

Embora os conceitos atuais de sistemas de disposição não utilizem essa capacidade como uma filosofia de projeto, a capacidade natural de atenuação é ainda considerada como um importante mecanismo de salvaguarda para os sistemas de coleta de chorume.

Deve-se considerar, ainda, que os sistemas predominantes no Brasil, apesar da legislação e dos novos conceitos, são os conhecidos "lixões", em que se emprega ao extremo, a capacidade natural do solo em atenuar a carga de contaminantes. Na maioria dos casos, certamente ocorrem sobrecargas que resultam na propagação de seus efeitos a longas distâncias, caso não sejam implantados mecanismos de contenção, parte de um processo denominado remediação de área.

Em função da quantidade relativamente pequena de resíduos dispostos diariamente no atual aterro de Olímpia, essa capacidade natural de atenuação deve ser necessariamente considerada, uma vez outras formas mais complexas de mitigação seriam inviáveis ao município, principalmente considerando-se a natureza dos resíduos dispostos.

A implantação de sistemas simplificados de drenagem e a exploração da capacidade do próprio aterro na atenuação da carga de chorume através da sua recirculação, somada a capacidade de atenuação do solo, constituem uma forma compatível de minimizar os efeitos do chorume.

3.3.3.2 Processos de Atenuação

Atenuação é processo físico, químico e/ou biológico, que causa um decaimento transitório ou permanente na concentração de contaminantes dos resíduos aterrados durante um determinado tempo ou distância percorrida.

Os solos naturais apresentam um sistema complexo e dinâmico em que interagem continuamente os processos físicos, químicos e biológicos. O solo é um sistema heterogêneo e polidisperso de componentes sólidos, líquidos e gasosos, em diversas proporções. Os solos são também bastante porosos e constituem corpos quimicamente solventes pela presença de água em seus interstícios. Os solos consistem de compostos quimicamente inertes, de substâncias de alta ou baixa solubilidade, e de uma grande variedade de compostos orgânicos e de organismos vivos.

Os solos apresentam um meio favorável no qual ocorrem atividades biológicas complexas de forma simultânea. A força de interação e a predominância de uma reação

sobre outra é controlada pelos constituintes específicos do solo. Os constituintes e sua importância variam com a matriz (rocha), o tempo, o clima, a topografia, e a vegetação. As principais propriedades do solo, que influenciam na mobilidade dos componentes dos resíduos são: (a) textura e distribuição do tamanho de partículas, (b) quantidade de hidróxidos (Fe, Mn, e Al), (c) tipo e quantidade de matéria orgânica, (d) capacidade de troca iônica, e (e) pH do solo.

A atenuação do chorume a partir de "lixões" e aterros de resíduos, ocorrem em dois estágios: (1) escoamento através da zona insaturada, e (2) escoamento através do aquífero subterrâneo.

3.3.3.3 Mecanismos de Atenuação

Os mecanismos de atenuação podem ser classificados em físico, químico e biológico. As principais formas de atenuação estão incluídas nesses mecanismos.

- Físico: filtração, difusão e dispersão, diluição e absorção
- Químico: precipitação/dissolução, adsorção/desorção, complexação, troca iônica e reações de redox
- Microbiológico: biodegradação aeróbia e anaeróbia

3.3.3.3.1 Mecanismos Físicos

3.3.3.3.1.1 Filtração

O chorume contém partículas suspensas de diversos tamanhos, em que a filtração é aplicável, contudo a remoção ocorre principalmente pelo efeito de coar. Neste caso as partículas acumulam-se nos vazios e a permeabilidade do solo decresce. Desta forma é possível a redução da migração do chorume devido a redução da permeabilidade. A extensão do processo resultante, como forma de atenuação é de difícil estimativa.

3.3.3.3.1.2 Difusão e Dispersão

Difusão e dispersão são dois mecanismos em que o chorume é diluído pela água existente no aquífero. A difusão molecular é causada pelo gradiente de concentração do

contaminante, que move de uma região de alta concentração para uma de baixa concentração.

A dispersão hidrodinâmica é o resultado de variações de velocidade da água e contaminantes no meio poroso, durante o escoamento. É um processo eficiente para atenuar os picos de concentração de contaminantes.

3.3.3.3.1.3 Diluição

A diluição reduz a concentração dos constituintes do chorume pela mistura que ocorre com as águas subterrâneas. O grau de diluição é proporcional ao fluxo de água em relação ao de chorume. Desta forma, esta depende também da textura do solo, sendo que quanto menor sua granulometria, menor será o fluxo e consequentemente o grau de diluição. Parâmetros tais como cloretos, nitratos, sulfatos e dureza, encontrados no chorume de aterros sanitários, são atenuados basicamente pelo efeito da diluição.

3.3.3.3.1.4 Absorção Física

A absorção física, é função das forças de van der Waals, da ação hidrodinâmica e das propriedades eletrocinéticas das partículas do solo. Supõe-se que os componentes orgânicos do solo constituem o primeiro fator para a quantificação dessa absorção.

3.3.3.3.2 Mecanismos Químicos

3.3.3.3.2.1 Precipitação/dissolução

Precipitação e dissolução são reações importantes que controlam os níveis e limitam a quantidade total de contaminantes no chorume, quando este percola através do solo. Os níveis de contaminantes são normalmente governados pela solubilidade da fase sólida. Particularmente, as reações de precipitação/dissolução são importantes na migração de metais. Por outro lado, a atenuação dos efeitos nos metais é bastante influenciado pelo pH do sistema (equilíbrio químico de reações).

3.3.3.3.2.2 Adsorção/Desorção

A adsorção é um processo através do qual as moléculas se aderem à superfícies de partículas individuais (principalmente argilas). A desorção, por outro lado, é processo em que as moléculas deixam uma determinada superfície. Ambos os processos dependem do pH e da natureza do solo e dos contaminantes.

Este mecanismo é considerado frequentemente como o mais comum na atenuação de contaminantes, reduzindo o total de sólidos dissolvidos no chorume. Além das argilas minerais, os sais de alumínio hidratado, óxidos de ferro e manganês e compostos orgânicos, são responsáveis pela adsorção de contaminantes.

3.3.3.3.2.3 Complexação

A complexação ou quelatação, é a denominação para a formação de complexos inorgânicos-orgânicos. Embora este mecanismo de atenuação ocorra, a extensão de seus efeitos é desconhecida e de difícil previsão.

3.3.3.3.2.4 Troca iônica

As argilas tem a propriedade de trocar íons de um tipo por outros. A capacidade total dos solos na troca de cátions é afetada pelo tipo e quantidade de material argiloso, matéria orgânica e pelo pH. Essa capacidade, denominada CEC (cation exchange capacity) é elevada para solos argilosos, reduzindo-se bastante para solos arenosos.

Em geral, minerais de silicato no solo, apresentam uma carga negativa permanente. Consequentemente, a propriedade troca de cátions, surge da necessidade do balanço da carga negativa da argila, na tentativa de atingir a neutralidade.

A capacidade de troca iônica dos solos dependem basicamente de: (a) tamanho das partículas, (b) quantidade de componentes orgânicos, e (c) pH. Solos contendo grãos pequenos apresentam maior superfície específica e maior possibilidade de troca. Os componentes orgânicos incrementam a capacidade de troca e a capacidade de troca de cátions aumenta com a elevação do pH do solo.

Na natureza, os mecanismos de remoção de metais por troca iônica não é significativa, pois outros cátions, tais como cálcio, magnésio, sódio e potássio, apresentam-se em maior concentração no chorume, ocupando o lugar daqueles.

3.3.3.3.2.5 Reações de Redox

São reações de oxidação e redução, que afetam muito a solubilidade dos contaminantes. Como exemplo, ferro e manganês no estado oxidado são muito pouco solúveis. A atenuação de outros metais em um ambiente redutor e na presença de sulfeto em quantidade suficiente, é mais favorável devido a queda de solubilidade.

3.3.3.3.3 Mecanismos Microbiológicos

A decomposição biológica de componentes orgânicos do chorume ocorre na estrutura do subsolo, sendo aeróbia ou anaeróbia, dependendo da presença do oxigênio molecular. Sob condições aeróbias, a matéria orgânica carbonácea, a amônia, o sulfeto, o fósforo, o ferro e o manganês são convertidos em dióxido de carbono, nitrato, sulfato, fosfato e formas oxidadas de ferro e manganês. Sob condições anaeróbias, a matéria orgânica carbonácea é decomposta em ácidos orgânicos, dióxido de carbono, metano e outros compostos orgânicos complexos. A denitrificação e a redução de metais são outras reações da atividade anaeróbia.

Em geral, a atividade microbiana provoca a imobilização pela conversão de compostos orgânicos e inorgânicos em massa celular, e através da precipitação de compostos inorgânicos. Neste caso também podem haver mobilização de compostos orgânicos pela solubilização e fragmentação em partículas menores e a solubilização de metais por reações de redução e a liberação sob condições ácidas (ácido carbônico e outros ácidos orgânicos).

3.3.3.4 Tendências da Migração de Contaminantes

A tendência de migração de contaminantes a partir de um aterro ou local de disposição de resíduos, depende basicamente das características do solo, características do chorume e das condições ambientais e das atividades no local. Os principais fatores ambientais e seus efeitos sobre os constituintes do chorume são descritos na sequência.

3.3.3.4.1 pH e Potencial Redox

O chorume de aterros para resíduos domésticos são geralmente ácidos pois o acúmulo de ácidos orgânicos das fases iniciais. Alguma neutralização pode ocorrer pela dissolução do carbonato de cálcio e de minerais presentes no solo. Muitas reações no chorume são governadas pelo potencial redox e pelo pH, dentre as quais a solubilização ou precipitação de ferro, manganês, outros metais, enxofre e fósforo, a conversão de nitrogênio e outras reações.

3.3.3.4.2 Matéria Orgânica

A migração de matéria orgânica no sistema solo água é bastante influenciada pela atividade microbiana, absorção e complexação. A decomposição microbiológica da matéria orgânica do chorume no solo, é um processo significativo como mecanismo de atenuação.

3.3.3.4.3 Alcalinidade

A alcalinidade do chorume é devido a carbonatos, bicarbonatos, silicatos, boratos, amônia, bases orgânicas, sulfetos e fosfatos. A alcalinidade dos solos é afetada principalmente pela dissolução e precipitação de carbonatos metálicos.

3.3.3.4.4 Principais Ions

Os principais ions no chorume são de sódio, potássio, cálcio, magnésio, cloreto e sulfato. A atenuação desses ions depende da solubilidade e da troca iônica. Contudo a diluição no aquífero é a principal causa na redução desses ions.

3.3.3.4.5 Nutrientes

Nitrogênio e fósforo constituem-se como macronutrientes. O nitrogênio pode existir na forma orgânica, como amônia, nitrito ou nitrato. A transformação do nitrogênio depende dos microrganismos, do pH e do potencial redox. Outros mecanismos podem ser considerados, tais como: adsorção, troca iônica e complexação. Os ions de nitrato são relativamente móveis e não são retidos pelo processo de troca iônica.

Compostos de fósforo no ambiente solo/água são submetidos à transformações físicas, químicas e microbiológicas complexas. Os mecanismos de atenuação para os compostos de fósforo são a absorção microbiológica, a precipitação, a complexação e a

solubilização, sendo que a solubilidade do fosfato no chorume depende do pH e da alcalinidade.

3.3.3.4.6 Metais

Os principais mecanismos que influenciam na mobilidade de metais são: precipitação/solubilização, absorção, troca iônica, complexação, e diluição. Cada metal, comporta-se de uma forma diferente no sistema solo/água. Os fatores ambientais que influenciam na mobilidade de metais são: pH, potencial redox, atividade microbológica e a química do solo.

3.3.3.4.7 Hidrocarbonetos Clorados e Pesticidas

Hidrocarbonetos clorados e pesticidas são atenuados principalmente por absorção. Outros mecanismos são a volatilização, a degradação microbológica, a hidrólise, a oxidação e a diluição. A adsorção e atenuação desses compostos aumenta proporcionalmente ao conteúdo de argila.

3.3.3.4.8 Virus

Os vírus sobrevivem no solo dependendo de algumas condições, tais como: pH, temperatura, umidade, nutrientes e antagonismo. Os vírus sobrevivem mais no subsolo que na superfície e podem viajar grandes distâncias e os fatores que controlam a distância percorrida dependem basicamente de: composição do solo, pH, solubilidade de compostos orgânicos e da quantidade de chorume.

3.3.4 Ações Gerais de Remediação de Áreas Degradadas

3.3.4.1 Generalidades

Nos EUA, até 1970 a realidade quanto à disposição de resíduos sólidos domésticos não era diferente do Brasil e de diversos outros países do mundo. Ravinas e erosões existentes nas proximidades de estradas e áreas municipais ou não desocupadas, incluindo-se terrenos alagadiços acessíveis, eram candidatos naturais para disposição dos resíduos sólidos domésticos. Através da atuação da EPA (Environmental Protection Agency), houve um trabalho intensivo de identificação e eliminação desses depósitos de lixo.

Embora reconheçam-se atuações importantes de ONGs e do Estado, através da Promotoria Pública, essas questões continuam a ser combatidas de forma ainda tímida no Brasil.

Persistem ainda inúmeros sítios empregados para disposição de resíduos, que hoje permanecem abandonados sem qualquer controle de manutenção para proteção do seu entorno. São conhecidas poucas ações de combate a esses "lixões" até a ocorrência efetiva de problemas ambientais ou de saúde pública.

Lixões cobertos, inativos ou abandonados permanecem como um problema para as comunidades no futuro. Os problemas causados por essas áreas degradadas podem tornar-se bem mais críticos e custosos, quando comparados aos novos sistemas implantados e operados dentro das especificações técnicas adequadas.

Olímpia apresenta uma situação típica, porém favorecida pela relativa organização do sistema através da cobertura periódica do lixo domiciliar, apesar de operacionalmente incorreto, uma vez que o trator de esteira somente empurra a massa de lixo, sem a preocupação com a compactação em rampa ou não.

Assim o atual aterro não constitui uma área abandonada e, ainda, apresenta um contorno relativamente conhecido e identificável, facilitando a elaboração de um plano adequado de recuperação (mitigação).

3.3.4.2 Impactos Causados por Lixões

Tecnicamente, lixões abandonados ou não, constituem um problema somente quando envolvem aspectos sanitários e de impacto ambiental, causados pelos resíduos e suas consequências, tais como a emissão e migração de gases e chorume. Em muitos casos, o lixão passa por processos naturais de decomposição que não são detectados e nem são nocivos.

Contudo, a medida que a população se expande, promove alterações no uso do solo, e nesses casos a presença de lixões ou sítios abandonados podem representar um impacto sobre a atividade humana. Nestes casos, se os impactos forem reais ou perceptíveis, a população deve ter respostas quanto aos riscos sobre sua moradia e a saúde.

Essas respostas são encontradas através do desenvolvimento de algumas etapas de trabalho:

- identificação da área degradada;
- identificação e delineamento dos caminhos através dos quais os contaminantes podem afetar as pessoas e o meio ambiente;
- análise dos impactos provocados por recalques;
- verificação de impactos visuais; e
- avaliação da reação das pessoas sobre os problemas existentes.

3.3.4.2.1 Identificação dos Caminhos Percorridos por Contaminantes

Os contaminantes podem se apresentar na forma gasosa no ar ou no solo, ou como chorume em águas superficiais ou subterrâneas.

A menos que a contaminação seja detectada primeiramente na área empregada como lixão, é importante definir a direção preferencial de deslocamento do contaminante a partir de sua origem até o ponto de detecção (WENTZ, 1989 e BELLANDI, 1988).

Para águas superficiais, o caminho é basicamente identificado por canais formados no solo ou manchas características na superfície. Em aquíferos subterrâneos o caminho do contaminante é identificado normalmente nas camadas mais elevadas, ou nos aquíferos mais superficiais.

Para identificação da origem dos gases, deve-se considerar que estes no solo, tendem a caminhar a partir de zonas menos permeáveis para zonas mais permeáveis, até encontrar a atmosfera.

3.3.4.2.2 Recalques do Solo

O recalque em áreas de lixão ocorre em função da decomposição dos resíduos aterrados. Muitas áreas de lixão podem encontrar-se pavimentadas, em função da expansão urbana, e os recalques provocam zonas de depressão, interrompendo o fluxo de drenagem superficial e propiciando o acúmulo de água e consequentemente, acelerando a deterioração do pavimento.

Embora não seja o caso, situações críticas podem ser encontradas em áreas urbanizadas sobre antigos lixões, principalmente se conta com significativa ocupação de residências, o que ocorre com frequência na implantação de núcleos habitacionais. Nesses casos os recalques provocam desde trincas até a destruição de moradias, além do rompimento de canalizações de água, esgoto e galerias da rede pública.

Na atual área de disposição de lixo de Olimpia, por não constituir uma área abandonada e sim em operação, não há ocorrência de problemas deste tipo. Neste caso, devem ser devidamente conhecidas as limitações em termo de ocupação da área, principalmente pelo fato da área situar-se na direção do crescimento municipal e pelo desenvolvimento do polo turístico das adjacências.

3.3.4.2.3 Reação dos Municípios

O impacto que os lixões, mesmo abandonados, causam sobre os moradores é sem dúvida negativo, gerando desconfianças e inquietações em função da poluição das águas e dos riscos de explosão pela presença do metano.

A manifestação do interesse e do temor desses riscos manifesta-se pelo acionamento do poder público, que são requisitados para desencadear ações que permitam a solução dos problemas existentes. Através da análise da possível reação dos municípios frente a questão, verifica-se a possibilidade de um impacto econômico significativo sobre os investimentos, que devem ser efetuados para implantação de um sistema de manejo dos resíduos.

A Prefeitura Municipal de Olímpia, prevendo esses problemas e visando minimizar os efeitos da presença de um sistema de disposição de lixo, busca melhorar as atividades operacionais, promovendo sua remediação e tomando as medidas necessárias para dar continuidade na disposição na forma de um aterro sanitário, até que se encontre uma nova área e se desenvolva um projeto adequado para a mesma.

3.3.4.3 Qualificação e Quantificação do Problema

As atividades de remediação de áreas degradadas deveriam ser regulamentadas a nível federal e estadual, sempre no sentido de preservar a saúde pública e o meio ambiente. Nesse sentido, e na ausência de regulamentações mais específicas, sugere-se que a estruturação das medidas a serem adotadas e em sua forma mais restritiva, seja com base na periculosidade dos resíduos dispostos. Desta forma, o tipo e a quantidade de resíduos constituem os principais elementos fundamentais para a adoção de medidas de remediação.

A identificação da área empregada para disposição de resíduos, como abordada anteriormente constitui somente a primeira parte para resolução do problema. Devem se seguir ações que permitam a análise e a proposição de soluções compatíveis.

3.3.4.3.1 Avaliações Ambientais

A condução de testes para definição dos tipos e das quantidades de contaminantes pode ser necessário, principalmente quando há um histórico com relação à disposição de resíduos industriais. Contudo, normalmente essa avaliação pode ser feita através de estudos locais, com o desenvolvimento de um histórico sobre a ocupação da área incluindo o potencial representado por eventuais geradores de resíduos perigosos nas proximidades. Na existência de dúvidas, torna-se necessária uma investigação de campo.

Essa avaliação preliminar torna-se necessária uma vez que as investigações de campo são custosas, principalmente aquelas que requerem a identificação e quantificação de contaminantes químicos, sem contar com a movimentação dos mesmos para fora da área empregada para disposição.

Felizmente, para o caso de Olímpia, os tipos de resíduos são bem identificados, apesar do controle precário da disposição. No caso ocorre o predomínio de lixo domiciliar típico, podas de jardim e praças e outros de origem industrial, porém não perigosos.

3.3.4.3.2 Especificação da Área Degradada

Uma forma de estabelecer critérios orientativos, que poderiam fornecer subsídios ao desenvolvimento das ações a serem implementadas na remediação de uma área degradada, seria o estabelecimento de uma classificação, em função do uso prévio predominante. Uma vez classificada, o proprietário da área poderia, em diversos casos, tomar medidas padronizadas para recuperação.

Embora essa classificação ainda não exista formalmente é possível estabelecer especificações básicas para determinados conjuntos de situações. As etapas naturais para abordagem do problema são: (1) avaliação preliminar; (2) inspeção da área; e (3) classificação.

A avaliação preliminar deve ser empregada para determinar os riscos potenciais de uma determinada área. Nesta etapa procura-se determinar se existem ocorrências de contaminação ambiental a partir do sítio considerado e se existe perigo imediato para as pessoas que habitam ou trabalham nas vizinhanças da área.

A inspeção da área envolve sondagens e amostragens para determinar a extensão da possível contaminação e respectivo comprometimento.

A classificação deve ser baseada na periculosidade representada à população e ao meio ambiente, em função da migração de substâncias nocivas seja através do subsolo, da superfície ou pelo ar.

3.3.4.4 Objetivos da Remediação

A remediação de áreas degradadas pode ser considerada, na maioria dos casos em três fases: (1) remediação, (2) mitigação, e (3) monitoramento.

3.3.4.4.1 Remediação

Consiste na eliminação de toda fração significativa da origem dos problemas. A Tabela 13 apresenta os tipos mais comuns de problema em áreas degradadas pela disposição de resíduos domiciliares e as respectivas ações que devem ser adotadas para sua eliminação na origem.

Tabela 13 - Tipos de problemas em lixões abandonados e ações para eliminação do problema na origem (TCHOBANOGLIOUS, *et al*, 1993).

Tipo de Problema	Ações para Eliminação dos Problemas na Origem
Recalques superficiais	Adição de solo para preenchimento da área recalçada, nivelamento de áreas pavimentadas; plantio de vegetação para fins estéticos e como forma de conter processos erosivos.
Erosões pequenas e exposição de resíduos	Adição de solo para preenchimento de canais de erosão, implantação de sistema adequado para drenagem de águas pluviais, reposição e compactação dos resíduos dispersos seguido de cobertura.
Deslizamentos do resíduos devido à instabilidade do talude	Retaludamento com reposição e recompactação dos resíduos, dentro das especificações de estabilidade, cobertura e implantação de drenagem superficial e subsuperficial adequada.
Emanação de gases em construções existentes na área	Instalação de sistemas para drenagem ativos sob as construções.
Emanações de gases em construções existentes fora da área	Instalação de um sistema perimetral ativo para controle de migração dos gases. Se a produção de gases é significativa, torna-se necessária a implantação de um sistema completo de drenagem de gases, com queimadores apropriados.
Afloramento e Movimentação de chorume para fora da área juntamente com as águas superficiais	Interceptação do chorume no ponto de afloramento da área, seu bombeamento, tratamento e disposição adequados.
Afloramento de chorume fora da área	Interceptação do chorume no subsolo no perímetro ou dentro da área através de valas interceptoras, ou implantação de paredes de isolamento, instalação de bombas para remoção de tratamento do chorume.

3.3.4.4.2 Mitigação

Quando os problemas relacionados aos contaminantes da área degradada é de difícil solução a curto prazo, ou são necessárias ações imediatas além daquelas previstas para o sistema. Essas ações são denominadas de mitigadoras, e devem ocorrer enquanto se implanta o conjunto definitivo de ações de remediação.

Exemplos de ações mitigadores existem nos casos de contaminação do lençol freático explorado por populações vizinhas ou nos casos de emanação de gases em edificações locais ou vizinhas, principalmente se o solo local é muito permeável,

3.3.4.4.3 Monitoramento

O monitoramento é o meio de garantir a eliminação dos problemas relacionados com a contaminação. O tipo e a forma de monitoramento depende basicamente do problema a ser remediado. No caso do chorume, são necessários poços de monitoramento do lençol subterrâneo e para os gases, o monitoramento do solo e do ar.

3.4 DESCRIÇÃO DO SISTEMA

3.4.1 Considerações

Considerando-se o tempo decorrido a partir do início das atividades de disposição no atual local de disposição de resíduos do município de Olímpia, como citado previamente, o termo mais apropriado para definir as atividades no local, seria a Remediação, ao invés do termo Recuperação.

Isto se deve ao fato de que a recuperação implicaria na resolução dos efeitos provocados pela presença do "lixão" ou aterro controlado, o que seria totalmente inviável, uma vez que a abrangência dos efeitos seria de difícil e dispendiosa avaliação, sem que se pudesse definir um procedimento efetivo para eliminação dos eventuais problemas.

Como descrito, a remediação estabelece um horizonte mais viável, pois visa a minimização desses problemas, por intermédio de atividades viáveis, o que é possível em função dos tipos de resíduos existentes no local.

Ao mesmo tempo em que se aplicará a remediação, o sistema deverá atender o município através da disposição adequada dos resíduos. Com a implantação de células de aterramento sobre bases recompostas e drenadas em cortes da parte mais elevada do aterro, será possível garantir um controle maior do percolado ou chorume. Isto

possibilitará ao sistema, assim preparado, dar continuidade ao processo de disposição do lixo na forma de um aterro sanitário

3.4.2 Descrição Geral

Considerando as premissas apresentadas na concepção, principalmente em relação ao fato de que a disposição ocorre a muitos anos na área, a remoção do lixo para se efetuar um preparo adequado da base do aterro visando seu isolamento, é inviável. Deve ser considerada neste caso a capacidade de atenuação natural em relação as áreas ocupadas previamente pelo lixo, que têm maior significância, ou seja, em uma faixa na extremidade inferior, que após o retaludamento, será denominada de Camada 1.

Na Camada 1, concentra-se a maior parte dos resíduos dispostos até o momento, embora verifiquem-se resíduos dispostos de forma dispersa sobre toda a área. É nessa camada que são verificados maiores volumes e a conformação preliminar de espessura considerável.

Em outros setores, o lixo está presente nas camadas superficiais, misturado ao solo. A remoção dessas camadas superficiais tem ocorrido ultimamente através da confecção de pequenas valas isoladas ou como material para cobertura do lixo em locais diferenciados. Os cortes efetuados pelo trator de lâmina em alguns pontos, seja para confecção de valas como para a obtenção de terra para cobertura, podem ser observados nas **Fotos 1 e 2** em anexo.

O retaludamento será acompanhado da confecção da drenagem periférica de chorume, ao pé do talude da Camada 1, como apresentado no **Desenho OLP-BSE**. Os taludes abatidos, devem apresentar uma relação V:H entre 1:2,5 e 1:3,0. A cobertura desta camada deve ser construída como final, apresentando uma espessura total de 1,0 m de solo compactado. Sobre a Camada 1 será lançada ainda uma camada complementar, que dará a configuração final do aterro, como mostrado no **Desenho OLP-LOut**. A base do aterro sob a Camada 1 não será, portanto, alterada.

A Camada 2 do aterro será implantada sobre bases escavadas, numeradas de 1 a 7, conforme apresentado no **Desenho OLP-BSE**. Essas bases deverão ser executadas a partir da escavação e recompressão com energia equivalente a um mínimo de 90% do Proctor Normal. As bases recompressadas, com um espessura mínima de 1,0 m, deverão apresentar um coeficiente de permeabilidade próximo a 10^{-6} cm/s. Esse valor é possível, em função

dos resultados dos ensaios realizados com as amostras do solo local, conforme indicado na caracterização efetuada.

As bases apresentam declives de até 1%, como forma de direcionar o escoamento superficial e impedir o acúmulo e reduzir a infiltração de água para o sistema de drenagem subsuperficial. Da mesma forma a cobertura entre camadas de lixo e a cobertura final devem apresentar um declive para minimizar a infiltração e a formação de chorume. O declive para a base e as camadas de cobertura intermediária (provisória) e final são indicadas nos cortes apresentados no **Desenho OLP-CRT**.

As bases deverão ser executadas em sequência, de acordo com as necessidades de ocupação, iniciando-se pela base B-01. Ao final da ocupação de uma determinada célula de aterramento, a próxima deverá estar apta a receber os resíduos. A sequência, considerando-se as células iniciais, pode ser visualizada nos **Desenhos OLP-EXE1 e EXE2**.

Ao final da ocupação das Bases 1 a 7 pelas respectivas células de aterramento, que compõem a Camada 2 (**Desenho OLP-CM2**), haverá ainda o avanço desta sobre a Camada 1, através de um complemento.

3.4.3 Drenagem

Para garantir um controle sobre o fluxo de líquidos e gases, o sistema deverá contar com elementos de drenagem, para direcionar o escoamento de chorume, gases e águas pluviais.

3.4.3.1 Chorume

Como discutido previamente, em função da inexistência de um tratamento efetivo da base do aterro, a implementação de drenos interceptores de chorume no limite inferior do aterro, embora não seja de grande eficiência, terá a função de capturar o líquido que escoar na interface solo-lixo e até a uma profundidade de 1,20m.

Essa medida que deverá ser adotada, visa reduzir a fuga de chorume para fora da área do aterro. Admite-se também, que a colmatagem da base tenha reduzido significativamente a permeabilidade desse solo, que naturalmente deve apresentar permeabilidade inferior a $2,3 \cdot 10^{-3}$ cm/s, conforme ensaios realizados.

Em termos de segurança do sistema, devemos considerar a capacidade de atenuação natural do solo, cujos mecanismos foram discutidos previamente.

A localização da linha de drenagem periférica de chorume é apresentada no **Desenho OLP-BSE**. O dreno a ser implantado deverá seguir os padrões apresentados no **Desenho OLP-DET**.

O chorume coletado pelos respectivos drenos deverá ser encaminhado para os poços de sucção e para sua recirculação no aterro a partir do tanque de armazenamento. A parcela a ser recirculada pelo poço TQ1 será aquela que exceder o montante que é encaminhado aos filtros anaeróbios para tratamento (**Desenho OLP-DET**).

3.4.3.2 Gases

Pertencem ao sistema de drenagem de gases, sete drenos verticais escavados na massa de lixo previamente aterrada, interligados aos drenos horizontais de chorume, nas sete células de aterramento. Quatro drenos deverão ser escavados sobre a Camada 1 de aterramento até a profundidade que alcance o solo natural. Estes quatro drenos deverão ter continuidade no complemento da Camada 2. A localização desses drenos é indicada no **Desenho OLP-Lout** e os detalhes construtivos no **Desenho OLP-GAS**.

Os drenos são estruturados por telas de aço soldado (tipo telcon), malha com dimensão máxima de 30 mm, formando cilindros de aproximadamente 1,0 m de diâmetro. Essas estruturas são inseridas na massa de resíduos por escavação, com adição de brita nº 4 ou pedregulho equivalente e no restante lateral da cava, preenchida com lixo novo.

Todos os drenos possuem um segmento de tubo que se projeta para fora do aterro, sendo sua posição identificada por uma cano de aço galvanizado de 1" com válvula, para controle de chamas e eventuais coletas de amostras, que se estende a cerca de 1,0 m. Todos esses drenos devem ser isolados por uma barreira para evitar danos à instalação.

Os drenos verticais são interligados através dos drenos de chorume compostos por brita nº 4 ou pedregulho equivalente. Essa interligação permite maior amplitude na captura. Todos os drenos serão dotados de um queimador.

Os gases coletados pelos drenos verticais, serão encaminhados diretamente para o queimador "flarc" localizado acima da superfície do aterro, dispensando qualquer outro tipo de instalação. Esse queimador deverá ser fixado no topo do tubo de aço galvanizado

ou material equivalente, apresentando diâmetro de 1" (25 mm), com altura superior a 3,0 m.

Esses conjuntos dreno-queimador devem ser isolados e identificados como área de risco, através de placas de aviso, não permitindo uma aproximação pessoas num raio de 10 m. Mesmos para o pessoal da manutenção, deve tomar muito cuidado na verificação e ignição das chamas, uma vez que durante o dia sua visualização não é clara. Neste caso deve ser verificado principalmente a direção do vento para aproximação.

3.4.3.3 Escoamento Superficial

O controle sobre o escoamento superficial tem prioridade sobre o próprio sistema de drenagem de chorume, uma vez as águas pluviais representam a parcela majoritária de contribuição na formação do percolado.

Desta forma o sistema de drenagem superficial deve estar apto para afastar rápida e eficientemente as águas pluviais, impedindo o empoçamento e direcionando o escoamento para fora da área do aterro, através dos canais distribuídos estrategicamente, denominados genericamente de SA e SC, para drenos triangulares escavados e canaletas em meia-cana de concreto, respectivamente.

O sistema proposto, constituído por canais superficiais de drenagem, é indicado no **Desenho OLP-LOut**. O respectivo desenho apresenta a localização dos canais e os locais de lançamento. O declive longitudinal dos canais internos deve situar-se entre 0,5 e 1,0%. A seção transversal dos canais triangulares poderá ser revestido de solo argiloso compactado ou cobertos com gramineas. Os canais situados ao longo do acesso Leste, em função do declive mais acentuado, deverão ser de meia-cana ou canaletas pré-moldadas de concreto.

Por tratar-se de um elemento bastante sensível às condicionantes geométricas (declives) e por fazer parte de uma proposta dentro de um plano de recuperação da área, não se definiu as dimensões e maiores especificações do sistema de drenagem superficial, uma vez que as configurações e demais elementos (lay-out) poderão ser reavaliados pela prefeitura, desde que dentro dos conceitos apresentados.

3.4.4 Recirculação do Chorume

As instalações do sistema de recirculação de chorume são constituídas por:

- tanques (poços) de recepção e bombeamento de chorume (TQ1 e TQ2);
- moto-bomba submersível;
- canalização da linha de recalque;
- tanque de armazenamento de chorume;
- poço de sucção e de distribuição de chorume; e
- canalização de distribuição do chorume;

O chorume coletado pelos drenos é encaminhado para os tanque de recepção, que por sua vez constituem os poços de sucção. O recalque é efetuado por uma moto-bomba submersível. Faz parte desta estrutura, uma tomada para conexão da fonte de energia e uma outra conexão de água para a linha de recalque. Alternativamente pode ser instalado um sistema liga desliga. Uma única bomba submersível poderá atender alternadamente os dois poços de sucção.

A moto-bomba deverá ter uma capacidade para bombear 10 m³/h a uma altura manométrica de 20 m. As canalizações de bombeamento deverá ser de PVC marrom DN 50. O traçado das linhas de recalque pode ser observado nos diversos desenhos.

As duas linhas recalque alimentam o tanque de armazenamento de chorume, que será empregado para controlar a vazão de infiltração no aterro, através dos drenos de gases e preferencialmente em valas-drenos. O tanque de armazenamento deverá ter sua base confeccionada com uma camada de solo local recompactado a 90% do Proctor Normal, que pode atingir uma permeabilidade inferior a 10⁻⁵ cm/s. O tanque de armazenamento é ilustrado no **Desenho OLP-TQA**.

A saída do tanque de armazenamento, localiza-se um poço de recepção e distribuição do chorume, que poderá ser operado por bombeamento ou sifonamento com mangueira flexível. A canalização de entrada do poço advinda do tanque de armazenamento deverá ser de PCV DN 100.

3.4.5 Tratamento de Chorume

Como indicado no **Desenho OLP-BSE**, o chorume coletado pelo sistema de drenagem será encaminhado para uma caixa de acumulação e distribuição, que controlará a distribuição do fluxo entre os filtros anaeróbios. Os filtros serão dispostos em duas linhas paralelas de três reatores cada. O fluxo será ascendente para todos os reatores. Após o tratamento, o efluente será encaminhado para um poço de infiltração, que contará com três valas dispostas radialmente, visando a infiltração do mesmo no solo.

Cada reator será composto por um corpo cilíndrico de concreto (tubo para galeria de águas pluviais tipo CA-02) com 1,5 m de diâmetro e altura total de 3,0 m. Os reatores serão preenchidos com brita nº 4, mantendo uma borda livre de 0,60 m.

A alimentação interna inferior dos reatores será feita através de tubos perfurados de pvc roscável de 3". A coleta do efluente de cada reator será feita mediante a tubo dreno de 75 mm, localizado a 35 cm acima do leito de britas (medida da soleira). Conexões externas permitirão a transição do tubo dreno para o tubo de PVC roscável de 3", assim como a manutenção de uma lâmina mínima de 5 cm de líquido sobre o tubo dreno.

O efluente final será coletado em duas caixas, sendo que uma delas receberá o efluente da segunda linha de filtros anaeróbios. A partir da última caixa de recepção o líquido efluente será encaminhado para o poço de infiltração e respectivas valas de infiltração.

O poço de infiltração apresenta diâmetro de 1,0 m e é constituído na parte superior por um segmento de 1,0 m de tubo de concreto para galerias e mais dois segmentos de 1,0 m de tubo dreno de concreto preenchidos de brita nº 4. A partir do segmento intermediário entre o primeiro e terceiro tubo, serão instalados tubos drenos de pvc de 75 mm, que serão dispostos no centro de valas de seção 50x50 cm preenchidas com brita nº 2 e dispostas radialmente a partir dos poços de infiltração.

O sistema de tratamento de chorume e as valas de infiltração são apresentados no **Desenho OLP-DET**.

3.5 OPERAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO

3.5.1 Acessos e Isolamento da área

O sistema será composto por acessos internos definitivos e provisórios. Os acesso definitivo também é denominado como principal e os provisórios como secundários.

O acesso principal, ao lado da guarita, deverá apresentar uma largura nominal de 6,0 m e sua base deverá atender os padrões adotados pela Prefeitura, para execução do sistema viário Municipal. O rigor se deve à operacionalização do sistema mesmo sob condições climáticas desfavoráveis. Os acessos secundários poderão ser executados com padrões menos rígidos, uma vez que atenderão o sistema provisoriamente e apresentarão largura nominal de 4,0 m. Os acessos principais contarão com um sistema de drenagem lateral para águas pluviais, composto à Oeste por canais triangulares escavados e compactados.

O sistema já dispõe de isolamento através de cerca em todo o contorno da área, inclusive aquela em frente à várzea. Além do cercamento, o sistema conta atualmente com uma linha de isolamento vegetal, que poderá ser expandida ao limite Norte. A função básica é a de reter materiais carreados com o vento e auxiliar no isolamento da área.

3.5.2 Sequência de Disposição

Propõe-se a sequência que segue, como forma de compatibilizar operacionalmente o sistema.

- O desperdício de material de cobertura deve ser rigorosamente controlado, uma vez que o balanço indica um déficit até a finalização do aterro com a cobertura final, havendo necessidade da exploração da área indicada para complementação. O controle deve ser tal que a cobertura deve se efetivar somente no final do período.
- Os taludes devem ser executados de tal forma que permita a compactação dos resíduos no sentido ascendente, o que ocorre com segurança e eficiência com um declive de 1:3 (V:H).

- Se verificada a necessidade, deve ser executado o dreno de pé de talude, dentro das especificações apresentadas para as bases.
- Durante os períodos de ociosidade do trator de esteira, este deve ser deslocado até o local de implantação da base seguinte, para preparação da mesma, segundo especificações apresentadas.
- O trator de esteira, segundo as especificações operacionais descritas, tem capacidade ociosa para execução da disposição e demais tarefas de movimentação de terra descritas, incluindo-se a confecção de acessos internos definitivos e provisórios.
- Uma vez concluída uma Base, o trator deve iniciar suas atividades na Base seguinte.
- As Bases podem ser executadas concomitantemente ao serviço de disposição de lixo sobre a Base anterior.
- Antes de concluída a disposição sobre uma determinada Base, as camadas iniciais de lixo aterrado, devem estar aptas a receber as camadas seguintes de sobreposição.
- Uma camada sobreposição somente deve ser iniciada após a total ocupação de área da camada inferior.

3.5.3 Transporte e Disposição dos Resíduos

Especificações Gerais

Sempre que possível o lixo deverá ser descarregado ao pé da rampa à frente de disposição, quando o trator de esteira deverá iniciar o espalhamento e a compactação. Este procedimento deve ocorrer no sentido ascendente, com deslocamento em rampa no sentido do menor percurso entre a base e o topo da camada de lixo disposto.

A disposição dos resíduos sólidos em aterros é efetuada através de sua compactação em rampa com relação (V:H) igual a 1:3, visando a obtenção de maior eficiência de transferência de energia pelo elemento compactador, reduzindo o volume inicial.

O equivalente a cinco ciclos, normalmente são suficientes para promover uma compactação adequada, contudo deverão ser considerados o tipo de material predominante

no lixo, necessitando por vezes, um número maior de passagens do trator. Esta atividade merece destaque, pois seu controle é fundamental para garantir uma densidade média mínima de 500 kg/m^3 , que confere a vida útil do aterro previamente especificada.

Sinalização

Para execução das células e, também, da cobertura, recomenda-se a utilização de sistema de demarcação de inclinação de rampa com linhas laterais, gabaritos ou pêndulo padronizado no próprio trator.

Ao final de cada período de disposição, é adicionada a camada de terra como cobertura, para evitar a presença de animais e proliferação de vetores.

Além de placas sinalizadoras nos acessos externos ao aterro, internamente, o sistema viário, assim como pontos singulares, devem receber a devida sinalização. São considerados críticos para sinalização:

- local de disposição de resíduos de serviço de saúde (frente de disposição e limites da área reservada para as valas sanitárias);
- queimadores de gases;
- lagoa de tratamento de chorume;
- localização da frente de disposição de lixo doméstico;
- indicação de operação em situações de emergência; e

placas sinalizadoras de direção para veículos transportadores.

3.5.4 Material para Cobertura

O material de cobertura diária deve apresentar permeabilidade mais alta mesmo após a compactação, ou seja, valores superiores a 10^{-4} cm/s , que pelas condições locais implica na baixa compactação dessa camada.

A camada de cobertura diária pode ser parcialmente removida para recebimento de novas quantidade de lixo. Essa atividade favorecerá posteriormente a migração dos líquidos e gases através da massa de lixo aterrada, aumentando a eficiência dos sistemas drenantes, além de representar uma economia em termos de material de cobertura.

Ainda, durante a cobertura, a face superior recebe uma camada um pouco mais espessa, pois deve admitir um sistema provisório de drenagem. Essa camada deve ser

removida quando houver a sobreposição de camadas de lixo. Assim, antes da descarga de novas quantidade lixo sobre uma camada previamente existente, o trator de esteira deve remover uma área compatível com disposição diária.

As cotas apresentadas sobre o aterro em suas diversas plantas, correspondem à condição final, com camadas de cobertura consideradas provisórias para camadas de lixo intermediárias, de espessura máxima de 0,40 m. Para a camada final de lixo, será lançada uma camada inicial com espessura mínima de 0,60 m, seguida alternativamente de uma de 0,25 m, com menor compactação para o recebimento posterior de solo orgânico para plantio de gramíneas.

A primeira camada de cobertura final para isolamento, deverá apresentar uma permeabilidade inferior a 5×10^{-5} cm/s, que pode ser resultante da compactação do solo existente no local. A cobertura deverá ser iniciada após o lançamento da última camada de resíduos sobre a respectiva célula.

3.5.5 Controle Tecnológico

O controle de fluxo é fundamental para o sistema, considerando-se a manutenção da qualidade do lixo que será disposto assim como a determinação de sua quantidade.

Na guarita de entrada o acesso somente deve ser permitido aos caminhões da coleta municipal, e aqueles cuja a origem for devidamente conhecida, regulamentada e cadastrada. O cadastro deve ser feito antecipadamente, junto à secretaria municipal responsável, com declaração do tipo de resíduo e sua quantidade estimada, além da assinatura de um termo de responsabilidade com relação as características dos resíduos a serem dispostos.

Todos os veículos, inclusive os da coleta municipal devem ter uma ficha de controle na guarita. Essas fichas devem ser atualizadas periodicamente, de acordo com o dados obtidos na planilha diária de controle. Os dados básicos das fichas são:

- Dados de identificação da empresa
- Tipos de resíduos e Classificação segundo a NB-10.004
- Quantidade estimada a ser disposta mensalmente ou diariamente
- Identificação dos veículos e forma de acondicionamento dos resíduos

- Quadro contendo especificação do dia e hora, quantidade e qualidade de resíduos dispostos, além do nome do responsável pelo transporte.

A planilha de controle diário deve conter os seguintes itens para preenchimento:

- Data como cabeçalho e responsável ou responsáveis pelas anotações
- Identificação do veículo (número de cadastro ou placa)
- Origem (se coleta municipal, a identificação da rota)
- Quantidade transportada
- Nome do responsável pelo transporte
- Dimensões do avanço da frente de disposição

Esses dados serão correlacionados com as medições da frente de avanço diária, como forma de controle quantitativo e de compactação do lixo aterrado. São dados fundamentais para o planejamento futuro do sistema.

Alguns aspectos são fundamentais para a garantia da qualidade do aterro e outros com relação à segurança, além daqueles descritos anteriormente:

- controle complementar contra proliferação de moscas e outros vetores
- coleta de material disperso dentro da área e nas adjacências do aterro, provenientes das atividades de disposição
- controle localizado sobre as águas pluviais
- combustão de biogás

O controle complementar contra proliferação de vetores está relacionado à existência de restos de alimentos que caem dos caminhões, ou são dispersos por animais e mesmo pela ação do vento, quando aderidos à sacos plásticos e papel. Esse material orgânico deve ser coletado, ensacado e dispostos na frente de trabalho. Normalmente, moscas existentes no local podem empregar esse material como substrato para ovos ou então utilizam como alimento, e sua concentração no local, e mesmo de outros tipos de animais, identifica a presença do material orgânico.

Normalmente, pela ação dos ventos, ocorre a dispersão, principalmente de sacos plásticos. Sua presença pode ser identificada nas adjacências da área de diversos aterros, mostrando ausência de serviço complementar. Embora a faixa de isolamento com arbustos, garanta a retenção de boa parte desse material, as adjacências devem ser observadas, principalmente, considerando-se a direção predominante dos ventos.

A presença de material disperso dentro da área do aterro favorece o transporte dos mesmos para fora deste, portanto, devem ser coletados, ensacados e dispostos na frente de disposição.

O controle de águas pluviais, sob o aspecto técnico ocorre através dos canais de drenagem projetados e indicados em planta. Contudo, durante a disposição e o avanço da frente de serviço, geram-se algumas situações transitórias, que podem favorecer a entrada de água resultante do escoamento superficial de áreas adjacentes. Essas situações, de difícil planejamento, requerem atenção durante a execução e disposição do lixo. O objetivo principal é afastar o escoamento superficial originado fora da área de influência da frente de trabalho, minimizando a percolação da água para dentro da massa de lixo previamente aterrada, e reduzindo a quantidade de chorume gerado, para valores compatíveis com o previsto em projeto.

Nesse controle de águas, deve-se acrescentar a manutenção dos canais projetados, especialmente aqueles existentes sobre camadas de lixo aterrada, uma vez que podem sofrer recalques consideráveis, principalmente nos primeiros anos de operação do aterro.

Cuidados especiais devem ser tomados pelos operadores do aterro e eventuais visitantes, com relação aos queimadores de gás instalados sobre os drenos verticais. Durante o primeiro ano de operação do aterro, não é esperada a geração de metano, porém após esse período, é verificada sua presença e o surgimento de chamas nos queimadores a partir de testes locais, devem ser tomadas medidas sinalizadoras no local, indicando a presença de chama, uma vez que a mesma é praticamente invisível durante o dia.

3.5.6 Ocupação Futura

Após a implantação dos elementos e instalações descritas, e efetivadas as atividades de cobertura final e terraplenagem, torna-se de grande importância que se destine uma utilização para o local, principalmente pelo fato de que a implantação de estruturas compatíveis e úteis, garantem não somente a revalorização da área, mas também a manutenção contínua, necessária para garantir maior segurança ao sistema.

A importância também reside no fato da área estar localizada ao lado de uma rodovia de grande movimento. Se forem executados os serviços de encerramento do aterro e o mesmo for abandonado, constituirá um problema sério em função da ocupação ilegal,

sem considerar os possíveis riscos decorrentes da falta de manutenção dos elementos constituintes do plano de recuperação.

Deverão ser evitadas quaisquer estruturas rígidas sobre o solo, principalmente na área delimitada pela presença do lixo domiciliar. Algumas edificações poderão ser implantadas somente na face leste do aterro ao longo dos limites da área, sobre o solo original.

4 MEMORIAL TÉCNICO

4.1 LIXO ATERADO PREVIAMENTE

Os resíduos estão sendo aterrados no local desde de 1989 de forma dispersa, com uma distribuição pouco uniforme, dificultando definir com alguma precisão o volume ocupado até o momento e portanto a massa efetiva disposta.

Para se estimar esse volume, foram criadas as malhas das superfícies topográficas para duas ocasiões: em 1988 e em 1998; conforme as plantas dos Desenhos OLP-TOP1 e OLP-TOP2. Empregando o Programa Surfer, foram obtidas as duas superfícies tridimensionais da Figura 2.

Computando os dados das malhas apresentadas na Figura 2, através das regras trapezoidal e de Simpson's, foram obtidos os valores de 67.930 m³ e 67.872 m³, respectivamente.

Esse valor, confrontado com a quantidade de resíduos dispostos desde de 1989, que foi estimado em 62.702 t, indica uma densidade de 0,92 t/m³, para uma mistura de terra e lixo.

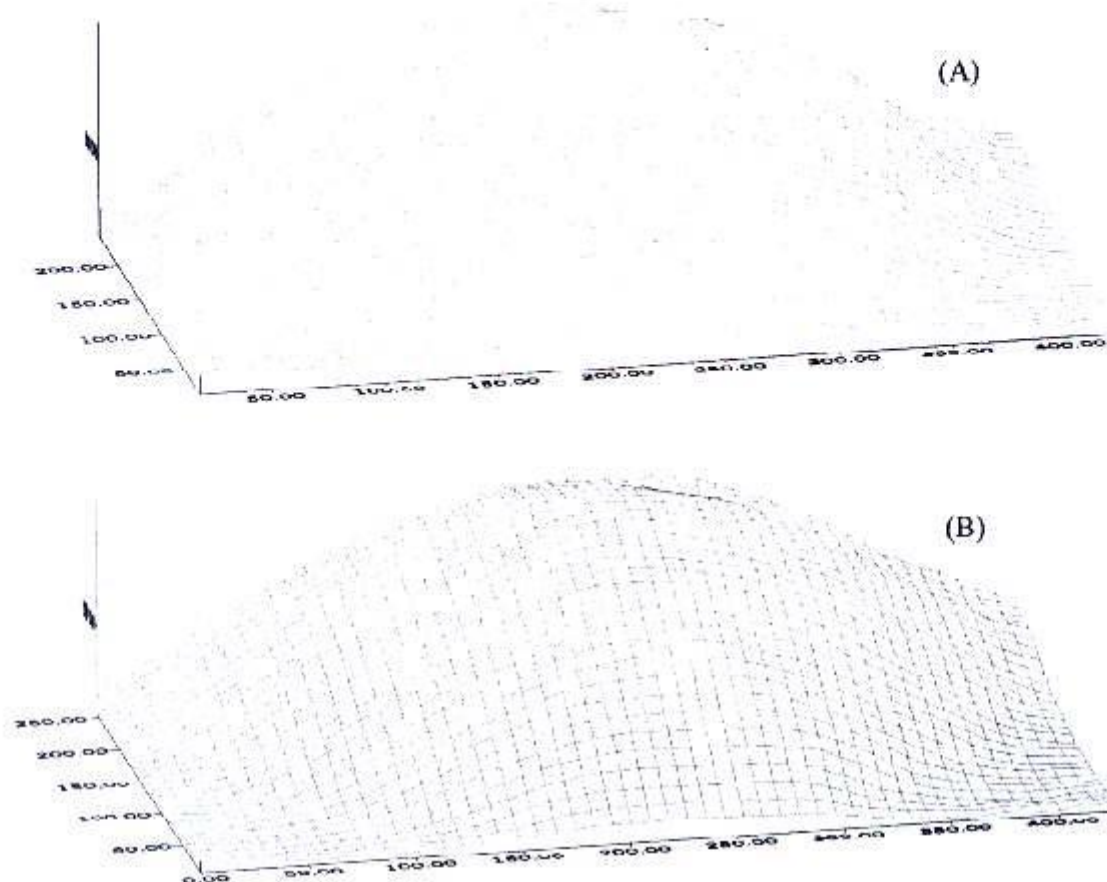


Figura 2 - Superfícies resultantes do levantamento topográfico para (A) condição atual e (B) condição em 1988.

4.2 VIDA ÚTIL DO ATERRO E DEMANDA DE TERRA PARA COBERTURA

A capacidade do aterro sanitário, foi determinada a partir das dimensões definidas na escavação das células, e posteriormente preenchida com lixo e terra de cobertura. Considerou-se uma massa específica do lixo compactado (somente o lixo), de 500 kg/m^3 . O volume de terra para cobertura, estabelecido como razoável e suficiente para a disposição diária, é de 20% do total (lixo + terra). A partir destas considerações, elaborou-se a Tabela 14, que descreve uma capacidade final de 105.423 t. Como quantidade inicialmente disposta, representada pela Camada 1, é de 62.702 t, a capacidade a partir de

1999 será de 42.721 t. Isto representa, para a configuração final descrita no **Desenho OLP-Lout**, uma vida útil até o ano 2005.

Tabela 14 – Especificação da capacidade do aterro sanitário e das respectivas células.

Referência	Capacidade				Áreas (m²)		Escavação
	Mássica (t)		Volumétrica (m³)		Avanço	Exposta	m³
	Disposta	Acumulada	Disposta	Acumulada			
Camada 1	62.702	62.702	67.872	67.872	17.875	17.875	
Célula 1	3.051	65.753	6.356	74.228	2.430	20.305	2.398
Célula 2	3.817	69.570	7.952	82.180	2.816	23.121	3.066
Célula 3	3.478	73.047	7.245	89.425	2.554	25.675	2.870
Célula 4	3.345	76.392	6.969	96.394	2.469	28.144	2.814
Célula 5	3.323	79.715	6.923	103.317	2.450	30.594	2.800
Célula 6	3.306	83.022	6.888	110.205	2.436	33.030	2.800
Célula 7	4.158	87.180	8.663	118.867	3.107	36.137	2.951
Complemento	18.244	105.423	38.008	156.875	2.191	38.328	

As células diárias determinam a demanda contínua de material de cobertura, e portanto a sequência de execução do aterro.

A determinação dessa demanda é feita a partir da definição de parâmetros dimensionais, a partir da concepção de célula diária mostrada na Figura 3.

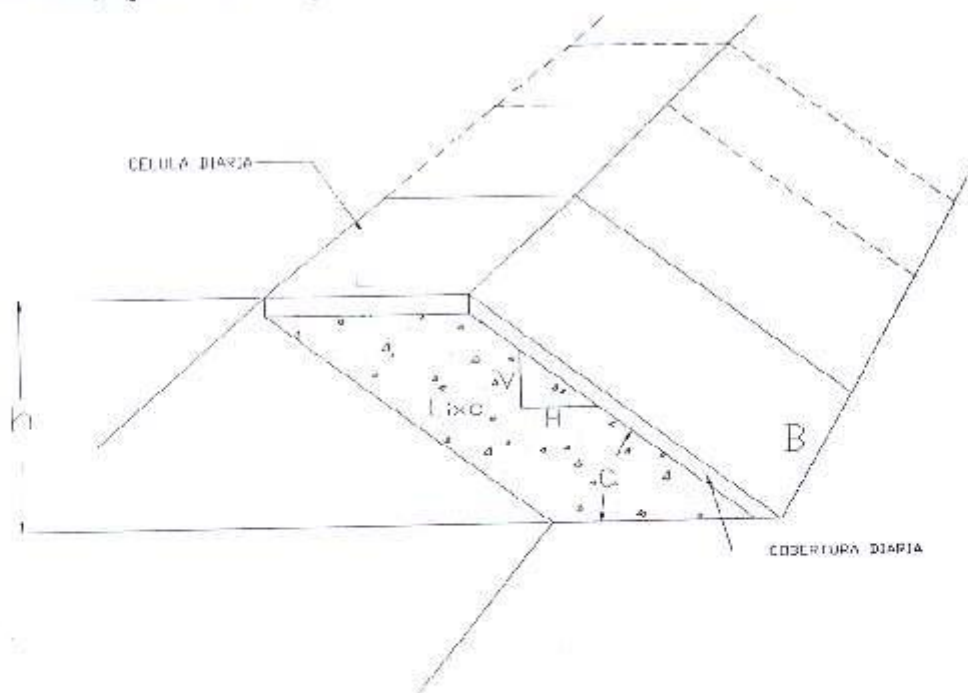


Figura 3 - Célula diária e parâmetros dimensionais.

A partir dos parâmetros dimensionais definidos pela Figura 3, e com base nas condições de contorno consideradas típicas, são determinadas as dimensões ótimas da célula. São condições de contorno:

- volume diário (V_{lixo}) = 44,2 m³;
- relação (V:H) = 1:3;
- relação ($V_{\text{lixo}}/V_{\text{cobertura}}$) = 5;
- espessura da camada de cobertura diária, e = 10 cm;
- altura total média da camada de lixo, inclusive cobertura, h = 3,5 m;

Para a camada de cobertura, vale a relação:

$$B = \frac{V_{\text{lixo}}}{L \cdot h}$$

e para as condições de contorno apresentadas:

$$L = \frac{1}{\left(\frac{1}{5 \cdot e} - \frac{1}{h}\right)} \cdot 0,3162$$

Esses dados permitem definir a quantidade de material de cobertura empregado em cada célula diária, e consequentemente a demanda temporal e as dimensões, associadas à execução das células ordinárias ou principais. Considerando-se valores operacionais médios, os valores apresentados na Tabela 15 podem ser considerados com relação a frente de serviço. A quantidade média diária de terra necessária para cobertura será em volume igual a 8,84 m³, que em in loco representam 7,07 m³.

O volume total disponível, partir das escavações das células de aterramento, será de aproximadamente 16.700 m³. A demanda de terra para a cobertura diária a partir de 1999, será de 17 800 m³ até o final da vida útil prevista para 2005. Porém considerando-se a necessidade material para a cobertura final, verifica-se um déficit que exigirá uma rígida administração do solo removido para a confecção das células de aterramento.

Tabela 15 Valores médios diários para a frente de serviço.

Parâmetros	Média
Largura da frente de serviço (m)	6,9
Avanço da frente de serviço (m)	1,8

4.3 SISTEMA DE DRENAGEM SUPERFICIAL

A determinação de vazão de drenagem, Q, de bacias e sub-bacias foi feita utilizando-se a Fórmula Racional.

$$Q = C \cdot i_c \cdot A$$

em que C: coeficiente de escoamento superficial médio;
 i_c : intensidade de chuva crítica; e
A: área de contribuição.

A intensidade de chuva crítica, em mm/h, foi calculada através da equação desenvolvida por Nelson L. Magni, considerando-se o tempo de concentração igual à duração da chuva e tempos de duração entre 10 e 60 minutos.

$$i = \frac{13,57 - 4,17 \cdot \ln \left(\ln \frac{T_R}{T_R - 1} \right)}{(t + 15)^{0,719}}$$

em que i : intensidade de chuva crítica (mm/min);
 T_R : período de retorno (anos); e
t : tempo de concentração (min)

O tempo de concentração, em min, pode ser calculado como:

$$t_c = t_s + 10$$

em que t_s é o tempo de escoamento, em min, após formada a lâmina líquida e pode ser calculada utilizando-se a fórmula de George Ribeiro, citada por Azevedo Netto.

$$t_s = \frac{16 \cdot L}{\left(1,05 - 0,2 \cdot P_a \right) \cdot \left(100 \cdot I_m \right)^{0,04}}$$

em que L: comprimento do talvegue (m);
 P_a : fração de área verde na hacia considerada; e
 I_m : declividade média do talvegue.

O período de retorno considerado para os canais em argila foi de 5 anos na maior parte dos casos e para o sistema de galerias, foi de 10 anos.

O dimensionamento dos canais foram baseados na Equação de Chezy com coeficiente de Manning:

$$\frac{Q \cdot n}{\sqrt{I}} = A_c \cdot R_h^{2/3}$$

em que n: coeficiente de Manning;

- A_c : área da seção transversal molhada do canal (m^2);
 R_h : raio hidráulico (m),
 I : declividade do canal; e
 Q : vazão de projeto na seção.

4.3.1.1 Canais de Argila

Os canais de argila comporão normalmente a rede de drenagem superficial existente sobre a superfície livre das camadas de lixo dispostas no aterro, seja em caráter provisório ou definitivo.

Os canais de argila também participarão da drenagem superficial de pé de talude em situações transitórias, quando existir extensões posteriores das respectivas camadas de lixo. Para fechamento definitivo das células de aterramento, com execução de cobertura final, os canais de pé de talude serão executados em meia-cana de concreto.

A forma escolhida da seção transversal dos canais em argila compactada foi triangular simétrico, apresentando inclinação lateral de relação (V:H) = (1/3), compatível com o talude do aterro. A equação utilizada para o dimensionamento foi a de Chézy com coeficiente de Manning, considerado igual a 0,025 para os referidos canais.

A verificação das dimensões dos canais de argila indicaram que o emprego da largura mínima é suficiente para permitir o funcionamento adequado do sistema de drenagem secundária.

Tabela 16 - Dimensionamento dos canais triangulares de argila compactada.

Seção	Área (m^2)	Cort. esp. superficial	Período de retorno (anos)	Distância máxima (m)	Decliv. do canal (m/m)	Decliv. do canal (m/m)	Tempo de concentração (min)	Intens. chuva crítica (mm/min)	Vazão (m^3/s)	Lâmina líquida (m)	Largura de lâmina (m)	Largura real (m)	Velocidade (m/s)
SA1	5,715	0,65	2	205	7,53	0,0120	13,3	1,88	0,12	0,21	1,27	1,20	0,88
SA2	14,384	0,65	2	152	2,53	0,0120	12,3	1,91	0,30	0,30	1,81	1,80	1,09
SA3	14,207	0,65	2	153	2,53	0,0120	12,3	1,91	0,29	0,30	1,90	1,80	1,09
SA5	4,203	0,65	2	191	1,85	0,0120	12,8	1,89	0,09	0,19	1,13	1,20	0,60
SA6	5,514	0,65	2	241	7,33	0,0120	13,5	1,85	0,11	0,21	1,29	1,20	0,65
SA7	3,773	0,65	2	169	7,50	0,0120	12,7	1,89	0,08	0,18	1,09	1,20	0,78
SA8	4,548	0,65	2	171	7,21	0,0120	12,5	1,90	0,09	0,20	1,17	1,20	0,82

4.3.1.2 Canais em Meia-Cana

Os canais em meia cana de concreto serão utilizados, genericamente, no transporte de águas pluviais em trechos onde a declividade é muito intensa, nas descidas de talude para a configuração final (pós fechamento) da superfície do aterro e em uma das laterais dos acessos internos principais.

Os cálculos para dimensionamento dos canais, foram baseados na formulação de Chézy com coeficiente de Manning igual a 0,013.

O dimensionamento dos canais e sua verificação em relação a velocidade máxima podem ser observados no respectivo quadro de dimensionamento.

Tabela 17 - Dimensionamento dos canais em meia-cana de concreto.

Seção	Área (m ²)	Coef. rug. superficial	Período de retorno (anos)	Distância máxima (m)	Decliv. dist. máxima (m)	Decliv. do canal (m/m)	Tempo de concentração (min)	intens. chuva crítica (mm/min)	Vazão (m ³ /s)	Diâmetro de 1/2 seção (m)	Diâmetro real (m)	Lâmina líquida	Velocidade (m/s)
SC1	16,128	0,85	2	204	7,5	0,0400	12,95	1,88	0,33	0,47	0,50	0,24	3,65
SC2	37,790	0,65	2	203	6,5	0,0500	12,51	1,88	0,77	0,63	0,65	0,31	4,86

4.4 GASES GERADOS

A geração de gás no aterro pode ser estimada com base na composição química esperada para os resíduos aterrados, especificamente os componentes orgânicos biodegradáveis.

A velocidade de degradação depende da natureza do componente, que pode ser classificado em duas categorias básicas: rapidamente degradável e lentamente degradável.

A primeira categoria, inclui restos de alimento, papel e papelão. Esses elementos, sob condições normais dentro do aterro demoram, em média, seis anos para estabilização. Dentro desse período, o primeiro ano, compreende uma fase de adaptação, em a geração de gases é praticamente nula. Após o primeiro ano, inicia-se a produção de metano, atingindo um pico próximo ao final do segundo ano. Como forma de se estabelecer critérios para quantificação dos gases gerados, considera-se razoável a distribuição triangular, como mostrada na Figura 4.

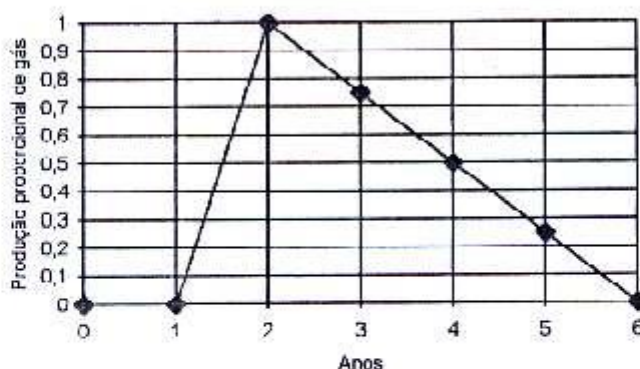


Figura 4 - Distribuição proporcional da geração de gás para componentes rapidamente degradáveis.

A segunda categoria de resíduos, sob condições normais, apresenta um tempo para estabilização total médio de 16 anos. Da mesma forma, somente no final do primeiro ano verifica-se o início de produção de gases, que atinge um pico somente ao final do sexto ano, reduzindo gradativamente a praticamente zero até o final do décimo sexto ano. Considerando-se a distribuição triangular, obtém-se o gráfico proporcional mostrado na Figura 5.

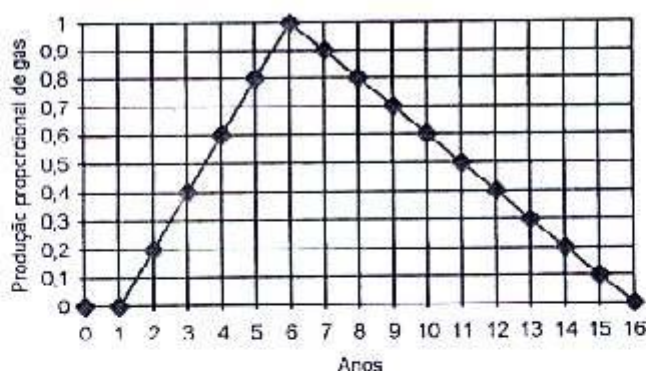


Figura 5 - Distribuição proporcional da geração de gás para componentes lentamente degradáveis.

Embora não existam dados específicos sobre as características quali-quantitativas do lixo de Olimpia, foram adotados valores médios encontrados a partir de parâmetros equivalentes de alguns municípios de porte médio do Estado de São Paulo.

Tabela 18 - Detalhamento qualitativo do lixo de Olimpia (estimativo)

Componente	Categoria	Massa (base úmida)	Umidade Típica	Massa (base seca)	C	H	O	N	S	Cinzas
Restos de Alimento	R	55,0	70	16,50	48	6,4	37,6	2,6	0,4	5
Papel, papelão	R	21,0	6	19,74	44	6	44	0,3	0,2	6
Têxteis	L	5,0	10	4,50	55	6,6	31,2	4,6	0,15	2,5
Madeira	L	1,1	20	0,88	49,5	6	42,7	0,2	0,1	1,5
Plástico	N	8,9	2	8,72	60	7,2	22,8	0	0	10
Vidro	N	2,6	2	2,55	R	rapidamente degradável				
Metais	N	5,4	2	5,29	L	lentamente degradável				
Outros	N	1,0	5	0,95	N	não degradável (ou dificilmente)				
Total		100,0								

A partir desses valores e da composição química típica para esses componentes, como mostrado na Tabela 18, foi possível estimar as formulações básicas para resíduos rapidamente e lentamente degradável:

- rapidamente degradável $C_{40}H_{64}O_{27}N$
- lentamente degradável $C_{16}H_{23}O_7N$

Resumidamente as reações químicas que resultam na geração de metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), com consumo de água, podem ser descritas como:

- rapidamente degradável



- lentamente degradável



Para determinação do volume de metano e dióxido de carbono, gerados nessas reações, basta conhecer: pesos moleculares, o percentual de componente degradável (seco) e seu peso molecular (com base na formulação), e os pesos específicos dos respectivos gases. Nas condições normais de temperatura e pressão, o peso molecular do metano é de $7,04 \text{ N/m}^3$ e do dióxido de carbono é de $19,41 \text{ N/m}^3$.

Os valores assim computados representam a quantidade máxima de gases que podem ser produzidas sob condições ótimas na degradação do material sólido volátil. A

quantidade real de gás gerado será menor pois nem toda matéria orgânica biodegradável está disponível para ser decomposta, tais como papéis em recipientes plásticos, ou então compostos orgânicos não expostos, que não apresentam umidade suficiente para sustentar as atividades biológicas. Sob essas condições, valores típicos de disponibilidade de 75% e 50% podem ser empregados para caracterizar resíduos rapidamente degradáveis e lentamente degradáveis, respectivamente.

A partir desses dados, determinou-se a geração de gases efetivas por unidade de massa de lixo aterrado, considerando-se as duas categorias: rapidamente e lentamente degradável, como mostrado na Tabela 19.

Conhecendo-se a taxa média de crescimento populacional e uma taxa de geração per capita, com base nos dados quantitativos atuais, determina-se a geração anual de gases no aterro, como mostrado na Figura 6.

Tabela 19 - Taxa de geração de biogás distribuída ao longo dos anos a partir do início da disposição de uma massa unitária de lixo (CNTF).

Ano	Rapidamente degradável		Lentamente degradável		Total	
	Taxa de Geração ao final do ano	Gases gerados no ano	Taxa de Geração ao final do ano	Gases gerados no ano	Taxa de Geração ao final do ano	Gases gerados no ano
	m ³ /kg.ano	m ³ /kg	m ³ /kg.ano	m ³ /kg	m ³ /kg.ano	m ³ /kg
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,0980	0,0490	0,0007	0,0004	0,0987	0,0494
3	0,0735	0,0857	0,0015	0,0011	0,0750	0,0868
4	0,0490	0,0612	0,0022	0,0018	0,0512	0,0631
5	0,0245	0,0367	0,0030	0,0026	0,0275	0,0393
6	0,0000	0,0122	0,0037	0,0033	0,0037	0,0156
7			0,0033	0,0035	0,0033	0,0035
8			0,0030	0,0031	0,0030	0,0031
9			0,0026	0,0028	0,0026	0,0028
10			0,0022	0,0024	0,0022	0,0024
11			0,0018	0,0020	0,0018	0,0020
12			0,0015	0,0017	0,0015	0,0017
13			0,0011	0,0013	0,0011	0,0013
14			0,0007	0,0009	0,0007	0,0009
15			0,0004	0,0006	0,0004	0,0006
16			0,0000	0,0002	0,0000	0,0002
Soma		0,2450		0,0277		0,2727

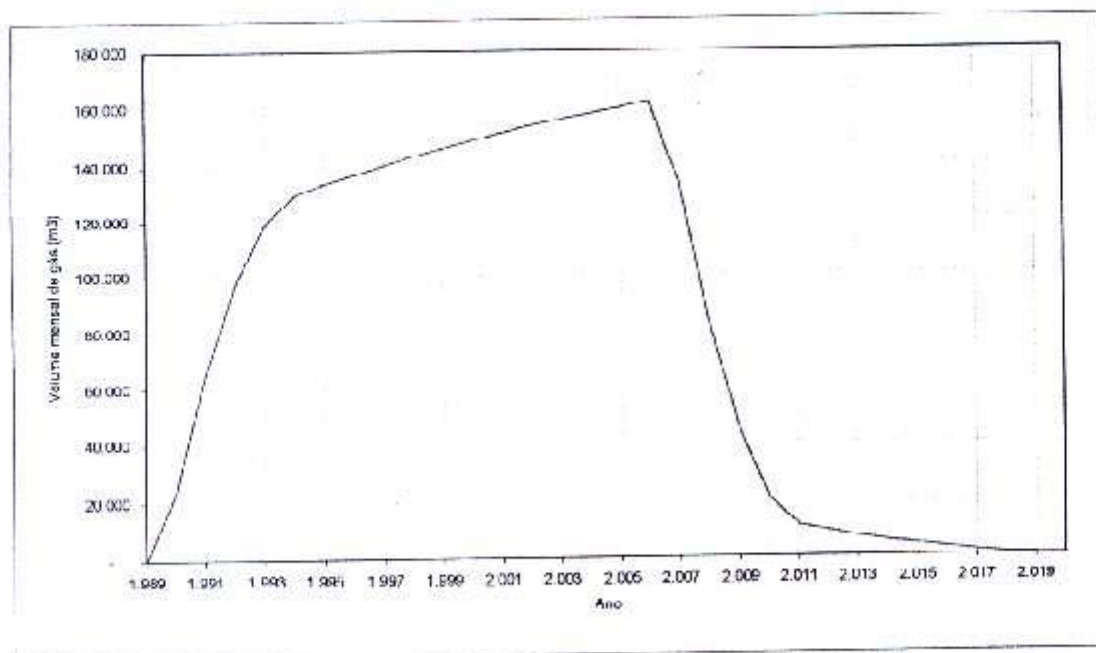


Figura 6 - Representação do potencial de geração de biogás no aterro de Olímpia.

4.5 MANEJO DE CHORUME

4.5.1 Quantidade Gerada

O potencial de formação do chorume pode ser determinado através do balanço de água no aterro. O balanço corresponde à soma de quantidades que entram e a subtração de quantidades de água que são consumidas nas reações químicas e a quantidade de água que deixa o aterro como vapor. O potencial, portanto corresponde à quantidade de água que excede a capacidade de retenção de umidade da massa aterrada.

A água que entra no aterro é representada principalmente pela umidade contida na massa de lixo e cobertura diária e aquela resultante do balanço entre precipitação, evapotranspiração, e da capacidade de campo da cobertura.

As quantidades de água consumida nas reações químicas e pela perda como vapor, embora relativamente pequenas, foram consideradas no presente balanço.

O balanço final de água no aterro, considerando-se a ocupação contínua do aterro e as entradas e saídas, como descrito previamente, resulta na geração de chorume. Porém, dependendo da capacidade de campo da massa aterrada. A capacidade de campo pode ser determinada a partir da expressão (descrita por Tchobanoglous, 1993):

$$FC = 0,60 - 0,55 \cdot \left(\frac{W}{4536 + 0,4536 \cdot W} \right)$$

em que

- FC: capacidade de campo (fração de massa);
- W: taxa de sobrecarga considerada na altura média da camada de lixo considerada (kg/m²)

A parcela correspondente ao percolado resultante do balanço hídrico sobre a camada de cobertura do aterro será determinada com base no balanço proposto por Hanley e Geare (1975), descrito por Rocca (CHESB-1993). Este valor é apresentado na Tabela 20.

Tabela 20 - Balanço hídrico para a camada de cobertura do aterro de Olímpia.

Parâmetro (mm)	Meses												Anual
	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
FP	133,3	109,87	126,9	107,29	86,257	57,763	54,437	78,939	94,278	127,41	133,57	139,01	1.249,0
P	276,7	208,0	179,8	112,8	47,1	28,9	12,1	15,6	58,9	100,2	117,8	238,4	1.396,3
C'	0,38	0,38	0,38	0,38	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,38	0,38	0,38	
ES	105,1	79,0	68,3	42,8	14,1	8,7	3,6	4,7	17,7	38,1	44,8	90,6	
I	171,5	129,0	111,5	69,9	33,0	20,2	8,5	10,9	41,2	62,1	73,0	147,8	878,7
I-EP	38,7	19,1	-15,4	-37,4	-53,3	-37,6	-45,9	-68,0	-53,1	-65,3	-80,5	8,8	-370,3
Eneg (I-EP)	0,0	0,0	16,4	52,8	106,1	143,6	189,6	257,6	310,8	375,9	436,4	0,0	
AS	42	42	37	27	18	12	9	5	3	2	1	42	
ΔAS	0,0	0,0	-5,0	-9,3	-9,7	-5,7	-3,0	-3,7	-2,0	-1,3	-0,7	40,3	
ER	133,3	109,9	116,5	79,2	42,7	25,9	11,5	14,6	43,2	63,5	73,7	139,0	852,9
PER	39,2	19,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	57,3

em que:

- precipitação (P), em valores médios mensais;
- evaporação ou evapotranspiração potencial (EP), em valores médios mensais;
- escoamento superficial (ES = C' · P), obtidos aplicando-se o coeficiente (C' = α · C) relativo as médias mensais de precipitação;
- Infiltração (I = P - ES), referente a valores médios de infiltração;
- diferença entre as quantidades de água infiltrada e evaporada (ou evapotranspirada) (I - EP);