



Methane to Markets

*Controle de Lixiviado (Chorume) &
Tecnologias de Controle*



2



Conteúdo

- Características
- Fontes
- Coleta
- Tratamento



3



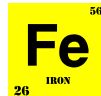
Chorume

- Gerado por líquidos:
 - Precipitados, inseridos
 - Misturados aos resíduos
- Sólidos suspensos e dissolvidos:
 - Inorgânicos
 - Orgânicos
 - Micro-organismos
- Características dependentes de:
 - Tipos de resíduos
 - Idade dos Resíduos
- Custo majoritário relativo aos aterros

4

Chorume “Típico”

- BDO= 10,000 mg/l
- DQO= 18,000 mg/l
- pH = 6
- Dureza total= 3,500 mg/l
- Cloretos (Cl) = 500 mg/l
- Sulfatos (SO₄) = 300 mg/l
- Ferro (Fe) = 60 mg/l



5

Fatores de Geração

- Área Geográfica
- Frequência de Chuvas
- Estação do Ano
- Resíduos de Cobertura
- Métodos Operacionais
 - Drenagem Pluvial
 - Lonas para Chuva
- Composição dos resíduos
 - Teor de orgânicos e conteúdo de umidade

6

Lagoa de Chorume - Áreas Baixas



7

Escoamento de chorume



8

Infiltração de Água Superficial



9

Controle da Água

- Manter os líquidos fora do aterro
- Evitar água subterrânea
- Controle de entrada e saída de água
- Cobertura impermeável



10

Descarga Superficial

- Odores desagradáveis
- Contaminação de águas superficiais
- Pode atingir aquíferos subterrâneos
- Danos à vegetação
- Cor usualmente escura e “enferrujada”

11

Descarga Superficial Quase imperceptível



12

Descarga Superficial

Pequenas vazões



13

Descarga Superficial

Vazão maior



14

Descarga Superficial

Declive de escoamento lateral



15

Descarga Superficial

Escoamento superficial



16

Descarga Superficial Emanação de odores



17

Descarga Superficial Óbvio impacto visual



18

Projeto Sistema de Fundo

- **Camada de baixa permeabilidade (argila)**
 - Natural (local)
 - Camada re-compactada
- **Geotêxtil (sintética)**
 - Camada simples de geotêxtil
 - Camada dupla sintética/ argila
- **Camada composta**
 - Camada composta dupla
 - Com ou sem detecção de vazamento

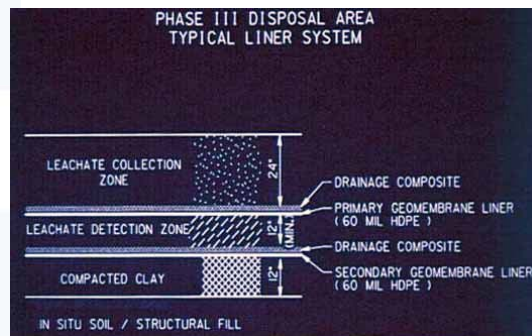
19

Coleta de Chorume Tubulação de coleta acima da camada de cobertura



20

Exemplo de Sistema de Camadas Camada dupla composta



21

Desenho do Fluxo de Chorume

- Modelar alguns casos típicos para avaliar a geração de fluxo de chorume e dimensionar as instalações de coleta e disposição;
 - Meio de Drenagem
 - Tubulações
 - Bombas de chorume
 - Forças principais de descarga
 - Caminhões tanque
 - Estação de tratamento
 - Esgoto municipal

22

Modelagem de Lixiviado

- Propósito primários
 - Ajudar nas comparações projetos de coberturas e de fundo alternativos usando cálculos de balanços hídricos e avaliações de estabilidade
 - Tendência a super dimensionamento
 - Aplicável para locais abertos, parcialmente cobertos ou totalmente cobertos
 - Provém quantidades diárias, mensais e anuais de fugas, evapotranspiração, drenagem, coleta de lixiviado e vazamento que podem resultar de uma grande variedade de projetos de aterros

23

Modelagem de Lixiviado

- Fatores considerados
 - Tamanho do aterro e das células
 - Design da cobertura
 - Espessura dos resíduos
 - Design do sistema de coleta de lixiviado
 - Design das camadas (frentes de trabalho)
 - Considerações climáticas (reais ou padrão)
 - Recirculação ou adição de líquidos
 - Fugas baseadas no método USDA-SCS (considera textura, qualidade da vegetação quality, declive e inclinação)

24

Modelagem de Lixiviado

- **Dados de entrada**
 - Climatológicos
 - Não considera distribuição ou intensidade de chuvas
 - Tipos de solos
 - Camadas do aterro
 - Tipo de cobertura vegetal
- **Dados de saída**
 - Valores diários
 - Totais mensais
 - Totais anuais
 - Carga máxima na camada(30 cm max.)
 - Média e máximo de coleta de lixiviado

25

Lixiviado utilizando o HELP

- **Modelo *Hydrologic Evaluation of Landfill Performance* (HELP) (Schroeder, etal, 1994)**
 - Desenvolvido pelo corpo de engenheiros do exército americano – Estação de experimentos hidráulicos para a EPA (U.S. EPA/600/R-94/168a)
 - Quasi 2-D - programa computacional para aterros de balanço hídrico e encaminhamento hidráulico
 - Calcula taxas de percolação através das coberturas
 - Simplifica equações empíricas e mecânicas
 - Simplifica o modelo de fluxo insaturado com gradiente unitário
 - Amplamente aceito e entrada direta de parâmetros
 - Careful consideration of input parameters required
Consideração cuidadosa da entrada de parâmetros
 - Não resolve fluxos insaturados
 - Versão 3.07 (mais recente)

26

Limitações da Modelagem

- **Qualidade da saída equivalente à da entrada de dados**
- **resultados variam com o usuário e a versão do modelo**
- **Condições de contorno do modelo:**
 - Propriedades das camadas e fluxo homogêneos
 - Dados climáticos apenas para áreas selecionadas (usar a mais próxima)

27

Sistema de Coleta de Chorume

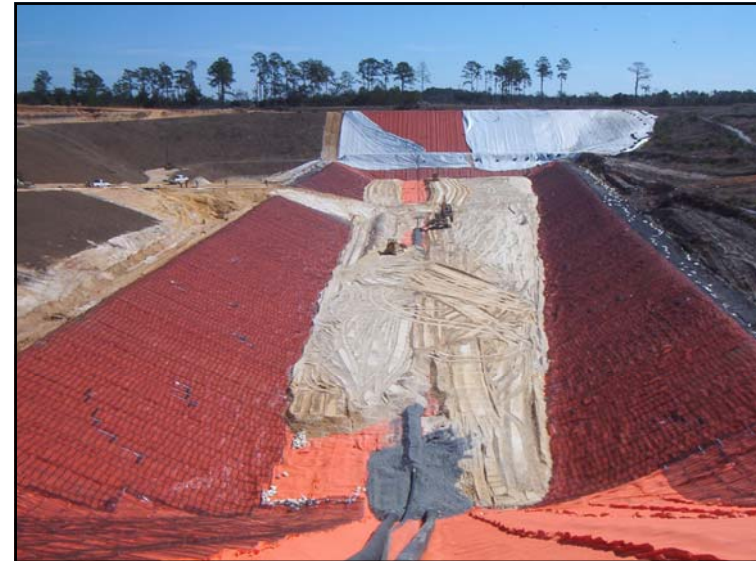
- **Sistema de coleta primário**
 - Propósito: transmitir o chorume de forma eficiente para fora da camada e minimizar a carga em cima da camada (30 cm max.)
- **Sistema de detecção de vazamento (em sistemas de dupla camada)**
 - Eficácia da medida relativa da camada primária
 - Sonda para medição de chorume de fontes não identificadas

28

Componentes do Sistema

- **Cobertura protetora:** Material entre a camada de drenagem e o resíduo
 - Meio granular (areia ou brita)
 - Geotêxtil
 - Outros: tiras de pneus
- **Meio de Drenagem (alta permeabilidade)**
 - Areia ou brita
 - Rede de drenagem com geonet ou geocomposto
 - Outros: tiras de pneus, vidro moído
- **Tubulação (HDPE)**

20



Meio de Drenagem: Parâmetros

- **Condutividade hidráulica, k (coeficiente de permeabilidade)**
 - Areia: $10^{-4} \text{ cm/s} \leq k \leq 10^{-2} \text{ cm/s}$
 - Brita: $10^{-2} \text{ cm/s} \leq k \leq 100 \text{ cm/s}$
 - Geonets: 1 to 34 cm/s
 - Tiras de pneus $10^{-2} \text{ cm/s} \leq k \leq 100 \text{ cm/s}$
 - Deve ter compressibilidade sobre carga
- **Lei de Darcy $Q = k i a$ (Fluxo laminar)**
 - Q = vazão do fluxo
 - i = gradiente hidráulico
 - a = área transversal bruta da seção através da qual o fluxo escoou
 - Velocidade do fluxo $v = ki$
 - Velocidade através dos poros, $v = ki/n$
- **Transmissividade (T) = k x espessura da camada**

32

Meio de Drenagem: Parâmetros

- **Declividade de controle, (s)**
 - Aproximadamente entre 1% e 2% de declividade mínima para coleta de chorume
- **Carga máxima permitida, (h)**
 - 30 cm (12-inches)
- **Distância entre tubos de coleta, (L), depende de:**
 - Carga máxima
 - Tamanho da tubulação
 - Declividade
 - Fluxo de lixiviado

33

Etapa para o Dimensionamento

- Estabelecer a linha (camada) geométrica
- Estimar a geometria inicial do sistema de coleta
- Estimar a infiltração na camada de drenagem (Modelo HELP)
- Avaliar a carga sobre a camada
- Revisar a geometria do sistema de coleta de acordo com o necessário (revisar espaçamento entre tubulações)
- Determinar a resistência requerida pela tubulação (tamanho)
- Dimensionar as bombas
- Selecionar as especificações dos materiais

34

Dimensionamento das Tubulações

- **Dimensionamento**
 - Vazão de lixiviado
 - Área molhada da tubulação
 - Declividade da tubulação
 - Utilizar a equação de Manning
- **Resistência**
 - Esmagamento (compressão)
 - Flambagem (flexão)
 - Deformação da seção
 - Cálculo baseado no material sobre a tubulação e tráfego de veículos (trailer de transferência/compactador)

35

Camada de coleta de lixiviado e Tubulação - Augusta County Regional Authority (Abril 2009)



Recirculação de Lixiviado

- Uma forma de bioreator

Basic Stoichiometry of Waste Decomposition and Methane Formation

1. Refuse + Water = Carbon dioxide + Methane
2. $C_6H_{10}O_5 + H_2O = 3CO_2 + 3CH_4$ (landfill gas)
3. Or, $C + H_2O = \frac{1}{2}CO_2 + \frac{1}{2}CH_4$ (landfill gas)

- Aumenta a taxa de decomposição dos resíduos
 - Recupera o espaço vertical através da compactação dos resíduos
 - Acelera o assentamento dos resíduos
 - Reduz o volume de lixiviado a ser tratado
 - Pré-tratamento limitado
 - Acelera a taxa de geração de gás
 - Reduz o custo de longo prazo do tratamento
 - Sistema de lixiviado ainda requerido

37

Recirculação de Lixiviado

- Volume de lixiviado

- depende do teor de umidade e da capacidade de campo do resíduo
 - Quanto líquido este resíduo pode receber sem problemas?
- Método de re-introdução
 - Espaçamento, profundidade, etc.
- Desenho do sistema de coleta de lixiviado

- Geralmente, 9 metros de resíduos (3 camadas) antes de se iniciar a recirculação

- Espaçamento horizontal entre trincheiras de 15 metros
- Rodízio de re-introdução de lixiviado entre grupos de poços, fossas ou trincheiras horizontais para reduzir a saturação subsuperficial e by-pass do fluxo

38

Recirculação de Lixiviado

- Re-introdução de lixiviado via:

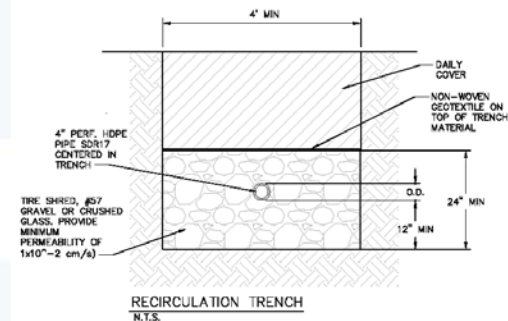
- Poços verticais ou fossas
- Campos de drenagem
- Trincheiras horizontais
- Spray de irrigação (pivô)

- Sistema de recalque inclui:

- Caminhão bomba
- Tubulação por gravidade
- Tubulação pressurizada

39

Trincheira de recirculação



40

Sistemas de Tratamento de Lixiviado

- Lagoas de evaporação
- Evaporação de lixiviado utilizando gás do aterro
- Tratamento por infiltração/ encharcamento do solo (Passivo)
- Estação de tratamento local
- Bombeamento e lançamento em POTW
- Descarga no sistema de esgoto sanitário municipal

41

Evaporação de Lixiviado



42

Evaporação de Lixiviado Utilizando-se Gás de Aterro



43

Tratamento de Lixiviado por Infiltração (encharcamento)



44

Estação de Tratamento



.45

Área das Bombas e Coletores

- **Propósito:** Prover um ponto de coleta para as bombas de chorume
- **Localização:** função do desenho do sistema e cota mais baixa
- **Dimensionamento baseado em:**
 - Vazão de chorume
 - Tempo de bombeamento das bombas
- **Tipo:** Submersível
- **Pode ter sistemas de bombeamento redundantes ou bombas de reserva disponíveis**
- **Dimensionamento dos componentes auxiliares (elétricos) para a maior bomba prevista**

46

Bombeamento e Lançamento



.17

Resumo

- **Vários fatores contribuem para a geração de lixiviado, entre eles: geografia, pluviometria, composição dos resíduos, estação climática e operação do aterro.**
- **Modelagem pode ser uma ferramenta útil para estimar a geração de lixiviado tendo como base um local específico.**
- **Os componentes do sistema de coleta requer características de projeto específicas.**
- **Recircular o chorume aumenta a taxa de decomposição dos resíduos e acelera a formação de gás.**
- **Existem diversas tecnologias para tratamento do chorume, incluindo evaporação através do gás do próprio aterro.**

48