


UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Engº. Civil - SALOMÃO ANSELMO SILVA

"AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE TRATAMENTO
E DESTINAÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS"

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS CURSOS
DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DO CENTRO DE CIÊNCIAS E TEC
NOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRÁU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS (M.Sc.).

COMISSÃO EXAMINADORA:



PROF. J.G. CABRERA

- Presidente -



PROF. JOÃO G. BRAULE GONÇALVES

- Examinador Externo -



PROF. JOSÉ FARIAS NÓBREGA

- Examinador Interno -



CAMPINA GRANDE-PARAÍBA-BRASIL

MARÇO - 1975



S586a Silva, Salomão Anselmo.
"Avaliação dos processos de tratamento e destinação final dos resíduos sólidos" / Salomão Anselmo Silva. - Campina Grande, 1975.
125 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1975.
"Orientação : Prof. Joe German Cabrera".
Referências.

1. Resíduos Sólidos - Tratamento. 2. Lixo - Tratamento - Engenharia Sanitária. 3. Desinstalação Final - Resíduos Sólidos - Processos. 4. Aterro Sanitário. 5. Dissertação - Ciências. I. Cabrera, Joe German. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título

CDU 628.4(043)

À Elena, Salena e Salise

A G R A D E C I M E N T O S

O autor agradece:

Ao professor JOE GERMAN CABRERA do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Leeds, Reino Unido, pela solicitude na orientação desta tese.

Aos funcionários do Centro de Ciências e Tecnologia LEÔNIA LEÃO DA NÓBREGA, HÉRCULES HERCUERGUS SOBREIRA DE ALMEIDA e WINDSOR RAMOS DA SILVA por sua eficiente ajuda na preparação desta dissertação.

Ao Professor JOSÉ STÊNIO LOPES, Diretor do SENAI - Campina Grande, por ter gentilmente cedido as suas oficinas gráficas para a edição deste trabalho.

AN EVALUATION OF REFUSE TREATMENT
AND REFUSE DISPOSAL METHODS

M.Sc. Dissertation

by

Salomão Anselmo Silva

A B S T R A C T

The work presented in this dissertation deals with a review of the available methods of refuse treatment and refuse disposal. Detailed description of plant, equipment and operation features of the different systems is discussed and their potential utilization evaluated.

Comparison of the advantages and disadvantages of the different processes is carried out within the context of their utilization for a particular situation. It is shown that the optimal selection of a particular process is not only dependent on the ultimate cost but it is a function of other variables such as level of technological development, quantity and quality of refuse and the level of tolerance of environmental pollution which a community may accept.

Finally a qualitative cost model is presented as an example of the manner in which Local Authorities may undertake studies to arrive at a suitable and acceptable solution for the treatment and disposal of refuse.

"AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE TRATAMENTO
E DESTINAÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS"

Dissertação de Mestrado

por

Salomão Anselmo Silva

R E S U M O

Procede-se, nesta dissertação, a uma avaliação dos métodos de tratamento e destinação final dos resíduos sólidos, analisando-se as principais características de cada um e as condições mais propícias à sua utilização. Apresenta-se, também, uma análise comparativa das vantagens e desvantagens de cada processo, o que possibilita conceber uma impressão rápida sobre a conveniência de adoção de um, ou, de alguns desses processos.

Finalmente, apresenta-se um modelo qualitativo para a determinação e o acompanhamento dos custos de um sistema de limpeza pública, optando-se, neste exemplo, pelo processo de destinação final dos resíduos sólidos, através de aterro sanitário.

I N D I C E

	Página	
DEDICATÓRIA	II	
AGRADECIMENTOS	III	
RESUMO	IV	
INDICE	VI	
CAPÍTULO I	INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II	OBJETO DA INVESTIGAÇÃO	3
CAPÍTULO III	CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	4
III.1	Massa Específica Aparente do Lixo	4
III.2	Tipos do Lixo	5
CAPÍTULO IV	PROCESSO DE TRITURAÇÃO (CRUSHING PROCESS)	7
IV.1	Características Gerais do Processo	7
IV.2	Descrição do Processo	7
IV.3	Classificação dos Trituradores	9
IV.4	Utilização do Processo	9
CAPÍTULO V	PROCESSO DE TRATAMENTO DO LIXO POR COMPRESSÃO-PRENSAGEM	20

	Página	
V.1	Características Gerais do Pro <u>cesso</u>	20
V.2	Descrição do Processo	20
V.2.1	Usina de Compressão de Montagem Vertical	23
V.2.2	Usina de Compressão de Montagem Horizontal	24
V.3	Processamento do Lixo	33
V.3.1	A Força Motriz	34
V.3.2	Cobertura Asfáltica	36
V.3.3	Quantidade de Água Removida Du <u>rante a compressão</u>	38
V.4	Utilização do Processo	39
CAPÍTULO VI	ATERRO SANITÁRIO	43
VI.1	Características Gerais	43
VI.2	Descrição do Processo	44
VI.3	Classificação dos Aterros San <u>itários</u>	45
VI.3.1.a	Aterro Sanitário em Trincheira Talude Progressivo	46
VI.3.1.b	Aterro Sanitário em Trincheira Trincheira Separada	49
VI.3.2	Aterro Sanitário em Rampa	52

		Página
	VI.3.3	Aterro Sanitário de Área Baixa 56
	VI.3.4	Aterro Sanitário com Blocos de Lixo Prensado 60
	VI.4	Utilização do Processo 61
CAPÍTULO	VII	INCINERAÇÃO 62
	VII.1	Características Gerais do Processo 62
	VII.2	Descrição do Processo 62
	VII.3	Classificação dos Incineradores 63
	VII.4	Descrição do Incinerador Contínuo 69
	VII.5	Utilização da Energia Calorífica 84
	VII.6	Controle da Poluição 85
	VII.7	Utilização do Processo 86
CAPÍTULO	VIII	PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES ORGÂNICOS 87
	VIII.1	Características Gerais do Processo 87
	VIII.2	Descrição do Processo 88
	VIII.3	Principais Processos de Decomposição dos Resíduos Sólidos 89
	VIII.4	Utilização do Processo 94

		Página
CAPÍTULO IX	COMPARAÇÃO ENTRE OS PROCESSOS DE TRATAMENTO E DESTINAÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	95
IX.1	Introdução	95
IX.2	Processo de Trituração	95
IX.3	Processo de Compressão	97
IX.4	Aterro Sanitário	98
IX.5	Incineração	101
IX.6	Produção de Fertilizantes	102
CAPÍTULO X	ANÁLISE SIMPLIFICADA DOS CUSTOS DE DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS USANDO-SE O PROCESSO DE ATERRO SANITÁRIO	107
X.1	Introdução	107
X.2	O Modelo Qualitativo	107
CAPÍTULO XI	CONCLUSÕES	120
CAPÍTULO XII	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	122
CAPÍTULO XIII	BIBLIOGRAFIA	124

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

As atividades humanas geram resíduos. Esses resíduos podem ser: líquidos, gasosos e sólidos. Durante muito tempo, como decorrência da pequena população existente na terra, bem como da incipiente organização social, os resíduos produzidos foram tratados normalmente pela natureza, e processados dentro do Ciclo de Transformação da Matéria. Ciclo natural e resultante da propriedade que tem a natureza de se auto-depurar ou seja, de transformar os resíduos produzidos em substâncias simples e de fácil assimilação pelos organismos vivos.

Com o desenvolvimento social do homem e, principalmente após a revolução industrial, a produção de resíduos cresceu vertiginosamente - tendo em vista os equipamentos e facilidades postas à sua disposição - pela procura do conforto e da melhoria do padrão de vida. Atualmente, a produção de resíduos sólidos "per capita" de uma comunidade é um dos medidores de seu estágio de desenvolvimento econômico. Quanto mais resíduo é produzido por pessoa em uma comunidade, mais elevado será o padrão de vida dessa mesma comunidade.

Como consequência, foi rompido o Ciclo de Transformação da Matéria com que a natureza procedia a sua regeneração e, em muitos locais, surgiu o fenômeno da

POLUIÇÃO sob suas várias formas; da água, do ar e do solo. Presentemente muitas regiões do globo terrestre, lutam contra este novo flagelo da humanidade: a POLUIÇÃO. Os resíduos sólidos entre outros, são seus maiores agentes.

O tratamento, a destinação final, ou a reutilização dos resíduos sólidos, são de suma importância para a proteção da saúde pública e manutenção das condições higiênicas necessárias a um meio ambiente sadio. Portanto a destinação final ou reutilização dos resíduos sólidos é uma importante atividade que requer o uso de pesquisas na área da Engenharia Sanitária, posto que em muitos países é evidente o atraso no desenvolvimento tecnológico de métodos eficientes de tratamento e destinação final desses resíduos, com relação às necessidades das comunidades urbanas. Normalmente, as cidades que estão experimentando um rápido crescimento populacional e/ou econômico, produzem resíduos sólidos em quantidades bem superiores à sua capacidade de tratamento e destinação adequada, fato esse que é válido, tanto para os países em desenvolvimento como para os países desenvolvidos.

Os processos de tratamento dos resíduos sólidos elaboram e preparam esses resíduos para a disposição final. Os processos de disposição final constituem o último estágio na eliminação dos resíduos sólidos. Alguns processos são, ao mesmo tempo: de tratamento e de disposição, enquanto outros são de tratamento ou disposição propriamente ditos.

CAPÍTULO II

OBJETIVO DA INVESTIGAÇÃO

Este trabalho analisa e compara os principais processos de Tratamento e Destinação ou Disposição Final dos Resíduos Sólidos, gerados como decorrência das atividades humanas, e que são comumente denominados de LIXO.

Analisam-se os seguintes processos:

- 1) Prensagem
- 2) Trituração
- 3) Aterro Sanitário
- 4) Incineração
- 5) Transformação em Fertilizantes Orgânicos (Composting)

No decorrer do estudo de cada processo de tratamento e/ou de disposição final dos resíduos sólidos se apresentam:

- a) As características gerais do processo;
- b) A descrição dos processos;
- c) As condições para a utilização do processo.

Os processos são comparados e suas vantagens e desvantagens discutidas. Finalmente é apresentado um modelo qualitativo de cálculo dos custos da destinação final dos resíduos sólidos de uma comunidade, utilizando-se o processo de aterro sanitário.

CAPÍTULO III

CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

III.1. Massa Específica Aparente do Lixo

Qualquer substância possui uma massa específica aparente e outra real. A massa específica é a relação entre a massa e o volume de uma substância. A massa específica relativa de determinada substância é a razão entre a desta substância e a de uma substância tomada como padrão.

A substância tomada como padrão é a água pura a uma temperatura de 4°C. A massa específica relativa é a relação entre o volume da massa da substância e a massa da água a 4°C que tem o mesmo volume. É difícil avaliar a massa específica real do lixo, em vista de o mesmo não ser uniforme e sim formado de vários e diferentes materiais.

Portanto, a massa específica aparente (W/V) onde W indica a massa e V o volume é usado para indicar a natureza do lixo. É chamada a massa específica aparente, no caso do lixo. A massa específica aparente do lixo difere de uma cidade para outra devido a diferenças de costumes e de padrões de vida. Isto é, os dados diferem dependendo da natureza do lixo.

A massa específica de restos de alimentos coletados em recipientes de polietileno se encontra entre 0,196 ton/m³ e 0,450 ton/m³ e apresenta uma média de 0,226 ton/m³. Isso significa que há 226 kg de restos de cozinha

em um volume de 1 m^3 (1). A massa específica aparente, naturalmente varia, de acordo com os componentes contidos no tipo de lixo. Variando-se a umidade e a porcentagem de substâncias metálicas - pedras e cinzas - então a massa específica aparente do lixo também varia.

A Tabela 1 mostra a variação das massas específicas aparentes do lixo de diferentes países.

III.2. Tipos do Lixo

Os resíduos sólidos formam um material heterogêneo devido a sua produção ser decorrente das atividades humanas. A sua composição depende não só das condições econômicas e sociais como também das características geográficas e climáticas da comunidade que os produz.

Torna-se portanto necessária uma classificação ampla dos resíduos sólidos, não só com o fim de selecionar o método apropriado para a sua destinação final, mas também devido à conveniência de se considerar os processos de recuperação e reciclagem desses resíduos, com vistas a evitar o desperdício de materiais aproveitáveis.

Os resíduos sólidos são então classificados como:

- a) Lixo doméstico - Lixo de cozinha de residências e restaurantes, constituídos principalmente de materiais orgânicos tais: como vegetais, peixes, carnes etc., contendo elevada umidade e sujeito à decomposição. Sua participação no total de resíduos varia entre 20 e 40% (1).
- b) Lixo combustível - Restos de papel, madeira etc. Participação no total de 20 a 40% (1).

c) Lixo Incombustível - Materiais Incombustíveis tais como: areia, cinzas, metais, cerâmicas etc. Participação no total de 20 a 40% do total (1).

País	Massas Específicas Aparentes ton/m ³
Japão (Tóquio)	0,26 (0,20 - 0,40)
Bélgica	0,19
Canadá	0,115
Checoslováquia	0,2 (Inverno) 0,4 (verão)
Dinamarca	0,15 - 0,25
Finlândia	0,12 - 0,18
França	0,25
Israel	0,25
Noruega	0,1 - 0,28
Polônia	0,25 - 0,39
África do Sul	0,225 - 0,45
Espanha	0,33
Suécia	0,14
Suíça	0,12 - 0,2
Inglaterra	0,15 - 0,25
Estados Unidos	0,28
Alemanha Ocidental	0,33 - 0,38
Brasil	
Brasília	0,10 - 0,24
São Paulo	0,18 - 0,27

Tabela 1. Comparação das massas específicas aparentes do lixo de diferentes países (1), (2), (3).

CAPÍTULO IV

PROCESSO DE TRITURAÇÃO (CRUSHING PROCESS)

IV.1. Características Gerais do Processo

A trituração dos resíduos sólidos não é um processo de destinação final propriamente dito, mas um processo de pré-tratamento desses mesmos resíduos, que pode ou não ser utilizado como parte de uma sequência de operações visando a sua destinação final. Como tal este processo será analisado antes dos processos de destinação final.

A trituração dos resíduos sólidos é um processo de tratamento que visa reduzir o tamanho dos componentes desses resíduos, a fim de facilitar e tornar mais econômica a sua disposição final ou tratamento posterior (5), (6).

Geralmente se utiliza a trituração dos resíduos sólidos como fase anterior a outros tratamentos, tais como: de compressão, de incineração ou a de disposição final através de aterros sanitários. Imediatamente após a trituração, podem ser instalados equipamentos para a separação de materiais indecomponíveis e de valor econômico a exemplo do ferro, do alumínio, além da vantagem de se poder separar também, a areia, vidro, ossos etc., em partes distintas.

IV.2. Descrição do Processo

As instalações de trituração de resíduos sólidos compõem-se basicamente de:

- a) Esteira transportadora
- b) Triturador - propriamente dito
- c) Motor acionador.

Opcionalmente pode-se instalar um classifica
dor de partículas pneumático composto de um ciclone com di
ferentes saídas para os materiais aspirados - de acordo com
suas massas específicas. - Dessa maneira, só chegaria ao
topo do ciclone, o material mais leve, composto principal
mente de papéis, panos, trapos que são a parte combustível
e decomponível dos resíduos sólidos. Nas saídas inferiores
seriam separados os metais, vidros, areia, etc., possibili
tando a recuperação dos materiais economicamente aproveitá
veis.

Um triturador é composto de um rotor formado
por um eixo, no qual são fixadas lâminas de aço especial de
alta resistência. Esse rotor gira dentro de um recipiente
de aço, no qual também são fixadas lâminas em contraposição
às lâminas do rotor. Com a rotação do rotor as lâminas,
passam a pequena distância das lâminas fixas no recipiente,
triturando o material nele introduzido, através de uma aber
tura alimentadora geralmente situada na parte superior do
triturador. A regulagem da distância entre as lâminas rota
tivas e as fixas, determina o tamanho das partículas após a
trituração. A saída das partículas resultantes da tritura
ção, geralmente é feita por uma abertura inferior existente
no triturador, principalmente naqueles trituradores de ro
tor de eixo transversal. A forma das lâminas do rotor, o
seu número, bem como a forma e o número das lâminas fixas
do recipiente envoltório do rotor, determinam o tipo de
força prevalente na desagregação dos resíduos sólidos,
além de limitar a capacidade do triturador, quanto a pro
cessar determinados tipos de resíduos sólidos, tais como:
metais, concreto etc.

IV.3. Classificação dos Trituradores

Os trituradores classificam-se quanto ao modo de aplicação de força empregada na trituração-em:

- a) Trituradores de impacto
- b) Trituradores cisalhantes
- c) Trituradores abrasivos.

Os trituradores de impacto podem processar: madeira, móveis, e escombros ou detritos.

Os trituradores cisalhantes além dos materiais acima mencionados ainda podem triturar metais podendo, portanto, dependendo de suas dimensões, processar geladeiras, fogões, e até automóveis.

Os trituradores abrasivos são usados principalmente para processar plásticos.

As figuras 1, 2, 3,4 e 5 ilustram os principais tipos de trituradores.

IV.4. Utilização do Processo

O processo de trituração é utilizado como condicionador dos resíduos sólidos para a incineração. Esse processo juntamente com o ciclone separador de partículas é indispensável quando empregado o incinerador de "camada fluidificada". O rendimento da prensagem dos resíduos sólidos é aumentado quando se alimenta a prensa com resíduos sólidos triturados, e mesmo o aterro sanitário convencional, tem a sua capacidade aumentada pois, em uma determinada área, é possível acomodar um volume de resíduos sólidos maior quando este foi submetido à trituração devido à relativa uniformidade e pequeno tamanho das partículas, que permitem alcançar um maior peso específico aparente.

Figura 1 - Esquemas de Diferentes Tipos de Trituradores

1) TRITURADOR DE IMPACTO



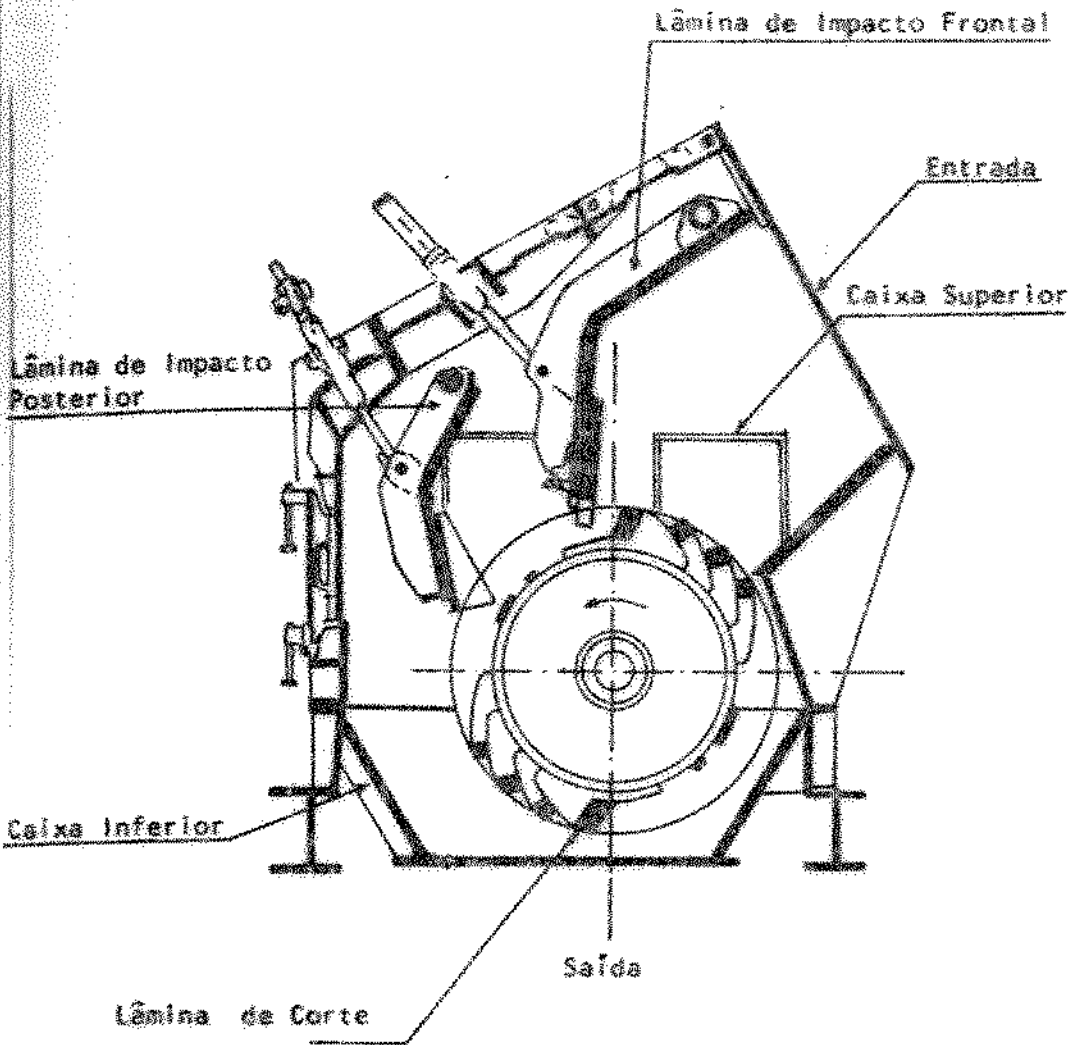
2) TRITURADOR DE MARTELO - CISCALHANTE



3) TRITURADOR DE NAVALHAS - ABRASIVO

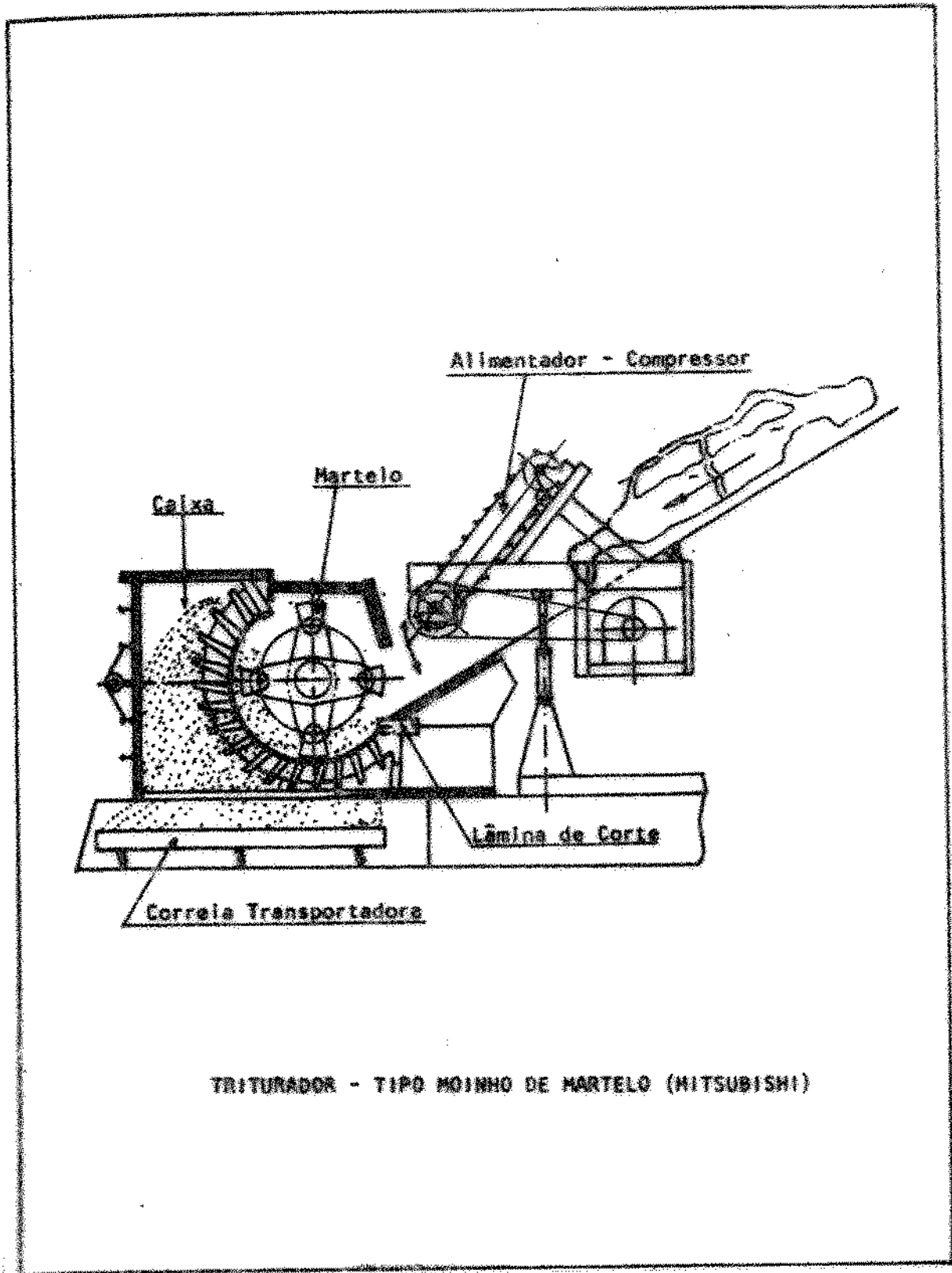


Figura 2 - Triturador de Impacto (Kawashki Hazemag) (6).



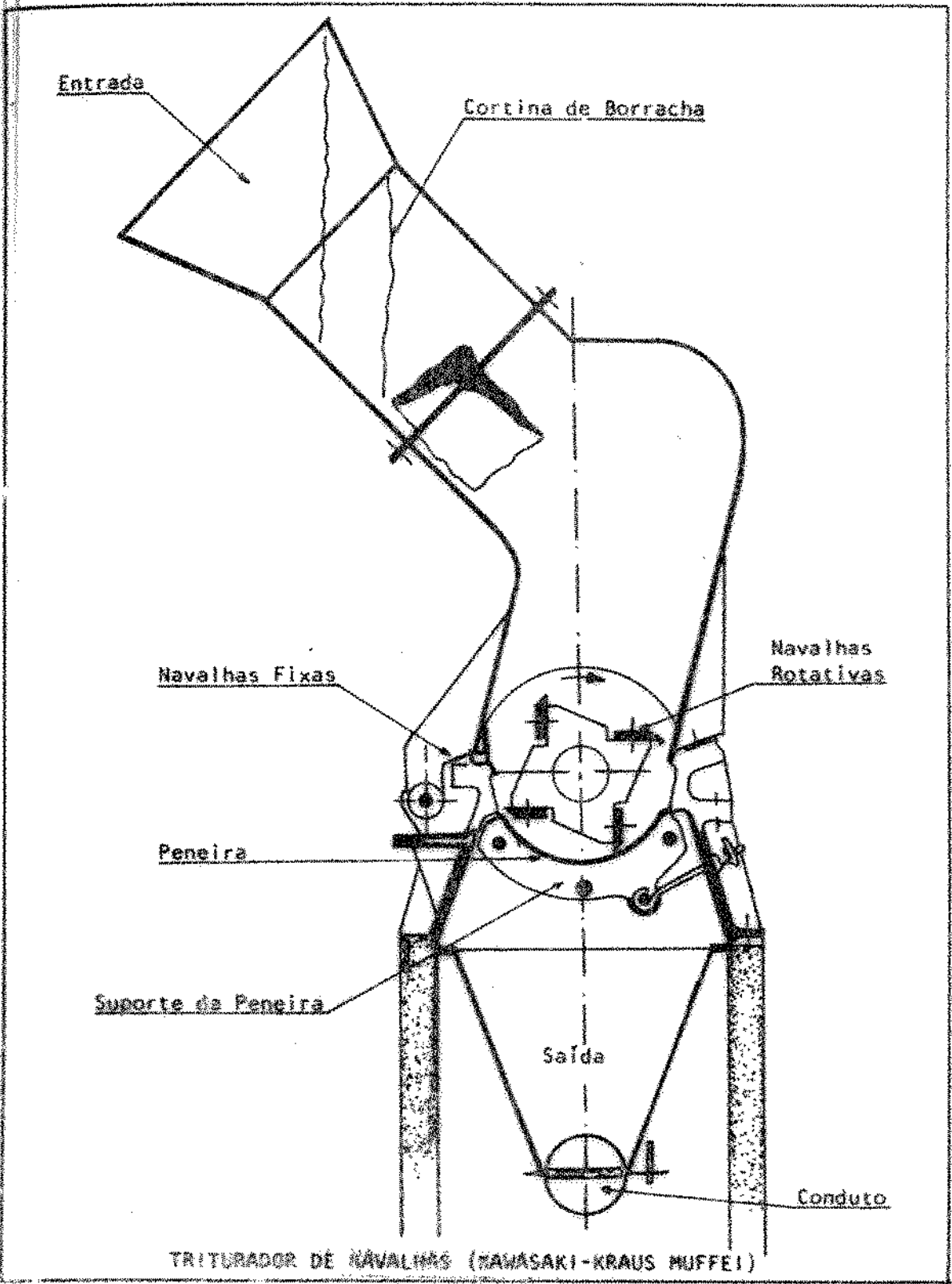
TRITURADOR DE IMPACTO (KAWASHKI - HAZEMAG)

Figura 3 - Triturador Tipo MoInho de Martelo (Mitsubishi)



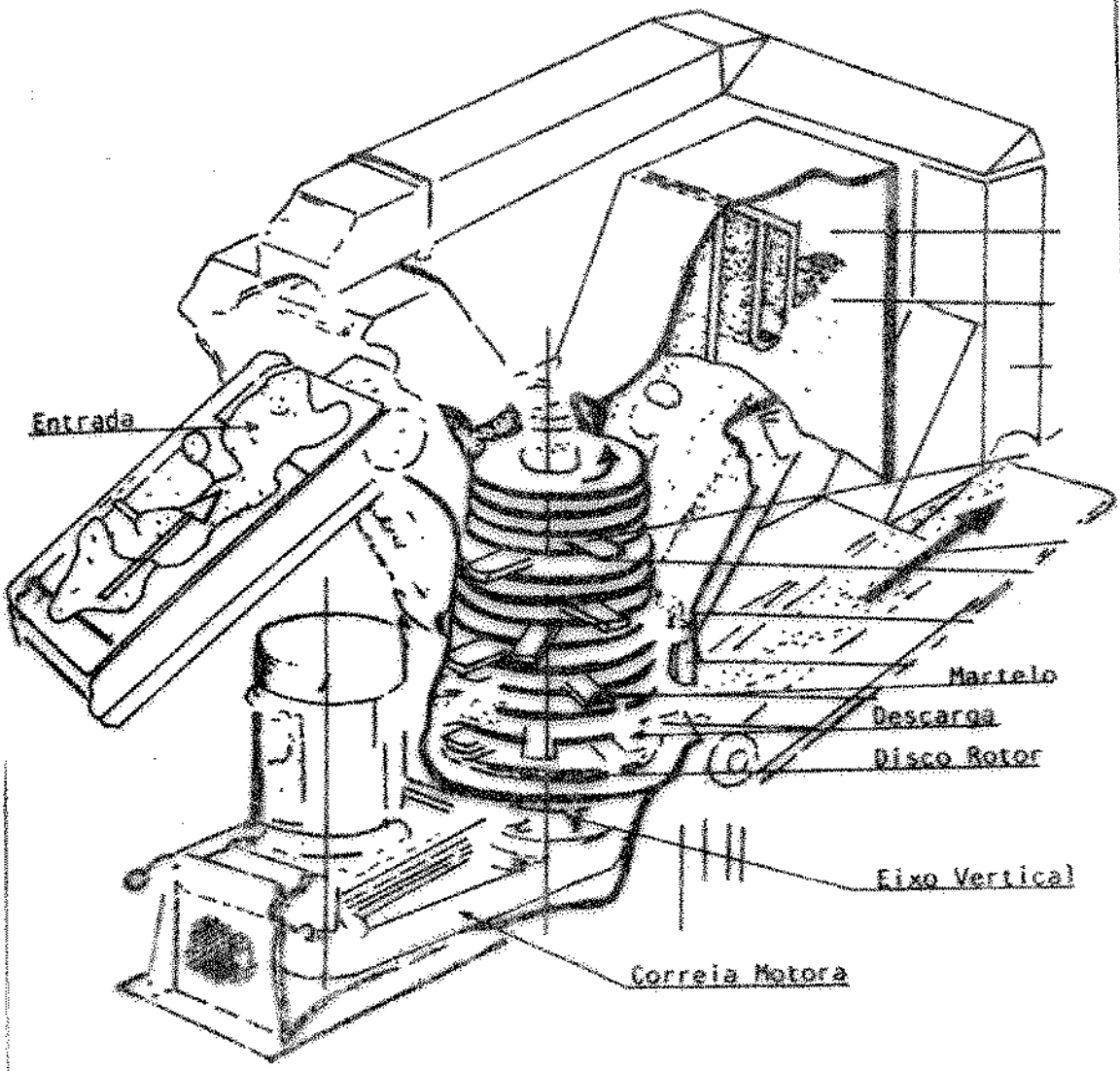
TRITURADOR - TIPO MOINHO DE MARTELO (MITSUBISHI)

Figura 4 - Triturador de Navalhas (Kawasaki-Kraus Huffer) (



5)

Figura 5 - Triturador de Eixo Vertical (Kyokuto-Tolleimacho)



INTELAADORA DE EIXO VERTICAL (KYOKUTO-TOLLEIMACHE)

CAPÍTULO V

PROCESSO DE TRATAMENTO DO LIXO POR COMPRESSÃO - PRENSAGEM

V.1. Características Gerais do Processo

A prensagem dos resíduos sólidos, é um processo de tratamento que promove uma grande redução no volume original do lixo. A compressão é efetuada utilizando-se prensas, que tanto podem ser hidráulicas como de impacto.

As instalações de prensagem por serem compactas e efetuarem o tratamento do lixo sem perturbação do meio ambiente circunvizinho, podem ser localizadas em áreas próximas ou mesmo em áreas urbanas, o que reduz o custo do transporte do lixo a ela conducente. Como decorrência da redução do volume do lixo durante o tratamento, também há uma grande redução nos custos de transportes entre a usina de tratamento e o local de disposição final do lixo.

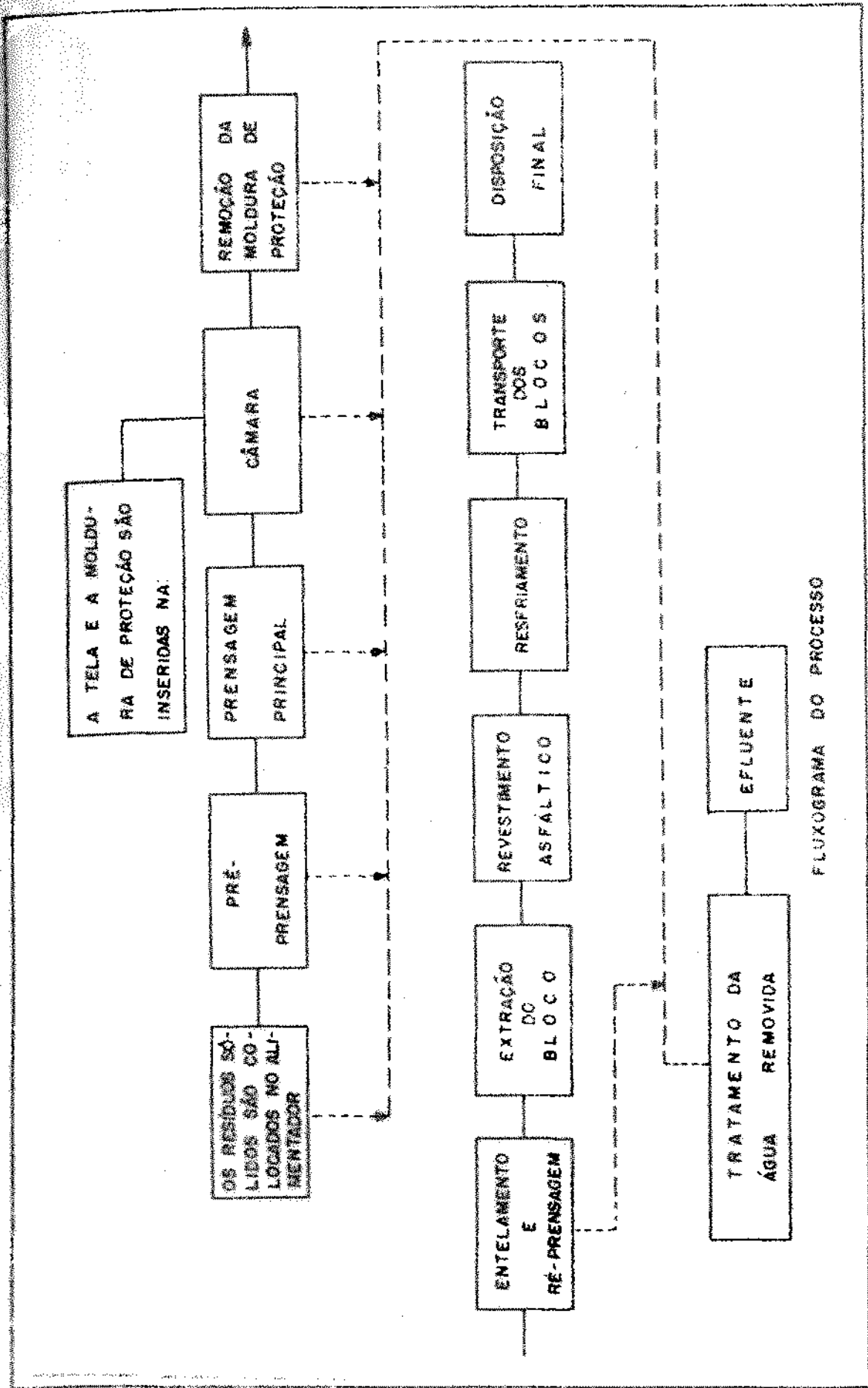
V.2. Descrição do Processo

Os resíduos sólidos coletados são colocados no depósito e, daí conduzidos para a compressão pela prensa. O sistema é descrito no fluxograma da Figura 6.

A usina é projetada para comprimir o lixo na forma de um cubo, e pode ser equipada com prensas de montagem vertical ou horizontal.

Os parágrafos seguintes descreverão as diferenças existentes entre as usinas equipadas com os dois tipos de prensas anteriormente mencionadas.

Figura 6 - Fluxograma do Processo de Prensagem (1).



FLUXOGRAMA DO PROCESSO

V.2.1. Usina de Compressão de Montagem Vertical - Os resí-
duos sólidos são despejados pelos caminhões em um depósito
ou fosso que é construído ao longo da usina de tratamento.

O volume desse depósito deverá ser dimensio-
nado de acordo com a capacidade do equipamento de compres-
são a ser instalado. Neste depósito o lixo é misturado,
utilizando-se a grua para que então se consiga um peso uni-
tário o mais uniforme possível no produto final comprimi-
do. Daí o lixo é transferido para o alimentador dos equipa-
mentos de compressão, onde um impulsor localizado na parte
inferior do alimentador, empurra para dentro de um cilín-
dro tanto lixo quanto seja necessário para se conseguir um
produto final comprimido com as características pré-esta-
belecidas.

O cilindro é localizado longitudinalmente em
relação ao alimentador, o qual entrega o lixo para o está-
gio preliminar de compressão.

A bomba de óleo que gera a pressão, fornece
uma pressão que varia entre 160 kg/cm^2 a 200 kg/cm^2 . A
maioria dos componentes do lixo submetidos a esta pressão
perde a sua forma original.

O recipiente que contém o lixo prensado, é
deslocado de debaixo do cilindro compressor. O bloco de
lixo prensado é então extraído do recipiente de compres-
são, para que uma tela metálica seja estendida sobre o re-
cipiente de compressão e pressionada até o fundo do mesmo,
de maneira a forrar todo o seu interior. O bloco de lixo
prensado retorna, então, ao recipiente de compressão, onde
é reprensado, sendo submetido à mesma pressão anterior.
Após esta compressão o bloco é extraído da câmara de com-
pressão, transportado e imerso durante 20 segundos em um
banho de asfalto mantido a uma temperatura de 200°C e daí
transportado para um tanque de água fria onde é resfriado.

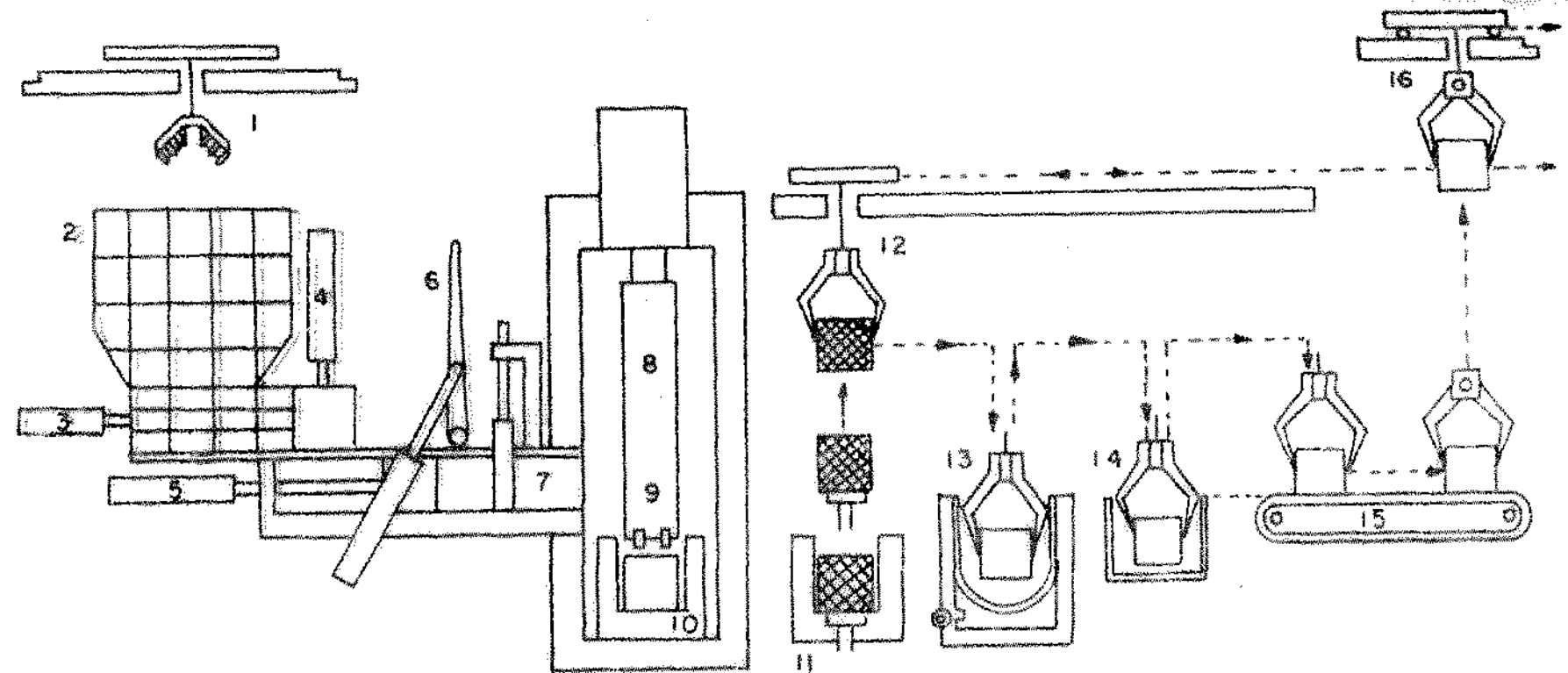
Quando a temperatura decresce até um nível desejado o bloco é removido do tanque d'água. Ainda neste tanque, durante o resfriamento, o fardo é testado quanto a sua massa específica aparente, pois solta-se o mesmo das garras do guindaste e verifica-se se afunda ou flutua, comprovando-se, desta maneira, se sua massa específica aparente é maior ou menor do que a da água. Este ensaio é particularmente importante, quando se procede à disposição dos blocos de lixo prensados no mar. A Figura 7 ilustra este sistema.

V.2.2. Usina de Compressão do Lixo de Montagem Horizontal - O lixo coletado pelos caminhões é despejado em um depósito de onde uma grua transporta-o para uma caixa de alimentação. Simultaneamente com esta operação, a tela de arame e uma moldura, são inseridas na câmara rotativa de forma a que a moldura aplique a tela firmemente na câmara.

O lixo que já recebeu uma compressão preliminar por um impulsor lateral, é comprimido horizontalmente na câmara rotativa, aonde a tela de arame tinha sido previamente colocada.

Esta câmara é dimensionada para desempenhar as funções de modelador do lixo comprimido. Após a prensaagem, a câmara volta a sua posição original (vertical) para que as extremidades da tela sejam dobradas por cilindros dobradores e, então, o conjunto retorna à posição horizontal para receber outra compressão. Posteriormente o bloco é retirado do recipiente, transportado lateralmente e imerso no asfalto. As Figuras 8.a, 8.b e 8.c ilustram esse sistema.

Figura 7 - Usina de Compressão do Lixo de Montagem Vertical



- 1 - Grua Alimentadora
- 2 - Depositos de Residuos Sólidos
- 3 - Impulsor Lateral
- 4 - Impulsor p/ compressão preliminar
- 5 - Compressão preliminar
- 6 - Tampa da camara preliminar
- 7 - Porta
- 8 - Prensa principal
- 9 - Cilindro para concentração localizada
- 10 - Camara móvel

- 11 - Extrator do bloco
- 12 - Transportador
- 13 - Tanque de Asfalto
- 14 - Tanque de água p/resfriamento
- 15 - Correia transportadora
- 16 - Guindaste para carregamento

Figura 8.a - Usina de Compressão do Lixo de Montagem Horiz
Perspectiva (1).

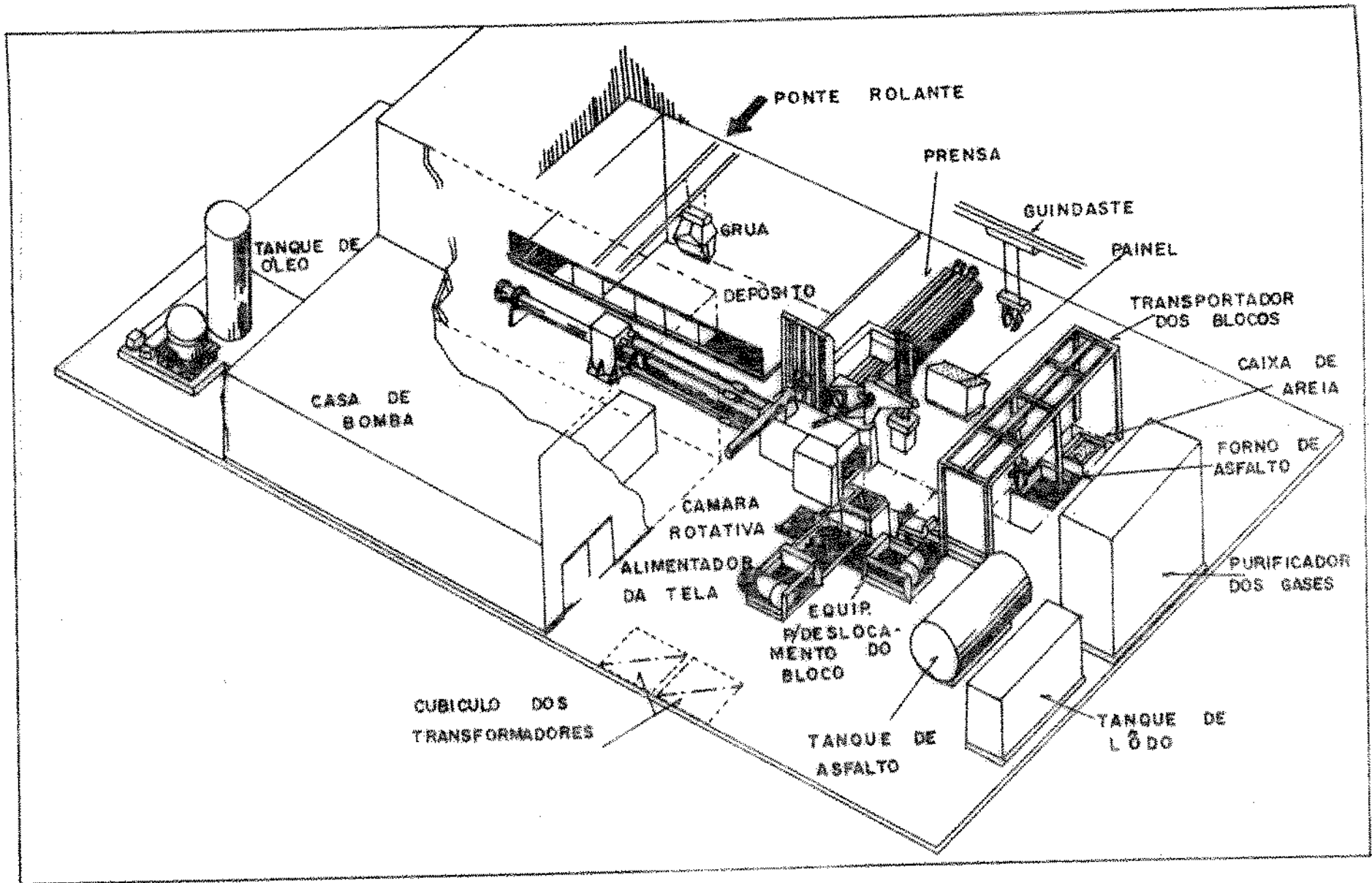


Figura 8.b - Usina de Compressão de Lixo de Monta Hc
Detalhes (1).

1. Alimentador lateral
2. Alimentador automático
3. Impulsor lateral
4. Prensa principal
5. Suporte móvel da moldura
6. Porta da prensa principal
7. Câmara rotativa
8. Porta da câmara
9. Moldura de proteção
10. Suporte da tela
11. Tela
12. Alimentador da tela
13. Cortador da tela
14. Equip. p/desloc. do bloco
15. Pegador dos blocos
16. Forno de asfalto
17. Caixa de areia
18. Correia transportadora
19. Bloco prensado
20. Bloco revestido com asfalto
21. Bloco acabado

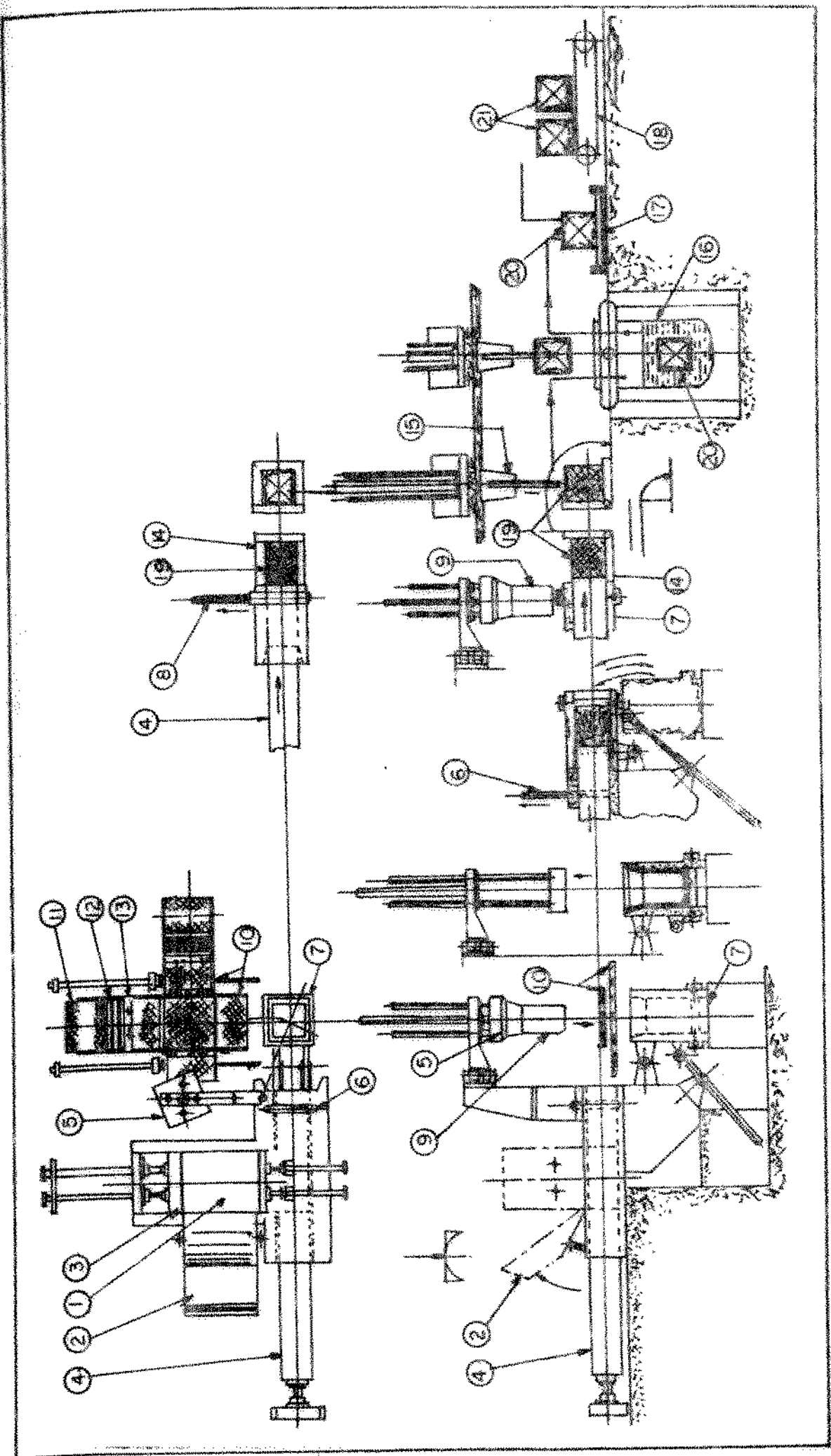


Figura 8.c - Usina de Compressão do Lixo de Montagem Horizontal.
Sequência de Operações (1).

1. Deposito Principal

4. Impulsor lateral

6. Forno de Asfalto

Alimentador Automático

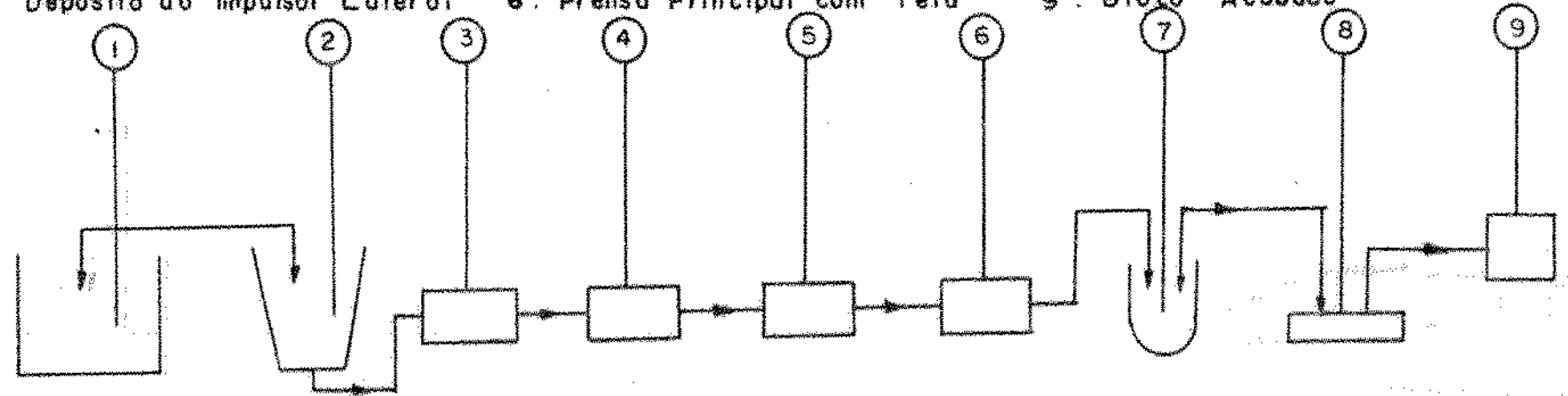
5. Prensa Principal sem Tela

7. Caixa de Areia

Deposito do Impulsor Lateral

6. Prensa Principal com Tela

9. Bloco Acabado



V.3. Processamento do Lixo

O tempo gasto num ciclo completo de processamento é de 14 minutos. (4).

Todavia, algumas etapas do processo são executadas ao mesmo tempo, o que reduz o tempo necessário para o operador produzir um produto final, para sete minutos e meio, independentemente da qualidade do lixo. Esta é uma das vantagens do processo de compressão.

Neste método, todos os procedimentos do processamento podem ser automatizados, os procedimentos do processamento podem ser divididos em quatro etapas, as quais são completamente automatizadas. Segue-se a descrição destas etapas:

1. Alimentação - Enchimento da Câmara - Compressão preliminar.
2. Tela Metálica - Colocação da Câmara de Compressão em posição - Colocação do bloco pré-comprimido na câmara - Compressão - Deslocamento da câmara - Esvaziamento da câmara de compressão - Acomodação da tela metálica na câmara.
3. Recolocação do bloco - Recompressão - Deslocamento da câmara - Extração do bloco por impulsionamento para cima.
4. Transporte do bloco - Banho de asfalto - Resfriamento - Destino final.

A automação total do processo é possível, se as etapas anteriormente descritas forem interconectadas em série.

Quando o início de uma operação num estágio intermediário, por alguma razão, requer operação manual, a automação da operação é possível, através de operações de reinício no começo de cada etapa.

Vários sistemas para a diminuição deste tempo têm sido considerados. Existem dois métodos tidos como os mais efetivos. O primeiro emprega a compressão do lixo somente uma vez, já utilizando o material de contenção (tela metálica) neste estágio, dispensando, portanto, a recompressão.

O segundo utiliza mais um sistema de compressão, construído vizinho ao já existente e que tem a função de remover o bloco da câmara de compressão e recomprimi-lo a fim de fixar a tela metálica. O investimento necessário para a instalação do primeiro método é maior do que aquele necessário para o segundo, além deste facilitar a automação do processo.

V.3.1. A Força Motriz - Os métodos de compressão de lixo podem utilizar o sistema de compressão por impacto, ou o sistema de compressão mecânica, usando cilindros ou outros dispositivos.

O sistema de compressão por impacto, presta-se à utilização quando é mais necessária a desagregação do material do que a compressão propriamente dita, e, além do nível de ruído produzido por este sistema, desaconselhar a sua utilização para este tipo de processo. Portanto, adota-se na compressão do lixo o sistema de compressão hidráulica, o qual é composto por um cilindro impulsionado a óleo com um amortecedor de ruídos.

Nas instalações de grande capacidade, deve ser empregado o sistema com um reservatório de óleo sob pressão.

Para a instalação ora em análise, este último sistema não poderia ser utilizado, pois as pressões variam nos diferentes cilindros, e, mesmo em cada cilindro, depen-

dendo da posição do mesmo durante o curso. Além disso durante a operação da prensa principal, a maior parte da pressão do óleo será absorvido nesta operação. Conseqüentemente em lugar do sistema do tanque de óleo sob pressão o qual não é completamente adaptável a qualquer instalação pode-se usar um sistema de conversão, utilizando-se uma válvula que incorpora a pressão por uma bateria de bombas.

Desta maneira pode-se tornar possível satisfazer às necessidades de volume e pressão, apesar das variações.

A razão de não se projetar uma bomba para uso exclusivo de cada cilindro, é que se torna mais econômico o uso das bombas em conjunto, possibilitando usá-las para outros fins que não o de somente acionar os cilindros, tanto mais que esses ficam imóveis durante certo tempo da manutenção da pressão.

Pode-se desta maneira utilizar-se várias bombas, de potências variando entre 30 a 55 KW.

A instalação de várias bombas de pequena potência, porém de mesma capacidade, contribuirá para a distribuição da carga de trabalho ao longo do tempo, além de, se acontecer um acidente em uma ou duas bombas ao mesmo tempo, poderá o mesmo ser tolerado sem efeitos adversos na operação da usina como um todo. O serviço de reparo nas bombas defeituosas seria feito, tirando-se cada uma de serviço, isoladamente, o que permitiria o mínimo de influência negativa no funcionamento geral. O tipo de bomba mais recomendada é o de pistão à baixa velocidade, porque a bomba de rotação de alta velocidade apresenta ainda alguns inconvenientes quanto à duração e ruído.

V.3.2. Cobertura Asfáltica - Durante o transporte bem como após a disposição final, o bloco está sujeito à expansão, desagregação, e decomposição etc., o que deve ser evitado, através de um acondicionamento. Presentemente, utiliza-se a tela de aço e a cobertura asfáltica como solução desses problemas.

Desse modo, consegue-se confinar os resíduos num recipiente formado pela tela de aço, que forma um bloco que é prensado como um todo e imerso em asfalto. A eficiência em impedir a deformação e a desagregação do bloco, será tanto maior quanto menor for a malha da tela e maior o calibre do arame utilizado em sua manufatura. Levando-se em consideração a economia, pode-se utilizar uma tela com malha de 25 mm tecida com fio de 1,6 mm de diâmetro (4).

Entretanto, é provável que alguma coisa menor do que esta malha - tal como vidro triturado ou metal - poderá sair do bloco, ou se o bloco for disposto no mar, haja um estumescimento por absorção de água.

A tela pode ser corroída pela salinidade da água do mar. O bloco prensado pode se desfazer dentro do mar e, desta maneira, tornar-se um agente poluidor. Uma cobertura asfáltica ajudará a prevenir os inconvenientes anteriormente citados e impermeabilizará completamente o bloco prensado.

Quanto mais alta a temperatura do asfalto tanto maior a penetração do mesmo. O bloco prensado é então retirado do asfalto e resfriado na água, o que solidifica a cobertura asfáltica com uma espessura média de 3 mm.

Esse tratamento especial com tela de aço e asfalto tem mostrado vantagens e desvantagens. Primeiro: o asfalto aquecido a uma alta temperatura emite fumaça com odor ofensivo, o que pode danificar todo o ambiente. A fumaça é succionada por um poderoso exaustor, que a impele para

um recinto de lavagem por injeção de água, antes de liberá-la na atmosfera. Outra desvantagem desse método de acondicionamento é o seu alto custo. Como é claramente indicado na Tabela 2, o custo da tela de arame chega a ser 56% do custo total do tratamento por compressão.

A parcela chega a totalizar 61% do custo total, quando se adiciona o preço do asfalto. A área da tela necessária para envolver um bloco de dimensões padrões é de aproximadamente 22 m². Numa instalação que produza 180 blocos por dia, haverá um consumo de 2.000 m de tela com largura de 1.80 m ou seja, cerca de 600 km num ano. Esse problema não envolve somente o custo, mas também o suprimento de tal quantidade de tela, uma vez que a indústria de manufatura de telas é geralmente de pequeno porte, o que acarreta um fator de incerteza no fornecimento seguro e constante. De qualquer maneira, atualmente, esse tipo de acondicionamento apresenta a solução mais viável. No entanto, estudos estão sendo desenvolvidos com vistas à utilização de resinas sintéticas. Até agora, contudo, o uso de resina sintética, apresenta alguns problemas como o do método de aplicação, o efeito de vedação e o desgaste, durante o transporte. Em qualquer caso o desenvolvimento de um novo meio de acondicionamento, é paralelamente seguido pela construção da instalação de tratamento.

Item	Custo %
Despesa de Pessoal	23,1
Custo de Óleo	2,0
Custo de Energia	7,9
Custo de Manutenção	5,8
Custo de Óleo Pesado	0,8
Custo do Asfalto	4,2
Custo da Tela de Arame	56,2

Tabela 2 - Discriminação da Participação dos Principais Itens no Custo Total do Processo (4).

V.3.3. Quantidade de Água Removida Durante a Compressão - A quantidade de água removida por compressão varia, dependendo da natureza do lixo. Os dados seguintes foram determinados nas instalações de compressão de KOTO KANKYO EISEI (1) em TOKYO e relacionam os componentes de uma amostra de resíduos sólidos analisados:

Tipo de Lixo	Porcentagem de Água no Lixo Antes de Compressão %
Lixo Composto	38,12
Lixo Doméstico	21,31
Resinas Sintéticas etc.	5,68
Outros	25,31

Quando o lixo é comprimido, a água retirada do lixo é da ordem de 5 a 7% em peso. Alguma água removida através da compressão é transferida para aqueles componentes do lixo que estão secos, ou que têm menor umidade. A água removida dos tipos de lixo já citados ou similares contém principalmente ácidos graxos de baixo teor.

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) situa-se entre 12.000 e 18.000 ppm. Essa água deve ser tratada e um dos sistemas adotados é a diluição da mesma a 300 ou 400% e, o posterior tratamento por lodos ativados. Durante a operação da usina as máquinas são lavadas após o término do trabalho diário, e essa água é, então, usada para a diluição. Como exemplo, dados de tratamento das águas residuárias são mostrados nas tabelas 3 e 4.

Aonde existe sistema de esgotos implantado, não há necessidade de se construir uma unidade especificamente para tratar essas águas drenadas, sendo necessário tão somente, a instalação de um tanque separador de óleo antes de introduzi-las no esgoto.

V.4. Utilização do Processo

Este processo é utilizado com vantagens em regiões onde não haja disponibilidade de terra ou onde seu custo seja muito elevado para a execução de aterros sanitários comuns, pois arrumando-se os blocos de lixo prensados, faz-se um uso mais racional da área a aterrar, além de possibilitar o aproveitamento imediato da área assim recuperada.

Uma das maneiras de se dar destino final aos blocos prensados é o seu lançamento no mar. Atualmente esta prática é condenada, em virtude da possibilidade de poluição do mar, resultante de rompimento dos blocos, o que acarreta a decomposição do lixo, além da falta de previsão do que realmente possa acontecer, em se abusando desse lançamento. Todavia, uma perspectiva promissora para esse tipo de tratamento de resíduos sólidos, é a utilização para processamento do lixo nas "Estações de Transbordo", a fim de diminuir o custo do transporte do lixo entre essas estações e a destinação final. Nesse caso, o processo pode ser

simplificado, não só suprimindo-se a tela e o asfalto, como também, dependendo do tipo de destinação adotada, diminuindo-se a pressão de compressão. Basicamente, o que se requereria na utilização deste processo de compressão nas estações de transbordo, seria a redução do volume do lixo até um ponto em que, o custo da instalação de prensagem, fosse contrabalançado pelos benefícios por ela proporcionados: maior massa específica do lixo - portanto barateando o custo de transporte - redução da interferência do constante transporte do lixo no tráfego da região envolvida etc. É evidente que neste caso não haveria maiores cuidados, quanto à expansão do lixo contido nos blocos prensados, pois, após o transporte e, dependendo do tipo de destinação final, talvez seria necessária a sua desagregação.

Parâmetro	Água drenada do lixo, incluindo as de lavagem das máquinas	Após tratamento no tanque de separação	Após Aeração	Efluente Final
Cor	Amarelo escuro	Amarelo escuro	Amarelo pálido	Fracamente amarelado
PH	4,40	4,40	7,5	7,15
Transparência em cm	0	0,5	2,0	8,5
NH ₃ -N (ppm)	48,78	62,72	0	0
ALB-N (ppm)	348,4	132,4	6,13	2,37
CL-ION (ppm)	832,0	506,4	65,26	42,11
Consumo de I ₂ (ppm)	888,9	523,0	23,96	11,2
DQO (ppm)	7.240	2.090	44,09	9,62
DBO (ppm)	12.150	6.300	99,35	10,00

Tabela 3 - Exemplo de dados analíticos obtidos em uma amostragem das águas residuárias provenientes de um dia de operação nas instalações da cidade de HAMAMATSU - JAPÃO (1).

Parâmetros	Águas Residuárias	Efluente
Aparência	Sólidos Sedimentáveis	Finas Substâncias em Suspensão
Transparência (cm)	0	27,5 a 28,5
Cor	acizentado escuro	fracamente marron
Olor	ofensivo	nenhum
PH:	5,2	7,9
Resíduo após evaporação (ppm)	11.273	284
Decréscimo após forte aquecimento (ppm)	8.414	88
Substâncias Solúveis (ppm)	1.917	278
Materia em Suspensão (ppm)	9.356	6
DBO (ppm)	4.220	5
DQO (ppm)	3.374	4,94
NH ₃ -N (ppm)	15,74	0,10
ALB-N (ppm)	67,5	-
Cl	285	71
Óleo	3,75	0,02

Tabela 4 - Exemplo de dados analíticos obtidos em uma amostragem das águas residuárias provenientes de um dia de operação nas instalações da cidade de KOFU - JAPÃO (1).

CAPÍTULO VI

ATERRO SANITÁRIO

VI.1. Características Gerais

O Aterro Sanitário é um processo de disposição final dos resíduos sólidos, porém como após a execução do aterro, a parte orgânica desses resíduos se decompõe, podemos considerá-lo também, como um processo de tratamento de resíduos sólidos. Os resíduos sólidos quando dispostos em aterro, são espalhados, compactados e cobertos com terra. A frequência da cobertura de terra, define os tipos de aterros que são normalmente utilizados. O aterro só pode ser denominado de ATERRO SANITÁRIO, quando os resíduos sólidos são espalhados compactados e cobertos com uma camada de terra de cerca de 15 cm de espessura diariamente (7). Quando após o espalhamento e compactação, executa-se a cobertura de terra apenas uma vez por semana, tem-se o ATERRO DE LIXO. Quando simplesmente se joga os resíduos sobre o solo e os mesmos são deixados por mais de uma semana sem cobertura, tem-se o que se denomina de LANÇAMENTO EM TERRA, que é a mais prejudicial forma de disposição de resíduos sólidos, pois forma o que normalmente se denomina de MONTUROS, dando condições de proliferação a artrópodes e roedores, que são os vetores de uma série de doenças como a febre tifoide, tifo murino, peste bubônica, etc. O aterro de lixo, por ter sua cobertura de terra executada semanalmente, reduz

bastante a possibilidade de proliferação desses vetores. Porém o mais adequado é, sem dúvida, o Aterro Sanitário, pois com a sua operação diária, englobando o espalhamento compactação e, principalmente, sua cobertura de terra, consegue-se não só controlar ao máximo a proliferação dos vetores acima mencionados como também, propiciar condições para decomposição da matéria orgânica contida nos resíduos sendo, portanto, este processo o mais sanitariamente adequado, quanto à disposição dos resíduos sólidos em aterros.

VI.2. Descrição do Processo

Como já anteriormente mencionado, o aterro sanitário é executado, espalhando-se e compactando-se o lixo após o que é o mesmo recoberto diariamente com uma camada de cerca de 15 cm de terra, formando a CÉLULA DE LIXO. A última camada de recobrimento, deve ter 60 cm de espessura e ficar acima da cota final projetada do aterro (7) pois, ao longo do tempo, e com a decomposição do lixo aterrado, haverá recalque, servindo esta diferença de altura, para contrabalançar o afundamento decorrente do recalque. O equipamento geralmente utilizado neste processo, é um trator que escava a terra, espalha, compacta e recobre os resíduos sólidos. Em grandes operações de aterro sanitário faz-se necessário o dimensionamento e a especificação do equipamento necessário.

Os aterros sanitários devem, sempre que possível, ser executados o mais próximo possível do núcleo urbano; produtor dos resíduos sólidos, pois o custo da coleta e transporte destes resíduos, é bem maior do que o da execução do aterro. Portanto, deve ser, inclusive, estudada a possibilidade de a prefeitura desapropriar áreas erodidas, ou de topografia inconveniente para o desenvolvimento urba

no, recuperá-las, através de Aterro Sanitário, para posterior venda ou construção de parques, playgrounds etc. (8).

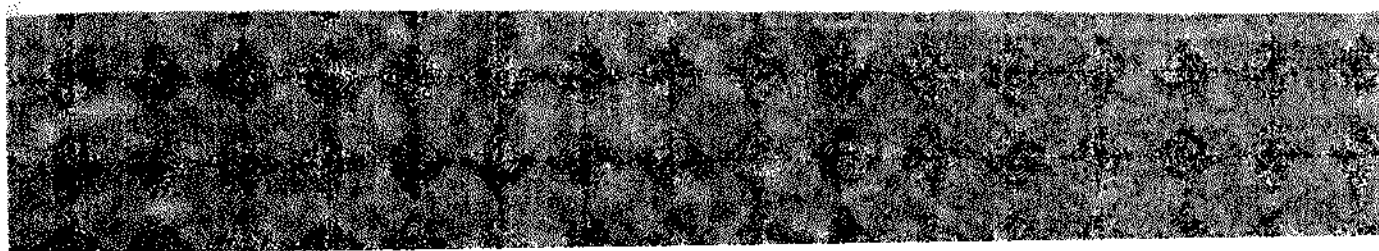
A área escolhida para se executar um aterro sanitário, deve ser estudada quanto a direção dos ventos, a direção natural da drenagem, o tipo de solo, a profundidade da camada de material de cobertura e a percolação do solo. Todos esses parâmetros, influirão no projeto do aterro, não só quanto à escolha do tipo de processo a ser adotado, como também da disposição das vias de acesso, áreas de aterro e cota final do terreno. A direção dos ventos dominantes influi na localização das áreas de aterro, pois, deve-se procurar evitar que o vento carregue o material mais leve para longe da área de trabalho.

A drenagem natural do terreno deve ser aproveitada ao máximo, e, de acordo com a topografia do terreno, o trabalho deve ser executado da parte mais alta para a parte mais baixa da área de disposição.

As vias de acesso à área de aterro devem permitir tráfego durante todo tempo. A operação dos vários tipos do processo de aterro sanitário é a mesma. A área de trabalho para todos os tipos de processo deve ser tão estreita quanto possível, e sua inclinação normalmente forma um ângulo de 30° o que faz com que a relação entre a elevação e o comprimento do talude seja de 1 para 2 (7).

VI.3. Classificação dos Aterros Sanitários

De acordo com as condições topográficas do local escolhido para a execução do aterro sanitário, este pode ser realizado abaixo ou acima do nível natural do terreno, podendo-se classificar os aterros sanitários em quatro tipos principais a saber:



- 1) Aterro sanitário em trincheira
 - a - Talude progressivo
 - b - Trincheira separada
- 2) Aterro sanitário em rampa
- 3) Aterro sanitário de áreas baixas
- 4) Aterro sanitário com blocos de lixo pre
dos.

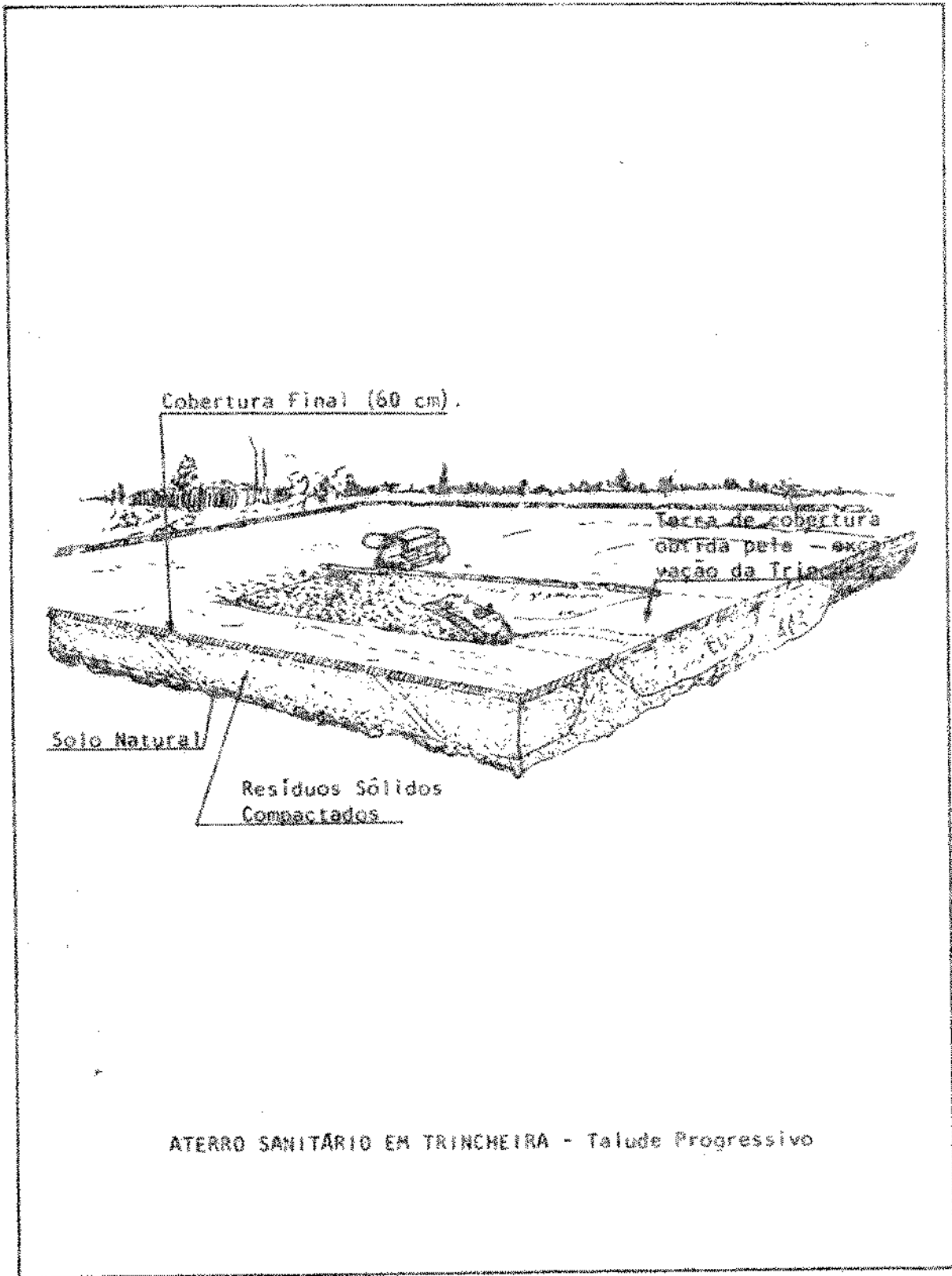
VI.3.1.a. Aterro Sanitário em Trincheira-Talude Pro
gressivo - Neste processo o material de cobertura é escavado da área a frente daquela onde se realiza o trabalho de ate
ro. Dessa maneira o material de cobertura é obtido o mais perto possível do local de trabalho e a trincheira é esca
vada de modo contínuo. A figura 9 ilustra esse tipo de ate
ro.

Esse processo é utilizado aonde a drenagem do terreno é favorável, e também quando os ventos dominantes são fortes, pois o mesmo permite o controle do lixo antes do espalhamento, compactação e cobertura de terra.

Na locação da primeira trincheira, deve-se ter em consideração a topografia do terreno. Quando o terreno tem uma declividade única, convém executar a escavação da trincheira da parte mais alta para a parte mais baixa. Pro
cedendo-se dessa maneira, consegue-se o escoamento das á
guas pluviais para fora da área de trabalho, evitando-se o encharcamento do terreno.

A trincheira geralmente tem uma largura, igual a duas vezes a largura do trator que executa o aterro e a célula de lixo, deverá ter uma altura máxima de 1,80 m de lixo, com um recobrimento no topo de 0,6 m e recobrimento no talude de 0,15 m de terra. O recobrimento do topo (0,60m) deve ser executado acima do nível do terreno. Portanto a altura total do aterro será de 2,40 m. Quando são necessá

Figura 9 - Aterro Sanitário em Trincheira
Taludê Progressivo (9).



ATERRO SANITÁRIO EM TRINCHEIRA - Talude Progressivo

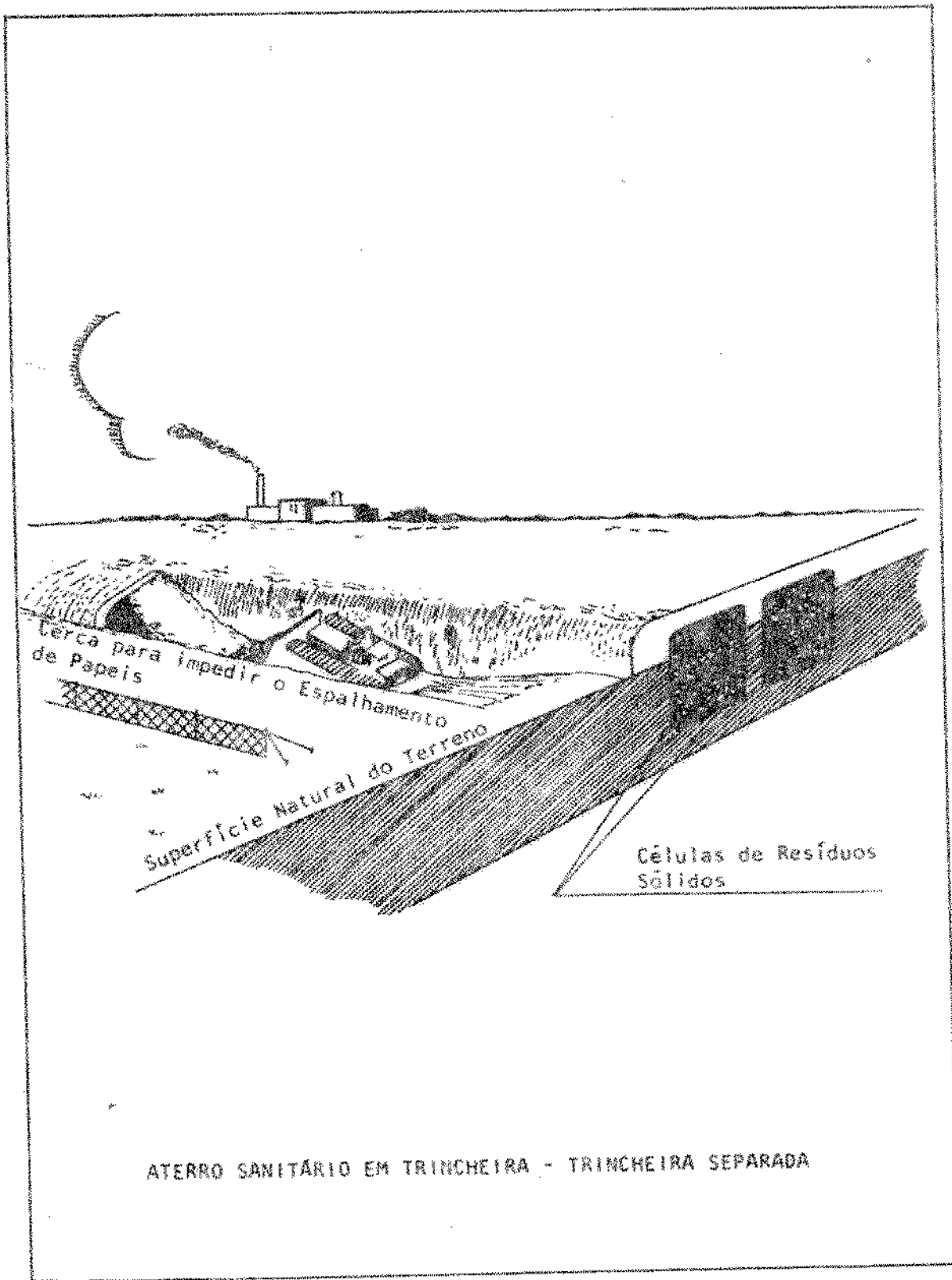
rios - devido às condições topográficas - aterros de maior altura, executa-se o mesmo por etapas ou seja, uma primeira célula com altura de 1,80 m de lixo recoberto com 0,15 m de terra, sobre essa outra célula, e, assim por diante, até atingir-se o nível natural do terreno, quando, então, será sobreposta a camada de 0,60 m de terra. (7).

Para se conseguir maior rendimento de trabalho do trator, bem como minimizar a quantidade de terra de recobrimento diário, deve-se executar o aterro com a área de sua face de trabalho reduzida ao mínimo possível, desde que seja suficiente para as manobras de caminhões e outros equipamentos. Assim, a área de lixo exposta durante um dia de trabalho é mínima.

VI.3.1.b. Aterro Sanitário em Trincheira - Trincheira Separada - Nesse processo, uma primeira trincheira é escavada. O lixo é espalhado e compactado nessa trincheira e o material de cobertura retirado da escavação de uma segunda trincheira adjacente à primeira, e assim por diante. A Figura 10 ilustra esse processo. Portanto, a principal diferença entre esse processo e o talude progressivo, é o local de onde se retira o material de cobertura. Na execução deste aterro, inicialmente se escava uma trincheira, e a terra é colocada de um lado da mesma. Após a conclusão dessa primeira trincheira, inicia-se a colocação, espalhamento e compactação do lixo fazendo-se a sua cobertura com a terra resultante da escavação da segunda trincheira. Assim, quando uma trincheira está aterrada com lixo, a outra já está escavada. As dimensões de largura, altura e do talude da face de trabalho mencionadas para o processo de talude progressivo, também são válidas para este processo.

O processo de aterro em trincheira separada, é indicado principalmente, quando o trator devido a outras

Figura 10 - Aterro Sanitário em Trincheira
Trincheira Separada (10).



solicitações trabalha descontinuamente no aterro, ou quando devido às chuvas, as condições de trabalho se tornam difíceis em determinada época do ano. Quando as condições topográficas dificultam a drenagem, a extremidade da trincheira oposta aquela em que se iniciou o aterro, deve, com relação a esta, ser rebaixada em cerca de 30 cm, provendo, desta maneira, o acúmulo de água nesta área e não interferindo com as operações diárias. Se a quantidade de água for tanta que atinja a área de trabalho, então será necessário o seu esgotamento com a ajuda de bombas.

VI.3.2. Aterro Sanitário em Rampa - Neste processo, as células de lixo podem ser executadas acima ou abaixo do nível natural do terreno.

Quando o material de cobertura é obtido por escavação executada na frente da rampa, a camada de lixo ficará abaixo do nível natural do terreno.

Quando o material de cobertura é transportado de outro local, a camada de lixo se situará acima do nível do terreno. No entanto, o aterro sanitário em rampa propriamente dito, é aquele executado acima do nível natural do terreno, e esse processo deve ser aplicado quando na área destinada ao aterro, existir volumes de terra suficientes para a cobertura, ou quando o nível do lençol freático do terreno for alto, ou ainda se o subsolo for rochoso e pouco profundo.

Quando a área a ser aterrada é inclinada, usando-se esse processo, executa-se uma rampa a partir da parte mais elevada do terreno, descarregando-se o lixo no terreno a frente da rampa, compactando-se e cobrindo-se o lixo com material obtido nas proximidades. Avançando a secção de lixo aterrada, no sentido da parte mais baixa a altura do

aterro vai aumentando progressivamente, nivelando o terreno até uma cota previamente estabelecida. Vide Figura 11.

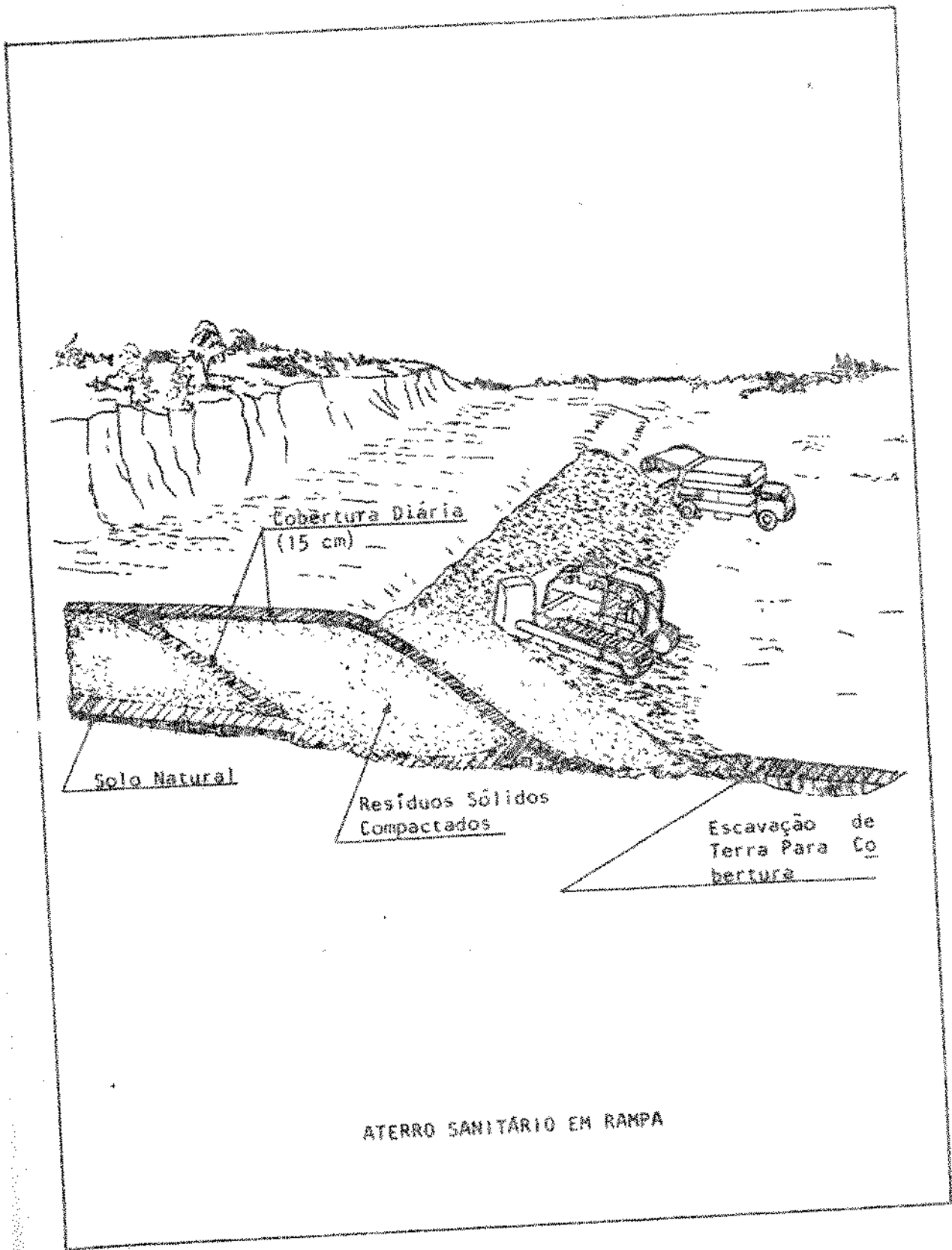
Quando se emprega esse processo em uma área em nível, a operação é análoga ao caso do terreno inclinado, com a diferença de a altura do aterro não aumentar progressivamente. Geralmente esse processo de aterro em rampa, é empregado em combinação com o aterro em trincheira, devido às condições especiais requeridas para que o mesmo seja empregado isoladamente,

Usando-se a combinação dos dois processos e desde que o solo permita, para uma célula do lixo de 1,80 m de altura, executa-se 0,90 m abaixo do nível do terreno pelo processo de trincheira progressiva, e 0,90 m acima do nível pelo processo em rampa, após o que se procede a cobertura com 0,60 m de altura.

Na utilização desse processo - combinado ou isoladamente - torna-se necessário um maior rigor no controle das dimensões, inclinação do talude etc., em virtude da limitação do volume do material de cobertura, além da necessidade de se recobrir as partes laterais da célula com uma camada de 0,60 m de espessura, idêntica ao recobrimento superior.

Se se adotar esse processo, sem antes executar as rampas de terra para a proteção lateral da célula do lixo, não haverá controle do mesmo, quando do seu lançamento, e o vento poderá espalhá-lo o que deve ser evitado. As rampas de proteção lateral devem ser construídas, tão ou mais altas do que a camada de lixo prevista. Após a execução do número de células suficientes para se atingir a cota final projetada de um determinado trecho, o seguinte já terá uma rampa lateral, executada para o primeiro trecho e assim por diante.

Figura 11 - Aterro Sanitário em Rampa (9).



Outra medida que pode ser tomada para facilitar o controle do lixo, é umedecê-lo, principalmente quando em sua composição preponderar o papel. Esta umidificação pode ser feita, molhando-se o lixo no caminhão coletor ou no descarregamento, pois, desta maneira consegue-se melhor compressão no aterro, ou no caminhão - se for o caso - além de dificultar o levantamento dos resíduos pelo vento.

VI.3.3. Aterro Sanitário de Área Baixa - Esse processo é utilizado quando se emprega o aterro sanitário para preencher buracos, erosões, grotas, e recuperar áreas pantanosas. Neste caso o material de cobertura necessário é transportado de outro local.

No início da execução deste tipo de aterro, nivela-se a área a ser aterrada, preenchendo-se com lixo as irregularidades por ventura existente e, continuando com a execução do aterro propriamente dito. Esse processo apresenta muitas variações com respeito a sua execução, pois as áreas baixas a serem aterradas, se apresentam com as mais variadas condições de topografia e nível de água, requerendo, portanto, um planejamento para cada caso em particular.

As obras de drenagem nesse tipo de aterro, são de primordial importância, a fim de possibilitar a realização dos serviços, inclusive, durante a época invernal. Embora o custo desse tipo de aterro possa ser superior aos outros já mencionados, esse é largamente compensado pela valorização da área recuperada, até então sem possibilidade de aproveitamento. Ainda mais: se não for utilizado o aterro sanitário, onde o lixo ocupa a maior parte do volume ter-será que aterrar a área em questão, totalmente com terra, o que é obviamente mais oneroso, uma vez

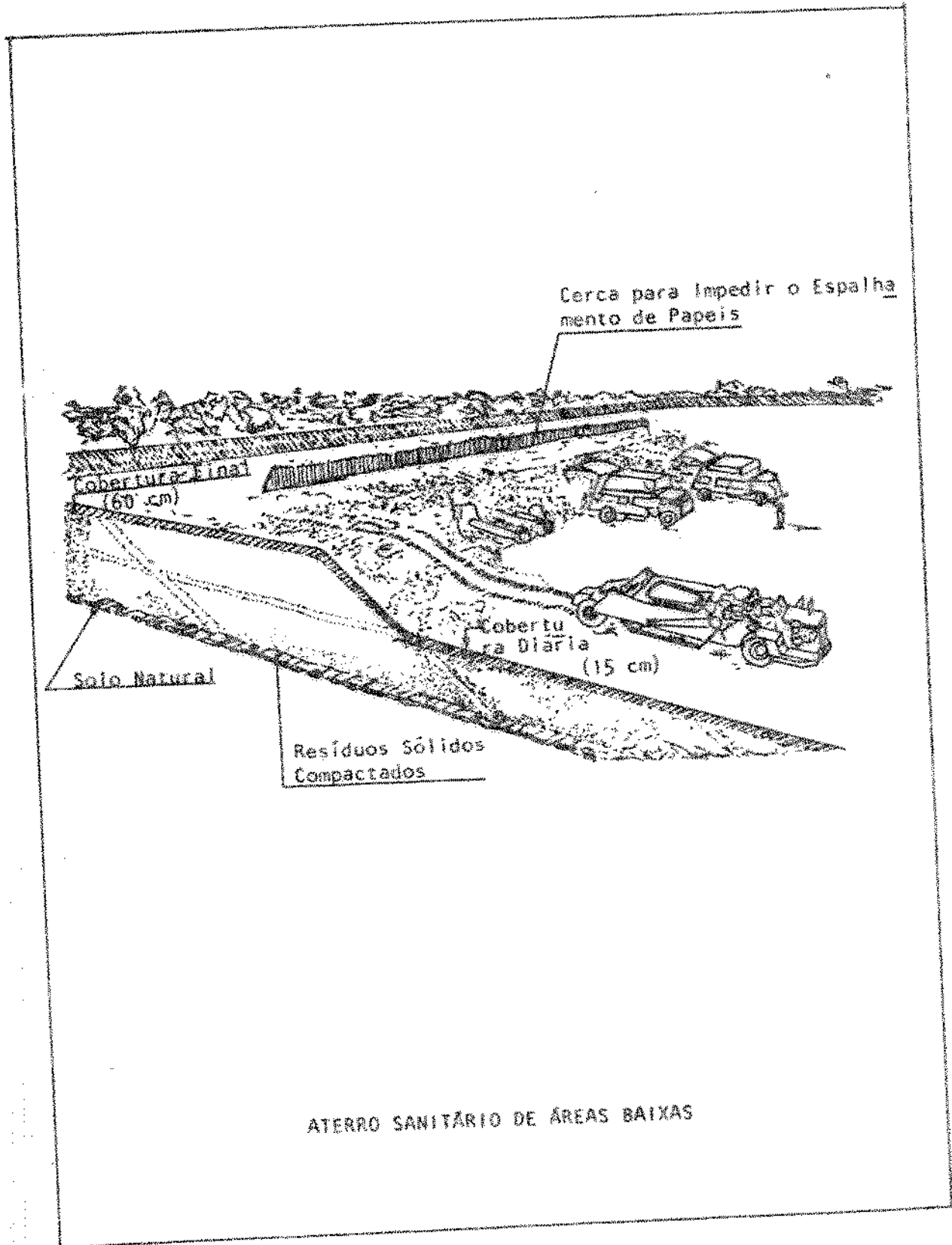
que, utilizando-se o lixo, se está além de diminuindo o volume de terra a transportar resolvendo um problema sanitário.

Quando se pretende aterrar uma área baixa em que não haja possibilidade de erosão - como por exemplo: uma grota - a execução do aterro deve se processar de borda à borda, através da grota, iniciando-se os trabalhos na extremidade de montante. As bordas servirão como rampa, ou área de trabalho, e o material de cobertura pode ser escavado do lado oposto da área da depressão. Quando é possível se conseguir material de cobertura de ambos os lados da depressão, a direção da execução dos serviços deve se alternar, a fim de possibilitar a consecução do material de ambos os lados. - Vide Figura 12. - Também nesse processo a disposição do lixo pode ser dividida em etapas, dependendo da profundidade da área a terrar, a qual pode ser efetuada em uma operação contínua de rampa, ou com rampas progressivas, constituindo diversas células de lixo superpostas.

Quando o nível da água no terreno é próximo da superfície, ou quando esse varia, acompanhando as flutuações das marés, torna-se vantajoso a utilização de um DRAGLINE. Este equipamento poderá escavar a área a ser aterrada, e colocar esta terra em terreno mais elevado para secar, e servir, posteriormente, como material de cobertura. Nos casos em que não existem condições de se depositar tal material, em um terreno acima do nível d'água nas adjacências, procede-se, então, à construção de um aterro de acesso à área de trabalho.

A partir desse aterro de acesso, executa-se outro com lixo, podendo-se operar mais de uma seção de aterro ao mesmo tempo. O Dragline deverá estar situado sempre à frente da área de trabalho, retirando o material e colocando aonde seja possível secá-lo para utilização posterior, na cobertura. O lixo é descarregado a partir do

Figura 12 - Aterro Sanitário de Áreas Baixas (9).



topo do aterro de acesso, compactado na face do talude e, posteriormente, coberto com o material escavado pelo Dragline. Sempre que se trabalha em áreas alagadas deve-se drená-la e bloquear o acesso da água tanto quanto possível, além de se prover dispositivos que impeçam o espalhamento do lixo que flutuar sobre a água. As bombas são equipamentos de muita utilização nesse tipo de operação.

VI.3.4. Aterro Sanitário com Blocos de Lixo Prensados - A execução de aterro com blocos de lixo prensados, possibilita o máximo de aproveitamento do espaço disponível para o aterro, uma vez que, com os blocos que possuem cerca de 4 vezes a massa específica do lixo "in natura", procede-se a sua arrumação na área a ser aterrada. Caso seja necessário, dependendo das condições topográficas da região escolhida, realiza-se uma terraplanagem, nivelando-se o terreno e construindo as suas vias de acesso.

Preparado o terreno, inicia-se o seu aterro, arrumando-se os blocos uns junto aos outros. Neste serviço é necessário o concurso de um guindaste ou empilhadeira, que retirará o bloco de cima do caminhão que o transportou da usina de prensagem e o colocará no devido lugar.

Dependendo da diferença de nível existente entre o fundo do aterro e a cota final projetada para o mesmo, poderá ser necessária mais de uma camada de blocos. Nesse caso, entre as camadas de blocos, pode-se intercalar uma camada de terra ou preferivelmente de areia, com cerca de 25 cm de espessura com a finalidade de regularizar a superfície formada pelos blocos, sobre a qual se assentará a camada superior.

O aterro deve ser projetado de tal maneira, que permita um recobrimento superior de cerca de 60 cm de terra para atingir a cota final projetada. Devido à estabi

lidade dos blocos, neste tipo de aterro, o recalque é praticamente nulo, (1) daí não ser necessário executar-se a camada final de cobertura acima da cota projetada, bem como também ser aconselhável, quando se usar a regularização da superfície entre as camadas de blocos, usar a areia, devido as suas propriedades incompressíveis.

VI.4 - Utilização do Processo

O processo de disposição dos resíduos sólidos em aterros sanitários, é o que exige o mínimo em equipamentos e mão de obra especializada. Consequentemente, esse processo, é particularmente aconselhado para as pequenas e médias comunidades, pois as quantidades de lixo geradas nestes centros, podem ser processadas com o emprego de um trator. Outro fator que influe na adoção desse processo, é a da distância de transporte do lixo, que ocorre nas pequenas e médias cidades, geralmente pequena, mesmo quando não há área a recuperar dentro do perímetro urbano. Algumas vezes pequenas comunidades situadas próximas umas das outras, podem realizar a disposição de seus resíduos sólidos conjuntamente, dividindo as despesas.

No caso de grandes cidades ou áreas metropolitanas, os grandes volumes de lixo produzidos, dificultam a operação desse processo, devido, não só a provável inexistência de áreas a recuperar dentro do perímetro urbano, como também às grandes distâncias de transportes que terão que ser vencidas, caso se opte pela execução do aterro fora do perímetro urbano. Na execução de aterros para disposição de grandes quantidades de lixo, é necessário um planejamento detalhado, não só quanto a área a ser escolhida, como também quanto à especificação e quantificação do equipamento a empregar.

CAPÍTULO VII

INCINERAÇÃO

VII.1. Características Gerais do Processo (15)

A incineração é o processo que utiliza a queima, como tratamento dos resíduos sólidos, reduzindo grandemente o seu volume original, e proporcionando a sua estabilização. É, pois do ponto de vista sanitário, o mais seguro processo de tratamento do lixo, uma vez que reduz a cinzas os materiais combustíveis, em sua grande maioria também decomponíveis, tornando-os, portanto, inertes. Esse processo é usado indistintamente como sendo de tratamento e de destinação final do lixo, devido à grande redução que se efetua no volume original do lixo processado, a qual é tanto maior, quanto maior for a sua percentagem de materiais combustíveis (11).

Após a incineração, as cinzas resultantes e materiais incombustíveis, são dispostos geralmente em aterros comuns, uma vez que o material disposto já está estabilizado, não causando ameaça à saúde pública.

VII.2. Descrição do Processo

O processo de incineração dos resíduos sólidos, consiste na queima desses resíduos em uma instalação especialmente construída para este fim e denominada, de forno incinerador ou simplesmente de incinerador.

CAPÍTULO VII

INCINERAÇÃO

VII.1. Características Gerais do Processo (15)

A incineração é o processo que utiliza a queima, como tratamento dos resíduos sólidos, reduzindo grandemente o seu volume original, e proporcionando a sua estabilização. É, pois do ponto de vista sanitário, o mais seguro processo de tratamento do lixo, uma vez que reduz a cinzas os materiais combustíveis, em sua grande maioria também decomponíveis, tornando-os, portanto, inertes. Esse processo é usado indistintamente como sendo de tratamento e de destinação final do lixo, devido à grande redução que se efetua no volume original do lixo processado, a qual é tanto maior, quanto maior, for a sua percentagem de materiais combustíveis (11).

Após a incineração, as cinzas resultantes e materiais incombustíveis, são dispostos geralmente em aterros comuns, uma vez que o material disposto já está estabilizado, não causando ameaça à saúde pública.

VII.2. Descrição do Processo

O processo de incineração dos resíduos sólidos, consiste na queima desses resíduos em uma instalação especialmente construída para este fim e denominada, de forno incinerador ou simplesmente de incinerador.

A combustão é alimentada pelos materiais combustíveis, existentes no lixo, tais como: papeis, trapos etc.

O oxigênio é fornecido, alimentando-se a câmara de combustão com a quantidade necessária de ar.

Devido a grande variedade de materiais existentes no lixo, o melhor meio de se determinar a quantidade de energia calorífica liberada, por essa mistura heterogênea é a de analisar amostras representativas do lixo (7).

No entanto, por convenção, no estudo da combustão, consideram-se três elementos geradores de energia calorífica a saber: carbono, hidrogênio e enxofre.

O carbono, queimado em presença de suficiente oxigênio, produz CO_2 , liberando 8.100 calorias por quilo queimado. O hidrogênio queima, produzindo água e liberando 34.000 calorias por quilo. O enxofre produz 2.500 calorias por quilo queimado e dando como resultado a formação de SO_2 . Geralmente o lixo contém muito pouco enxofre, excetuando aqueles provenientes de determinadas indústrias, os quais devem ser estudados separadamente. (7)

O "poder calorífico" do lixo é a quantidade de calorias produzidas pela combustão de 1 quilograma de lixo. Esse poder calorífico cresce com a maior percentagem de materiais combustíveis no lixo, e diminui com o aumento de umidade e de cinzas nele existentes.

VII.3. Classificação dos Incineradores

Os incineradores classificam-se quanto ao modo de operação em:

- a) Incinerador de Carga e Descarga
- b) Incinerador de Carga e Descarga Mecanizada
- c) Incinerador Semi-Contínuo
- d) Incinerador Contínuo.

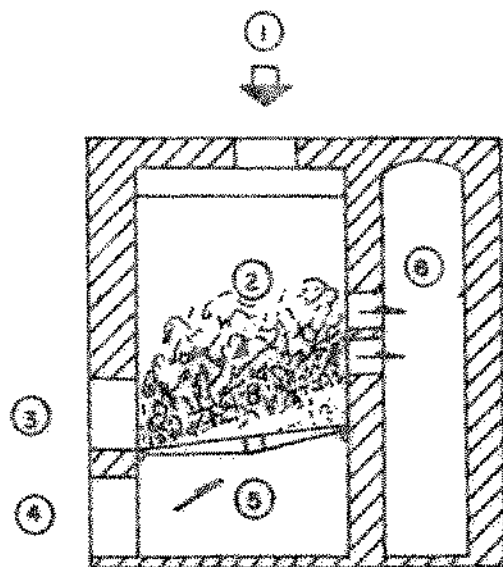
O Incinerador de Carga e Descarga tem uma estrutura simples, na qual se desenvolve o processo repetitivo de carregar o incinerador com o lixo a queimar, e retirar as cinzas após a queima. Esse é o modelo original do incinerador de lixo, no qual a grelha é fixa e instalada na parte inferior da câmara de combustão. As dimensões desse tipo de incinerador são limitadas, devido a sua construção ser de alvenaria, e sua capacidade máxima de incineração de 20 toneladas por dia. Portanto, quando se necessita obter maior capacidade de incineração, constroem-se tantas câmaras de combustão quantas forem necessárias.

Com relação a operação desses incineradores, verificam-se grandes variações, não só no volume de gás gerado, como também na temperatura de combustão. Consequentemente, torna-se difícil conseguir-se uma combustão perfeita, havendo ainda a possibilidade da fumaça emitida conter odores ofensivos. Todavia devido a simplicidade da estrutura e ao baixo custo, esses incineradores têm sido usados há longo tempo, a despeito do seu baixo rendimento. Vide Figura 13.

O Incinerador de Carga e Descarga Mecanizada, apresenta várias melhorias com relação ao incinerador de carga e descarga comum, as quais visam a diminuição da mão de obra e a execução de um maior número mecânico de operações, compreendendo as de carga e descarga. Para carregar, os resíduos sólidos são inicialmente estocados em um depósito, de onde uma grua transporta-os para o forno e, após a combustão, a remoção das cinzas processa-se através de uma esteira transportadora.

O Incinerador Semi-Contínuo é um modelo, no qual várias partes mecanizadas do incinerador contínuo são simplificadas. Vide Figura 14.

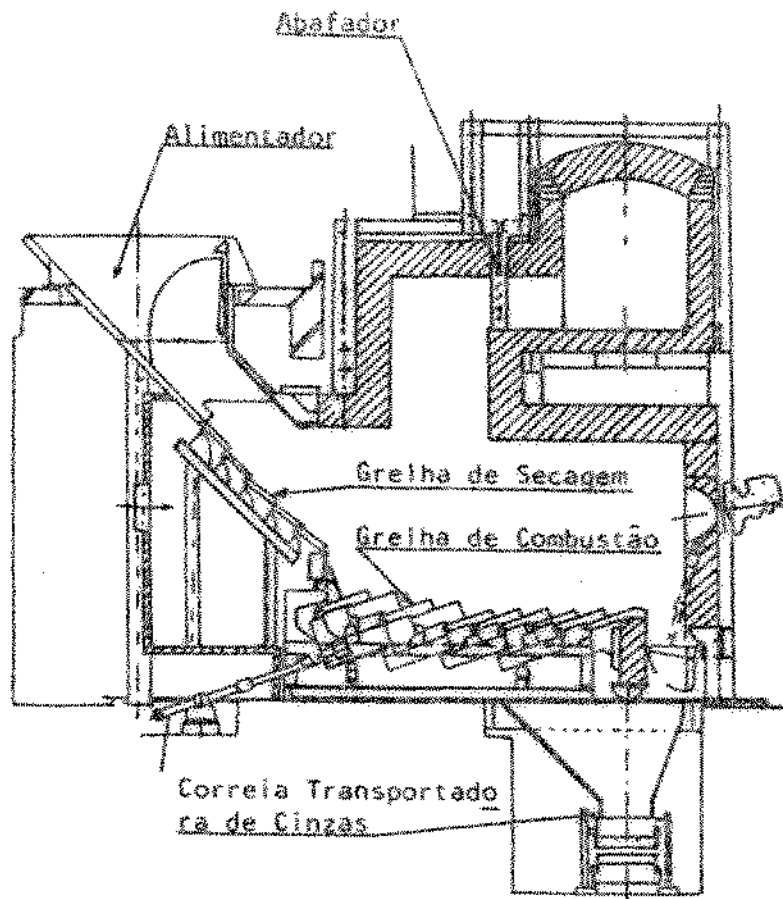
Figura 13 - Incinerador de Carga e Descarga (12)



- ① Entrada
- ② Fornalha
- ③ Janela da Fornalha
- ④ Janela das Cinzas
- ⑤ Depósito de Cinzas
- ⑥ Conduto dos Gases

INCINERADOR DE CARGA E DESCARGA

Figura 14 - Incinerador Semi-Contínuo (12)



INCINERADOR SEMI-CONTÍNUO

Este incinerador pode ser confundido com o de carga e descarga mecanizada.

A diferença básica entre esses, consiste em que o equipamento de transporte do lixo, desde a entrada até a saída das cinzas torna-se quase contínuo, e altas temperaturas são permanentemente mantidas na câmara de combustão.

No Incinerador Contínuo o processo de transporte do lixo para a combustão, bem como a retirada das cinzas, apresenta-se inteiramente mecanizado e capaz de tratar o lixo continuamente.

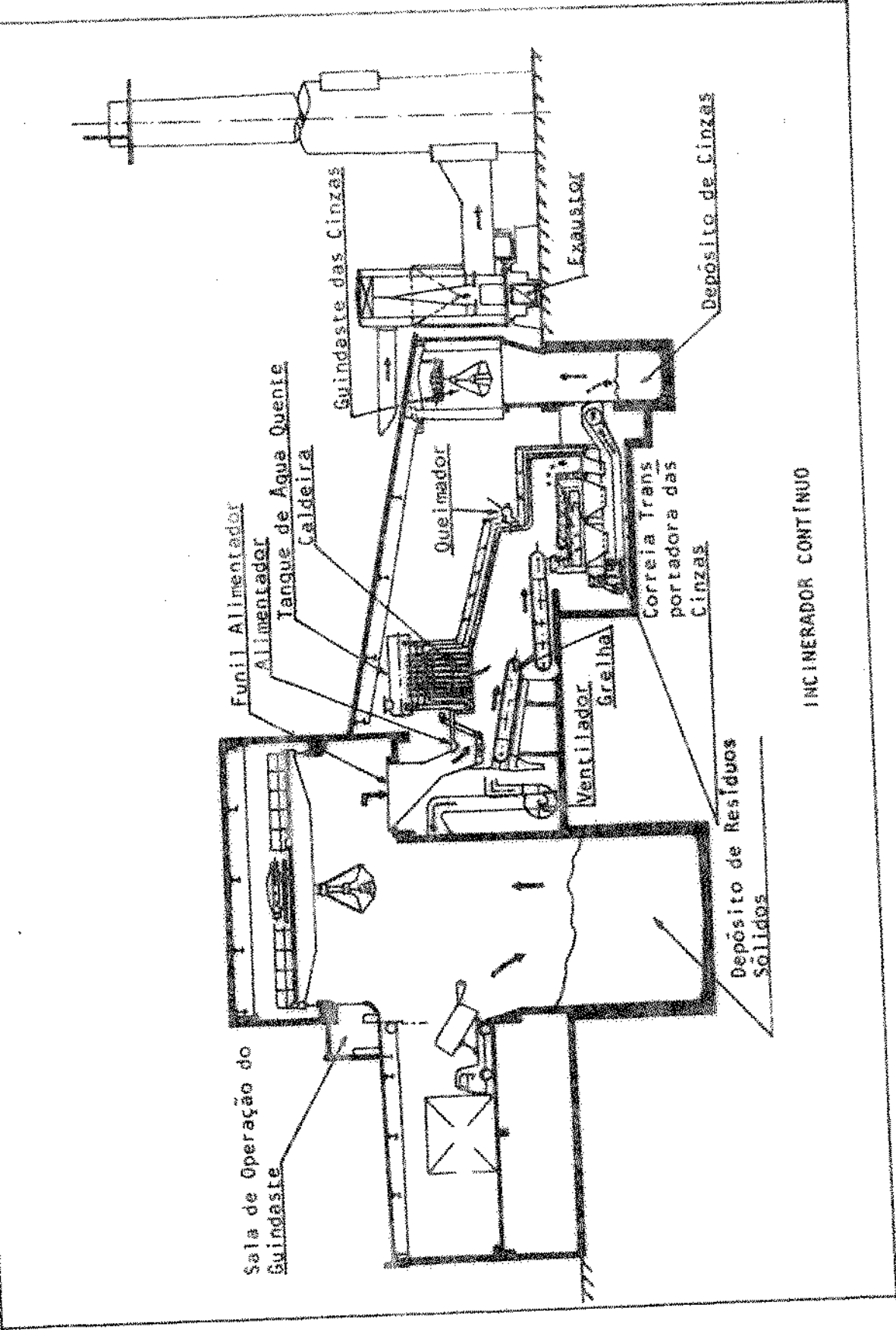
Esse modelo tem se desenvolvido, acompanhando a evolução dos equipamentos de controle da poluição e tornando-se atualmente no incinerador de lixo mais usado pelas municipalidades. Portanto descreve-lo-emos em detalhes nos parágrafos seguintes.

VII.4. Descrição do Incinerador Contínuo

No incinerador contínuo, os resíduos sólidos são despejados dos veículos coletores em um reservatório de estocagem, e, daí, transferidos por intermédio de um guindaste equipado com uma grua para o funil alimentador do incinerador. Vide Figura 15.

Do funil alimentador os resíduos são transportados por um alimentador situado em sua parte inferior para a grelha mecânica de secagem, e, aí, secados pelo calor radiante, proveniente da alta temperatura dos gases da câmara de combustão, como também, pela alta temperatura do ar admitido pela parte inferior do incinerador, o que provoca a combustão de parte dos resíduos que são transportados para a câmara de combustão, prosseguindo o processo de queima já iniciado.

Figura 15 - Incinerador Contínuo (12).



Sala de Operação do Guindaste

Funil Alimentador

Alimentador

Tanque de Água Quente

Caldeira

Queimador

Ventilador

Grelha

Correia Transportadora das Cinzas

Cinzas

Depósito de Resíduos Sólidos

Guindaste das Cinzas

Exaustor

Depósito de Cinzas

INCINERADOR CONTÍNUO

Na câmara de combustão os resíduos são queimados com a ajuda de abundante quantidade de ar pré-aquecido, e a parte mais resistente à incineração, é queimada durante tempo suficiente graças a mistura verificada nas sucessivas grelhas de combustão, sendo, finalmente, reduzidos completamente a cinzas.

Os resíduos incinerados e transformados em cinzas, são imersos na água para extinção do fogo e resfriamento.

As cinzas resultantes são, então, conduzidas por uma correia transportadora, e estocadas em um depósito de onde são retiradas por uma grua, e carregadas em caminhão, que as levará para a disposição final, o que geralmente é feita em aterros.

O ar necessário para a combustão é succionado por um exaustor, do depósito de lixo, com o propósito de prevenir a exalação de maus odores do depósito, devido à geração neste, de uma pressão negativa. O ar posteriormente aquecido é distribuído para as grelhas.

O gás com a alta temperatura em que é gerado na combustão, segue o caminho para o equipamento de resfriamento após o qual, com a sua temperatura já sensivelmente reduzida passa pelo equipamento coletor de poeira, onde as partículas sólidas, contidas no mesmo, são retidas seguindo-se a sua difusão na atmosfera.

Das principais partes constituintes de um incinerador, devemos considerar cuidadosamente o funil alimentador de lixo, as grelhas e a estrutura de tijolos refratários.

O Funil Alimentador ou Tremonha, recebe o lixo transportado pela grua, tendo a função de alimentar continuamente a câmara de combustão com os resíduos a serem

incinerados, e que são intermitentemente transportados pela grua do depósito de lixo. No funil alimentador, os resíduos são estocados por um período de tempo que depende das condições de combustão existentes na fornalha.

Estes resíduos têm ainda a função de vedar a comunicação do interior do incinerador com a atmosfera, evitando, desta maneira, a entrada desnecessária do ar para a câmara de combustão, bem como, a saída desta dos gases da combustão.

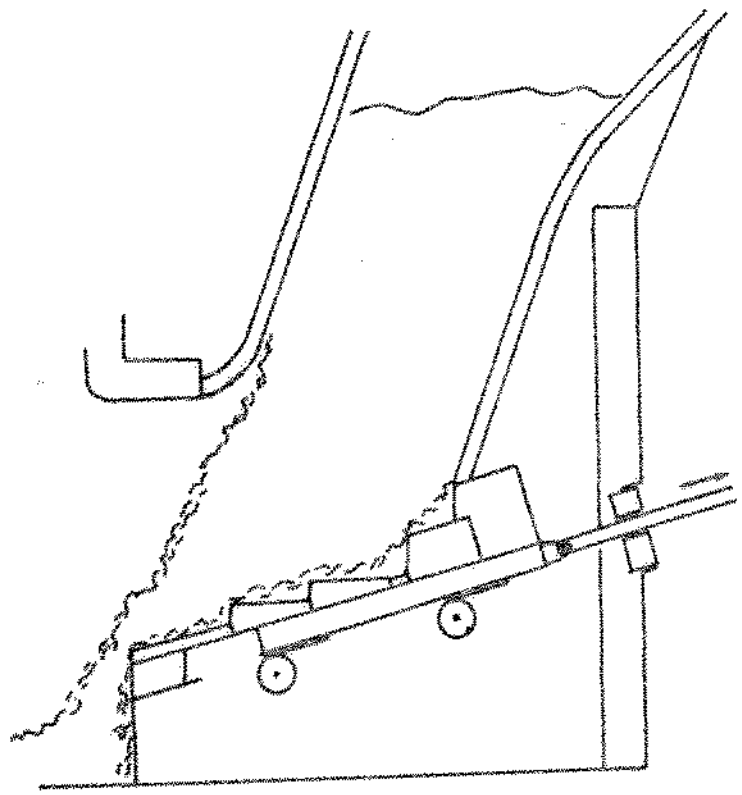
Quando o funil alimentador recebe os resíduos, os quais contêm materiais dos mais diversos tamanhos, pode ocorrer o "fenômeno de formação de abóbada", ou seja: os resíduos da parte inferior vão sendo alimentados na fornalha, no entanto, em determinado momento, devido às dimensões irregulares dos resíduos, esses se distribuem nessa parte inferior segundo uma linha de equilíbrio que tem a forma de abóbada - o que gera o efeito de arco - impedindo a queda dos resíduos para alimentar a fornalha. Dessa maneira, embora se continue a alimentar o funil em sua parte superior, o fluxo contínuo é interrompido, pois a abóbada formada na parte inferior impede o deslocamento dos resíduos. Portanto, deve-se prestar sempre atenção quanto à possibilidade de formação da abóbada e, caso aconteça isso, a interrupção gerada pela mesma tem que ser rompida, usando-se a grua como equipamento auxiliar para se desagregar os resíduos.

As dimensões do funil de alimentação são determinadas em função da capacidade do incinerador, e suas paredes têm um ângulo de inclinação em torno de 45° , para facilitar o escorregamento dos resíduos.

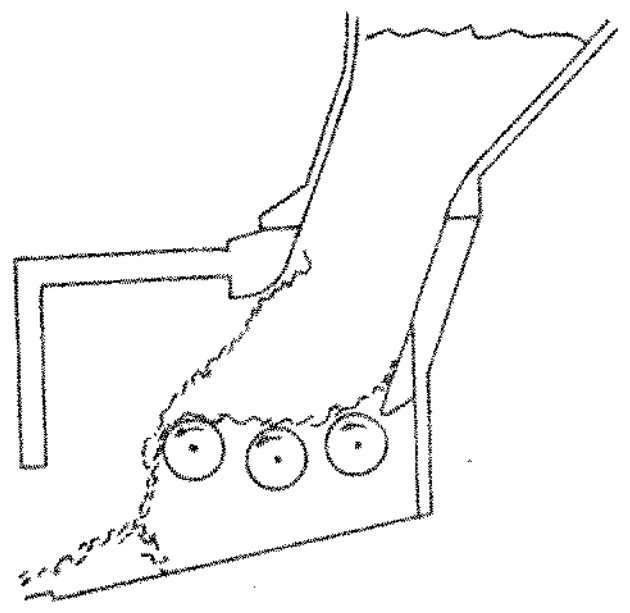
O alimentador de lixo, propriamente dito e que fica localizado abaixo do funil, pode ser de dois tipos diferentes: Cilindros Rotativos e Impulsor. Vide Figuras 16 e 17.

Figura 16 - Alimentador de Cilindros Rotativos (12)

Figura 17 - Alimentador Impulsor (12)



ALIMENTADOR IMPULSOR



ALIMENTADOR DE CILINDROS ROTATIVOS

O alimentador de cilindros rotativos, formado por vários cilindros com velocidades de rotação reguladas, ao mesmo tempo em que conduzem os resíduos para a câmara de combustão, executa uma compressão destes resíduos, diminuindo a sua massa específica aparente, e aumentando o rendimento da combustão. Além de suprir os resíduos de forma contínua, esse tipo de alimentador, oferece a vantagem de um fácil controle do volume alimentado através da variação da velocidade de rotação dos cilindros.

No alimentador tipo impulsor, os resíduos são empurrados para a câmara de combustão por uma estrutura com movimento de vai e vem, acionada hidraulicamente. Com esse tipo de movimento, o alimentador tem uma tendência a formar blocos de resíduos comprimidos, o que diminui o rendimento da combustão. Todavia, esse tipo de alimentador é usado em muitos casos, devido a sua simples estrutura, e possibilidade de controle de velocidade.

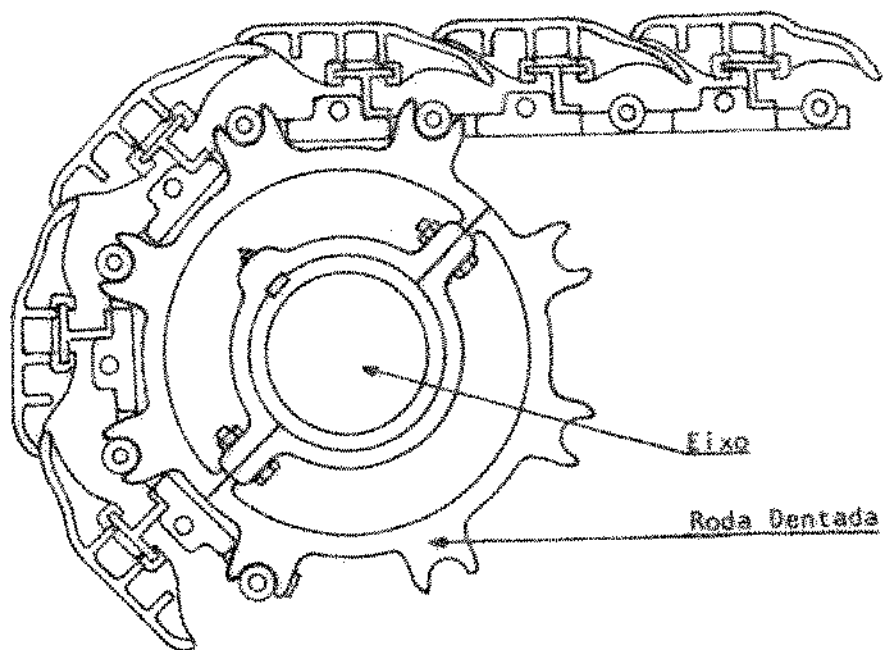
A Grelha Mecânica é o ponto mais importante do incinerador, e pode ser dividida nas seguintes áreas: secagem, combustão e combustão subsequente ou secundária. Como é difícil definir exatamente os limites dessas áreas, devido as variações na qualidade dos resíduos, o mesmo tipo de grelha pode ser adotado para todas elas.

Quando se incineram os resíduos, os mesmos passarão forçosamente, por todas essas áreas, porém os seus limites estão sempre se superpondo.

As grelhas mecânicas são classificadas em dois grupos: GRELHA MECÂNICA MÓVEL e GRELHA MECÂNICA DE MOVIMENTO ALTERNADO. Vide Figuras 18 e 19.

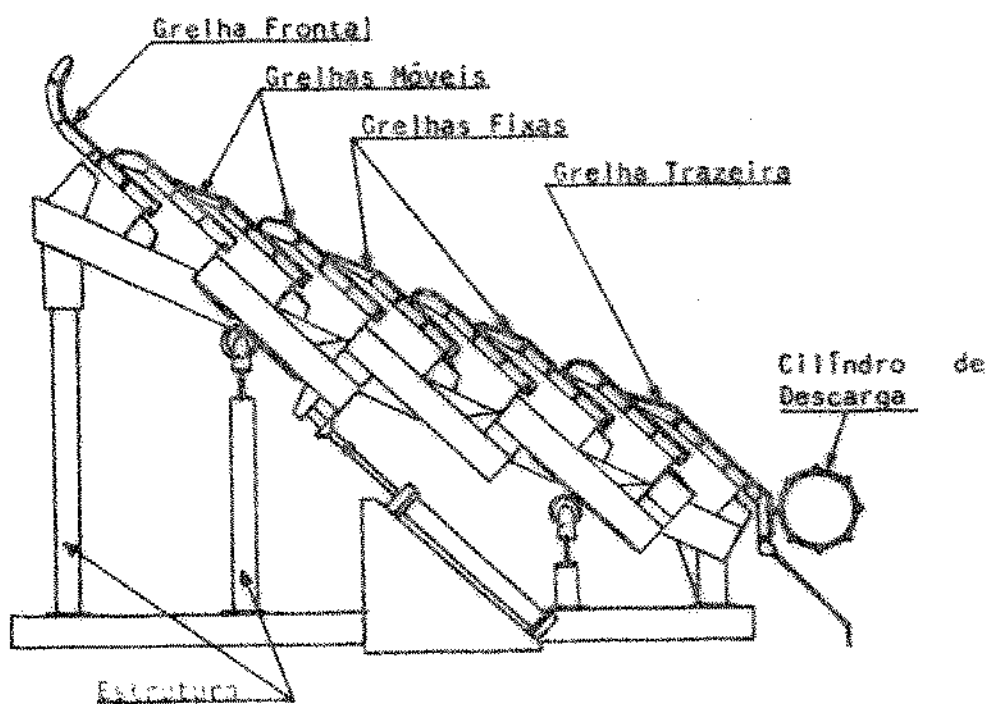
Na grelha mecânica móvel, os dois eixos são conectados por uma corrente, na qual são fixadas as barras componentes da grelha. Nessas barras estão montadas as articulações que permitem a mobilidade da grelha, acionada por uma roda dentada, fixada em cada eixo que impulsiona a corrente.

Figura 18 - Greiha Mecânica Móvel (12)



GRELHA MECÂNICA MÓVEL

Figura 19 - Grelha Mecânica de Movimento Alternado (12)



GRELHA MECÂNICA DE MOVIMENTO ALTERNADO

Nesse tipo de grelha - como o movimento é em uma única direção - não há mistura dos resíduos, no entanto, o desgaste das peças é mínimo, e não se desenvolvem grandes tensões na grelha, podendo-se construí-la com peças de pequenas dimensões, o que lhe possibilita uma maior resistência ao calor.

A grelha mecânica de movimento alternado é formada por conjuntos de lâminas fixas e móveis, instaladas alternadamente. As grelhas móveis são fixadas numa estrutura que, tendo um movimento de vai e vem, provoca um movimento relativo entre essas e as fixas. Esse movimento, enseja o surgimento de problemas de desgastes, o que deve ser constantemente observado.

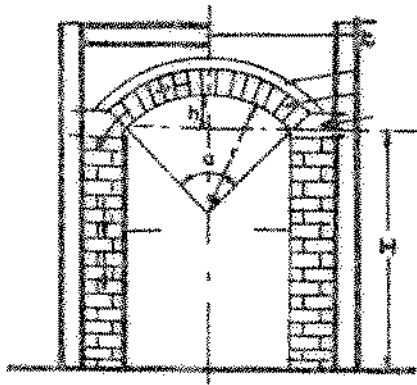
As estruturas de tijolos refratários são classificadas em dois tipos: Estruturas em Abóbadas e Estruturas Suspensas. Vide Figuras 20 e 21.

Na estrutura em abóbada, o teto é executado em forma de abóbada ou arco, o que permite sua auto-sustentação, independentemente das paredes de apoio laterais. No entanto, esse tipo de estrutura, limita a largura do incinerador, além de fissurar facilmente com o movimento de expansão e compressão dos tijolos. Não obstante, o seu baixo custo de construção, tem feito com que a mesma haja sido frequentemente utilizada. Por outro lado, apesar do custo de instalação ser baixo, o seu custo de manutenção é elevado, devido às dificuldades inerentes aos reparos. Na estrutura de tijolos refratários de teto suspenso, os tijolos são construídos de forma a serem instalados em vigas de aço, formando um teto plano. As vigas do teto são apoiadas lateralmente em uma estrutura metálica.

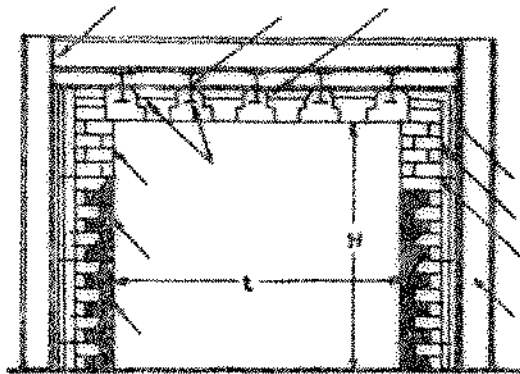
Esse tipo de estrutura de tijolos refratários, permite a construção de incineradores de grande largura e, apesar do seu custo de construção inicial ser apreciável, o seu custo de manutenção é baixo.

Figura 20 - Estrutura em Abóbada (12)

Figura 21 - Estruturas Suspensas (12)



ESTRUTURA EM ABÓBADA



ESTRUTURAS SUSPENSAS

VII.5. Utilização da Energia Calorífica

Uma grande quantidade de energia calorífica é gerada pela incineração dos resíduos sólidos. Se os gases produzidos na incineração forem simplesmente liberados na chaminé, estarão com temperatura bastante elevada. Portanto, há a necessidade de baixar a temperatura dos gases para cerca de 300°C, antes de liberá-los na atmosfera, a fim de se proteger os vários equipamentos instalados no incinerador, inclusive aqueles para controle da poluição. Um dos métodos utilizados para baixar a temperatura do gás, consiste em vaporizar diretamente sobre o mesmo, água sob alta pressão em uma câmara de resfriamento. O calor latente de vaporização da água, retirado do gás, provoca a queda da temperatura deste.

Outro método, é a instalação de uma caldeira no sistema de exaustão dos gases, na qual o vapor é gerado por transmissão do calor do gás, o que diminui a sua temperatura. No caso do vapor gerado não ter utilização, é condensado, voltando à caldeira. O resfriamento e condensação do vapor, pode ser feito, utilizando-se condensadores a ar ou a água. Há, também, o método de se injetar ar frio no gás para baixar a sua temperatura. No entanto, a sua eficiência torna-se muito baixa, em consequência da grande quantidade de ar requerida, o que aumenta significativamente a quantidade de gás expelido pela chaminé, além de exigir o acréscimo, da capacidade dos equipamentos eliminadores de poeira.

Há, ainda, a possibilidade de utilização da energia calorífica gerada na incineração, na geração de eletricidade, ou no aquecimento residencial. Para se produzir eletricidade, gera-se o vapor em uma caldeira, e esta aciona uma turbina a vapor, a qual, através de um gerador produz energia elétrica. Esse sistema pode ser dimensionado

para produzir somente a energia elétrica necessária à usina de incineração. Quando a energia calorífica, produzida pelo incinerador, e transformada em energia elétrica é superior às necessidades da usina, o excesso poderá ser distribuído, pela companhia exploradora desse serviço na região. Nesse caso, deve-se atentar para o fator confiabilidade uma vez que, com a variação da qualidade do lixo, variará a quantidade de energia calorífica produzida e, em consequência, a quantidade de vapor e eletricidade conseguidos.

Nos países de clima frio, também utiliza-se o vapor total, produzido ou o excesso após a geração da eletricidade consumida pela usina de incineração, para o aquecimento domiciliar da área a ela adjacente.

VII.6. Controle da Poluição

As instalações de incineração, quando não bem operadas, provocam a poluição atmosférica. O reservatório de resíduos sólidos, tem uma capacidade maior do que aquela processada diariamente no incinerador, porquanto o lixo ali acumulado entra em decomposição, gerando maus odores, bem como água residuária. O controle dos odores é feito, aspirando-se desse reservatório, o ar a ser introduzido na câmara de combustão.

Quando a queima é imperfeita, os gases de combustão têm, também, odor ofensivo, o que pode ser eliminado, mantendo-se a temperatura de incineração acima de 700°C (7). A poeira carregada por esses gases, deve ser recolhida em precipitadores que podem operar mecânica ou eletricamente. Com esse equipamento para controle de poluição, retira-se dos gases as partículas sólidas de maior diâmetro, liberando-se na atmosfera um gás não poluidor.

As águas residuárias produzidas numa usina de incineração, são águas residuárias decorrentes da decomposição dos resíduos sólidos existentes no depósito, água usada para extinção e resfriamento das cinzas, e água usada para a lavagem dos gases, com o fim de remover gases venenosos.

Essas águas são tratadas em uma estação de tratamento dimensionada para tal fim. Quando a região onde a usina está situada, é servida de sistema de esgotos, essas águas podem ser diluídas e introduzidas no sistema de esgotos, ou ainda serem tratadas até um determinado grau que possibilite um efluente com características que não interfiram com a estação de tratamento existente para o sistema de esgotos, aonde o mesmo é introduzido.

VII.7. Utilização do Processo

O processo de incineração do lixo é, geralmente, utilizado em regiões de grande densidade populacional, as quais não dispõem de áreas para realização de aterros, ou, quando a distância de transporte é muito grande para se atingir tais áreas. Há, ainda, outro fator que influencia para que a destinação final dos resíduos sólidos, seja o mais perto possível do local de coleta nas áreas metropolitanas, que é o tráfego, em virtude do aumento nele causado no caso em que se verifique a necessidade de todos os veículos coletores tiverem de se deslocar a grandes distâncias para descarregar o lixo, além de onerar os custos de transporte. Portanto, nesses casos, pode-se optar pela incineração, que é um método que permite o tratamento do lixo a distâncias mínimas de transporte do local de coleta, sendo as cinzas dele resultantes transportadas para disposição em aterros, porém em muito menor volume do que os resíduos originalmente incinerados e quimicamente estabilizados.

CAPÍTULO VIII

PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES ORGÂNICOS

VIII.1. Características Gerais do Processo (16)

As cidades necessitam de zonas agrícolas ao seu redor, que têm a função de produzir os mais diversos produtos para seu consumo. Estas áreas agrícolas só serão possíveis se se mantiverem as terras com bons índices de fertilidade. O lixo urbano contém elementos que, manipulados adequadamente, pode auxiliar na fertilização dessas zonas, bem como, na criação e manutenção de jardins públicos e particulares.

No planejamento do aproveitamento da matéria orgânica existente no lixo, dois aspectos podem ser considerados:

1) A organização dos serviços que deve objetivar principalmente, a produção de fertilizantes para a manutenção da fertilidade das áreas verdes, considerando-se secundária a destinação do lixo.

2) A organização dos serviços tem a finalidade de precípua de dar destino ao lixo coletado, sendo, neste caso, o aproveitamento da parte orgânica como fertilizante, considerado em segundo plano.

Dependendo das condições particulares de cada comunidade, pode-se optar por uma ou outra das diretrizes acima mencionadas. O fator econômico geralmente é o que mais influencia na escolha do tipo de atividade a ser adotada.

De qualquer modo, não se deve pensar unicamente em se dar destino final ao lixo de forma mais rápida e barata possível. Atualmente não paira dúvidas sobre a necessidade de se devolver ao solo em forma de húmus, o que lhe foi retirado pelo cultivo intensivo.

A fertilização total do solo não é conseguida somente com água e fertilizantes químicos, pois os terrenos devem possuir a capacidade de reter a umidade e resistir à erosão, propriedades que são fornecidas pelo húmus. Portanto, a fertilidade do solo apresenta dois aspectos quais sejam; químico e orgânico. A fertilidade química, consegue-se através da aplicação de fertilizantes químicos nos solos, em quantidades indicadas após análise dos mesmos. Todavia, para a boa absorção desses fertilizantes, as raízes das árvores necessitam de uma quantidade adequada de água, e de ar para sua respiração. Para existir água e ar no solo em volume suficiente, faz-se mister que o mesmo contenha poros o que se consegue com a utilização do lixo tratado adequadamente.

VIII.2. Descrição do Processo

A fermentação zimotérmica (Composting), é a decomposição biológica da matéria orgânica, pela qual a mesma se transforma em húmus relativamente estável, e adequado para a fertilização do solo.

A decomposição pode ser levada a efeito sob condições aeróbia, parcialmente aeróbias ou anaeróbias e às temperaturas mesofílicas ou termofílicas.

Os processos de decomposição da matéria orgânica do lixo podem ser agrupados em:

- a) Decomposição anaeróbia
- b) Decomposição aeróbia com simples estabilização e com fermentação controlada.

A decomposição anaeróbia geralmente é evitada por apresentar inconvenientes como: umidade excessiva, mau cheiro, perda por drenagem, além de necessitar de um período de fermentação, bem maior do que a do processo aeróbio.

Na decomposição aeróbia com simples estabilização, os resíduos sólidos são desintegrados, misturados, aerados e secados, ocorrendo a sua decomposição depois de aplicados no solo. Esse processo é rápido, requerendo apenas de um a dois dias para completá-lo. O processo de fermentação aeróbia com fermentação controlada, foi desenvolvido em experiências realizadas na Universidade da Califórnia para produzir adubo, a partir do lixo, com ou sem adição do lodo de esgotos ou de outras matérias orgânicas. Esse processo é aeróbio e muito fácil de ser adaptado às mais várias condições locais, além de não ser patenteado. (7).

VIII.3. Principais Processos de Decomposição dos Resíduos Sólidos

1) Processo BECCARI

Processo de decomposição parcialmente aeróbia, que se verifica em uma célula cúbica fechada, equipada com respiradores (7).

2) Processo VERDIER

Esse processo é uma modificação do de Beccari, no qual se procede a recirculação dos gases, ou dos líquidos drenados. (7).

3) Processo DANO

Processo parcialmente aeróbio, consistindo na trituração mecânica dos resíduos com segregação, continuada por fermentação em leiras de 1,50 m a 1,80 m de altura (13).

4) Processo da Universidade da Califórnia

As pesquisas que deram origem a esse processo, foram realizadas nos laboratórios de pesquisas de Enga

Sanitária, da Universidade da Califórnia em Berkeley. O lixo utilizado foi coletado na cidade de Berkeley, cuja composição química foi analisada após triagem e trituração do mesmo.

Os microorganismos responsáveis pelo processo de fermentação, utilizam o carbono existente no lixo como fonte de energia e o nitrogênio, como nutriente para a formação do protoplasma da célula. O papel existente no lixo, representa a fonte de carbono, enquanto os restos de alimentos que participam de sua composição, fornecem o nitrogênio que é absorvido pela célula na forma de nitrato.

Os microorganismos que promovem a decomposição do lixo são sensíveis às mudanças de temperatura e se metabolizam mais rapidamente em ambientes de temperatura elevada. No entanto eles se adaptam a pequenas variações de PH.

Os microorganismos necessitam muito mais de carbono, do que de nitrogênio. Todavia, se a quantidade de carbono for sensivelmente maior do que a de nitrogênio, esse se limitará o número de microorganismos que pode se desenvolver, limitando, desse modo, a velocidade de estabilização do material.

A proporção de carbono para nitrogênio, é chamada de relação C/N e é fator de grande importância no processo.

Quando a relação C/N é muito pequena, a fonte de energia ou seja o carbono, pode ser insuficiente para a conversão do nitrogênio disponível em proteínas. Se isso acontece, os microorganismos usam todo o carbono disponível e liberam o excesso de nitrogênio, o qual escapará para a atmosfera e, portanto, não será fixado no húmus final.

Para o processo se desenvolver rapidamente, C/N deve ser menor do que 35 e para não perder nitrogênio,

deve ser maior do que 30. Quando C/N é maior do que 35, leva-se mais tempo para reduzi-la a um valor desejável. Geralmente o lixo de centros urbanos, não apresenta grandes problemas com respeito à relação C/N.

Considera-se a decomposição terminada, quando o composto puder ser armazenado indefinidamente, sem gerar grande quantidade de calor, podendo ser aplicado sem restrições na agricultura, se o valor de C/N for igual ou menor do que 20.

A tabela 5, mostra o resultado das análises químicas, feita no fim dos ensaios realizados na Universidade da Califórnia.

Composição	% Inicial	% Final
Cinza	27,59	43,63
Carbono	36,40	22,85
Nitrogênio	1,09	1,18
Fósforo	0,20	0,30
P ₂ O ₅	0,91	1,33
Potássio	0,27	0,39
K ₂ O	0,83	0,99
C/N	33/1	23/1

Tabela 5 - Resultados das análises químicas de uma amostra de Resíduos Sólidos (7).

Como o lixo "in natura", é um aglomerado heterogêneo de materiais de vários tamanhos, torna-se necessário para se acelerar o processo de decomposição, proceder-se a homogeneização. A trituração do lixo possibilita melhor aeração, melhor controle da umidade, tornando-o mais susceptível à disseminação das bactérias. Antes da

trituração faz-se a triagem do lixo, separando-se os diversos materiais não decomponíveis, alguns com valor econômico. Para o equipamento triturador, encaminha-se somente o material fermentável, o que constitui uma medida de proteção do mesmo.

A fermentação aeróbia, pode ser realizada com resíduos que tenham umidade, variando de 30% a 85%, desde que lhe seja proporcionada uma adequada aeração para evitar o aparecimento de condições anaeróbias, produtoras de mau cheiro, de líquidos drenados denominados CHORUME e que possuem grande Demanda Bioquímica de Oxigênio D.B.O.

Deve-se, sempre que possível, evitar altos teores de umidade na massa, pois a água, deslocando o ar dos interstícios, favorece o aparecimento de condições anaeróbias, além de tornar o composto pastoso e diminuir a resistência de materiais como: papel e folhas, diminuindo, em consequência, os vazios. Por outro lado, se o lixo contiver umidade inferior a 40%, os microorganismos não possuem água suficiente para o metabolismo, inibindo, assim, as suas atividades.

Portanto, deve-se adicionar água ao material em fermentação, quando a umidade baixar de 40%, e retirar-se a água quando a umidade for superior a 60%. As pesquisas indicaram que a decomposição do lixo urbano se processa normalmente, quando a umidade está situada entre 40% e 60%, e, ainda que o enleiramento é o melhor processo de disposição do material durante a fermentação. As leiras devem ter secção trapezoidal com altura variando de 1,20 m a 1,80 m e largura da base com 2,40 m a 3,60 m e serem assentadas sobre terreno compactado ou pavimentado. A altura da leira tem grande importância, pois se a mesma for muito baixa, o material perderá calor e umidade rapidamente.

te, e se for muito alta, o material não perderá calor, tornando-se excessivamente quente, além de se comprimir devido ao seu próprio peso, reduzindo os poros e tornando-se anaeróbia.

Durante o desenvolvimento da decomposição, deve-se periodicamente, virar o material, a fim de facilitar o arejamento, assegurando a natural e rápida estabilização, sem prejudicar o processo termofílico aeróbio. O viramento pode ser executado manual ou mecanicamente. Com o aceleramento da decomposição, diminui-se a área necessária para o enleiramento. Consegue-se uma decomposição uniforme, virando-se as faces externas da leira para o centro o que, ao mesmo tempo, elimina as bactérias patogênicas, ou ovos de insetos que podem viver na superfície externa, portanto, mais fria devido à exposição, às altas temperaturas do interior da leira. O teor de umidade determina a frequência e o número de viradas necessárias.

As experiências mostraram, ainda, que não há necessidade de inoculação de bactérias no lixo para se desenvolver o processo, pois as mesmas, sempre existem no lixo urbano notando-se que o tempo necessário para o desenvolvimento do processo, varia com a natureza do lixo, a sua relação C/N e o método utilizado. O tempo de decomposição aumenta com o aumento de C/N. Exemplos: C/N entre 18 e 25, tempo de 6 a 8 dias; C/N entre 20 e 50, tempo 16 dias. A relação C/N também possui um efeito importante no solo, pois se esse valor for superior a 20, quando o composto for aplicado no solo, os microorganismos retiram o nitrogênio do solo a fim de usar o carbono ainda disponível. Isso ocasionará um retardamento no uso - por parte da planta - do nitrogênio que está sendo desviado para o ciclo vital das bactérias do solo.

Quando se considera a decomposição praticamente terminada, o valor da relação C/N deve estar com

preendido entre 12 e 20. A aparência do composto pronto para o emprego é de cor cinza escuro a pardo e, para melhorar seu aspecto pode-se proceder a retrituração e ensacamento.

VIII.4. Utilização do Processo

O principal fator influente na decisão de se adotar o processo de transformação dos resíduos sólidos em adubo, é a existência de um mercado capaz de o absorver. Todavia, ao redor dos centros urbanos, sempre há a possibilidade de se utilizar tal produto, dependendo de uma campanha de esclarecimento junto aos agricultores, convencendo-os das vantagens da adubação orgânica. Geralmente esses agricultores utilizam o estrume de gado vacum, porco e galinhas, para melhorarem as condições de suas terras. Portanto, a autoridade sanitária interessada em introduzir o composto, terá menos dificuldade em convencê-los, principalmente, baseando-se no argumento preço, que, via de regra, é menor do que o de estrume animal. A própria municipalidade consumirá grande parte do composto produzido, devido à necessidade de adubar parques, jardins públicos etc. As residências, conjuntos industriais e comerciais, que tenham jardins ou quintais, também são consumidores em potencial.

Outros fatores restritivos na adoção desse processo, são o tempo e a área relativamente grandes, necessários para a estabilização do composto. Por conseguinte, geralmente nos grandes centros urbanos, esse processo é adotado para tratar parte dos resíduos, tendo o restante outro tipo de destinação final.

CAPÍTULO IX

COMPARAÇÃO ENTRE OS PROCESSOS DE TRATAMENTO E DESTINAÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

IX.1. Introdução

A revisão apresentada nos capítulos anteriores, mostra uma série de processos de tratamento e destinação final dos resíduos sólidos que uma autoridade sanitária pode utilizar, ou recomendar como parte integrante de um programa de limpeza pública de uma comunidade.

Do estudo dos processos, torna-se aparente que não há de forma intrínseca, um processo melhor ou pior, devendo-se avaliar as vantagens e desvantagens de cada um, com relação a situação particular em que o mesmo vai ser empregado.

A seleção de um processo na opinião do autor deve ser baseada, não somente em considerações econômicas quantitativas, mas também nas imponderáveis considerações ambientais, as quais, presentemente têm a máxima prioridade para o controle da poluição do meio ambiente.

É, seguindo esta linha de raciocínio, que se pautará a presente avaliação. Ao final do capítulo, uma tabela sumário, mostrará as vantagens e desvantagens relativas dos diferentes processos aqui mencionados.

IX.2. Processo de Trituração (Crushing Process)

Como foi dito no Capítulo IV, a trituração em si, não é um processo de destinação final dos resíduos

sólidos, sendo, antes, um condicionador destes resíduos. Podemos, portanto, defini-lo como um estágio opcional em qualquer processo de disposição final.

Quando a trituração é, assim, utilizada, a principal vantagem resultante é o controle da distribuição dos tamanhos das partículas dos resíduos.

Os benefícios deste controle, podem ser avaliados em função do processo de destinação final adotado. Por exemplo: se a trituração é usada como um estágio para o processo de compressão, os benefícios resultarão, provavelmente, em economia de energia, quando se produz um material prensado com uma massa específica aparente máxima, ou também - a um mesmo nível de energia - aumentar a massa específica aparente do lixo prensado. A figura 22 mostra, esquematicamente, estes efeitos. Quanto a se atingir um ou outro efeito na prática, certamente, dependerá da composição e umidade dos resíduos sólidos.

Neste caso hipotético, a decisão do uso da trituração deverá se basear: ou na economia de energia conseguida, ou na economia de energia, mais o ganho na produção, devido ao aumento da massa específica aparente, e a consequente economia no transporte, mais, ainda, o decréscimo na terra usada na disposição final, se esta disposição é feita em terra, face ao investimento necessário para a instalação da unidade de trituração, mais o seu custo de operação. É claro que esta análise quantitativa, deve ser comparada, também, com os fatores não quantificáveis que são originados pelo funcionamento da instalação de trituração, como sejam: fatores poluentes, tais como: ruído, poeira e águas residuárias. Estes fatores terão uma influência maior ou menor na decisão, dependendo da escala de valores que o projetista dê aos mesmos, ou do nível de tolerância que a comunidade possa aceitar.

O mesmo tipo de análise, pode ser feita, quando se considera a trituração como um processo condi

condicionador para outros tipos de disposição final, como; por exemplo: quando, usado em conjunção com a incineração, o resultado final for um maior rendimento na incineração.

Em toda situação, o que é importante é a medida quantitativa do efeito da trituração no processo de disposição final. Esta medida, obviamente, se inicia com a análise dos resíduos sólidos e, termina, com a comparação entre as vantagens econômicas e os fatores poluentes.

IX.3. Processo de Compressão - Prensagem

Este, também, é um processo de tratamento dos resíduos sólidos, atuando basicamente na redução do volume original dos resíduos. O seu emprego, no entanto, é restrito, devido ao alto custo do investimento inicial e, é mais usado, quando o fator transporte é a principal variável a ser minimizada, senão devido ao seu custo, porém devido ao transtorno causado ao tráfego, em consequência do grande número de veículos que seriam necessários para transportar o lixo, no estado em que é coletado. É, pois, um processo utilizado como condicionador do lixo em zonas superpovoadas e, para as quais, o tráfego já se constitui em problema crítico.

Outro motivo, condicionante da utilização deste processo é a necessidade de maximizar o rendimento de áreas de aterro sanitário, seja devido à indisponibilidade destas, a distâncias razoáveis do centro gerador dos resíduos, seja devido ao seu alto custo e necessidade de utilização das mesmas a curto prazo.

A redução conseguida até 1/5 do volume original do lixo, possibilitando a produção de blocos de lixo prensados, permite uma arrumação destes na área destinada ao aterro, maximizando, conseqüentemente, o volume de lixo disposto por unidade de área.

A figura 23 mostra a curva de medição de recalques em testes efetuados em aterros sanitários executados com blocos de lixo prensado, na qual se verifica que a estabilidade é atingida após um período de quatro a seis meses.

A prensagem gera, normalmente, águas residuais que deverão ter um tratamento adequado. No entanto, o ruído produzido por esta instalação é mínimo, quando se opta pelas prensas hidráulicas. Na impermeabilização do bloco de lixo com asfalto, há a produção de gases tóxicos que têm que ser lavados, antes de serem dispostos na atmosfera.

Este processo não necessita para sua operação, de mão de obra altamente qualificada, exceto para sua manutenção.

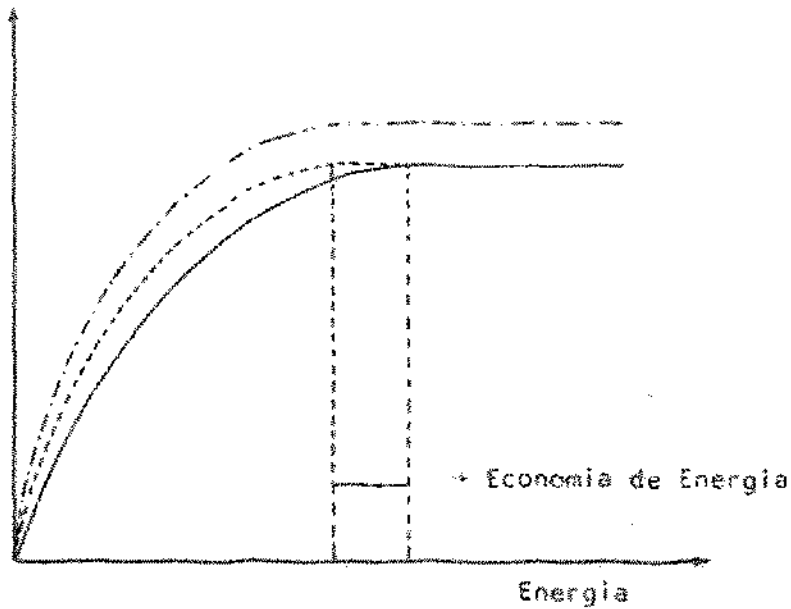
IX.4. Aterro Sanitário

Este processo é o mais acessível às economias das pequenas e médias comunidades, não só devido à simplicidade do equipamento utilizado, ou seja, um trator de esteira - na maioria dos casos - já adquirido pela municipalidade para construção e manutenção de estradas, como também, ao seu baixo custo de operação, dispensando mão-de-obra de alta especialização. Em operações que envolvem maiores volumes de lixo diário, haverá a necessidade de um planejamento mais detalhado, e de equipamento utilizado integralmente no aterro. Na execução desse processo é inevitável a geração de poeira e ruído, o que determina a sua localização longe de núcleos habitacionais, o que, por sua vez, encomprida o trajeto, onerando o custo do transporte dos resíduos sólidos. Por outro lado, a área a ser aterrada terá um valor tanto maior, quanto mais perto for do núcleo gerador de resíduos. Portanto, estas variáveis: custo de transporte e custo da terra são duas condicionantes da escolha da localização do aterro. De outra maneira

Figura 22 - Esquema Gráfico Mostrando o Efeito da Trituração no Processo de Compressão dos Resíduos Sólidos.

Figura 23 - Curva de Recalque dos Blocos Prensados.

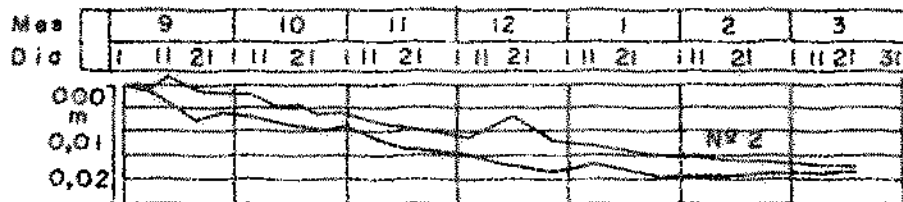
Massa Especí
fica Aparen
te



Convenções:

- _____ Lixo não triturado
- Caso 1 - Lixo triturado - Somente redução de energia consumida
- Caso 2 - Lixo triturado - Redução de energia consumida e aumento na massa específica aparente

Esquema Gráfico Mostrando o Efeito da Trituração no Processo de Compressão dos Resíduos Sólidos.



Curva de Recalque dos Blocos Prensados

ra, quando se dispõe nas proximidades de comunidade de áreas erodidas ou grotas para se recuperar, a opção é facilitada, tendo-se, por outro lado, que se tomar outras precauções, devido ao fato de se ir trabalhar na periferia ou, algumas vezes, dentro da cidade.

As áreas, resultantes dos aterros sanitários, devido a decomposição da matéria orgânica nele contida, só podem ser utilizadas a médio ou a longo prazo, a não ser naqueles casos em que o aterro é executado com blocos de lixo prensado.

O aterro sanitário dos resíduos sólidos, além de se constituir o processo de menor custo unitário de operação, controla a proliferação dos vetores transmissores de doenças tais como: rato, moscas etc., além de, ainda, admitir a disposição, conjuntamente com o lixo, de lodos de estações de tratamento de esgotos.

IX.5. Incineração

A incineração atua, através da queima, diretamente na redução do volume e do peso dos resíduos sólidos, processados no incinerador. Durante a incineração, todo o material combustível é consumido, e altas temperaturas são desenvolvidas, dando como resultado: cinzas, gases e poeira.

A instalação de um forno incinerador, implica em um alto custo de investimento inicial, variando o seu custo de operação com a qualidade do lixo, isto é: com o seu teor de umidade e seu poder calorífico. Como consequência da geração de gases e poeira, equipamentos antipoluidores têm que ser instalados, a fim de se evitar a emissão de substâncias poluidoras na atmosfera adjacente à usina.

Esse processo é empregado, principalmente, em áreas densamente povoadas, pois é possível a localização

ção da usina de incineração dentro da área a ser beneficiada, devido às possibilidades de controle, fornecidas por este processo, quanto a ruído, poeira e outros distúrbios ambientais. Desta maneira, em se localizando o incinerador perto ou no centro de gravidade da área geradora dos resíduos, minimiza-se o custo do transporte da coleta até a destinação final.

A operação do incinerador, necessita pessoal especializado e treinado para manter 24 horas por dia o equipamento, com rendimento ótimo. Qualquer falha na operação, pode ocasionar grande transtorno à comunidade, devido a emissão de maus odores, fumaça ou poeira.

Como consequência da incineração, têm-se gases a altas temperaturas, os quais deverão ser esfriados, antes de liberados na atmosfera, podendo esse calor ser aproveitado na geração de eletricidade que se utiliza internamente na usina, ou, ainda, vendendo-se o excesso, o que contribui para diminuir o seu custo operacional. Pode-se tomar como um exemplo desse tipo de reutilização da energia gerada pela incineração, o distrito de HEAMPSTEAD-Londres, onde a água quente para os vários usos domiciliares é fornecida pela usina de incineração.

IX.6. Produção de Fertilizantes - Composting

A produção de fertilizantes orgânicos, a partir dos resíduos sólidos é um processo que sofre várias limitações. Em primeiro lugar, dificilmente, comunidades médias e grandes optariam por tal processo para tratar a totalidade de seu lixo, devido às imensas instalações que seriam requeridas, aumentando muito o investimento inicial. Em segundo lugar, o principal fator restritivo, na utilização desse processo é o mercado disponível para venda do fertilizante. Geralmente, a autoridade sanitária, responsável pela limpeza pública de uma comunidade, inicia a produção de fertilizantes em pequena escala, com o fim

de introduzir o produto no mercado e, com o aumento deste, aumenta também, paulatinamente, o volume produzido. Portanto, muitas vezes, o processo se inicia com uma série de operações manuais, quando a produção ainda é pequena e, em caso de sucesso, evolui para a mecanização, com o acréscimo da demanda do composto.

A comunidade, em si mesma, pode absorver uma grande quantidade do fertilizante produzido pela usina para recuperação, e manutenção de praças e jardins, já assegurando, muitas vezes, um nível de produção inicial, relativamente alto.

Os processos usados na decomposição da parte orgânica que resulta em fertilizante, pode ser anaeróbico e aeróbico. Destes, o aeróbico é o mais sanitariamente recomendável. Dentre os processos aeróbicos o de fermentação controlada, desenvolvido na Universidade da Califórnia, é o que exige menor nível de mecanização e pessoal sem alto grau de especialização, podendo, por isso mesmo, ser adotado pelas pequenas comunidades.

No custo operacional deste processo, a separação necessária entre resíduos indecomponíveis e decomponíveis é a parcela de maior incidência. Quando o volume a ser tratado é pequeno, esta operação pode ser feita manualmente mas, para grandes volumes terá que ser mecanizada.

PROCESSO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
I - TRITURAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> a) Reduz o tamanho dos materiais componentes dos resíduos sólidos b) Processa qualquer tipo de resíduos sólidos domésticos e industriais c) Aumenta a quantidade de resíduos sólidos dispostos nos aterros d) Aumenta grandemente a eficiência de uma separação mecânica posterior e) Quando usado como tratamento previo aumenta em muito o rendimento da incineração. 	<ul style="list-style-type: none"> a) Não processa resíduos resultantes de demolições que contenha concreto simples ou armado b) Necessita de cuidados especiais, na construção das dependências onde o equipamento é instalado, devido a geração de ruídos poeira e vibrações c) Há a possibilidade de geração de águas residuárias.
II - COMPRESSÃO PRENSAGEM	<ul style="list-style-type: none"> a) Não há produção de ruídos de grande intensidade b) Reduz o volume de lixo para cerca de 1/5 do volume original c) Não há geração de gases corrosivos 	<ul style="list-style-type: none"> a) Produz água residuária que deverá ser tratada separadamente b) Há a possibilidade de geração de gases venenosos quando do resfriamento do asfalto c) Aumenta o custo do manuseio após a prensagem

PROCESSO	VANTAGENS	DESvantagens
<p>III - ATERRO SANITARIO</p>	<p>d) Processa qualquer tipo de lixo mesmo contendo alto teor de umidade</p> <p>e) Quando os blocos são usados em aterros sanitários permitem uma utilização rápida da área recuperada.</p> <p>a) Aceita qualquer tipo de resíduos sólidos</p> <p>b) Na execução utiliza equipamentos normalmente usados em serviços de terraplanagem</p> <p>c) Recupera áreas topograficamente inutilizadas</p> <p>d) Controla a proliferação de vetores tais como ratos e artrópodes</p> <p>e) Possibilita também a disposição de lodos, provenientes de estações de tratamento de esgotos, ou de tanques septicos.</p>	<p>d) Durante o transporte as cargas máximas permitidas nas estradas podem ser excedidas.</p> <p>a) Poderá ser necessário o transporte a longa distância</p> <p>b) Produção de águas residuárias principalmente devido à infiltração de águas de chuvas no aterro</p> <p>c) Disponibilidade de material de cobertura em quantidade limitada</p> <p>d) Possibilidade de poluição do lençol freático</p> <p>e) Período relativamente longo para a estabilização do aterro, exceto quando se usa blocos de resíduos sólidos prensados</p> <p>f) Produção de ruídos e poeira durante a execução do aterro.</p>

PROCESSO	VANTAGENS	DESvantagens
IV - INCINERAÇÃO	<p>a) Redução do volume e peso dos resíduos sólidos através da queima</p> <p>b) O calor produzido pode ser aproveitado para gerar eletricidade</p> <p>c) Produz um resíduo inerte e sanitariamente estável</p> <p>d) Como o processo se desenvolve em um equipamento cuidadosamente planejado, construído e operado, um rigoroso controle da poluição do ar pode ser levado a efeito.</p>	<p>a) Apesar da utilização de equipamentos anti-polição, alguns gases e partículas são descarregadas na atmosfera</p> <p>b) Produz águas residuárias que necessitam tratamento independente</p> <p>c) A redução de volume se processa somente nos materiais combustíveis.</p>
V - FERTILIZANTE (COMPOSTING)	<p>a) Reduz o volume dos resíduos sólidos através de decomposição biológica</p> <p>b) O resíduo inerte pode ser utilizado como um condicionador do solo</p> <p>c) Atua no solo como fertilizante orgânico melhorando suas propriedades físicas</p> <p>d) Recupera solos exauridos pela prática intensiva da agricultura.</p>	<p>a) Só a parte decomponível dos resíduos sólidos é processada</p> <p>b) Possibilidade de falta de mercado para o produto final</p> <p>c) Os resíduos sólidos devem ser submetidos a uma separação antes do processamento.</p>

CAPÍTULO X

ANÁLISE SIMPLIFICADA DOS CUSTOS DE DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS, USANDO-SE O PROCESSO DE ATERRO SANITÁRIO

X.1. Introdução

Do exposto no Capítulo IX mostra-se que o processo de destinação final dos resíduos sólidos, através de Aterros Sanitários é o mais simples e flexível para ser executado, quer seja pelo setor público encarregado da limpeza pública, quer por empresas privadas que possam, eventualmente, contratar esses serviços, uma vez que o custo do investimento inicial é relativamente menor do que o dos outros processos, além de se poder dispor, mesmo em pequenas comunidades, de pessoal suficientemente qualificado para a sua execução.

Evidentemente, não fica implícito aqui, que a flexibilidade e simplicidade são os únicos critérios para a seleção de um processo, uma vez que é desejável se fazer um cuidadoso estudo econômico, comparando-se os custos de vários processos possíveis de serem adotados em cada situação particular. Reconhecendo a necessidade dessa comparação econômica, este capítulo apresenta um modelo qualitativo de custos para Aterros Sanitários em função da população, da comunidade.

Devido à exiguidade de tempo e dificuldade em consecução dos dados fundamentais indispensáveis, não se apresenta um exemplo quantitativo.

X.2. O Modelo Qualitativo

A completa operação de limpeza pública pode ser dividida em muitas etapas, dependendo do grau de deta

lhamento, que se necessite. No caso presente, utilizando o Aterro Sanitário como forma de destinação final, esta operação será dividida em suas quatro principais partes a saber:

Coleta, compreendendo a domiciliar comercial e Industrial quando for o caso;

Transporte, representado pela distância do centro de gravidade da comunidade ao local do aterro;

Aterro, englobando todas as tarefas de execução do mesmo, tais como: espalhamento, compactação, escavação, cobertura etc.;

Terreno, que é a área necessária para execução do Aterro Sanitário.

Portanto, a somatória dos custos destas etapas, compõe o custo total do sistema que pode ser expresso em cruzeiros por metro cúbico de resíduos sólidos aterrados.

Reconhecendo que os custos desses quatro componentes do sistema são influenciados por muitas variáveis, pode-se admitir para o caso do presente modelo qualitativo, que eles possam ser expressos em função da população da comunidade. Desta maneira a variação de cada componente do custo total, será representada arbitrariamente por uma função contínua que mostra a tendência que se pode esperar quando a população aumenta.

É claro que em uma situação real as funções, isto é coeficiente de custo-tamanho da população, podem nem mesmo ser funções contínuas. Todavia isto não alterará as tendências gerais e portanto não invalidará os resultados encontrados no modelo qualitativo.

A variação do custo da coleta em função da população de uma comunidade, apresenta, inicialmente, uma diminuição, devido ao aumento da concentração da população por área, que caracteriza os centros urbanos maiores. Como consequência em um percurso de mesmo comprimento, coleta-se mais lixo em uma grande cidade do que em uma pequena, dimi

nuindo, portanto, o custo desta. Todavia, este comportamento não é linear, e tenderá a estabilizar-se para determinada concentração populacional e, portanto, para uma comunidade de população correspondentemente grande.

O custo do transporte tenderá a crescer, com o aumento da população da comunidade, devido ao distanciamento cada vez maior do ponto de destinação final do centro de gravidade da comunidade.

O custo da operação do aterro, propriamente dito, diminuirá inicialmente com o aumento da população e tenderá a se estabilizar, o que se explica pelo fato do equipamento utilizado no aterro, em pequenas comunidades, apresentar tempo ocioso, o qual vai sendo utilizado com o aumento da população e, portanto, de resíduos, até um ponto de aproveitamento máximo do mesmo, a partir do qual, novos equipamentos deverão ser adquiridos. A aquisição destes novos equipamentos deverá ser feita de tal maneira que os mesmos venham a ser utilizados o mais perto de sua capacidade máxima possível, daí, a tendência para a estabilização dos custos da execução do aterro.

O custo do terreno necessário à execução do aterro cresce com aumento da população da comunidade, havendo também uma tendência para a estabilização. Algumas vezes, em grandes centros urbanos, áreas de topografia irregular ou que apresentem erosões poderão ser desapropriadas para execução de aterros sanitários pela edilidade e, posterior, loteamento e venda ao público. Neste caso, mesmo ãreas dentro do perímetro urbano, podem ser utilizadas a despeito de seu maior valor, uma vez que, posteriormente, a edilidade se ressarcirá do custo da desapropriação e, ainda, terá a vantagem adicional de diminuir a distância de transporte do lixo.

Para o modelo qualitativo, ora em estudo como efeito simplificador, será associada à cada parcela formadora do custo total da limpeza pública de uma comunidade,

uma curva exponencial ressaltando-se que, em uma análise quantitativa, baseada em dados reais, a curva resultante não terá necessariamente, expressão tão simples.

Para este modelo a curva que expressa o coeficiente de custo unitário para a coleta será expressa por:

$$y_1 = e^{-0,05x} \quad \text{vide fig. 24}$$

onde

y_1 = Coeficiente do custo da coleta

x = Tamanho da população

A curva, que representa a função custo de transporte terá a seguinte expressão:

$$y_2 = 1 - e^{-0,6x} \quad \text{vide fig. 25}$$

onde

y_2 = Coeficiente do custo do transporte

x = Tamanho da população

A curva representativa do custo da execução do aterro sanitário tem para equação:

$$y_3 = e^{-0,2x} \quad \text{vide fig. 26}$$

onde

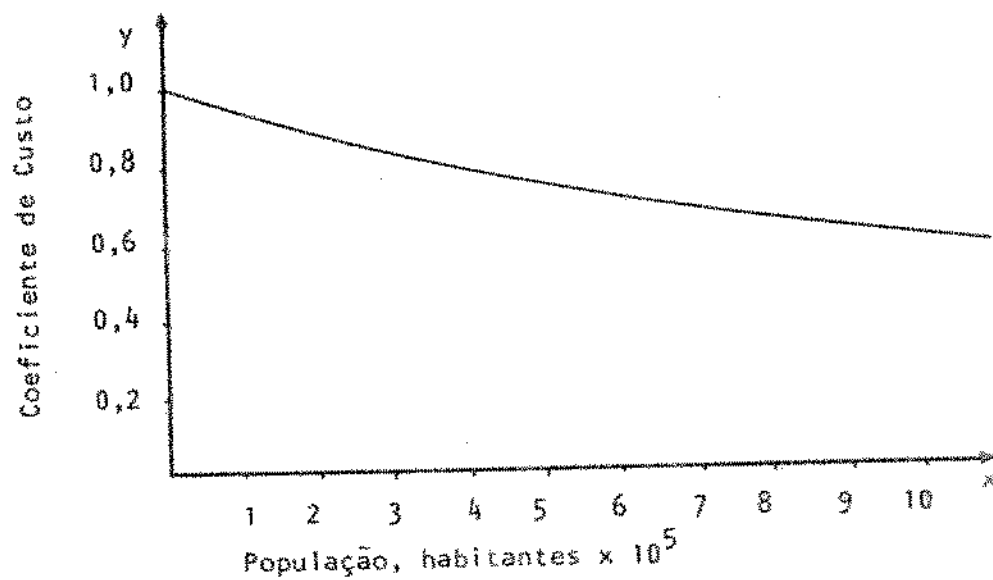
y_3 = Coeficiente do custo do aterro sanitário

x = Tamanho da população

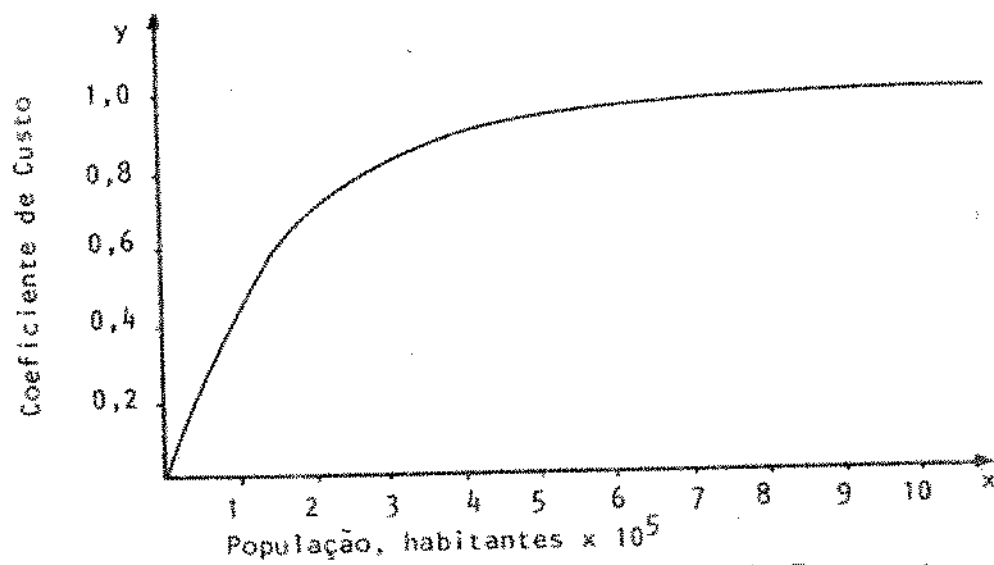
A curva que define os coeficientes do custo do terreno necessário ao aterro sanitário, expressa-se por:

Figura 24 - Curva dos Coeficientes de Custo da Coleta

Figura 25 - Curva dos Coeficientes de Custo do Transporte



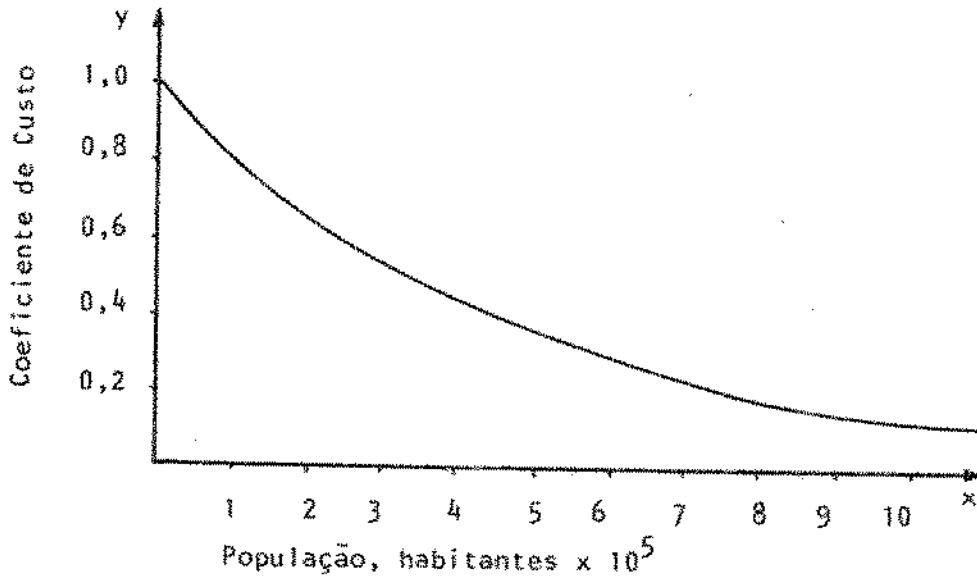
Curva dos Coeficientes de Custo da Coleta



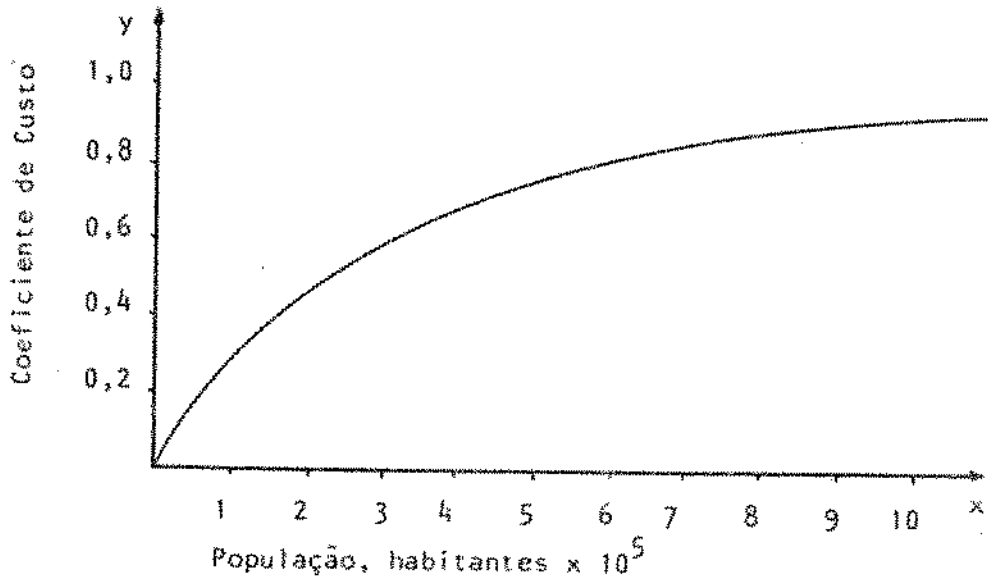
Curva dos Coeficientes de Custo do Transporte

Figura 26 - Curva dos Coeficientes de Custo do Aterro Sanitário

Figura 27 - Curva dos Coeficientes de Custo do Terreno



Curva dos Coeficientes de Custo do Aterro Sanitário



Curva dos Coeficientes de Custo do Terreno

$$y_4 = 2(1 - e^{-0,3x}) \text{ vide fig. 27}$$

onde

y_4 = Coeficiente do custo do terreno

x = Tamanho da população

A combinação dos coeficientes de custo das quatro curvas calculadas para um intervalo de população de um mínimo plausível a um máximo de um milhão de habitantes, dá como resultado a tabela 6 e a correspondente curva da figura 28.

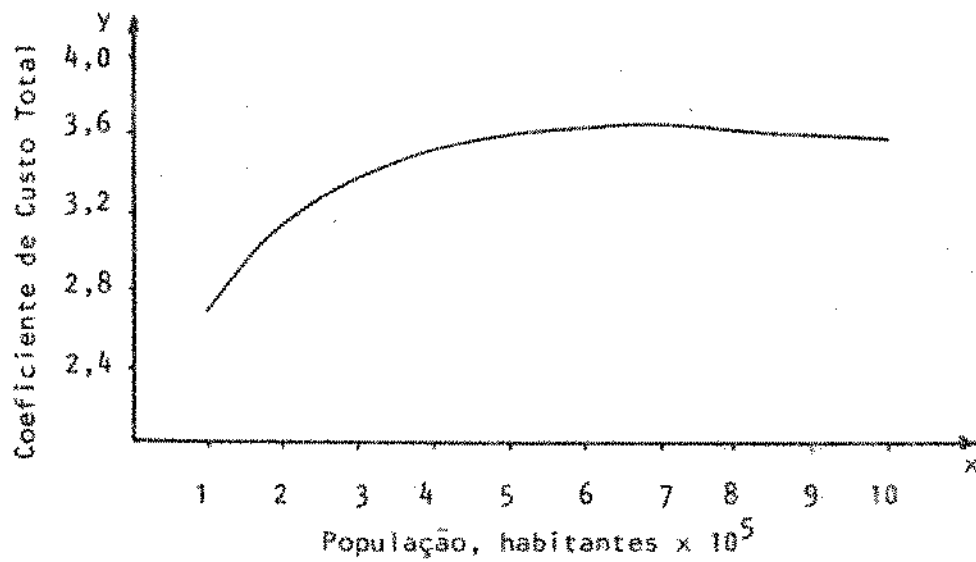
Analizando esta curva, verifica-se a existência de um máximo. Isto é, se todas as curvas, arbitrariamente usadas, representassem cada uma, realmente, o comportamento dos fatores que representam o custo total da limpeza pública, neste caso, teria, inicialmente, um aumento para a comunidade que possuíssem até 700.000 habitantes, aonde atingiria um máximo, e depois declinaria, o que, neste caso é explicável pelo grande peso da curva decrescente da coleta. O decréscimo do custo da coleta pode ser explicado pelo aumento da densidade populacional e, conseqüente possibilidade de alta mecanização da operação.

Os comportamentos prováveis da curva representativa dos coeficientes de custo da limpeza de uma comunidade, de acordo com as premissas adotadas para as suas parcelas componentes neste exemplo, estão indicados na figura 29.

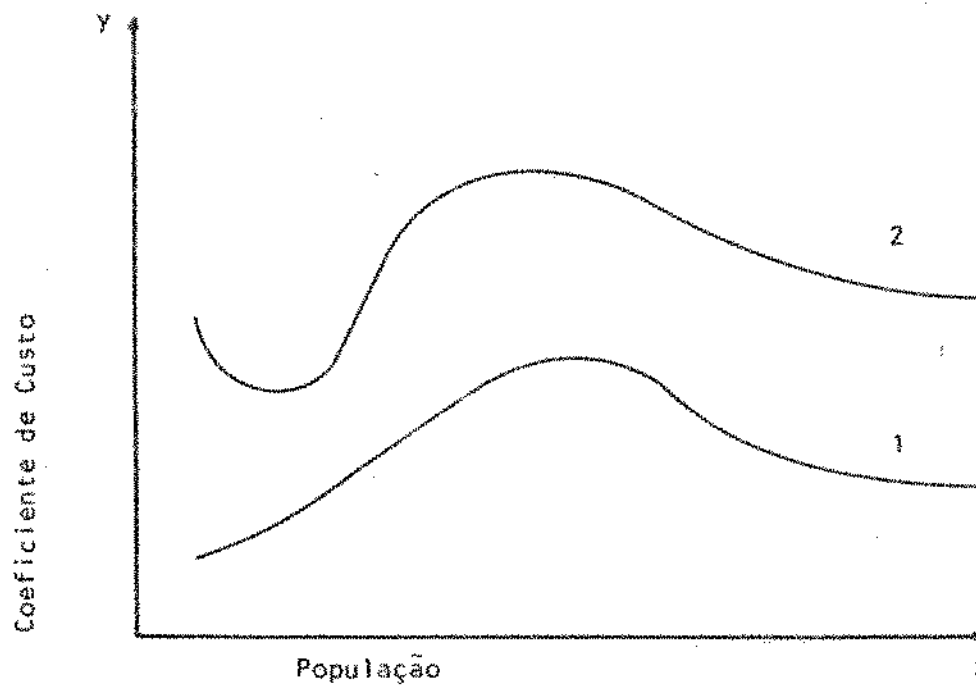
A curva 1 desta figura é análoga à encontrada para o modelo qualitativo aqui apresentado, pois, após o máximo, o custo decrescerá até um ponto onde o efeito causador do decréscimo, neste caso suposto ser a diminuição do custo da coleta, cessará, seguindo-se uma estabilização representada por uma assíntota ao eixo dos X.

Figura 28 - Curva dos Coeficientes do Custo Total

Figura 29 - Comportamentos Prováveis da Curva dos Coeficientes do
Custo Total



Curva dos Coeficientes do Custo Total



Comportamentos Prováveis da Curva dos Coeficientes do Custo Total

Etapas	População x 10 ⁵	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Coleta		0,95	0,90	0,86	0,82	0,77	0,74	0,70	0,67	0,63
Transporte		0,45	0,70	0,83	0,91	0,95	0,97	0,99	0,99	1,00	1,00
Aterro Sanitário		0,82	0,67	0,55	0,45	0,37	0,30	0,25	0,20	0,17	0,14
Terreno		0,52	0,90	1,18	1,40	1,56	1,66	1,76	1,82	1,86	1,90
Total		2,74	3,17	3,42	3,58	3,65	3,67	3,70	3,68	3,66	3,65

Tabela 6 - Coeficientes do Custo Total

A curva 2, ao contrário, terá uma diminuição inicial dos custos, passando por um mínimo e, crescendo, até uma estabilização.

O ramo decrescente da curva 2 pode ser explicado pela possível melhoria na eficiência da administração dos serviços de limpeza pública e, conseqüente aumento da produtividade no trabalho, fenômeno característico de pequenas e médias comunidades. O decréscimo terá um limite, após o qual, os custos começarão a crescer, definindo um mínimo e, portanto, um ponto de máxima economia. Depois deste mínimo, os custos crescerão até atingir uma estabilização. Para haver qualquer redução nos mesmos, o sistema deverá receber modificações, tais como: melhoria no transporte, como estações de transbordo, aonde caminhões de pequeno e médio porte transferem suas cargas para grandes carretas que façam melhor uso de sua tonelagem ou para vagões ferroviários ou para chatas automotoras ou rebocáveis; compressão dos resíduos sólidos, a fim de se aumentar o seu peso específico ou ainda, introdução em determinados e convenientes locais de tratamento intermediário.

O contínuo acompanhamento dos custos das etapas em que se divide a operação total da limpeza pública, fornecerá os dados indispensáveis à definição do comportamento das curvas representativas dos custos de cada parcela em particular, como também, daquela que representa o custo total. A manipulação de tal quantidade de dados necessita, obviamente, da ajuda de um computador que otimizará o modelo, e fornecerá os parâmetros indispensáveis à tomada de decisões sobre a introdução de modificações economicamente recomendáveis, no sistema em operação.

CAPÍTULO XI

CONCLUSÕES

Da revisão e discussão do assunto apresentada do nesta dissertação, podem ser feitas as seguintes conclusões:

1. O processo de trituração dos resíduos sólidos é um tratamento intermediário que, reduzindo o tamanho das partículas dos resíduos sólidos, facilita a sua posterior destinação final, bem como, a separação e recuperação de materiais economicamente aproveitáveis.
2. O processo de tratamento dos resíduos sólidos por compressão, promovendo uma grande redução no seu volume e um correspondente aumento em sua massa específica aparente, proporciona um maior rendimento na operação de disposição final, principalmente quando esta é feita sob a forma de aterro.
3. O aterro sanitário é o mais versátil e simples dos processos de destinação final dos resíduos sólidos, podendo ser usado por comunidade de qualquer tamanho.
4. A incineração é o processo mais sanitariamente seguro para se proceder à disposição final dos resíduos sólidos, devido à grande redução por ele promovida no volume desses resíduos, ao mesmo tempo em que os estabiliza quimicamente, transformando-o, também, num processo de tratamento.

5. O processo de tratamento dos resíduos sólidos para produção de fertilizantes orgânicos que, posteriormente, serão utilizados na fertilização orgânica dos solos, apesar de sua grande importância para recuperação e manutenção da fertilidade de terrenos agrícolas, geralmente apresenta como restrição, a inexistência ou pequeno mercado para o composto resultante do tratamento.

6. O controle e levantamento dos custos da limpeza pública, através de um modelo matemático é de primordial importância para a orientação das decisões técnico-administrativas.

7. O modelo qualitativo aqui apresentado, expressando o custo da limpeza pública em função da população da comunidade, mostra que há um intervalo de população, para o qual, o custo da limpeza pública aumenta. Consequentemente, este intervalo deve ser cuidadosamente observado com a finalidade de se modificar a sua tendência, através da adoção de alternativas intermediárias em algumas fases do serviço.

CAPÍTULO XII

SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Enumera-se, a seguir, alguns tópicos sobre os quais devem ser desenvolvidas as pesquisas:

1. Levantamento detalhado dos custos dos métodos de tratamento e destinação final dos resíduos sólidos atualmente em uso no Brasil;
2. Levantamento dos custos da coleta transporte e destinação final dos resíduos sólidos e dos parâmetros indicadores da participação de cada uma dessas etapas no custo total do sistema;
3. Desenvolvimento de um modelo matemático para tratamento em conjunto, dos custos das diversas etapas de um serviço de limpeza pública, a fim de se obter dados seguros, que possibilitem à administração a tomada de decisões tecnicamente corretas, face a várias alternativas;
4. Determinação da produção "per capita" de resíduos sólidos, bem como o seu peso específico em várias regiões do Brasil, e para categorias sócio-econômicos diferentes;
5. Acompanhamento da estabilização de um aterro sanitário determinando-se os diversos parâmetros tais como: quantidade de águas residuárias produzidas, produção de gases, valor do recalque, grau de compactação adquirido etc.;

6. Desenvolvimento de novos sistemas da coleta de resíduos sólidos mais econômicos;

7. Desenvolvimento de dispositivos de tratamento domiciliar dos resíduos sólidos, utilizando-se a decomposição anaeróbia com possível aproveitamento dos gases gerados.

CAPÍTULO XIII

BIBLIOGRAFIA

- 01 - Tesuka Kozan Co. Ltd, "Compaction type waste disposal plant", Tokyo, Japan, 1973.
- 02 - Codeplan, "O plano diretor de limpeza urbana do Distrito Federal", Governo do Distrito Federal, Brasília, 1972.
- 03 - Serete S.A. Engenharia, "Estudo da solução integrada para disposição final dos resíduos sólidos da sub-região sudeste da área metropolitana da grande São Paulo", relatório final da primeira etapa, Gegran, São Paulo, 1973.
- 04 - Azuma, S. "Concept of compression process for the disposal of refuse in the city of Osaka". the Municipal Government of Osaka, Osaka, 1973.
- 05 - Kawasaki Heavy Industries, Ltd, "Crushing process of industrial and municipal solid waste", Kobe, Japan, 1973.
- 06 - Ministry of Health and Welfare, "Reference for group training course in waste processing and disposal", Japan Environmental Sanitation Center, Tokyo, 1973.
- 07 - Wilken, P.S., "Lixo - Coleta, Transporte e Destino Final", Universidade de São Paulo, São Paulo, 1964.

- 08 - Maeda, K., "Land reclamation by use of refuse", Tokai University, Nagoya, Japan, 1973.
- 09 - Sorg, T.J., and Hickman, H.L.Jr., "Sanitary landfill facts", U.S. Department of Health, Education, and Welfare, U.S.A., 1970.
- 10 - Organizacion Panamericana de La Salud, "La Eliminacion de Bazaras y el Control de Insetos y Roedores", Publicaciones Cientificas n° 75, Washington, U.S.A., 1962.
- 11 - Kasai, A., "Combustion gas volume from incinerator", Sankikogyo Co. Ltd, Japan, 1973.
- 12 - Sugishima, W., "Continuous feeding type refuse incinerator", Mitsubishi Heavy Industries Ltd, Japan, 1972.
- 13 - Faculdade de Higiene e Saude Pública, "Seminário Sobre o Problema do Lixo no Meio Urbano", Universidade de São Paulo, São Paulo, 1965.
- 14 - U.S. Japan Conference of Solid Waste Management, "Waste disposal and processing technology in Japan", Tokyo, Japan, 1973.
- 15 - Stear, J.R., "Municipal Incineration-A Review of Literature", U.S. Environmental Protection Agency, North Carolina, U.S.A., 1971.