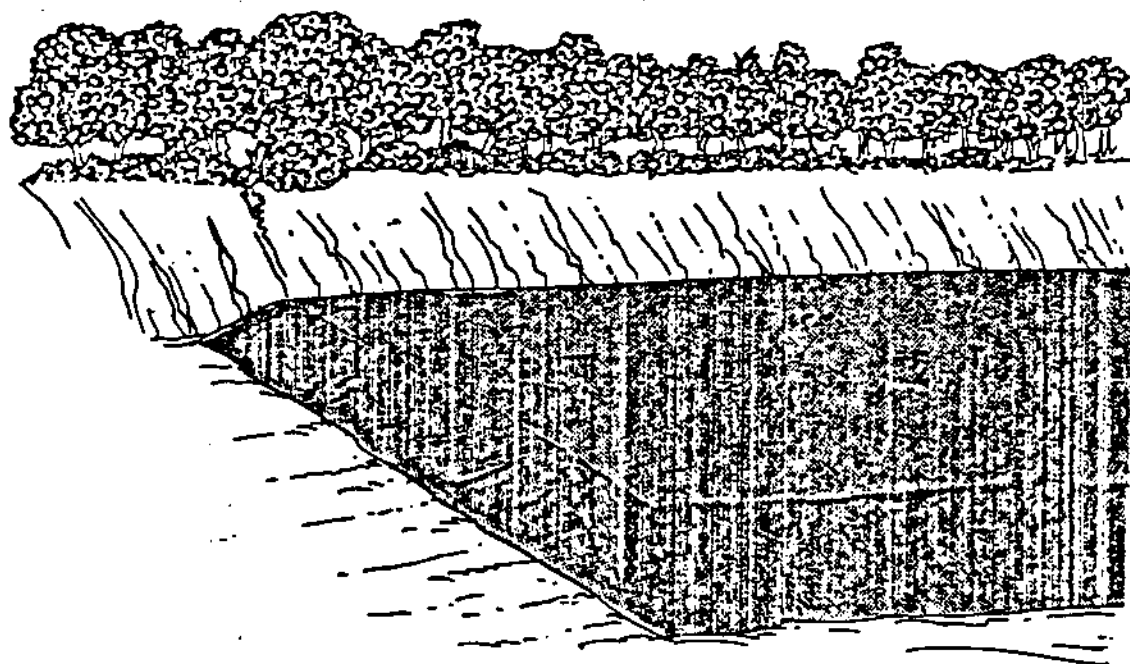


Figura 3.4 - Conjunto de células formando uma camada de lixo sobre o terreno

3.1.2 - Terrenos planos

Nas regiões onde a topografia é predominantemente plana, é muito difícil a obtenção de desníveis naturais no terreno para início da formação de um aterro. Nessas situações, devem ser

criados desníveis com os próprios resíduos, conforme detalhado a seguir:

- Inicialmente, os resíduos são descarregados em um ponto estratégico do terreno, onde deverá ter início o aterro (Figura 3.5);

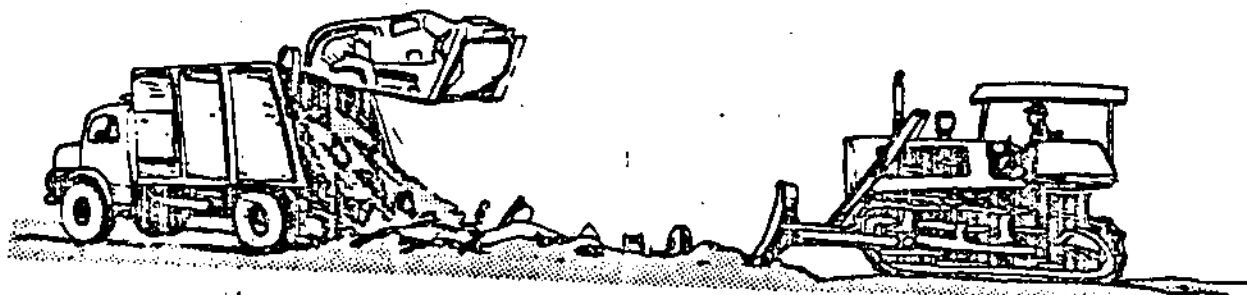


Figura 3.5 - Acumulação de resíduos para formação da célula inicial

- Os resíduos são amontoados e compactados, formando uma elevação do formato de um tronco de pirâmide, que, finalmente, é coberta com terra (Figuras 3.6 e 3.7).

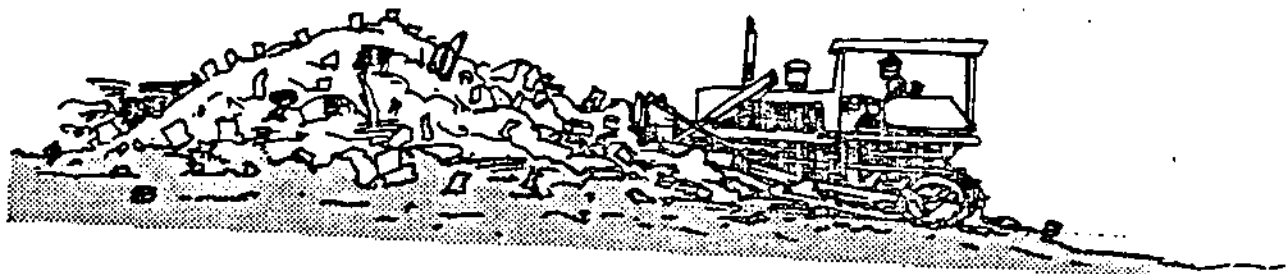


Figura 3.6 - Os resíduos acumulados são compactados por um trator de esteiras

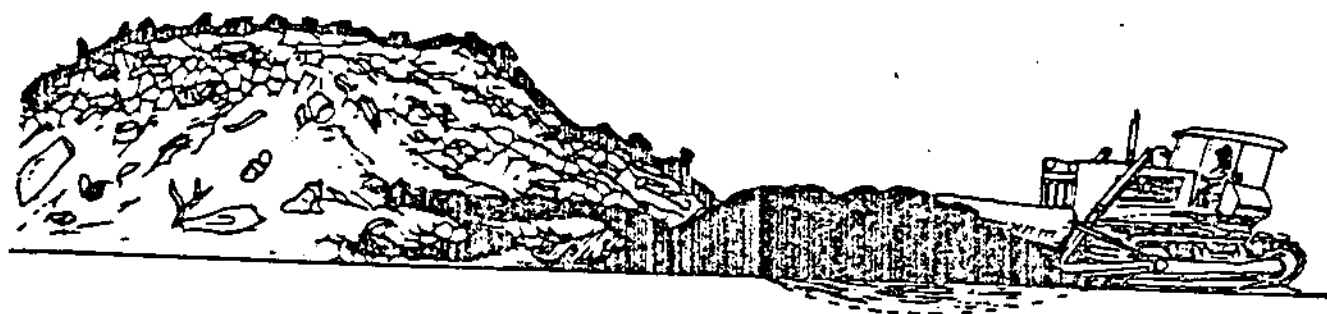


Figura 3.7 - Após a compactação, os resíduos são cobertos com uma fina camada de terra

- Com a cobertura de terra, tem-se a formação de uma célula-mãe, ou seja, a célula inicial que servirá de base para a construção das demais (Figura nº 3.8);

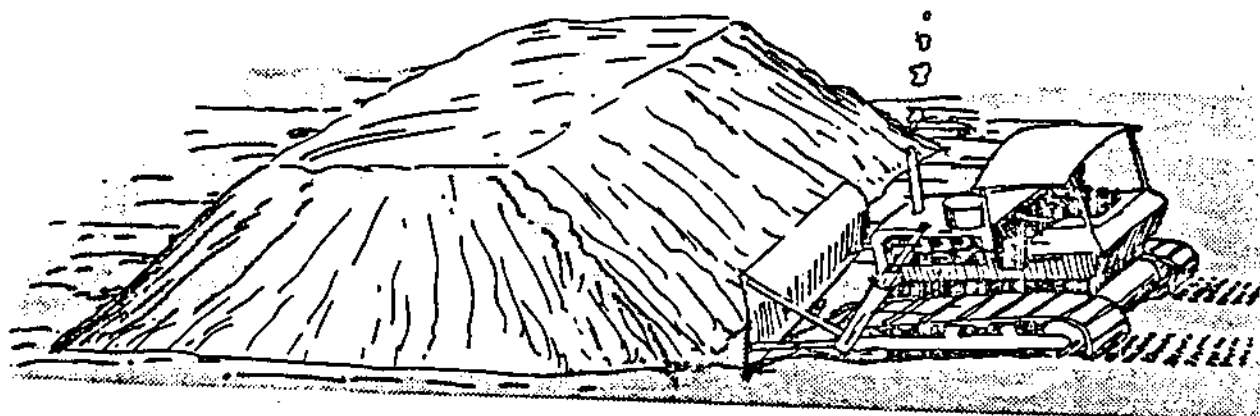


Figura 3.8 - A célula inicial, nos terrenos planos, substitui os desníveis naturais

. As células seguintes são preparadas compactando-se os resíduos de encontro à célula inicial, seguindo as mesmas operações utilizadas nos terrenos acidentados.

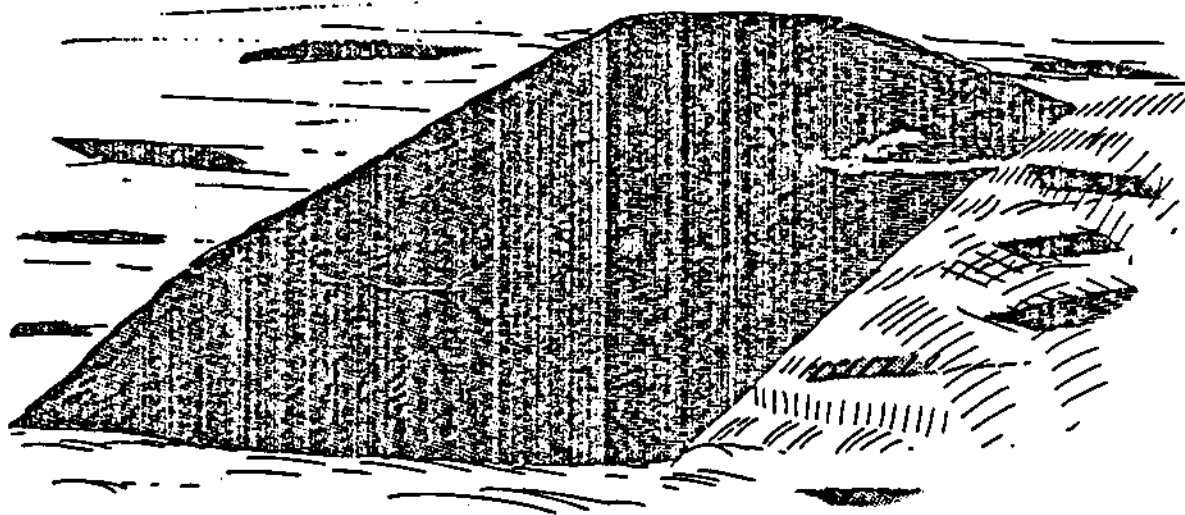


Figura 3.9 - As células seguintes são desenvolvidas a partir da inicial, formando uma camada de lixo sobre o terreno

3.2 Abaixo do Nível Original do Terreno

Os aterros sanitários podem também ser construídos abaixo do nível original do terreno, aproveitando escavações já existentes ou preenchendo valas especialmente escavadas para o recebimento de resíduos. Assim sendo, pode-se subdividir em dois esse tipo de aterro, conforme descrito abaixo.

3.2.1 Escavações já existentes

A exploração de jazidas de minérios e minerais, bem como as retiradas de solo nas chamadas áreas de empréstimo, deixam escavações e irregularidades que, em situações especiais, podem ser recuperadas com a construção de um aterro sanitário. Algumas erosões podem também ser recuperadas dessa forma. Entretanto, o aterramento dessas escavações, a despeito das facilidades operacionais que possam oferecer, é sempre uma tarefa difícil e delicada. Geralmente, nessas cavas toda a proteção oferecida pela cobertura de solo já se encontra alterada ou removida, facilitando a contaminação dos mananciais subterrâneos.

As pedreiras desativadas apresentam cavas profundas e de grandes dimensões, com paredões de rocha nua intensamente fraturada pela ação de explosivos e máquinas, além de grandes lagos formados pela contribuição de chuvas e nascentes. A deposição de resíduos nessas áreas deve ser evitada e admitida somente após a realização de um estudo de impacto ambiental minucioso que comprove de maneira inequívoca a sua viabilidade.

As pedreiras, em especial, apresentam ainda problemas sérios de drenagem e produção de líquidos percolados, além da falta de terra de cobertura no local.

As erosões, notadamente as vocorosas, têm formação que envolve processos complexos; por isso, como nas pedreiras, a sua utilização para implantação de um aterro sanitário somente pode ser admitida após a realização de um estudo técnico que comprove a sua viabilidade.

Tendo sido comprovada essa viabilidade de utilização, a área precisa ser previamente preparada. Os taludes devem ser estabilizados, as formas, regularizadas, prevendo-se a construção de estradas de acesso e drenagens, e a vegetação, removida, de acordo com as necessidades (Figura 3.10).

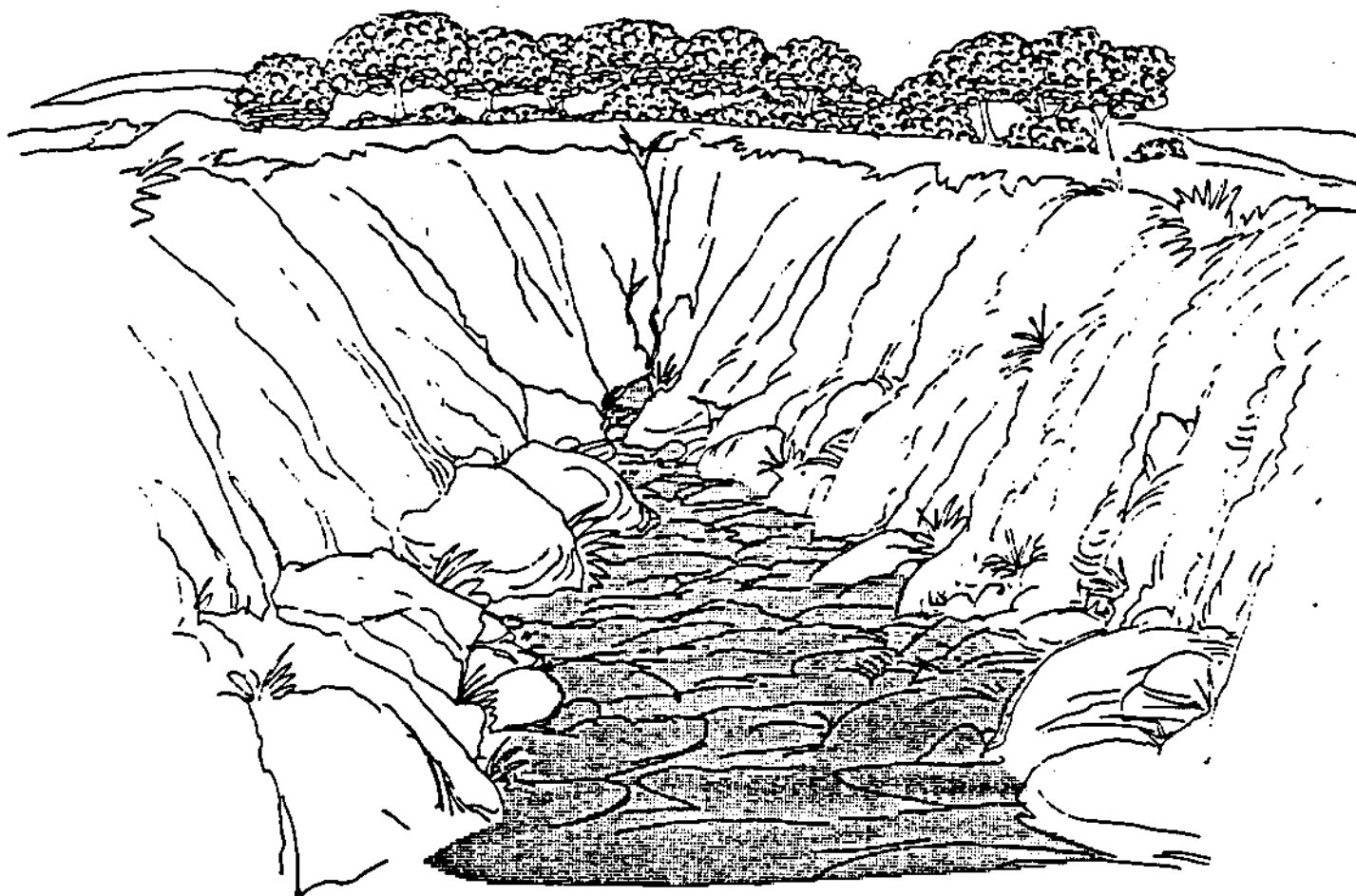


Figura 3.10 - Mediante um estudo de viabilidade técnica e econômica, algumas escavações podem ser utilizadas para construção de um aterro sanitário.

A área preparada é operada como os aterros implantados em terrenos acidentados. Em um ponto, previsto em projeto, os resíduos são descarregados e compactados em células (Figura 3.1 e 3.12).

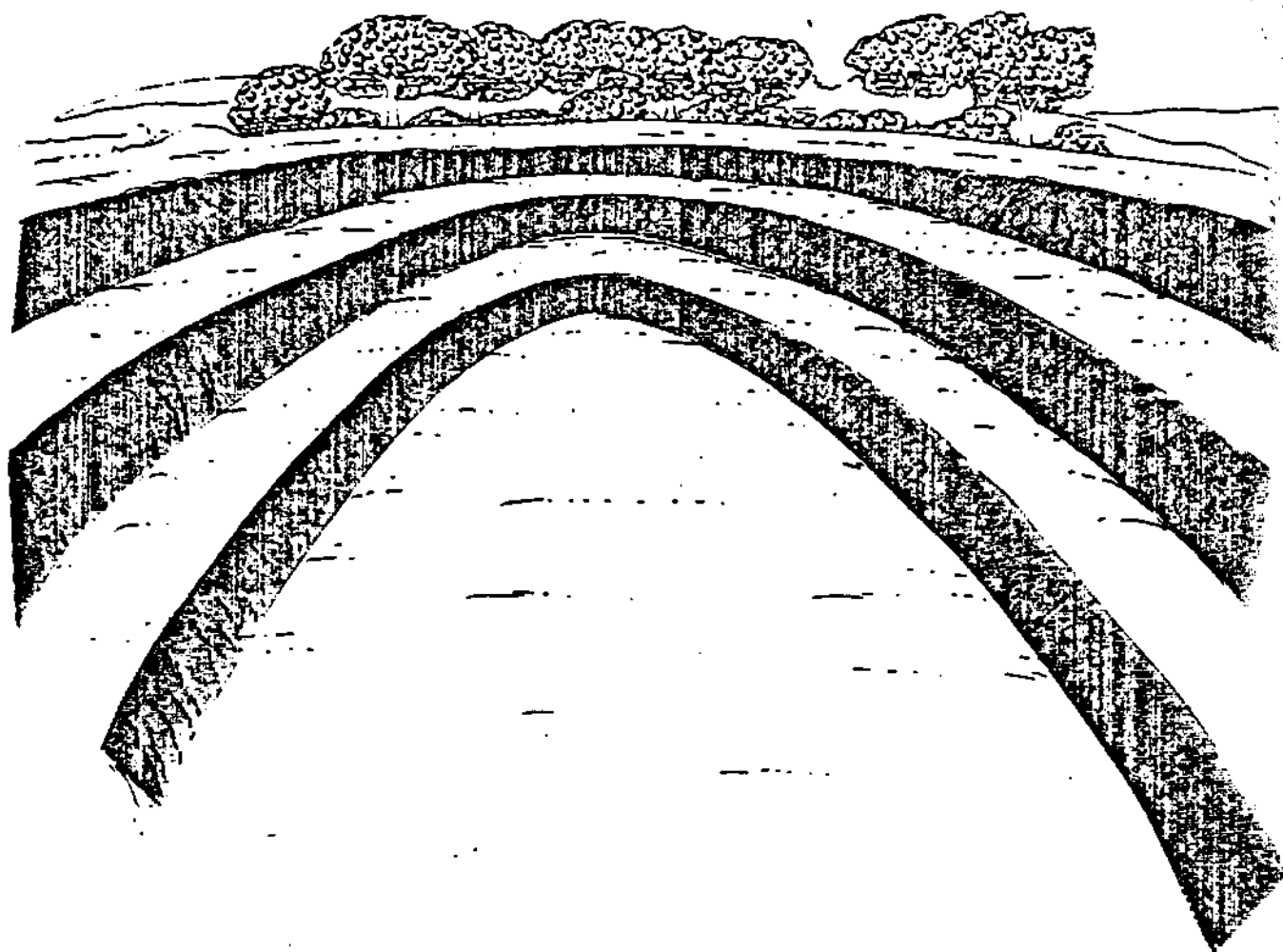


Figura 3.11 - Inicialmente, a área deve ser preparada para o recebimento dos resíduos

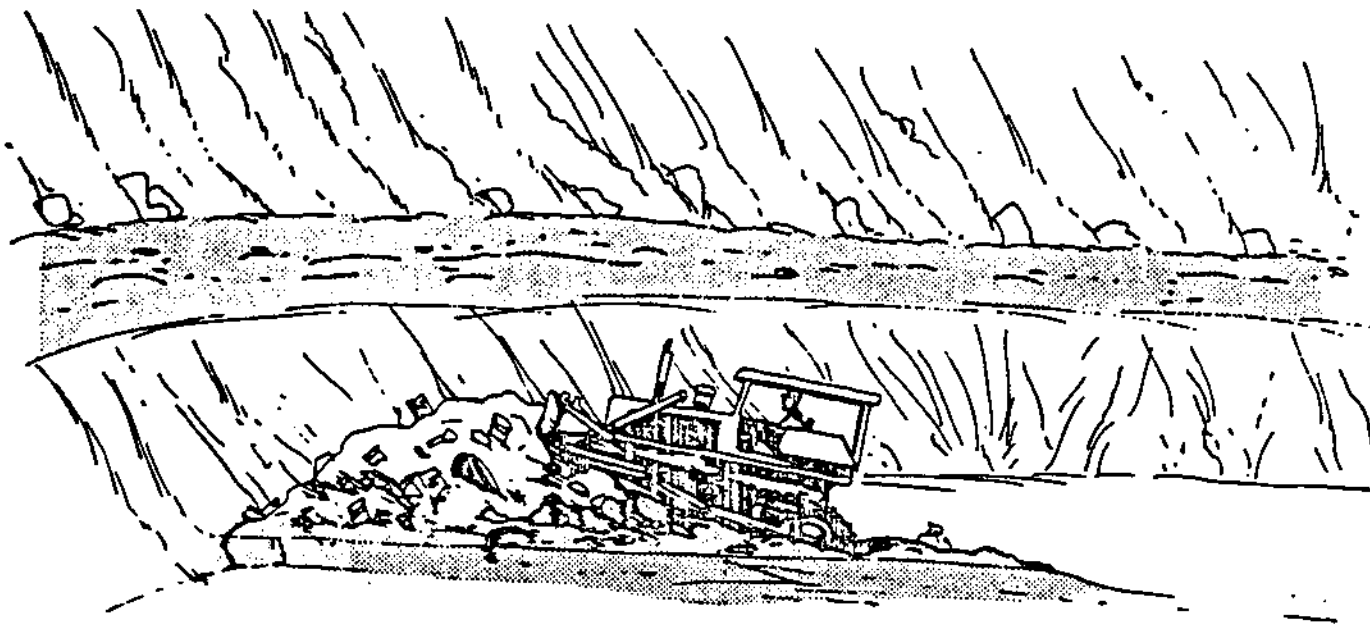


Figura 3.12 - Os resíduos são compactados contra uma das laterais da escavação

Em seguida, os resíduos são cobertos com terra, que deve ser trazida de áreas de empréstimo especiais ou, quando possível, removida do interior da própria vala (Figura 3.13).

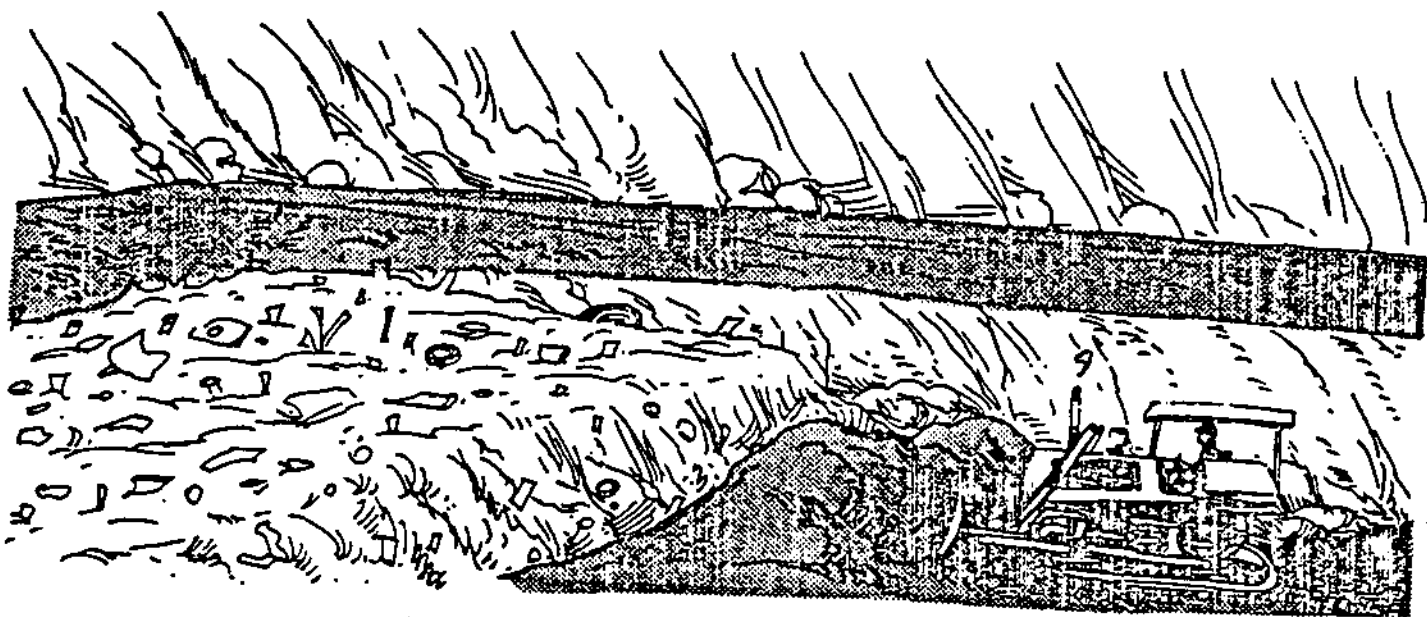


Figura 3.13 - Após a compactação, os resíduos são cobertos com terra, formando uma célula de lixo

As células vão sendo justapostas, formando camadas de lixo que tendem a devolver ao local, de uma forma estável, a topografia que possuía antes da escavação (Figura 3.14 e 3.15).

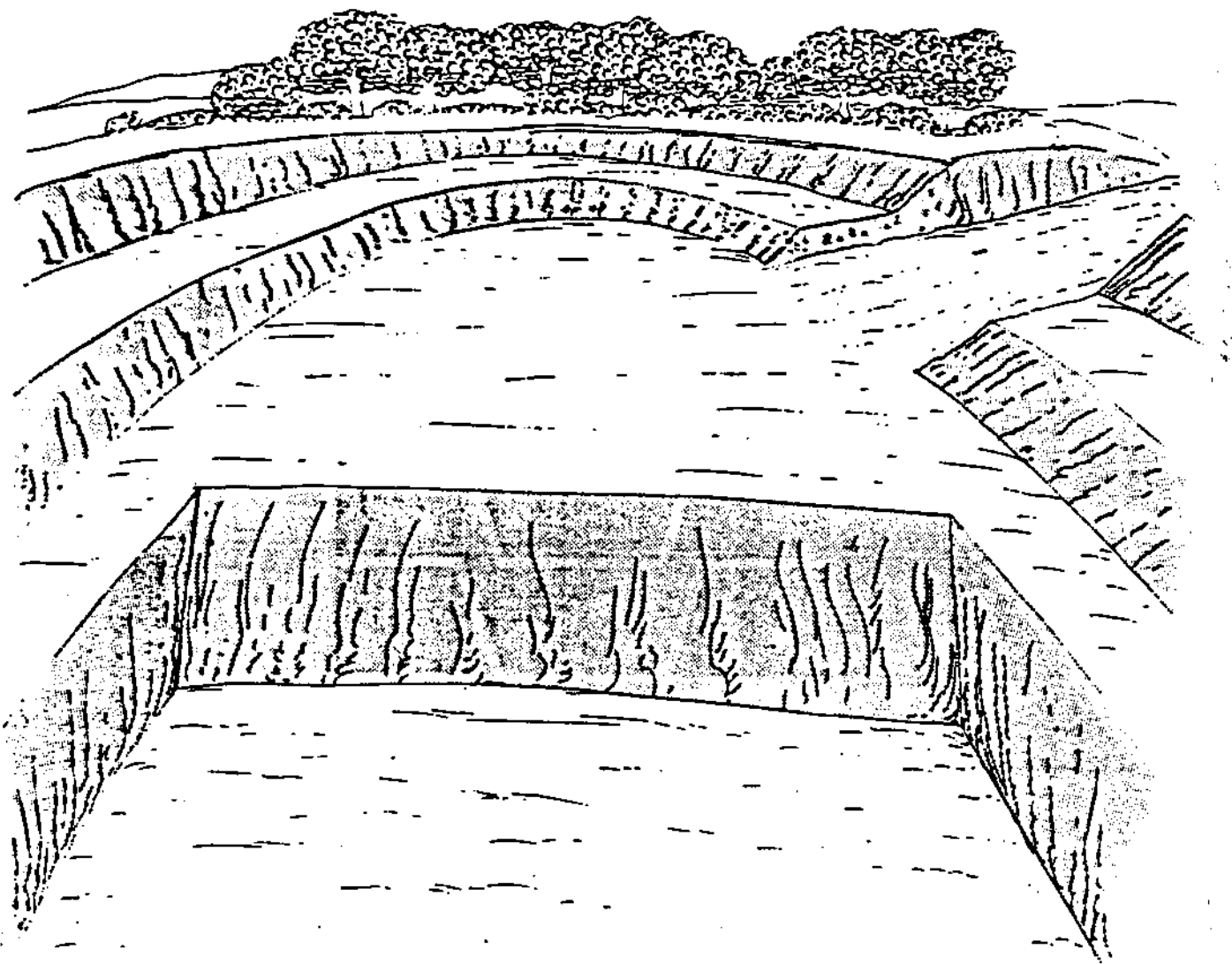


Figura 3.14 - Conjuntos de células formam camadas de resíduos que preenchem a escavação

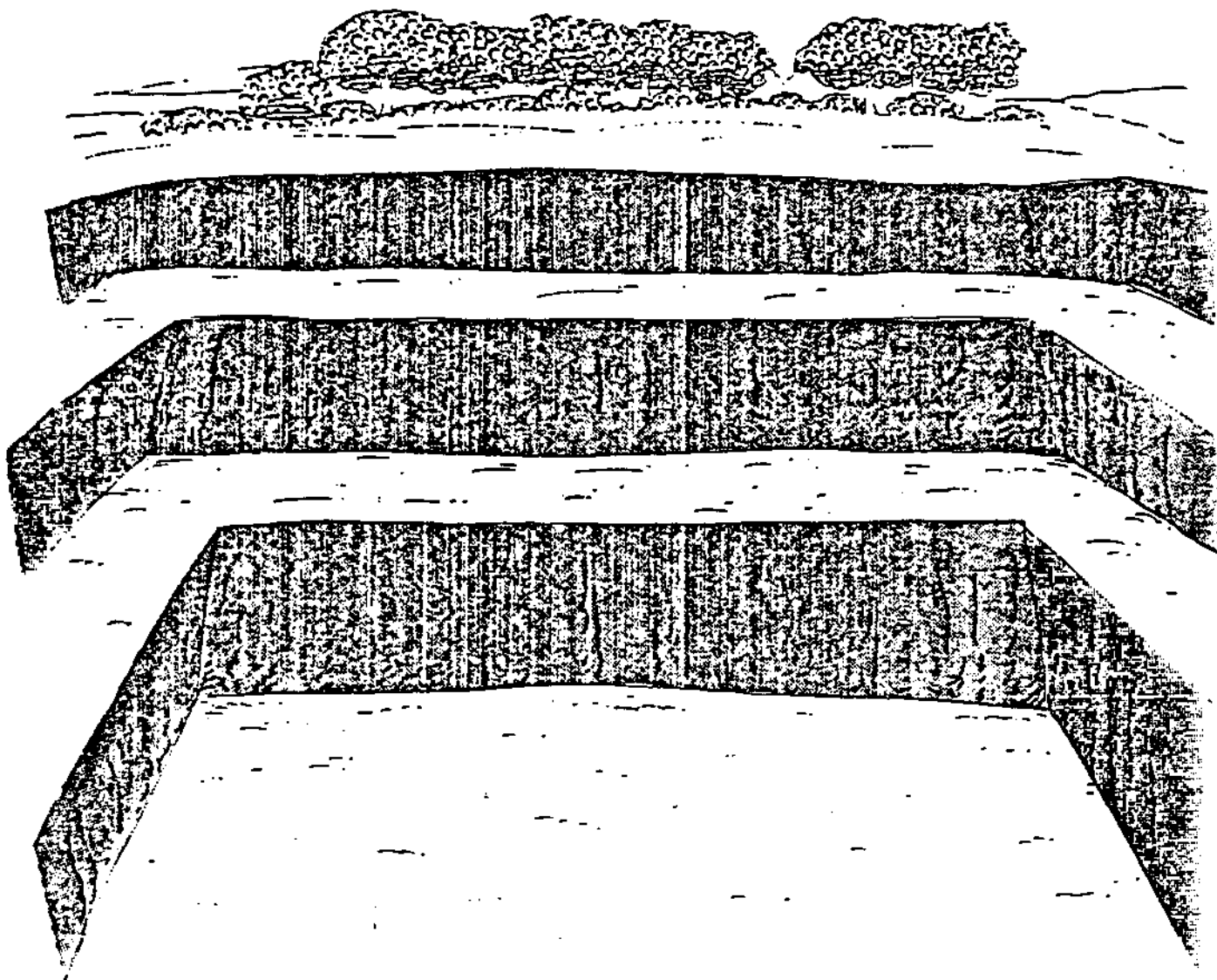


Figura 3.15 - As camadas de lixo devem aterrar de forma estável a escavação.

3.2.2 Escavações especiais

Em determinadas situações pode-se optar pela escavação de valas especialmente projetadas para o aterramento de resíduos. Essas valas, também conhecidas como trincheiras, são escavadas com dimensões e configuração apropriadas para a construção de aterros sanitários.

Esse método de aterramento apresenta sempre um custo relativamente alto, pois exige a escavação de grandes valas para a disposição de resíduos. Assim, só deve ser utilizado em situações específicas, como as relacionadas a seguir:

- quando há interesse na formação de um excedente de solo a ser utilizado em outras obras ou na cobertura dos resíduos em outras etapas de aterramento;
- quando não se deseja alterar a topografia original do terreno;
- quando se pretende construir outras camadas de resíduos acima das valas já aterradas, permitindo um melhor aproveitamento da área;
- quando se deseja aterrar resíduos especiais, seja pelo seu estado físico - no caso dos líquidos e pastosos - que impede a sua compactação na forma convencional, seja pela sua composição química ou biológica, que pode torná-los perigosos à saúde pública e ao meio ambiente. Neste grupo, estão incluídos principalmente os resíduos de processamento industrial; ou municípios que geram pequenas quantidades de resíduos e se enquadram nas situações descritas no item 3.2.2.2 deste trabalho.

Além do alto custo, esse método possui como fator limitante as possibilidades locais de escavação. Nas regiões onde o nível

do lençol freático está muito próximo da superfície, ou nos terrenos rochosos, a escavação de trincheiras pode ser totalmente inviabilizada.

3.2.2.1 Trincheiras de grandes dimensões

As dimensões da trincheira são consequência direta da quantidade de resíduos a ser aterrada e da vida útil desejada. Por sua vez, as dimensões da trincheira definirão os métodos construtivos, a forma de operação e os equipamentos a serem utilizados, além, obviamente, dos custos da obra (Figura 3.16).

As trincheiras de grandes dimensões são escavações especiais, com grande capacidade de recepção de resíduos e que se caracterizam, principalmente, pela forma de operação, isto é, são operadas como um aterro convencional, com o ingresso de veículos transportadores e dos equipamentos de compactação (Figura 3.17).

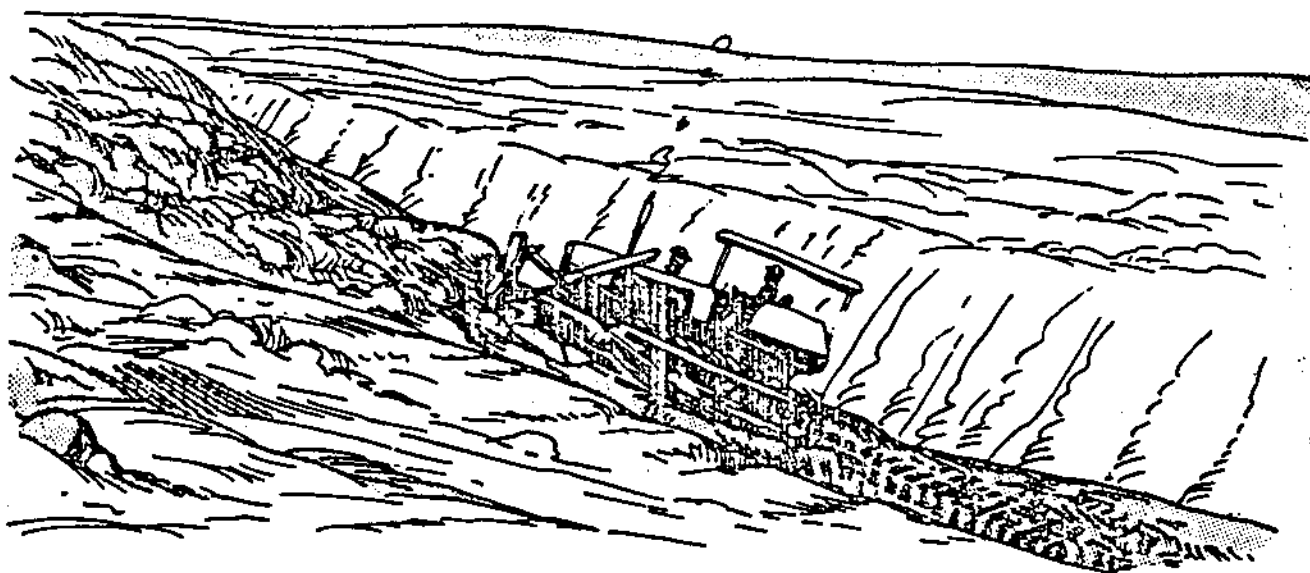


Figura 3.16 - Inicialmente, máquinas especiais abrem valas com formato e dimensões apropriadas

Os resíduos são descarregados no interior da trincheira junto à base do talude de uma de suas extremidades. Em seguida são compactados por um trator de esteiras que os empurra de encontro a esse talude, em movimentos de baixo para cima, formando células, como nos casos já mencionados (Figura 3.18).

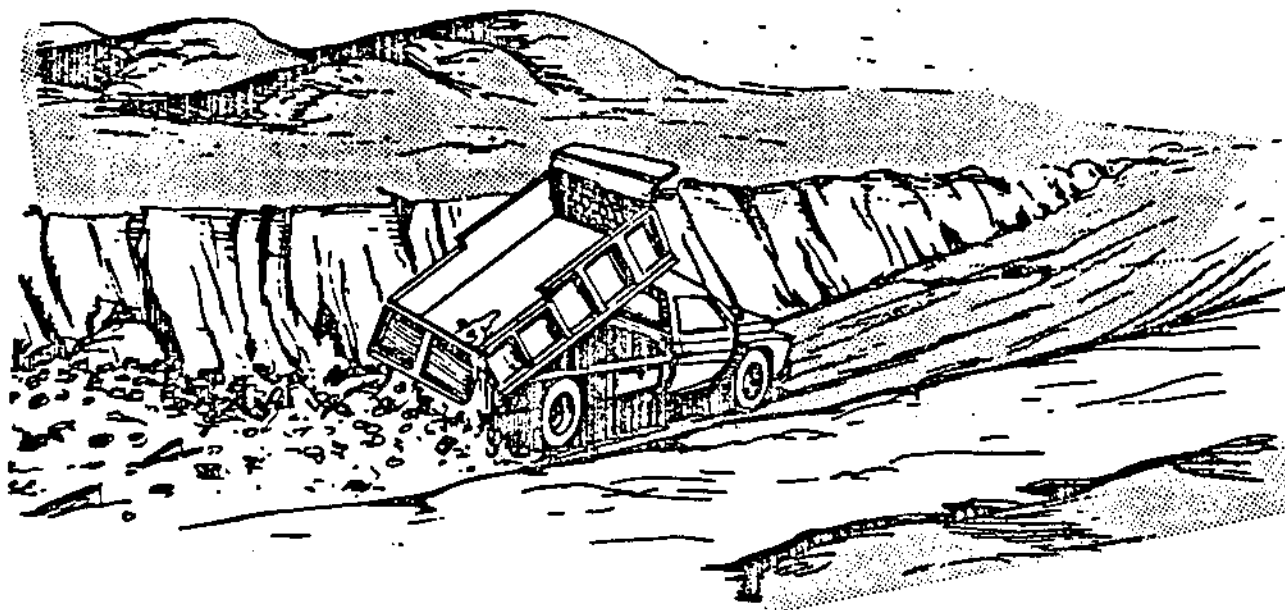


Figura 3.17 - Os veículos transportadores descarregam os resíduos diretamente no interior da trincheira

Após a compactação, os resíduos são cobertos com uma fina camada de solo, variando de 0,20 a 0,40 m de espessura. Para a cobertura dos resíduos, geralmente, é utilizado o material resultante da escavação da própria trincheira.

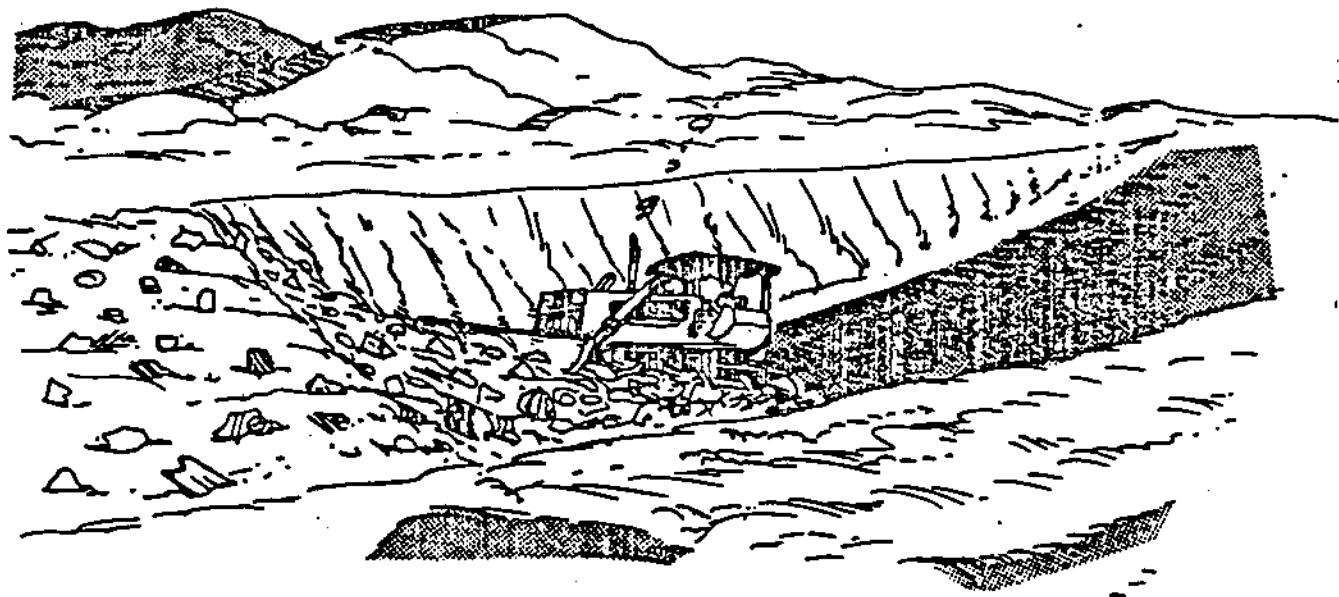


Figura 3.18 - Os resíduos são compactados a partir de uma das extremidades da trincheira

A escavação da trincheira, em geral, é dirigida de forma a facilitar a sua operação. A altura e a própria configuração devem facilitar a operação dos resíduos e a formação das células e camadas. Assim sendo, com a sobreposição de camadas, tem-se o preenchimento total da trincheira, que deve devolver ao terreno a sua topografia inicial (Figura 3.19).

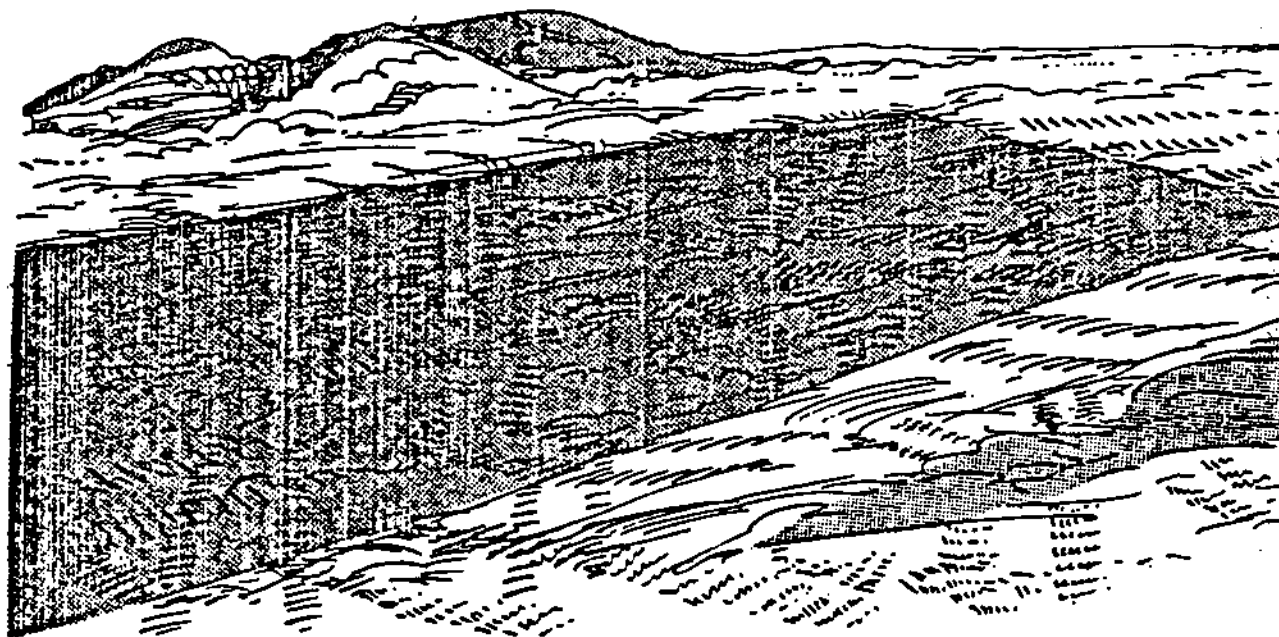


Figura 3.19 - O aterro estará concluído quando toda a trincheira estiver preenchida com lixo.

3.2.2.2 Trincheiras de pequenas dimensões

O maior problema encontrado pelos municípios de pequeno porte e de escassos recursos financeiros para a construção de aterros sanitários é o de disponibilidade de equipamento para a sua operação. Os tratores de esteiras, utilizados nos aterros, têm custo de aquisição e manutenção muito altos e, quando adquiridos pelos municípios de pequeno porte, são utilizados em múltiplas atividades, ficando o aterramento dos resíduos relegado a um plano secundário. Esse é o grande obstáculo oferecido por todos os tipos de aterro, quando aplicados a pequenas comunidades,

exceto aqueles desenvolvidos em valas e operados sem o ingresso de equipamentos no seu interior.

Esta técnica consiste no preenchimento de valas escavadas com dimensões apropriadas, onde os resíduos são depositados sem compactação e a sua cobertura com terra é realizada manualmente. Os equipamentos são, portanto, imprescindíveis apenas na fase de abertura das valas.

O confinamento dos resíduos sem compactação impede o aproveitamento integral da área a ser aterrada, fato que o torna de utilização não recomendada para a maioria das comunidades com produção de lixo superior a 10 toneladas por dia. Acima dessa produção, a sua utilização implica a abertura constante de valas, tornando-o inviável técnica e economicamente.

A escavação de valas exige também condições favoráveis tanto no que se refere à profundidade e uso do lençol freático como na constituição do solo. Os terrenos com lençol freático aflorante ou muito próximo da superfície são impróprios para a construção desse aterro, uma vez que resulta na contaminação desse aquífero. Os terrenos rochosos também não são indicados devido às dificuldades de escavação.

Nas escavações das valas pode ser utilizado praticamente qualquer um dos equipamentos que têm capacidade de escavação. Entretanto, deve-se ter em mente que as comunidades de pequeno porte e escassos recursos financeiros dispõem apenas de máquinas leves, como as retroescavadeiras, devendo, portanto, essa operação estar condicionada aos limites de capacidade desses equipamentos (Figura 3.20).

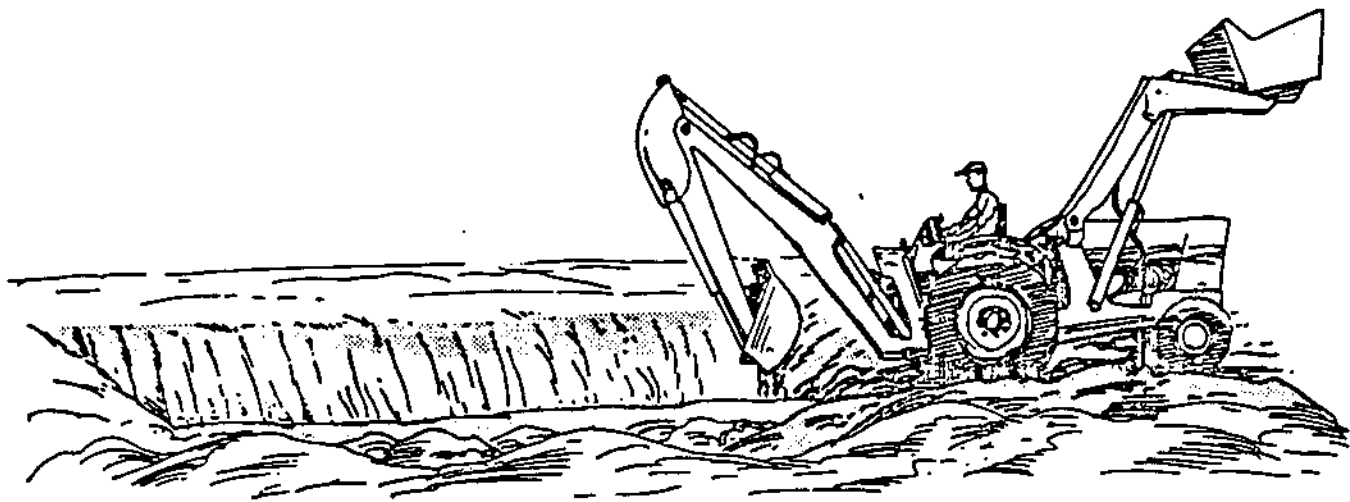


Figura 3.20 - Inicialmente, são abertas valas estreitas e compridas, acumulando-se a terra apenas em um dos lados

Os resíduos são descarregados pelo lado livre das valas, sem o ingresso dos veículos no seu interior, iniciando-se por uma das extremidades da mesma (Figura 3.21).

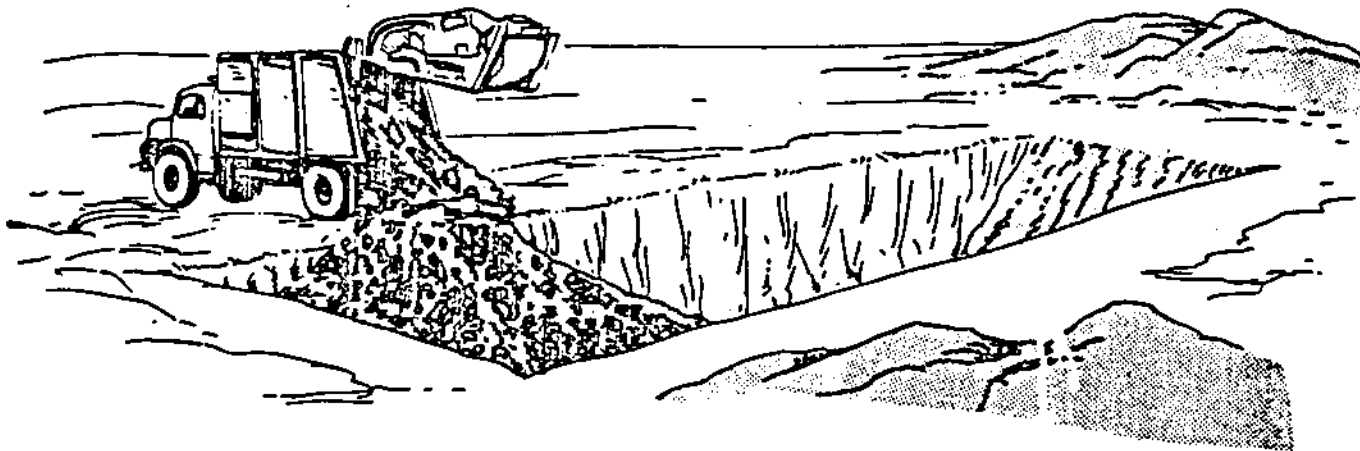


Figura 3.21 - Os resíduos são descarregados em um único ponto da vala, até que esteja totalmente preenchido

À medida que são depositados, os resíduos são nivelados e cobertos manualmente, utilizando-se a terra acumulada ao lado da vala. O nivelamento e a cobertura dos resíduos devem ser realizados diariamente, tolerando-se frequências menores apenas em circunstâncias especiais (Figura 3.22).

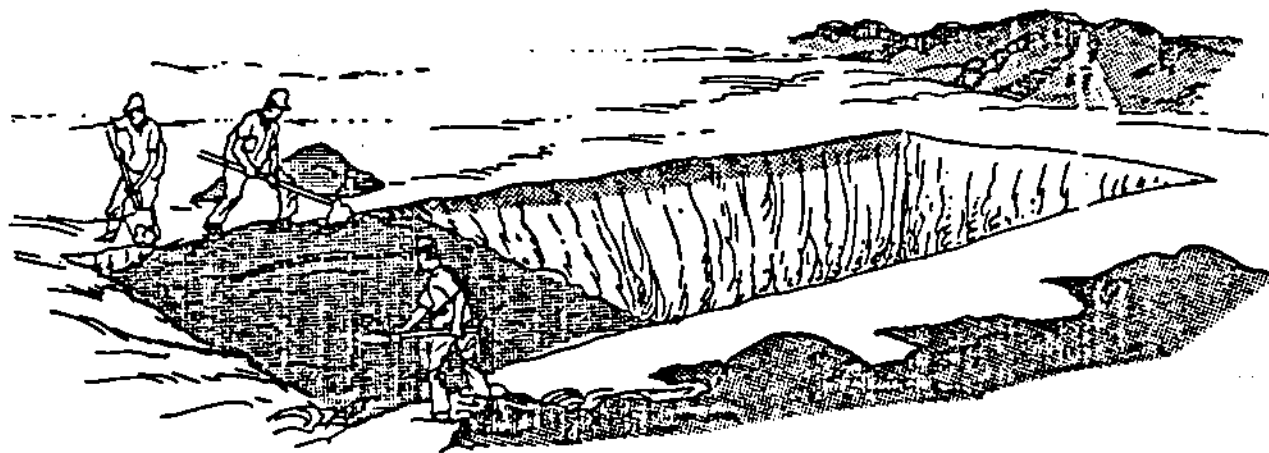


Figura 3.22 - Os resíduos devem ser nivelados e cobertos com terra manualmente

Assim que o primeiro trecho da vala estiver totalmente preenchido, passa-se para outro, repetindo-se as mesmas operações. O nivelamento final da vala deve ficar numa cota superior à do terreno, prevendo-se prováveis recalques. (Figura 3.23).



Figura 3.23 - A vala deve ser preenchida até um nível ligeiramente superior ao do terreno

Após o completo aterramento da vala, se o município dispuser de equipamentos dotados de esteiras, poderá promover uma melhor compactação dos resíduos, passando diversas vezes sobre o local aterrado. Quando não há essa possibilidade, a abertura da vala seguinte deve ser realizada de tal forma que a terra de escavação seja acumulada sobre as valas já aterradas, acelerando os recalques e impondo uma certa compactação aos resíduos.

3.3 Cálculo das Dimensões das Células de Lixo

Na formação de um aterro, tem importância fundamental a proporção das células de lixo. A ordem na operação do aterro, bem

como o consumo de terra de cobertura dos resíduos, estão estreitamente relacionados com a preparação das células de lixo.

A quantidade de terra gasta na cobertura do lixo está relacionada com o tamanho da superfície a ser coberta, que, obviamente, deve ser minimizada para que os custos de operação também não sejam excessivos.

Consegue-se área mínima de cobertura numa célula de lixo quando a frente de trabalho tem dimensão igual a sua profundidade, sendo a sua altura função do seu volume. Considerando-se que a cobertura deve ser realizada diariamente, isto é, no final de uma jornada de trabalho, o volume da célula corresponde ao volume de lixo aterrado diariamente.

As dimensões da célula de lixo devem ser calculadas através das seguintes fórmulas:

sendo:

V = volume da célula de resíduos a ser compactado (m^3)

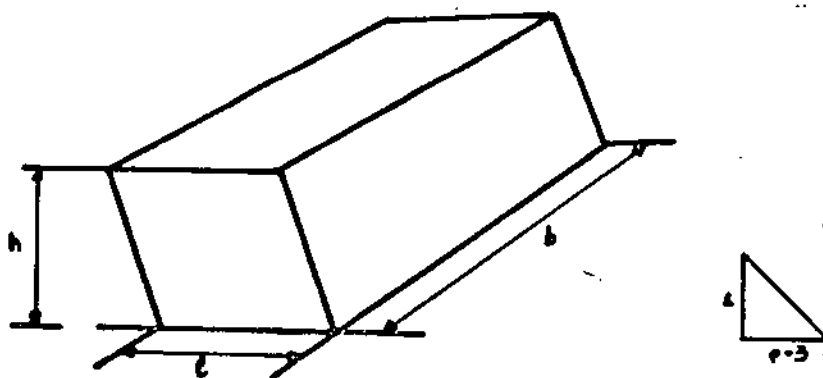
b = frente de operação (m)

l = profundidade da célula (m)

h = altura da célula (m)

A = área a ser coberta com terra (m^2)

p = talude da rampa de trabalho ($p = 3$)



Assim:

$$V = b.l.h = b^2.h \text{ e}$$

$$A = b^2 + 2b.h.p$$

$$h = \sqrt{\frac{V}{b^2 p}}$$

$$l = b = \sqrt{\frac{V}{h}} = \sqrt{\frac{p.V}{h}}$$

O gráfico apresentado na Figura 3.24 mostra a variação da altura da célula de lixo em função do volume da mesma, necessária para se ter uma superfície mínima de cobertura.

Figura 3.24. Variação da altura da célula de lixo em função do volume da mesma, necessária para se ter uma superfície mínima de cobertura.

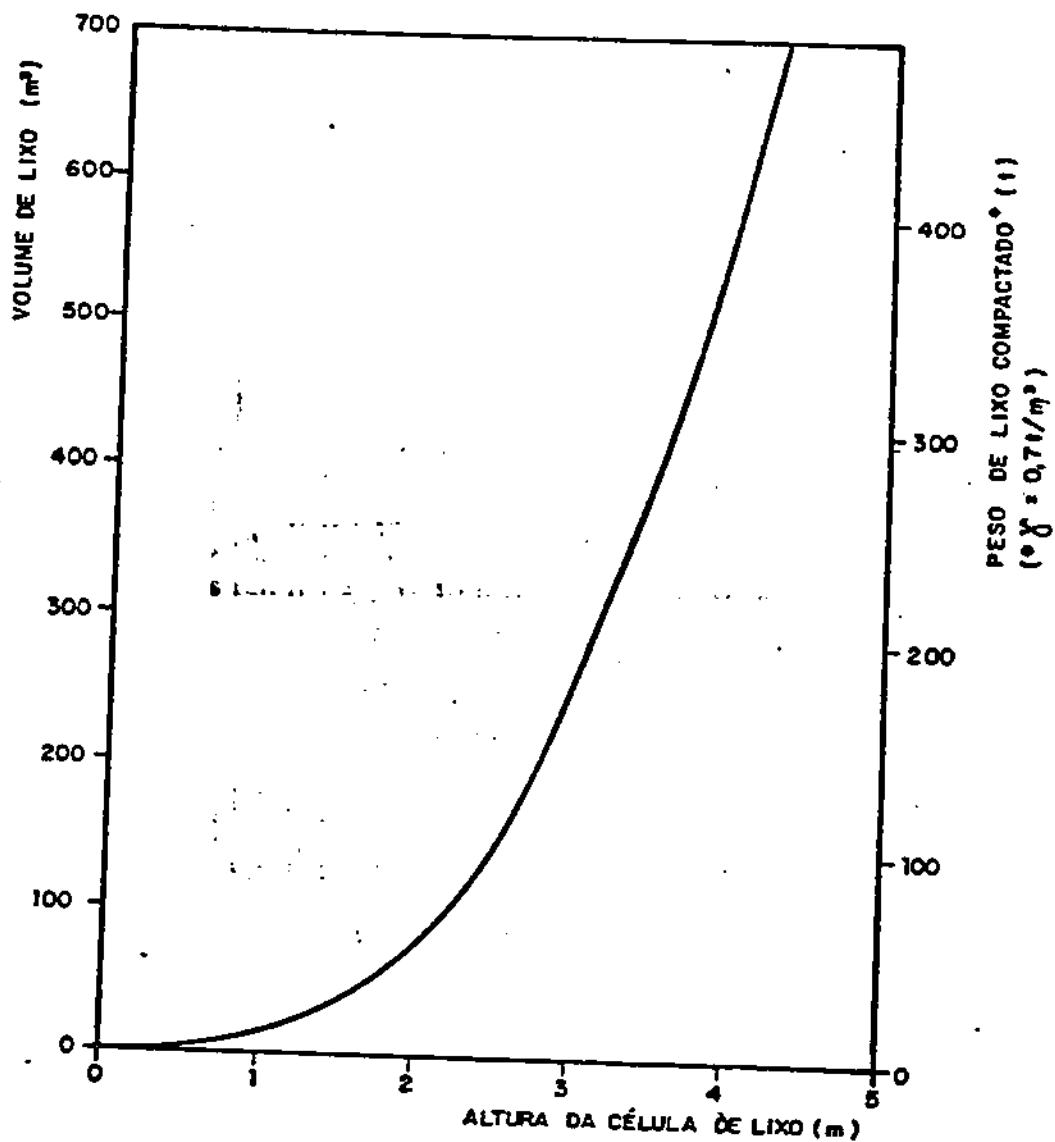


Figura 3.24 - Altura da célula em função da quantidade de lixo para superfície mínima de cobertura

4. INSTALAÇÕES DE APOIO

As instalações de apoio são estruturas auxiliares que têm por objetivo garantir o funcionamento do aterro, dentro dos padrões estabelecidos pelas técnicas da engenharia e do saneamento ambiental. De forma geral, essas instalações são compostas pelos seguintes elementos:

Isolamentos

O isolamento do aterro é imprescindível para manutenção da ordem e do bom andamento das obras.

Devem ser instaladas cercas de arame ao redor de toda a área, impedindo, assim, a entrada de catadores, animais ou outros elementos que possam prejudicar o desenvolvimento dos serviços. Essas cercas devem ser construídas em material resistente, como arame farpado e mourões de concreto.

Recomenda-se ainda a construção de uma faixa de isolamento, de 5 a 10 metros de largura, composta por arbustos e árvores que impeçam a visualização constante do aterro. Esse isolamento tem como função evitar o surgimento de reclamações por parte de transeuntes e moradores da circunvizinhança, motivados pela visualização constante das frentes de operação.

Nas regiões onde são intensos os ventos, recomenda-se a instalação de uma cerca de tela, de forma a interceptar os materiais leves que poderiam ser arrastados até os terrenos vizinhos ao aterro. Essa cerca deve ser móvel, com a possibilidade de ser deslocada na medida do avanço da frente de operação.

Portaria

Sua função é controlar a entrada e a saída de veículos na área do aterro. É de sua responsabilidade a observação de materiais a serem aterrados, especialmente de resíduos que poderiam prejudicar o andamento das obras ou colocar em risco a saúde dos operadores, bem como causar danos ao meio ambiente, como por exemplo: lodos tóxicos, materiais graxos ou oleosos e líquidos em geral.

A entrada desses materiais não deve ser impedida sumariamente, pois eles poderiam vir a ser descarregados clandestinamente em outros locais, causando dano ainda maior. Uma vez identificados os produtores e transportadores, devem ser prevenidas as autoridades competentes para que sejam tomadas as medidas cabíveis.

Balança

A função da balança é a de avaliar a quantidade de resíduos e outros materiais que entram no aterro. No caso dos aterros empreitados, a pesagem é a forma mais indicada de controle e remuneração dos serviços prestados.

A pesagem constante dos resíduos fornece ainda dados estatísticos de grande valor na avaliação da vida útil do aterro, bem como da variação da produção de resíduos ao longo do tempo.

Escritórios

Contabilizam a entrada dos resíduos e materiais diversos que serão utilizados na construção da infraestrutura do aterro, controlam e registram a frequência de funcionários e fornecem elementos para o cálculo dos custos da obra.

Refeitório

Constitui-se numa instalação apropriada para o abrigo de operários durante as refeições, com equipamentos para o aquecimento de marmitas e conservação de alimentos.

Vestiários e sanitários

São instalações apropriadas à higiene pessoal e à mudança de roupas antes e após a realização dos trabalhos. Essas instalações devem atender também às necessidade do pessoal da coleta.

Galpões para o abrigo de veículos

A lubrificação e lavagem, bem como pequenos reparos nos veículos e equipamentos, podem e devem ser realizados na própria área do aterro. Por isso deve ser prevista a construção de um galpão apropriado, que deverá ainda servir de abrigo a esses equipamentos nos períodos de inatividade.

Pátio para estocagem de materiais

Os materiais de consumo no aterro, como pedras, tubos, terra e meias-canais de concreto, deverão ficar convenientemente estocados em área especialmente reservada a esse fim. Esses materiais têm custo alto, devendo, portanto, ser evitadas as mudanças constantes de local que resultam em danos e perdas de materiais, com conseqüentes prejuízos.

Estradas internas

As estradas internas têm como função permitir a interligação entre os diversos pontos da área do aterro, bem como garantir a chegada dos resíduos até as frentes de descarga. Essas estradas devem suportar o trânsito de veículos mesmo durante os períodos de chuva e, por isso, devem ser mantidas nas melhores condições de operação. Os trechos que apresentam menor capacidade de suporte ou aderência deverão sofrer mudança de solo ou revestimento com brita ou cascalho. Em toda a sua extensão, deverão ser construídas canaletas de drenagem para captação de águas de escoamento superficial, revestidas com material resistente nos trechos de maior declividade.

As estradas internas podem ser divididas em dois tipos: as de uso permanente, a serem utilizadas durante toda a existência do aterro, e as de uso temporário, a serem utilizadas apenas durante a execução de certas obras ou determinadas etapas do aterro.

As do primeiro tipo devem receber obras de melhoria em toda a sua extensão, além de serem construídas com largura mínima de 8,0 (oito) metros. As do segundo tipo devem receber apenas as obras indispensáveis, evitando-se, na medida do possível, grandes investimentos. Sua largura mínima deve ser de 6,0 (seis) metros.

A declividade e as condições gerais de visibilidade e segurança dessas estradas são aspectos a serem considerados. Nos declives, a serem percorridos por veículos carregados até as frentes de descarga, é tolerada uma inclinação longitudinal máxima de até 15%. Nas estradas principais, de uso permanente, deve ser tolerada inclinação longitudinal máxima de 10%. Para melhor drenagem dessas estradas, deve ser prevista também uma declividade transversal da ordem de 2%.

Iluminação

Nos aterros operados em tempo integral, isto é, nos períodos diurno e noturno, é indispensável a existência de um sistema de iluminação nos acessos e, principalmente, na frente de operação. Essa medida visa garantir condições de operacionalidade e segurança tanto ao pessoal e aos equipamentos que trabalham no aterro quanto àqueles responsáveis pelo transporte de resíduos.

5. MEDIDAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL

A decomposição da matéria orgânica presente no lixo resulta na formação de um líquido de cor escura, odor desagradável e elevado potencial poluidor, denominado chorume. A percolação das águas de chuva através da massa de resíduos arrasta consigo o chorume, bem como outros materiais em solução ou suspensão, constituindo-se nos chamados líquidos percolados dos aterros.

Esses líquidos percolados são formados ainda pela umidade natural do lixo; pela água de constituição de alguns materiais presentes no lixo, liberada pela compactação ou pela sua própria decomposição; pelos líquidos gerados no processo biológico de

decomposição de determinados elementos existentes no lixo; pela contribuição de nascentes, bem como pela água de chuva precipitada sobre o aterro. As duas últimas parcelas são normalmente muito superiores às demais, sendo que é comum a não formação desses líquidos nos aterros implantados em locais secos, onde a taxa de evapotranspiração é maior que a de precipitação.

Além da DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio, isto é, a quantidade de oxigênio requerida por organismos aeróbios para estabilizar a matéria orgânica presente num determinado meio, que atinge valores da ordem de 10 a 100 vezes superiores aos do esgoto doméstico (DBO = 300 mg/L), os líquidos percolados dos aterros apresentam ainda altos teores de cloretos, nitratos, sulfatos, zinco e outras substâncias, dependendo da composição dos resíduos aterrados e da presença de resíduos industriais. Também é alta a concentração de microrganismos patogênicos, determinada pela presença de coliformes fecais, na ordem de 10^4 a 10^6 NMP/100 mL.

Quando esses líquidos atingem os mananciais de águas subterrâneas ou superficial, podem alterar de modo significativo as suas características, tornando-as impróprias ao consumo ou à sobrevivência de organismos aquáticos.

Portanto, ao se construir um aterro é primordial reduzir o volume dos líquidos percolados, através de uma adequada drenagem de águas de chuvas e de nascentes, visando a reduzir os custos de implantação e operação de um sistema de tratamento desses líquidos.

Tabela 1 - Resultados de análises físico-químicas e bacteriológicas de líquidos percolados de aterros sanitários de São Paulo.

PARÂMETRO	UNIDADE	ATERRO SANITÁRIO																																			
		V. ALBERTINA						ENG. GOULART						RAPOSO TAVARES Km. 14,5						PEDREIRA CIT						GERAL						ANÁLISE DE 1985					
		MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO						
pH	-	5,9	6,8	7,3	4,9	5,4	6,3	6,4	6,5	6,7	7,2	7,2	7,3	4,9	6,7	7,3	3,8	3,8	3,8	4,9	6,7	7,3	3,8	3,8	3,8	7,2	8,1	8,9	7,2	8,1	8,9						
Resíduo total	mg/l	9.850	14431	19800	3.100	3.155	3.200	15900	18709	21400	11800	16575	26300	3.100	26300	3.100	23200	23200	23200	3.100	26300	3.100	23200	23200	23200	12200	14566	16100	12200	14566	16100						
Resíduo fixo	mg/l	5020	7825	12600	270	1.646	3.270	11500	12967	15100	7500	8815	10900	270	15100	10900	14830	14830	14830	270	15100	10900	14830	14830	14830	8510	9752	11400	8510	9752	11400						
Resíduo volat.	mg/l	3800	6740	10400	248	1.715	3.505	3680	5769	9700	4100	7793	15400	248	15400	15400	248	15400	15400	248	15400	15400	248	15400	15400	2830	4828	6050	2830	4828	6050						
Res. Filtr.	mg/l	4530	10764	18600	511	3.106	6.442	15000	18701	21100	10400	14975	24500	511	24500	24500	23989	23989	23989	511	24500	24500	23989	23989	23989	-	-	-	-	-	-						
Res. Mno Filter.	mg/l	74	3678	10600	32	249	816	44	178	330	1170	1610	1830	32	10600	10600	10568	10568	10568	32	10600	10600	10568	10568	10568	-	-	-	-	-	-						
Res. Sediment.	ml/l	1,0	20,5	62,0	<0,1	<1,3	5,0	<0,1	0,5	1,2	1,5	4,3	8,0	<0,1	62,0	62,0	>61,9	>61,9	>61,9	<0,1	62,0	62,0	>61,9	>61,9	>61,9	nd	0,6	3,0	nd	0,6	3,0						
Nitr. Amoniaco	mg/l	308	549	760	6	75	175	2280	2564	2900	818	881	950	6	2900	2900	2894	2894	2894	6	2900	2900	2894	2894	2894	1100	2376	3100	1100	2376	3100						
Nitr. Nitrico	mg/l	0,000	0,003	0,010	0,000	0,020	0,040	-	-	-	-	-	-	0,000	0,040	0,040	-	-	-	0,000	0,040	0,040	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
Nitr. Nitroso	mg/l	0,16	0,65	1,65	0,03	0,13	0,32	1,74	2,24	2,74	-	-	-	0,03	5,53	5,53	-	-	-	0,03	5,53	5,53	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
Nitr. Kiedhal	mg/l	440	709	1050	15	127	275	2430	2729	3140	940	1003	1100	15	3140	3140	3125	3125	3125	15	3140	3140	3125	3125	3125	1340	2930	3850	1340	2930	3850						
DBO(5 dias, 20°C)	mg/l	690	10919	19800	480	3738	7700	700	1389	2270	3260	3675	4070	480	19800	19800	19320	19320	19320	480	19800	19800	19320	19320	19320	156	2504	3970	156	2504	3970						
Cloro	mg/l	4380	18110	28000	966	5836	12500	6080	6671	7640	6500	7163	8100	966	28000	28000	27034	27034	27034	966	28000	28000	27034	27034	27034	2530	7081	9760	2530	7081	9760						
Sulfato	mg/l	854	2341	11000	50	311	550	60	138	180	1450	1530	1650	50	11000	11000	10950	10950	10950	50	11000	11000	10950	10950	10950	2800	3399	5900	2800	3399	5900						
Fosfato total	mg/l	<2	<70	160	0	33	106	1100	1223	1490	800	1178	1800	0	1800	1800	1800	1800	1800	0	1800	1800	1800	1800	1800	-	-	-	-	-	-						
Ferro	mg/l	128	1121	6000	0,2	84,4	234,0	-	-	-	-	-	-	0,2	6000	6000	10,60	10,60	10,60	0,2	6000	6000	10,60	10,60	10,60	10,00	31,56	72,50	10,00	31,56	72,50						
Cobre	mg/l	0,06	0,29	1,20	<0,01	0,05	0,19	0,14	0,28	0,67	0,09	0,14	0,21	0,01	>1,19	>1,19	>1,19	>1,19	>1,19	0,01	>1,19	>1,19	>1,19	>1,19	>1,19	-	-	-	-	-	-						
Chumbo	mg/l	0,18	0,68	2,30	0,00	0,09	0,22	0,30	0,44	0,50	0,30	0,58	0,90	0,00	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	0,00	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	-	-	-	-	-	-						
Zinco	mg/l	0,50	10,36	35,60	0,12	2,33	9,40	0,72	1,03	1,50	3,20	6,25	9,00	0,12	35,60	35,60	35,48	35,48	35,48	0,12	35,60	35,60	35,48	35,48	35,48	1,12	1,53	1,80	1,12	1,53	1,80						
Manganes	mg/l	0,93	15,17	26,00	0,61	4,19	11,00	0,09	0,21	0,32	0,95	2,43	3,76	0,09	26,00	26,00	25,91	25,91	25,91	0,09	26,00	26,00	25,91	25,91	25,91	0,17	0,28	0,42	0,17	0,28	0,42						
Cádmio	mg/l	0,01	0,06	0,20	0,00	0,01	0,02	-	-	-	-	-	-	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	-	-	-	-	-	-						
Cromo Hexav.	mg/l	<0,010	<0,014	<0,014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,010	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,010	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	-	-	-	-	-	-						
Cromo total	mg/l	0,06	0,75	1,63	0,00	0,35	3,85	0,80	0,97	1,15	0,30	0,41	0,48	0,00	1,63	1,63	0,48	0,48	0,48	0,00	1,63	1,63	0,48	0,48	0,48	0,40	0,61	0,74	0,40	0,61	0,74						
Colif. totais	NMP/100ml	230	1,7x10 ⁶	1,7x10 ⁶	-	-	-	4,9x10 ³	2,3x10 ³	7,9x10 ³	1,4x10 ⁶	1,6x10 ⁶	2,5x10 ⁶	230	1,7x10 ⁶	1,7x10 ⁶	1,7x10 ⁶	1,7x10 ⁶	1,7x10 ⁶	230	1,7x10 ⁶	1,7x10 ⁶	1,7x10 ⁶	1,7x10 ⁶	1,7x10 ⁶	300	6,3x10 ³	2,3x10 ⁴	300	6,3x10 ³	2,3x10 ⁴						
Colif. fecais	NMP/100ml	49	1,7x10 ⁶	4,9x10 ⁶	-	-	-	140	3,3x10 ³	3,3x10 ³	1,4x10 ⁶	1,2x10 ⁶	2,4x10 ⁶	49	1,7x10 ⁶	1,7x10 ⁶	4,9x10 ⁶	4,9x10 ⁶	4,9x10 ⁶	49	1,7x10 ⁶	1,7x10 ⁶	4,9x10 ⁶	4,9x10 ⁶	4,9x10 ⁶	<2	898	7,0x10 ³	<2	898	7,0x10 ³						

CG (*) VALOR MEDIANO

(1) PRESEÇA PROVÁVEL DE INIBIDORES

nd NÃO DETERMINADOS

FONTE: CETESB

Em decorrência da decomposição dos resíduos confinados nos aterros, são gerados ainda gases, entre eles o gás carbônico (CO_2) e o metano (CH_4), que é combustível. Esses gases são gerados em grandes volumes, podendo acumular-se em bolsões no interior dos aterros, sair de forma descontrolada pelos taludes e superfícies ou, mesmo, infiltrar-se pelo solo e atingir redes de afastamento de esgotos, fossas e poços rasos causando problemas com riscos de explosões.

No Brasil, não são comuns ocorrências de explosões em aterros sanitários, porém, em São Paulo, no aterro de Lausane Paulista, ocorreram infiltrações de gases através de fissuras das rochas da pedreira onde foi instalado o aterro, atingindo as redes de esgotos do bairro circunvizinho e causando acidentes à população.

Também no aterro sanitário de Jacuí, em São Paulo, os gases migraram pelo subsolo arenoso da região e saíram por poços de abastecimento, redes de esgotos, alicerces de muros e paredes e raízes de árvores, causando incômodo e acidentes.

As instalações de proteção ambiental são, portanto, obras que têm por objetivo garantir a condição de salubridade do aterro sanitário, impedindo o contato direto dos resíduos aterrados e dos subprodutos de sua decomposição com os aquíferos, bem como assegurar a drenagem dos gases gerados. Didaticamente, essas estruturas podem ser divididas nos seguintes sistemas, conforme descritos abaixo.

5.1 Sistema de Proteção dos Aquíferos Subterrâneos

Esse sistema tem como objetivo impedir que haja o contato direto dos resíduos aterrados, ou de seus efluentes, com os aquíferos subterrâneos. Essa proteção pode ser conseguida através da impermeabilização do solo e da drenagem dinâmica ou estática de nascentes.

5.1.1 Drenagem de nascentes

Evidentemente, as áreas que apresentam nascentes ou pontos de afloramento do lençol freático devem ser evitadas, uma vez que as medidas de proteção dessas águas quase sempre são ineficientes. Entretanto, quando é inevitável a utilização de áreas que apresentam tais ocorrências, devem ser tomados cuidados especiais com essas águas, que devem ser canalizadas, não só com a finalidade de preservação de sua qualidade, mas também para impedir que atinjam os resíduos aterrados e incrementem o volume de líquidos percolados. Nos aterros, essa drenagem é normalmente efetuada através de uma estrutura drenante subsuperficial, constituída por um tubo de concreto perfurado envolvido por uma camisa de pedra britada ou, então, simplesmente por dreno de pedra britada (dreno cego). Esse dreno deve ser aberto com uma retroescavadeira e direcionado para fora da área aterrada.

Depois de aberto o dreno horizontal e preenchido com brita, sobre as pedras deve ser colocado um material que facilite a percolação de líquidos e que retenha suspensões que possam vir a colmatar o dreno. Esse efeito pode ser conseguido com materiais sintéticos como o bidim, ou simplesmente com capim seco.

No caso de se utilizar o material sintético, deve-se fazê-lo envolver todo o leito de pedra britada, do seguinte modo: após a abertura da vala, recobre-se a escavação com a manta geotêxtil, assenta-se o tubo perfurado (se for o caso) e preenchem-se os vazios com pedra britada. Efetua-se, em seguida, a dobradura da manta excedente de forma a cobrir a superfície superior do dreno, conforme mostrado na Figura 5.1.

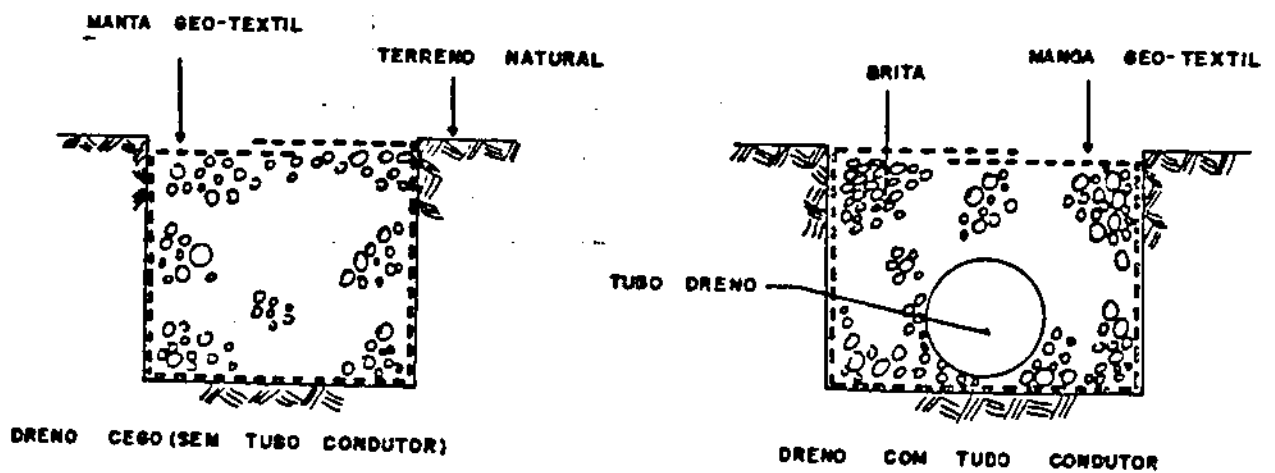


Figura 5.1 - Drenagem subsuperficial

Sobre o dreno, e como impermeabilização do fundo do aterro, recomenda-se a colocação de uma camada de solo com espessura mínima de 2,0 metros.

O dimensionamento da rede subsuperficial, quando constituída de tubo perfurado envolvido por camisa de pedra britada, pode ser efetuado através da aplicação, simplesmente, da fórmula de Manning para condutos em regime de escoamento livre:

$$Q = \frac{1}{n} R_h^{2/3} I^{1/2} S$$

onde:

Q = vazão (m³/s)

n = coeficiente de rugosidade das paredes (para tubo de cimento, n = 0,012)

R_h = raio hidráulico (m)

I = declividade (m/m)

O dimensionamento da rede subsuperficial, quando constituída apenas por drenos de pedra britada, pode ser efetuado mediante a aplicação da Equação de Wilkins:

$$V = 52,45 p \cdot R_h^{0,5} \cdot I^{0,25}$$

onde:

V = velocidade média de percolação (cm/s)

I = declividade do dreno (m/m)

R_h = raio hidráulico do meio poroso considerado (cm)

$$R_h = \frac{p \cdot D_s}{6 (1-p)}$$

p = porosidade do meio (0,40 < p < 0,50)

D_s = diâmetro equivalente (cm)

A expressão pode ser escrita, também, da seguinte forma:

$$V = C_w \cdot I^0.25$$

onde:

$$C_w = 52,45 \cdot R_n^{0.05 \cdot P}$$

cujos valores são mostrados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Valores de C_w da Equação de Milkins para Drenos de Pedra Britada

BRITA OU CASCALHO	DIÂMETRO NOMINAL (cm)	DIÂMETRO EQUIVALENTE (Ds)	R_n (cm)			C_w (cm/s)		
			P			P		
			0,40	0,45	0,50	0,40	0,45	0,50
2	2,0	1,52	0,17	0,21	0,25	8,63	10,75	13,21
3	2,5	1,91	0,21	0,26	0,32	9,65	12,02	14,77
4	5,0	3,00	0,42	0,52	0,63	13,62	16,98	20,86
5	7,5	5,46	0,61	0,74	0,91	16,33	20,35	25,00

A declividade do dreno deve ser, em geral, igual ou maior que 2%.

A seção do dreno é então determinada a partir da equação da continuidade, aplicando-se um coeficiente de segurança igual a 2:

$$S = 2 \frac{Qp}{V}$$

onde:

Qp = vazão a ser drenada

S = seção do dreno

Convém efetuar o cálculo do número de Reynolds (R_w) do escoamento, já que a equação de Wilkins somente é válida na faixa $1,0 < R_w < 3000$. Esse número é calculado pela expressão:

$$R_w = \frac{V D_s}{6 \gamma (1-p)}$$

onde:

γ = coeficiente de viscosidade cinemática = $1,01 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$

5.1.2 Impermeabilização do solo

A impermeabilização do solo, no caso dos aterros sanitários, devido à extensão das áreas a serem tratadas, é um processo caro, devendo, sempre que possível, ser evitada.

O aconselhável é que na escolha da área sejam evitados os locais que apresentem solos excessivamente permeáveis ou com lençol freático no seu nível máximo muito próximo da superfície.

A camada de solo que servirá de base para o aterro deve ser a mais homogênea e trabalhável possível, isenta de blocos grandes e matacões, com permeabilidade em torno de $K \leq 10^{-7}$ cm/s, como os depósitos de argilas, siltes e suas misturas.

A consistência ideal deve ser de média a dura (índice de consistência entre 0,5 e 1,00), com resistência à compressão simples situada entre 0,50 e 4,00 kgf/cm².

Quanto à granulometria, é conveniente que o solo apresente uma porcentagem de partículas passando pela peneira nº 200 da ASTM superior a 30% (Análise Granulométrica por Peneiramento e Sedimentação - MB 32/1968 - ABNT).

O limite de liquidez deve ser maior ou igual a 30% (Ensaio de Determinação do Limite de Liquidez - MB 30/1969 - ABNT) e o índice de plasticidade deve ser maior ou igual a 15 unidades.

Evidentemente, o material nativo poderá ser melhorado, em alguns casos, através do revolvimento e recompactação da camada mais superficial, melhorando sua resistência e permeabilidade. Quando esse procedimento for insuficiente, deve ser providenciada a colocação de uma camada de solo suplementar, que supra as deficiências do natural quanto a permeabilidade e resistência.

Deve-se lembrar que, sobre o aterro a ser lançado, geralmente são escavados drenos para líquidos percolados, constituídos por canaletas preenchidas com pedras britadas. Assim, a camada de aterro deverá ter espessura útil mínima, medida a partir do fundo da canaleta de drenagem, de 0,5 m, para permeabilidade de $K \leq 10^{-7}$ cm/s.

O desejável é que a espessura total da camada de aterro seja de no mínimo 1,00 m, de forma a garantir que a movimentação de equipamentos pesados, bem como os recalques do solo original, não prejudiquem a sua resistência e estanquidade.

Atualmente (janeiro de 1991), está sendo elaborada pela ABNT uma norma técnica que estabelece critérios para a construção de aterros para resíduos classe II. Como os resíduos domiciliares, pelas suas características, também podem ser enquadrados nesta classe, futuramente esta norma poderá ser utilizada como exigência mínima a ser seguida nos projetos de aterros sanitários.

5.2 Sistema de Drenagem de Líquidos Percolados

Esse sistema tem por objetivo coletar os líquidos percolados dos resíduos depositados nos aterros que, caso contrário, tenderiam a se infiltrar no solo e colocar em risco a qualidade das águas subterrâneas da região.

Basicamente, esses drenos são constituídos por linhas de canaletas escavadas diretamente no solo, ou sobre a camada de aterro impermeabilizante, e preenchidas com pedras britadas.

Essas linhas de drenagem assumem o formato de leque ou espinha de peixe, com um ponto de convergência na menor cota da base do aterro, concentrando-se num único dreno que é direcionado para um sistema de tratamento.

Os drenos de líquidos percolados situam-se na região mais crítica do aterro, isto é, na base do mesmo, sofrendo a ação de toda a carga dos resíduos aterrados e estando, conseqüentemente,

sujeitos a rompimentos e inversões de declividade. Por isso, visando garantir o seu funcionamento, é recomendável que na construção desses drenos sejam adotados valores de declividade $i > 2\%$ e de seção transversal em torno de $0,40 \times 0,40$ m.

Para o dimensionamento dessa estrutura é fundamental o conhecimento da vazão a ser drenada e das características gerais do sistema.

5.2.1 Cálculo da vazão a ser drenada

Para o cálculo da vazão de líquidos percolados a ser drenada podem ser utilizados dois métodos: o Método Suíço e o Método de Balanço Hídrico. Entre esses dois, o segundo representa melhor os fenômenos da natureza, sendo, portanto, o mais indicado.

O método do Balanço Hídrico procura expressar o fluxo da água num aterro considerando:

- a quantidade de água precipitada sobre o aterro;
- a fração que escoia superficialmente, em função do tipo de cobertura e da declividade;
- a parte devolvida à atmosfera pela evapotranspiração;
- a quantidade de água que se infiltra;
- a quantidade de água que fica retida na camada de cobertura, em função da espessura e do tipo de solo utilizado; e
- a quantidade de água que atinge os resíduos, podendo gerar líquidos percolados.

A Figura 5.2 resume o fluxo de água num aterro.

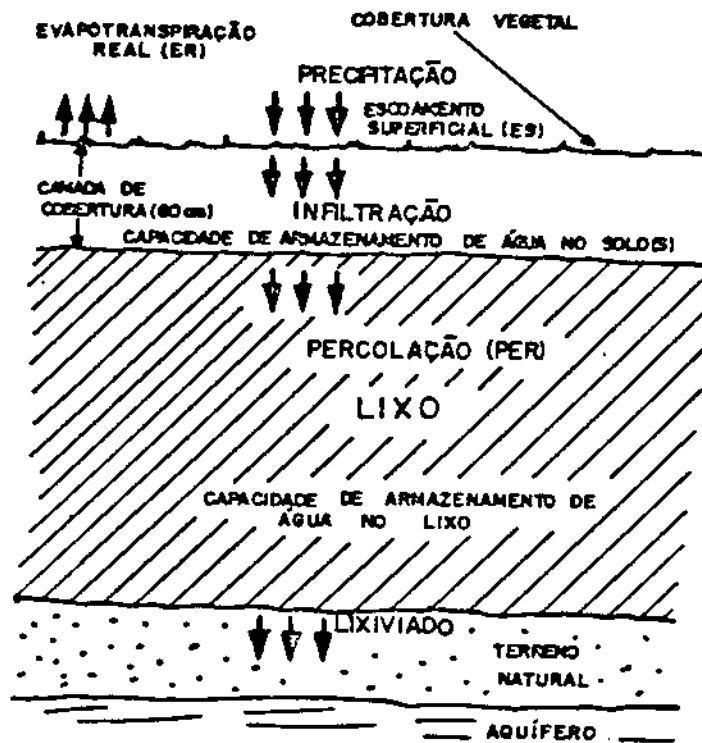


Figura 5.2 - Fluxo de água em um aterro sanitário

Para facilidade de cálculo do balanço hídrico deve ser preparada uma tabela resumo, semelhante à Tabela 5.2.

Os elementos componentes do cálculo devem ser calculados mês a mês, a partir de valores médios mensais, para o maior número possível de anos de observação, sendo assim constituídos:

- P = índice de Precipitação Pluviométrica (mm)
- EP = Evapotranspiração Potencial, obtida através de evapôímetros convencionais (mm)
- ES = Escoamento Superficial. É obtido aplicando-se o coeficiente de escoamento superficial (C') às médias mensais de precipitação.
- ES = $C'.P$, onde $C' = C$

sendo que C depende do tipo de solo, da declividade e da estação do ano, conforme demonstrado na Tabela 5.1.

Tabla 5.1 - Valores de C e de α em função da declividade

TIPO DE SOLO	DECLIVIDADE %	COEFICIENTE α	
		ESTAÇÃO SECA	ESTAÇÃO ÚMIDA
Areoso	0 a 2	0,17 0,051	0,34 0,102
C = 0,30	2 a 7	0,34 0,102	0,50 0,150
Argiloso	0 a 2	0,33 0,132	0,43 0,172
C = 0,40	2 a 7	0,45 0,180	0,55 0,220
Siltoso	0 a 2	0,25 0,088	0,385 0,135
C = 0,35	2 a 7	0,395 0,138	0,525 0,184

ΔAS = Troca de Armazenamento de Água no Solo. Representa a variação da quantidade de água armazenada no solo, mês a mês. É a diferença entre a quantidade de água armazenada em um mês e a armazenada no mês anterior.

$$\Delta AS = AS_n - AS_{n-1}$$

ER = Evapotranspiração Real. Representa a quantidade real de perda de água durante dado mês. Para os meses em que a infiltração é maior que a evapotranspiração potencial ($I-EP > 0$), a evapotranspiração ocorre no seu máximo nível, sendo que $ER = EP$. Nos meses em que a infiltração é menor que a evapotranspiração potencial ($I-EP < 0$), a evapotranspiração real é condicionada ao grau de umidade do solo, podendo ser determinada pela expressão:

$$ER = EP + [(I - EP) - \Delta AS]$$

PER = Percolação. A percolação é calculada pela seguinte expressão:

$$PER = P - ES - \Delta AS - ER$$

QM = Vazão Mensal. Os valores mensais de vazão de líquido percolado são calculados a partir da expressão abaixo:

$$QM = \frac{PER \cdot A_{cont}}{2.592.000}$$

I = Infiltração, sendo $I = P - ES$

I-EP = Diferença entre as quantidades de água infiltrada e evapotranspirada. Valores negativos significam perda potencial de água armazenada no solo. Valores positivos representam recarga de água no solo, podendo resultar em percolação, se for ultrapassada a capacidade de campo do solo.

$\sum \text{NEG} (I-EP)$ = Perda Potencial de Água acumulada. Representa a quantidade de água armazenada no solo que é perdida pela evapotranspiração. É obtido somando-se mês a mês apenas os valores negativos de (I-EP), começando-se pelo primeiro mês que apresente valor negativo. Esse procedimento supõe que no final da estação úmida, correspondente ao último mês que apresenta valor positivo para (I-EP), a capacidade de campo do solo foi plenamente atingida, mesmo que na prática isso não se verifique. Para os meses que apresentem valores positivos para (I-EP) é atribuído o valor 0 (zero) para $\sum \text{NEG}(I-EP)$.

AS = Armazenamento de água no solo. Representa a quantidade de água presente no solo. É obtida da seguinte forma:

- a) Inicialmente, calcula-se a quantidade de água disponível pela capacidade de campo da camada de solo de cobertura (ASc), que é obtida multiplicando-se a água disponível por metro de solo pela profundidade da zona de raízes (considerada igual à espessura da camada de cobertura). A Tabela 5.3 apresenta a quantidade de água disponível em função do tipo de solo de cobertura.

Tabela 5.3 - Quantidade de água disponível (mm H₂O/m de solo)

TIPO DE SOLO	CAPACIDADE DE CAMPO	PONTO DE MURCHAMENTO	ÁGUA DISPONÍVEL
Solo arenoso	200	50	150
Solo siltooso	300	100	200
Solo argiloso	375	125	250

Exemplo:

Calcular ASC para um solo argiloso e gramado, com zona de raízes de 0,60 m (espessura da camada). Tem-se:

$$ASC = 250 \times 0,60 = 150 \text{ mm}$$

- b) o valor obtido para ASC representa a quantidade máxima de água armazenada no solo não devendo, portanto, ser ultrapassado.
- c) Para os meses que apresentam valores negativos de (I-EP), o valor de AS é obtido nas Tabelas 5.4, 5.5 e 5.6.
- d) Em seguida, soma-se o valor de AS do último mês que apresenta $\sum \text{NEG (I-EP)} \neq 0$ ao valor positivo de (I-EP) do mês seguinte, obtendo-se AS para esse mês.
- e) o procedimento é repetido para todos os meses que apresentam $\sum \text{NEG (I-EP)} = 0$, até que seja atingido o valor máximo de ASC, que não deve ser ultrapassado.

onde:

QM = vazão mensal de líquido percolado (l/s)

PER = altura mensal percolada (mm)

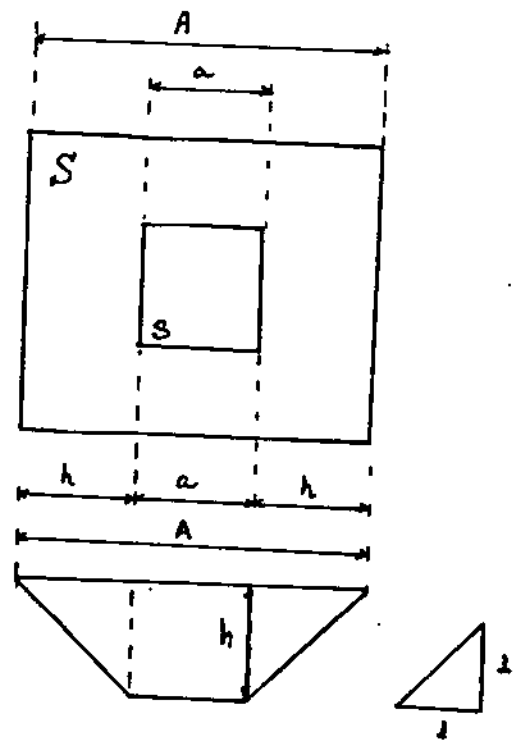
A_{cont} = área de contribuição da seção considerada (m²).

A vazão de projeto a ser adotada para o dimensionamento da rede de drenagem deve ser sempre a correspondente ao mês que apresente o maior volume.

$$V = \frac{h}{3} (s + S + \sqrt{s \times S})$$

$$p/h=3 \rightarrow S=(a+b)^2 = A^2, s = a^2$$

$$a = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$



Solo s:roso (ASr = 120 mm).

NEG (I-EP)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	125	124	123	122	121	120	119	118	117	116
10	115	114	113	112	111	110	109	108	107	106
20	106	105	104	103	102	102	101	100	99	98
30	98	97	95	95	94	94	93	92	91	90
40	90	89	88	87	86	85	85	84	84	83
50	83	82	82	81	80	80	79	79	78	77
60	76	76	75	74	74	73	73	72	72	71
70	70	70	69	69	68	68	67	67	66	65
80	65	64	64	63	63	62	62	61	61	60
90	60	59	59	58	58	57	57	56	56	55
100	66	65	64	64	63	63	63	62	62	61
110	51	51	50	50	49	49	49	48	48	47
120	47	47	46	46	45	45	45	44	44	43
130	43	43	42	42	41	41	41	41	40	40
140	40	40	39	39	39	39	38	38	38	37
150	37	37	36	36	36	35	35	35	35	34
160	34	34	33	33	33	32	32	32	32	31
170	31	31	31	30	30	30	30	30	30	29
180	29	29	29	29	28	28	28	27	27	27
190	26	26	26	26	26	25	25	25	25	25
200	24	24	24	24	24	23	23	23	23	23
210	22	22	22	22	22	22	22	21	21	21
220	21	21	21	21	20	20	20	20	20	20
230	19	19	19	19	19	18	18	18	18	18
240	18	18	17	17	17	17	17	17	17	17
250	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
260	15	15	15	15	15	14	14	14	14	14
270	14	14	14	14	14	13	13	13	13	13
280	13	13	13	13	13	12	12	12	12	12
290	12	12	12	12	12	11	11	11	11	11
300	11	11	11	11	11	10	10	10	10	10
310	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9
320	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
330	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
340	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
350	7	8	8	8	8	7	7	7	7	7
360	7					6	6			
370	6					6	6			
380	6					6	6			
390	5					5	5			
400	5					5	5			
410	4					4	4			
420	4					4	4			
430	4					4	4			
440	3					3	3			
450	3					3	3			
460	3					3	3			
470	3					3	3			
480	2					2	2			
490	2					2	2			
500	2					2	2			
510	2					2	2			
520	2					2	2			
530	2					2	2			
540	2					2	2			
550	1					1				
560	1									
570	1									
580	1									
590	1									
600	1									
610	1									
620	1									
630	1									
640	1									

FONTE: FEIN, Dennis G.; HANLEY, Keith J.; DE GEARE, Tracy W. Use of the Water Balance Method for Predicting Leachate Generation From Solid Waste Disposal Sites, U.S. Environmental Protection Agency Report - SW - 165 - 1975

Tabela 5.6 - Armazenamento de água no solo (AS) em função da evapotranspiração potencial acumulada NEG (I - EP). Solo Argiloso (ASc = 150 mm)

NEG(I - EP)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	150	149	148	147	146	145	144	143	142	141
10	140	139	138	137	136	135	134	133	132	131
20	131	130	129	128	127	127	126	125	124	123
30	122	122	121	120	119	118	117	115	115	114
40	114	113	113	112	111	111	110	109	108	107
50	107	106	106	105	104	103	103	102	101	100
60	100	99	98	97	97	97	96	96	94	93
70	93	92	92	91	90	90	89	89	88	87
80	87	86	86	85	84	84	84	83	83	82
90	82	81	81	80	79	79	78	77	77	76
100	76	76	75	75	74	74	73	72	72	71
110	71	71	70	70	69	69	68	68	67	67
120	66	65	65	65	65	64	64	63	63	62
130	62	62	61	61	60	60	60	59	59	58
140	58	58	57	57	56	56	55	55	54	54
150	54	53	53	53	52	52	52	52	51	51
160	51	51	50	50	50	49	49	48	48	47
170	47	47	47	46	46	46	45	45	45	44
180	44	44	44	43	43	43	42	42	42	41
190	41	41	41	40	40	40	40	39	39	39
200	39	38	38	38	37	37	37	37	36	36
210	36	36	35	35	35	35	35	34	34	34
220	34	34	33	33	33	33	33	32	32	32
230	32	31	31	31	31	31	30	30	30	30
240	30	29	29	29	29	29	28	28	28	28
250	28	27	27	27	27	27	26	26	26	26
260	26	26	25	25	25	25	25	24	24	24
270	24	24	24	23	23	23	23	23	23	23
280	22	22	22	22	22	22	22	22	21	21
290	21	21	21	20	20	20	20	20	20	20
300	20	19	19	19	19	19	19	19	18	18
310	18	18	18	18	18	18	18	17	17	17
320	17	17	17	17	17	17	17	16	16	16
330	16	16	16	16	16	16	16	15	15	15
340	15	15	15	15	15	15	14	14	14	14
350	14	14	14	14	14	14	14	13	13	13
360	13	13	13	13	13	13	13	12	12	12
370	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11
380	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
390	11	11	11	10	10	10	10	10	10	10
400	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9
410	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
420	9	8	8	8	8	8	8	8	8	8

Tabela 5.6 - Armazenamento de água no solo (AS) em função de evapotranspiração potencial acumulada NEG (I - EP). Solo Argiloso (ASc = 150 mm) - Continuação

NEG (I - EP)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
430	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
440	8	8	8	7	7	7	7	7	7	7
450	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
460	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6
470	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
480	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5
490	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
500	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
510	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4
520	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
530	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
540	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
550	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3
560	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
570	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
580	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
590	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
600	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2
610	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
620	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
630	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
640	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
650	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
660	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
670	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
680	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
690	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
700	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
710	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
720	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
730	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
740	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
750	1					1				
760	1					1				
770	1					1				
780	1					1				
790	1					1				
800	1					1				
810	1					1				
820	1					1				
830	1					1				
840	1					1				

FONTE: FENN, Dennis G.; HANLEY, Keith J.; DE GEARE, Truett V.; Use of the water Balance Method for Predicting Leachate Generation From Solid Waste Disposal Sites, U.S. Environmental Protection Agency Report - SW - 168, 1975

5.2.2 Dimensionamento da rede de drenagem

Os drenos para líquidos percolados, como já comentado, por se localizar numa área que está sob ação de toda a carga do aterro, obrigatoriamente devem possuir eficiência e resistência. Por isso, na maioria dos aterros sanitários os drenos para líquidos percolados são constituídos por drenos sem tubo condutor (dreno cego), que são constituídos por canaletas simples, escavadas no solo e preenchidas com pedras britadas ou material similar.

Como o escoamento em drenos de brita ocorre, em geral, na faixa de transição entre o regime laminar e o regime turbulento, deve-se utilizar o modelo determinado por Wilkins.

Uma seqüência de cálculo é proposta no item 5.1.1, Drenagem de nascentes, deste trabalho.

5.3 Sistema de Tratamento de Líquidos Percolados

Nos aterros sanitários, todos os esforços devem ser envidados no sentido de evitar a formação de líquidos percolados, desde a escolha da área e concepção do projeto até a própria operação do aterro. Entretanto, em função de fatores externos, como a ocorrência de chuvas, por exemplo, a formação desses líquidos pode ser inevitável.

Havendo formação de líquidos percolados, estes devem ser drenados e conduzidos para um sistema de tratamento, antes de seu lançamento final.

Muito embora os problemas com líquidos percolados sejam inerentes aos aterros sanitários, pouco se sabe sobre o seu tratamento, sendo comum, ainda hoje em muitos países, o lançamento in natura em rios, no mar ou a infiltração no solo.

A falta de experiência no tratamento desses líquidos deve-se a diversos fatores, como:

- a mentalidade equivocada de que os aterros sanitários têm, obrigatoriamente, custo insignificante, desincentivando investimentos em pesquisa nesse campo;
- o descaso com a proteção ambiental; e, principalmente,
- a vida útil relativamente curta dos aterros, desestimulando os grandes investimentos na construção de unidades convencionais para o tratamento de efluentes líquidos.

Nos países mais ricos, o problema é contornado destinando-se esses líquidos, através da rede coletora pública, até as estações de tratamento de esgotos domésticos, onde são atenuados.

No Brasil, as experiências realizadas nesse sentido buscam aplicar diretamente os métodos e parâmetros já consagrados para o tratamento de esgotos sanitários. As primeiras instalações construídas foram as lagoas de estabilização, devido à relativa simplicidade construtiva e operacional e à possibilidade de permanecerem em funcionamento mesmo após o encerramento das obras do aterro.

Na cidade de São Paulo, vários aterros foram dotados dessas instalações, citando-se o de Engenheiro Goulart, de Sapopemba, de Vila Albertina e Bandeirantes.

Das quatro instalações, praticamente nenhuma apresentou resultados inteiramente satisfatórios. Porém, trouxeram subsídios para os novos empreendimentos.

Constatou-se que há diferenças significativas entre a composição química do chorume e dos esgotos domésticos, principalmente em parâmetros como sólidos sedimentáveis e na relação carbono: nitrogênio: fósforo, indispensável no balanço entre a carga orgânica a ser oxidada e a quantidade de nutrientes disponíveis para o desenvolvimento de algas.

Observou-se também que a eficiência das lagoas anaeróbias é praticamente nula. O resultado dessas lagoas deve-se ao fato de que as mesmas funcionam como decantadores de sólidos, que são digeridos junto ao fundo. Como os líquidos percolados apresentam valores reduzidos de sólidos sedimentáveis, esse processo não ocorre, não havendo, conseqüentemente, atenuação significativa.

As lagoas anaeróbias não podem, contudo, ser dispensadas, devendo atuar como tanque equalizador. O chorume gerado nos aterros apresenta variações na vazão, na composição química, no pH e na temperatura ao longo do tempo. Essas variações não são interessantes nos processos biológicos, que exigem uma certa aclimação dos microrganismos utilizados, havendo assim a necessidade de um dispositivo regularizador, como uma lagoa anaeróbia, por exemplo.

Quanto às lagoas facultativas, parece correta a utilização de valores situados na média daqueles aplicados para esgotos domésticos, devendo-se, entretanto, considerar que os líquidos percolados possuem cor mais intensa, dificultando a penetração de luz e forçando a utilização de lagoas pouco profundas.

Tendo-se em vista que no presente trabalho seria impossível resumir-se a matéria existente sobre o funcionamento das lagoas de estabilização, recomenda-se que seja consultada uma bibliografia específica.

Outras técnicas para o tratamento de líquidos percolados foram tentadas, citando-se o filtro anaeróbio construído no aterro sanitário de Jacuí, uma lagoa aerada em Vila Albertina (ambos na cidade de São Paulo) e a recirculação realizada nos aterros dos municípios do Guarujá e de Campinas, bem como no aterro de São Mateus, na cidade de São Paulo.

O filtro anaeróbio consiste basicamente numa caixa de alvenaria com dimensões adequadas, preenchida com pedras britadas ou outro material que atua como leito de contato. O material de enchimento deve oferecer uma superfície adequada ao desenvolvimento de colônias de bactérias que, em contato com o líquido a ser tratado, retiram as substâncias biodegradáveis que são digeridas, purificando-o. As dimensões do filtro são calculadas em função das cargas hidráulica e orgânica do líquido a ser tratado.

Infelizmente, as unidades projetadas para o aterro de Jacuí não foram totalmente construídas, sobrecarregando a existente e impossibilitando a obtenção de dados consistentes.

As lagoas aeradas mecanicamente apresentam a vantagem de requerer áreas menores que as facultativas, fato interessante para os aterros sanitários; entretanto, exigem regularidade na operação, condição que não foi atendida no aterro de Vila Albertina. O sistema de aeração era ligado em períodos muito esparsos, causando, nesses momentos, a liberação de gases e vapores mal cheirosos que causavam grande incômodo à população

circunvizinha. Esse sistema, por não ser operado adequadamente, também não oferece seus resultados concretos, com utilidade para outros projetos, sendo finalmente, em meados de 1990, desativado.

A recirculação foi adotada no início da década de 80 como a grande solução para o tratamento dos líquidos percolados. Consiste na drenagem e captação dos líquidos em um poço de acumulação, sendo, em seguida, devolvido ao aterro. Os líquidos são introduzidos através dos drenos de gases, ou através de uma rede de tubos perfurados que distribui esses líquidos em canaletas escavadas na superfície do aterro. Uma alternativa válida é a utilização de um caminhão, dotado de equipamento tipo limpa-fossas, que aspira os líquidos do poço de acumulação e os distribui pelos drenos de gases. Esse equipamento tem como vantagem a versatilidade, além de dispensar a utilização de tubulações de distribuição, que são caras e podem romper-se sob a ação dos recalques, ou deteriorarem-se sob a ação do sol e calor.

Importante salientar que a recirculação é uma solução válida somente para as regiões onde a taxa de evapotranspiração é superior ao índice de precipitação pluviométrica. Ocorrendo essa condição, é possível coletar os líquidos percolados formados e reinjetá-los na massa de resíduos, como uma forma de reposição da umidade perdida pela evapotranspiração. Se o volume de água precipitada for muito superior ao perdido pela evapotranspiração, haverá um aumento sempre crescente no volume dos líquidos a serem recirculados, inviabilizando o processo.

Dos aterros que implantaram esse sistema, apenas o do Município de Campinas apresentou funcionamento satisfatório, justamente por apresentar condições favoráveis ao processo.

O cálculo do balanço hídrico, já comentado neste trabalho, fornecerá subsídios para o estudo da viabilidade de implantação desse sistema.

Sabe-se ainda que outros estudos estão sendo realizados no sentido de avaliar a viabilidade de utilização de digestores anaeróbios de fluxo ascendente para o tratamento de líquidos percolados; porém, até o momento não foram obtidos resultados práticos.

5.4 Sistema de Drenagem de Gases

Os drenos de gases nos aterros sanitários são normalmente constituídos por linhas de tubos perfurados, sobrepostos e envoltos por uma camisa de brita, atravessando verticalmente a massa de resíduos aterrados, desde a base até a superfície superior, como chaminés.

O dimensionamento desses drenos depende da vazão de gás a ser drenada; porém, como não existem modelos de geração comprovados, normalmente esses drenos são construídos de forma intuitiva, prevalecendo o bom senso do projetista.

Na prática, o diâmetro dos tubos a serem utilizados varia de 0,20 a 1,00 metro, em função da altura do aterro. Assim, nos aterros de pequena altura (até 15 m) e grande área superficial são utilizados tubos de até 0,40 m. Nos aterros de alturas maiores são utilizados tubos armados de até 1,0 m de diâmetro, visando dar vazão aos gases gerados e suportar os recalques diferenciais e a movimentação sofrida pelos resíduos aterrados.

Quando são utilizados tubos de até 0,40 m de diâmetro, costuma-se também preenchê-los com pedras britadas, de forma a conferir maior resistência à estrutura.

Ao redor dos tubos é colocada uma camada de pedras britadas, formando uma camisa de espessura igual ao diâmetro do tubo utilizado (ver Figura 5.3.).

Pode-se dizer que esse método é um legado histórico, adotado por quase todos os projetistas de aterros, podendo, entretanto, ser substituído por uma outra estrutura que tenha idênticas funções. Por exemplo, podem ser utilizados fardos de tela metálica, de formato cilíndrico, preenchidos com pedra, sem tubo condutor. Nesse caso, mesmo que ocorra oxidação e conseqüente rompimento da tela, devido à ação corrosiva dos líquidos percolados, as pedras continuarão formando um canal drenante eficiente. Pode-se também utilizar uma fôrma ou camisa metálica, constituída por um segmento de tubo metálico com alças em uma das extremidades. Essa camisa é preenchida com pedras e, à medida que as camadas de resíduos se sobrepõem, é puxada pelas alças e novamente preenchida com pedras, repetindo-se a operação até a superfície final do aterro, formando um cilindro de pedras com funções idênticas aos drenos convencionais. No caso do uso de fardos de tela ou de camisas deslizantes, recomenda-se que nos últimos metros de dreno seja colocado um tubo condutor, permitindo assim que os gases saiam de forma controlada, e não de forma dispersa, rente ao solo, conforme demonstrado na figura 5.4.

Para o estabelecimento do espaçamento entre os drenos também não há um critério definido. Baseando-se em observações de campo, recomenda-se que entre um dreno e outro sejam deixadas distâncias que variem entre 30 e 70 m.

De qualquer forma, é comum observar-se a saída de gases pela superfície final dos aterros, mesmo no caso daqueles bem drenados. Essa observação é muito importante, principalmente quando se estuda uma utilização futura para o aterro encerrado. Conhecendo-se esse problema, recomenda-se que seja preparada, sob a cobertura final do aterro, uma malha de drenos horizontais, convergentes para os verticais, sempre que se pretenda um uso futuro de maior responsabilidade ao aterro, como estacionamento para veículos ou instalações que utilizem equipamentos elétricos.

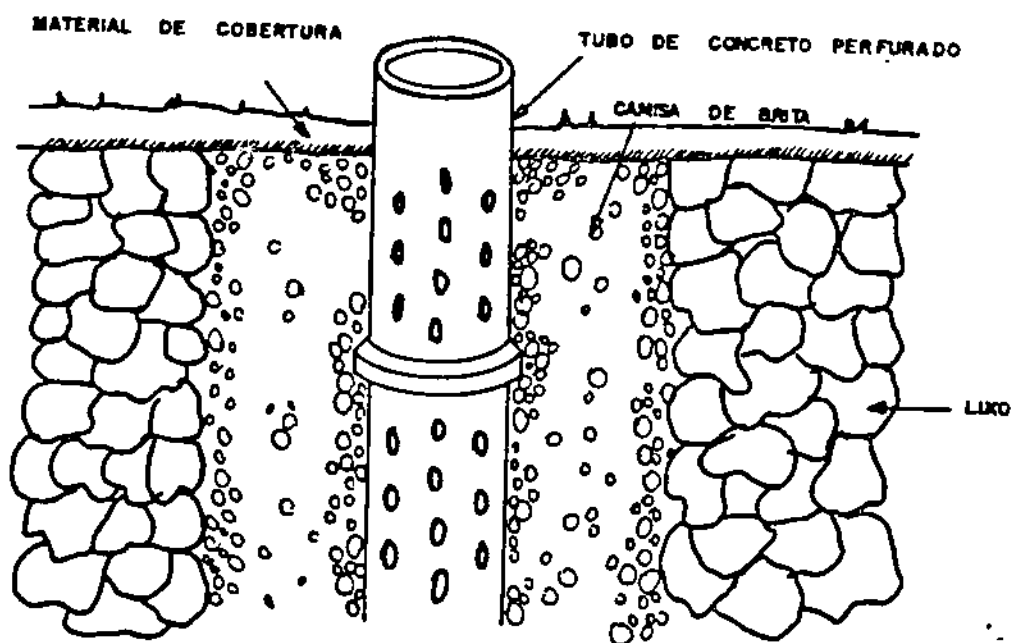


Figura 5.3 - Detalhe de um dreno convencional de gás

O ideal é, para esses casos, combinar uma malha de drenos bastante ampla com uma cobertura fina de pelo menos 1,0 metro de espessura de solo predominantemente argiloso, garantindo a saída dos gases apenas pelos locais previamente estabelecidos.

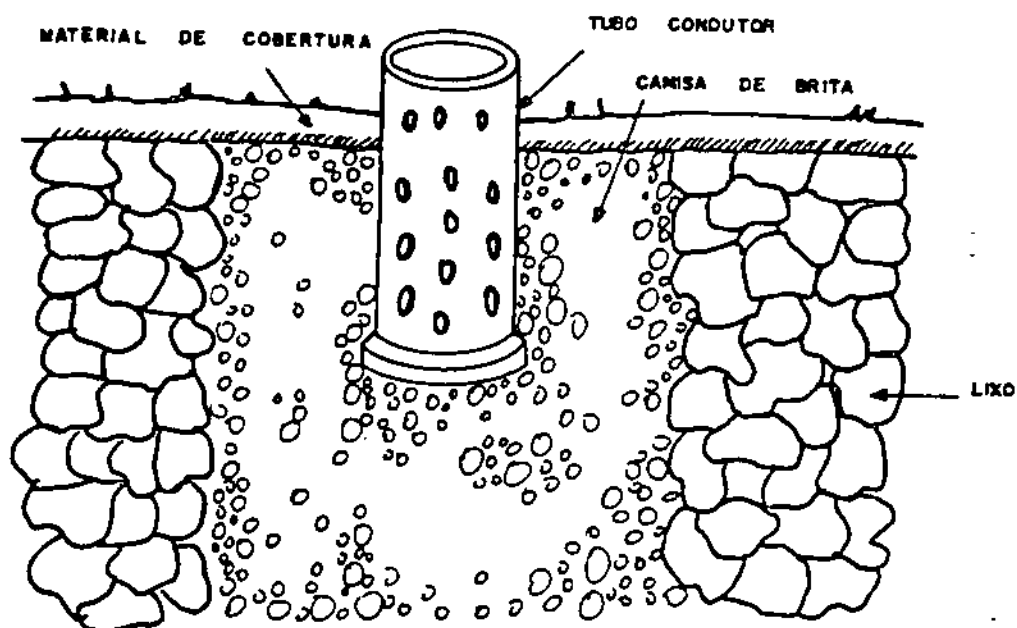


Figura 5.4 - Detalhe de um drenagem de gás, sem tubo condutor em toda sua extensão

5.5 Sistema de Drenagem de Águas Pluviais

O relacionamento entre os aterros sanitários e a água, das diferentes origens, é sempre muito delicado. A presença de água em excesso nos aterros, na sua fase construtiva, pode impossibilitar totalmente a compactação e cobertura dos resíduos ou, até mesmo, impedir o acesso aos veículos que transportam os resíduos. Quando encerrados, os aterros podem ter suas estruturas destruídas pelas erosões, caso não sejam tomadas medidas preventivas especiais.

As águas de nascentes e córregos devem ser evitadas já na escolha da área a ser utilizada. As águas provenientes das chuvas, entretanto, são inevitáveis, podendo precipitar-se nas imediações ou sobre a própria obra.

As águas precipitadas nas imediações dos aterros devem ser captadas e desviadas por canaletas escavadas no terreno original, acompanhando as cotas de forma a conferir uma declividade conveniente ao dreno. Dependendo do tamanho da área de contribuição, várias dessas canaletas devem ser escavadas, de forma a diminuir a vazão a ser conduzida.

Com o desenvolvimento do aterro, algumas dessas canaletas podem ser destruídas, devendo ser imediatamente substituídas por outras, localizadas numa cota superior.

As canaletas que são destruídas pela própria evolução do aterro são chamadas de "Drenagem Provisória". Como têm curta duração, não necessitam de revestimento ou obras especiais, sendo escavadas por retroescavadeira ou pelo próprio trator de esteiras, ajustando-se a lâmina de forma a produzir um sulco em forma de "U" com cerca de 0,40 m de profundidade. Nos terrenos muito acidentados, podem ser escavadas manualmente, devendo ser refeitas sempre que necessário.

São chamadas de "Drenagem Definitiva" as canaletas que permanecem ativas mesmo após o encerramento das atividades do aterro, devendo proteger o aterro durante o tempo necessário para que a obra seja reincorporada ao ambiente local, ganhando assim estabilidade.

A drenagem definitiva, por ser uma estrutura de maior responsabilidade, deve ser adequadamente projetada e construída, lembrando sempre a sua longa duração. Nos trechos de maior declividade ou onde as velocidades excederem os limites de segurança para o tipo de solo existente, devem ser providenciados o revestimento das canaletas e a construção de dissipadores de energia, além de ser estudado o melhor formato de seção

transversal a ser utilizado.

As drenagens de águas de chuva devem também ser construídas junto a todas as demais estruturas do aterro que necessitem de proteção, como cortes no terreno, estradas etc.

As águas de chuva precipitadas sobre a área aterrada fatalmente irão infiltrar-se e gerar líquidos percolados ou escoar superficialmente sobre taludes e bermas, transportando material de cobertura e expondo os resíduos.

Os cuidados devem começar pela superfície final do aterro, que está sujeita a recalques diferenciais causados pela decomposição dos resíduos, que podem dar origem a depressões ou a formação de canais preferenciais de escoamento, ambas inconvenientes por possibilitar o acúmulo de água ou surgimento de erosões.

A superfície final deve, assim, ser construída com um formato de cúpula, levemente abaulada, ou de telhado, de forma a compensar esses recalques.

No topo do talude da camada final e na base dos taludes das demais camadas deverão ser construídas linhas de drenagem para captação das águas que escoam superficialmente. Essas linhas de drenagem são constituídas por canaletas revestidas com meias-canas de concreto, que captam e conduzem essas águas para fora do aterro, através das laterais ou pelas camadas inferiores.

A utilização de meias-canas de concreto é interessante porque nessas regiões não podem ocorrer erosões em hipótese alguma, sob pena de ter-se as laterais do aterro seriamente comprometidas, e também porque as meias-canas não formam uma estrutura inteiramente rígida, podendo funcionar satisfatoriamente, mesmo após a

ocorrência de recalques diferenciais.

A cada 50 m, no máximo, devem ser construídos nas canaletas de drenagem pontos de descarga, constituídos por caixas de passagem em alvenaria, que distribuem o fluxo para as camadas inferiores. Essas estruturas são necessárias porque, para a manutenção de uma declividade mínima de 0,5%, se forem percorridas distâncias maiores, corre-se o risco de escavar-se além da camada de cobertura, expondo os resíduos.

Os taludes e patamares também podem sofrer recalques, permitindo que as águas captadas escapem na drenagem. Por isso, os patamares deverão apresentar também uma declividade transversal que favoreça o escoamento em direção à base dos taludes, formando uma espécie de calha que tem na linha central as canaletas de drenagem.

O dimensionamento da drenagem definitiva é imprescindível, pois deve permanecer ativa mesmo após o encerramento das atividades do aterro. É comum, nos aterros, a destruição das drenagens superficiais devido à falta de dimensionamento. Nesses casos, a reconstrução da drenagem perdida e a recuperação das estruturas deterioradas é sempre muito mais onerosa do que o projeto bem elaborado.

Como os aterros possuem geralmente áreas superficiais menores que 50 hectares, para o cálculo das vazões a serem drenadas pode ser utilizado o Método Racional:

$$Q = C.i.A$$

onde:

- Q = vazão a ser drenada na seção considerada (m³/s)
 C = coeficiente de escoamento superficial (Tabela 5.7)
 A = área da bacia contribuinte (m²)
 i = intensidade da chuva crítica (m/s)

TABELA 5.7 - VALORES DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL. - (C)

TIPO DE COBERTURA	SOLO ARENOSO DECLIVIDADE		SOLO ARGILOSO DECLIVIDADE	
	< 7%	> 7%	< 7%	> 7%
Áreas com matas	0,20	0,25	0,25	0,30
Campos cultivados	0,30	0,35	0,35	0,40
Áreas granadas	0,30	0,40	0,40	0,50
Solos sem cobertura vegetal	0,30	0,60	0,60	0,70

A intensidade de uma chuva depende do seu tempo de duração e do seu período de retorno. A chuva crítica é a que determina a maior vazão esperada numa dada seção de estudo, e tem duração igual ao tempo de concentração da bacia ($t = t_c$), isto é, aquele tempo gasto para que uma gota de água precipitada no ponto mais distante na bacia em relação à seção considerada, atinja esta seção. O tempo de concentração pode ser calculado por uma das seguintes fórmulas:

$$t_c = 5,3 \left(\frac{L}{I} \right)^{1/3} \quad (\text{em min}); \text{ ou}$$

$$t_c = 57 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,388} \quad (\text{em min})$$

onde:

L = comprimento do talvegue máximo da bacia (km);

H = altura máxima do perfil longitudinal do talvegue máximo (m);

I = declividade média do talvegue máximo (m/m), sendo $I = \frac{H}{L}$

Para determinação da intensidade da chuva crítica, utiliza-se, entre outras, a seguinte equação:

$$i (t_c)^{-1} = \frac{1}{t_c} \left[0,2 \ln T + 0,52 \right] + (0,54 t_c^{-0,25} - 0,50) \cdot P(60,10)$$

onde:

i = intensidade da chuva crítica (mm/min);

t_c = tempo de concentração (min);

$P(60,10)$ = precipitação com duração de 60 minutos e período de retorno de 10 anos (mm), já ocorrida (na Tabela 5.8 tem-se valores para algumas cidades);

T = período de retorno em anos, devendo ser igual à própria vida útil do aterro.

Conhecida a vazão de projeto, o dimensionamento dos canais pode ser determinado através da expressão de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} S R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}}$$

onde:

Q = vazão de projeto (m³/s)

n = coeficiente de rugosidade das paredes do canal
(Tab. 5.9)

S = área molhada da seção transversal do canal (m²)

$R_h = \frac{S}{p}$ = raio hidráulico da seção do canal (m)

i = declividade do canal (m/m)

P = perímetro molhado, perímetro da seção ocupada pelo líquido descontando-se a linha de superfície livre (m)

Tabela 5.8 - Valores de P (60,10) para 60 localidades brasileiras

ESTADO	POSTO *	CIDADE	P (60,10) (mm)
RIO GRANDE DO SUL	1	Alegrete	67
	7	Bozza	49
	21	Caxias do Sul	54
	24	Cruz Alta	66
	27	Encruzilhada	43
	35	Ijuí	56
	58	Fleissow Fundo	43
	61	Porto Alegre	64
	68	Rio Grande	68
	71	Santa Maria	62
73	Sta. Vitória do Palmar	62	
80	S. Luiz Gonzaga	64	
94	Urucaria	58	
95	Viamão	57	
Santa Catarina	14	Hermesopolis	72
	29	Florenopolis	70
	77	São Francisco do Sul	65
Paraná	28	Curitiba	68
	37	Jacarezinho	52
	53	Paranaguá	70
	60	Primeira Grande	54
São Paulo	8	Arara	64
	42	Lins	52
	58	Pindamonhangaba	58
	74	Santos - Itapema	140
	75	Santos	64
	78	São Carlos	70
	81	São Simão	61
Rio de Janeiro	2	Alto Itaipua	60
	8	Barra	69
	16	Cabo Frio	50
	17	Campos	55
	34	Ipanema	72
	38	Jardim Botânico	67
	41	km 47 Rod. Pres. Dutra	78
	49	Niterói	64
	49	Nova Friburgo	60
	57	Petropolis	75
	58	Pindamonhangaba	64
	63	Praça XV	74
	64	Praça Saens Peña	60
	66	Resende	70
	70	Santa Cruz	57
	69	Terresopolis	66
95	Vassouras	58	
98	Volta Redonda	67	
Espirito Santo	67	Vitoria	59

ESTADO	POSTO *	CIDADE	P (60,10) (mm)
Minas Gerais	9	Barbacena	69
	13	Belo Horizonte	62
	55	Passo Quatro	44
Bahia	63	Salvador	60
	5	Aracaju	65
Alagoas	40	Maceio	55
Pernambuco	47	Nazare	44
	50	Ondara	60
Paraíba	49	João Pessoa	50
	79	São Gonçalo	62
Rio Grande do Norte	46	Natal	56
Terr. Fed. do Nordeste	20	Fernando de Noronha	70
Ceará	31	Fortaleza	54
	33	Guaramiranga	54
	65	Quixeramobim	66
Piauí	68	Teresina	60
Maranhão	10	Barra do Corda	70
	79	São Luiz	59
	81	Turussu	66
Para	3	Alto Tapajós	60
	12	Belém	62
	64	Espera	63
	65	Tapachna	76
Amazonas	29	Jacaré	57
	44	Maués	68
	54	Pannini	60
Roraima	62	Vaupés	60
	62	Porto Alegre	72
Mato Grosso	25	Cuiabá	68
Goiás	12	Catalão	60
	30	Formosa	57
	32	Goianópolis	70

FONTE: PFAFSTETTER, Otto: Chuvas Intensas no Brasil. Publicação do Ministério da Viação e Obras Públicas e Departamento Nacional de Obras de Saneamento, 1957. - Numeração original do autor.

Tabela 5.9 - Valores do coeficiente de rugosidade - n

Material do canal	n
concreto	0,013
terra	0,025
brita	0,030

Quanto à inclinação das paredes dos canais de drenagem, sugere-se que sejam seguidos os valores apresentados na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Inclinação dos taludes, em função do material do canal

Material do canal	Inclinação dos taludes
Concreto simples	1(V): 1(H)
Argila rija	
Solo argiloso	1(V): 1,5(H)
Solo siltooso	
Solo arenoso	
Cascalho ou brita	1(V): 2(H)
Terra solta	

Convém que seja verificada a velocidade de escoamento para a seção transversal obtida. A Tabela 5.11 apresenta alguns valores de velocidade máxima.

Tabela 5.11 - Velocidade máxima admissível, em função do material do canal

Superfície do canal	V_m (m/s)
Solo arenoso	0,60
Solo siltiloso	0,70
Solo argiloso	0,80
Argila rijá	1,00
Cascalho fino	1,20
Pedregulhos e cascalho grosso	1,60
Concreto	3,00

5.6 Monitoramento do Aterro

Um monitoramento pressupõe o acompanhamento da evolução de um determinado processo, obtendo-se subsídios para a realização de alterações no mesmo.

No caso do monitoramento de um aterro sanitário, não se busca obter elementos sobre o andamento do processo de decomposição dos resíduos, mas avaliar-se a influência dessa obra sobre o ambiente local.

Os aterros sanitários, mesmo aqueles que possuem todas as instalações de proteção ambiental, não podem ser considerados como obras herméticas. Seus efluentes gasosos e líquidos são formados inevitavelmente e lançados para fora da massa de resíduos. O monitoramento dos aterros tem justamente por objetivo avaliar as consequências da presença desses elementos no meio ambiente.

No Brasil, não se tem até hoje um nível de sofisticação do sistema de controle ambiental que justifique um acompanhamento da qualidade e/ou quantidade dos gases lançados pelos aterros na atmosfera, restringindo-se apenas ao acompanhamento dos líquidos percolados. Nesse sentido, são monitorados os recursos naturais mais vulneráveis às agressões ocasionadas por esses líquidos, que são os mananciais de águas superficiais e subterrâneas.

O monitoramento das águas superficiais resume-se à avaliação das alterações causadas pelo aterro nos cursos de água da região, tomando-se amostras a montante e a jusante da obra e estabelecendo-se comparações entre as características das mesmas.

O monitoramento das águas subterrâneas visa avaliar, através de métodos diretos e/ou indiretos, a influência do aterro nesses mananciais, principalmente no aquífero livre, isto é, aquele que tem seu limite superior definido pela superfície freática e, portanto, está sob condições de pressão atmosférica.

Os métodos diretos constituem-se basicamente na perfuração de poços em pontos estratégicos do terreno, visando cercar a área de influência do aterro. Esses poços são escavações especiais que penetram na área de saturação do aquífero, permitindo a retirada de amostras para a realização de análises laboratoriais.

Existem vários tipos de poços de monitoramento, com aplicações específicas, dependendo do estudo a ser realizado. Para fins de controle, isto é, para simples verificação da influência do aterro sobre o aquífero livre, são utilizados poços de filtro longo, que interceptam transversalmente o fluxo do aquífero de forma a detectar a passagem da pluma de poluição eventualmente existente.

Devido às diferenças de densidades, os elementos contaminantes podem definir níveis próprios de caminhamento no aquífero. Os poços de filtro longo não se prestam à definição desses níveis, uma vez que atravessam seções relativamente grandes. Quando é importante a definição exata da posição da pluma no aquífero, devem ser utilizados outros recursos, como os poços chamados multiníveis, que são uma combinação de vários poços simples, de filtro curto, em uma única escavação.

O número mínimo de poços a ser instalado, para fins de controle, é 4 (quatro), sendo 1 a montante e 3 a jusante do aterro, em relação ao fluxo do aquífero. O poço de montante tem a função de verificar a qualidade do aquífero antes de sua passagem sob o aterro, e os de jusante de avaliar se ocorreram alterações das características iniciais e em que grau ocorreram.

Com o objetivo de orientar a construção desses poços, a CETESB elaborou a Norma Técnica 06.010, de abril de 1980, que apresenta modelos construtivos que podem ser adotados. Sugere-se que essa norma seja consultada para a obtenção de informações mais detalhadas a respeito do monitoramento do aquífero freático.

Os métodos indiretos procuram, através do conhecimento de uma grandeza física, identificar as condições em que se encontram os materiais do subsolo, obviamente sem a realização de perfurações.

Para o estudo do subsolo para implantação de um aterro são mais utilizados a sondagem e o caminhamento elétrico.

A sondagem elétrica visa identificar a resistividade das rochas em diferentes profundidades, sob um mesmo ponto do terreno. Fundamenta-se na aplicação de correntes elétricas em 2 eletrodos metálicos, que são cravados no solo, com a aferição

dessa mesma corrente em 2 outros eletrodos cravados em pontos diferentes do terreno. Pela diferença de potencial observada entre os eletrodos de aplicação e os de aferição, da corrente elétrica pode-se calcular a resistividade das rochas existentes sob o ponto de observação e inferir-se sobre o tipo e/ou condições dessas rochas, bem como sobre a espessura das camadas formadas. Conhecendo-se o subsolo da região, pode-se ainda detectar alterações causadas por elementos estranhos, como poluentes, bem como o seu caminhamento, posicionamento, concentração etc.

No caminhamento elétrico valem as mesmas técnicas e princípios utilizados nas sondagens elétricas. Enquanto nas sondagens mede-se a resistividade das rochas em várias profundidades sob um mesmo ponto da superfície, no caminhamento elétrico mede-se a resistividade a uma profundidade aproximadamente constante, em vários pontos de um perfil do terreno. Assim, desloca-se um arranjo fixo de quatro eletrodos pelo terreno, fazendo-se uma medida em cada ponto predeterminado. Esse procedimento permite, por exemplo, o rastreamento de determinadas substâncias que compõem uma pluma de poluição.

De maneira geral, pode-se dizer que para o monitoramento do aquífero freático sob os aterros sanitários não existem procedimentos padronizados, válidos em quaisquer circunstâncias, devendo o projetista combinar as diferentes técnicas existentes visando um controle efetivo desse manancial.

Os sistemas de tratamento de líquidos percolados também exigem acompanhamento adequado, visando obter-se subsídios para avaliação de sua eficiência. Recomenda-se que sejam adotados programas de monitoramento específicos ao sistema de tratamento em estudo.

6. EQUIPAMENTOS

Nos aterros sanitários, as principais operações a serem realizadas são a compactação e a cobertura dos resíduos, além do corte e transporte de terra, abertura de drenos e estradas e o nivelamento de superfícies.

No Brasil, essas atividades são executadas por um conjunto de equipamentos básicos, constituído por:

- tratores de esteiras;
- pás-carregadeiras;
- retroescavadeiras;
- caminhões-basculantes; e
- motoniveladoras.

6.1 Tratores de Esteiras

Os tratores de esteiras, equipadas com lâmina empurradora reta ou angulável, são os equipamentos mais utilizados nos aterros sanitários, graças à sua versatilidade, potência e resistência. Esses tratores são utilizados tanto na compactação e cobertura dos resíduos quanto em tarefas auxiliares, como o corte de terras e a preparação e manutenção de estradas e drenos.

Em outros países, é comum a utilização de equipamentos especiais para a compactação de resíduos. São equipamentos que, em vez de esteiras, movimentam-se sobre rolos compactadores dotados de pés-de-carneiro ou facas, que trituram e compactam os resíduos com grande eficiência. Entretanto, apresentam algumas desvantagens que inviabilizam a sua utilização no Brasil, podendo-se citar:

- ineficiência na compactação dos resíduos em rampas (para formar as células), trabalhando melhor em superfícies horizontais;
- uso específico na compactação dos resíduos, não podendo ser utilizados no corte de terra, abertura de estradas e drenos e atividades similares; e
- preço muito elevado, pois são importados.

Os tratores de esteiras existentes no mercado, utilizados em aterros, podem ser divididos em três categorias:

- tratores com potência entre 40 e 50 HP;
- tratores com potência entre 70 e 90 HP;
- tratores com potência entre 140 e 160 HP.

Com relação às tarefas básicas a serem executadas pelo trator, pode-se adotar o seguinte critério:

- OPERAÇÃO TIPO I - O trator de esteiras efetua somente o manuseio e a compactação do lixo, mais o espalhamento de terra e a cobertura, adotando-se um adicional de tempo de operação de 30% para serviços diversos (melhoria de acessos, desenclhe de caminhões, arraste de materiais e outros serviços).

- OPERAÇÃO TIPO II - Idem à operação tipo I, mais corte de terra, a uma distância de transporte do material máxima de 60 m, para uso na cobertura do lixo.

A Tabela 6.1 é indicada para uma pré-seleção do trator mais adequado a um aterro sanitário, em função da qualidade de resíduos a serem dispostos diariamente.

Tabela 6.1 - Seleção de tratores de esteiras para aterros sanitários

Tipo de Operação	Quantidade de Lixo (t/dia)	Trator Indicado 1 Unidade (Potência em HP)
Tipo I	até 50	40 a 50
	até 250	70 a 90
	até 500	140 a 160
Tipo II	até 30	40 a 50
	até 150	70 a 90
	até 300	140 a 160

No dimensionamento do equipamento a ser utilizado, não se deve adotar duas máquinas pequenas ao invés de uma única máquina grande. O custo de operação das duas pequenas é superior ao de uma única máquina de igual capacidade.

Para aumentar o rendimento na operação dos resíduos, que apresentam reduzido peso específico, pode ser utilizada a lâmina Balderson, ou um complemento de tela que é ajustado sobre a

lâmina Reta ou a Angulável, permitindo a movimentação de uma quantidade maior de resíduos, sem desperdício da potência da máquina. O uso do complemento de tela tem a vantagem de não atrapalhar a visibilidade do operador, a despeito da altura total da lâmina ser aumentada.

Podem também ser utilizadas telas protetoras nas laterais do motor, impedindo a entrada de materiais leves, como plásticos e papéis, no sistema de arrefecimento.

Quanto as esteiras, deve-se preferir as mais largas, que dão melhores condições de suporte ao equipamento. Esteiras com sapatas estreitas escavam os resíduos em vez de compactá-los, prejudicando a formação das células e a cobertura dos resíduos.

6.2 Pás-Carregadeiras

As pás-carregadeiras, sobre rodas ou esteiras, normalmente são usadas em aterros de grandes dimensões, onde há necessidade de um volume considerável de terra para cobertura do lixo. Nesse caso, o trator de esteiras fica incumbido, unicamente, das funções de compactação do lixo, formação da célula e espalhamento da terra, cabendo à pá-carregadeira a função de corte da terra e a caminhões basculantes o transporte desse material até a frente de operação.

Quando a jazida fica próxima à frente de operação, as pás-carregadeiras podem também transportar o material cortado ao local onde será utilizado.

A título ilustrativo, a tabela nº 6.2 apresenta algumas características de produção de pás-carregadeiras de rodas com potências de 100 e 170 HP, máquinas fabricadas no Brasil, no

corte e transporte de terra.

Tabela 6.2 - Características de produção de pás-carregadeiras de rodas fabricadas no Brasil, no corte e transporte de terra

Potência da Pá-Carregadeira (HP)	Distância de Percurso (1) (m)	Tempo de Ciclo (2) (min.)	Produção (3) (mcc/h)
100 HP	0	0,48	39
	20	0,68	63
	50	0,94	45
	80	1,18	36
170 HP	0	0,48	155
	20	0,68	96
	50	0,94	70
	80	1,18	56

OBS: (1) - Distância de percurso em um sentido de direção.

(2) - Tempo de percurso + 0,48 min.

(3) - Carga da cacamba: 1,00 mcc (maquina de 100 HP) e 1,75 mcc (maquina de 170 HP).

mcc = metro cúbico no corte.

6.3 Retroescavadeiras

As retroescavadeiras são equipamentos de extrema versatilidade, desempenho múltiplas funções nos aterros sanitários. São utilizadas na abertura de valas, no terreno natural sobre as camadas de lixo, para execução de drenos, assentamento de tubulações etc.

Quando acopladas a pá-carregadeira, combinam as duas funções, sendo utilizadas inclusive como um guindaste, auxiliando no transporte e assentamento de tubos de concreto e outros objetos pesados.

A sua boa condição de equilíbrio e sustentação permite sua operação mesmo em terrenos de baixa capacidade de suporte e, quando acopladas com pá-carregadeira, podem desempenhar dupla função, obviamente dentro de seus limites de produtividade.

A produção estimada de uma retroescavadeira de 74 HP é de aproximadamente 300 a 500 metros lineares de escavação por dia, em solo natural.

6.4 Caminhões Basculantes

Os caminhões basculantes são utilizados para o transporte de materiais diversos, necessários nas várias atividades desenvolvidas nos aterros, como terra de cobertura, pedras, tubos e materiais de construção em geral.

Quando a jazida de terra fica distante da frente de operação torna-se inviável o transporte pela própria pá-carregadeira, sendo necessária a utilização de caminhões basculantes.

Nos aterros de pequenas dimensões, costuma-se fazer um estoque desses materiais de consumo próximo aos locais onde serão utilizados, dispensando-se, em seguida, os equipamentos.

Nos grandes aterros, a movimentação de materiais e as distâncias a serem percorridas também são grandes, tornando-se indispensável a permanência constante desses equipamentos.

7. ENCERRAMENTO DO ATERRO

Os aterros sanitários geralmente ocupam grandes áreas, alterando a topografia, as condições de escoamento das águas superficiais e subterrâneas, bem como outras características da região, sofrendo, conseqüentemente, uma ação intensa das próprias forças da natureza, que tendem a alterar ou assimilar a nova condição. Por isso, os aterros, mesmo aqueles já encerrados, exigem obras especiais que protejam as suas estruturas durante um tempo mais ou menos longo, que depende das dimensões e características construtivas do aterro, até que o mesmo esteja totalmente integrado ao ambiente local e, portanto, em condições de relativa estabilidade.

A superfície final e os taludes são partes mais vulneráveis, estando sujeitas a recalques e erosões que podem resultar na sua total deterioração. Os recalques mais significativos são os resultantes da própria degradação dos resíduos aterrados, ocorrendo com maior freqüência nas regiões onde é maior a altura do aterro e também nos taludes, que tendem a fletir para fora, facilitando o escoamento das águas pela sua superfície e propiciando o surgimento de erosões.

Como já mencionado, a superfície final do aterro deve ser preparada com declividades que compensem os principais recalques, favorecendo o escoamento das águas para fora do aterro, onde são captadas pelo sistema de drenagem. Dependendo da topografia, devem ser construídas canaletas que circundem a área aterrada, impedindo a chegada das águas de chuva precipitadas nas áreas circunvizinhas.

Os taludes e patamares, além de ser construídos com declividade adequada, devem ser drenados e protegidos, com o plantio de grama em toda a sua extensão, imediatamente após sua construção.

B. BIBLIOGRAFIA

Critérios geológicos básicos para a seleção de áreas para aterros sanitários - 1986 - CETESB - Geól. Leziro Marques Silva

Técnicas de monitoramento das zonas não saturada e saturada. Outubro/88 - CETESB - Geól. Elton Gloeden

Avaliação hidrogeológica de locais para implantação de aterros 1988/CETESB - Geól. Daniel C. Gomes

Métodos geofísicos aplicados à investigação da poluição das águas subterrâneas - Out/89 CETESB - Dr. José Milton B. Mendes

Drenagem em aterros Sanitários - 1979 - CETESB - Engº Alfredo Carlos Cardoso Rocca, Hélio Narchi, Maria Lais G. Leão, Nelson M. Nabhan, Pedro P. C. Neto.