PROGRAMA REGIONAL OPS/EHP/CEPIS DE MEJORAMIENTO DE LOS SERVICIOS DE ASEO URBANO

CICLO: ASPECTOS TECNICOS DEL SERVICIO DE ASEO

MODULO: RECUPERACION DE GAS METANO DE RELLENO SANITARIO

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA
Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 - CEP. 05459 - Pinheiros
SÃO PAULO - BRASIL

MANUAL DE INSTRUCCION

PREPARADO POR

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB)

6701
C338r(RCET
012517

VERS PRELIMINAR

NOVIEMBRE 1982

CLASS 6701
C338r
TOMBO 12517

Este trabajo ha sido elaborado por la Superintendencia de Estudios de Residuos Sólidos y la Gerencia de Residuos Sólidos Domésticos de la Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB).

ÍNDICE

133p

INTRODUÇÃO

A partir de 1973, ano em que a OPEP - Organização de Países Exportadores de Petróleo anunciou a primeira de uma série de altas no preço de venda do petróleo bruto no mercado internacional, começaram a surgir restrições quanto ao uso deste combustível, o que motivou o equacionamento do problema de economia de energia. Tal equacionamento envolveu não só aspectos referentes à racionalização do consumo de combustíveis, como também a utilização de diferentes fontes de energia, sejam elas de tecnologia tradicional ou avançada. Assim, passou-se a incentivar o uso de certas fontes que estavam em desuso e, mesmo, outras que sempre foram desprezadas.

Um dos recursos energéticos pesquisados tem sido a recuperação do gás metano produzido em aterros sanitários. Este procedimento, além de aproveitar o gás gerado, evita alguns inconvenientes, tais como: mau cheiro devido a presença de outros gases produzidos juntamente com o metano e migração dos gases a áreas adjacentes.

As pesquisas que vêm sendo desenvolvidas, tanto para a execução de aterros sanitários com geração de gás quanto a recuperação do mesmo, encontram-se em fase inicial e muitas, ainda, são as incógnitas a serem determinadas.

Portanto, quando se deseja atuar nesse campo, deve-se realizar estudos bastante detalhados, a fim de se obter o maior número de informações que possam auxiliar na execução do projeto. Desta forma, este manual poderá ser utilizado como um guia básico.

O presente manual tem também como objetivo levar às áreas afetas aos serviços de limpeza pública informações de caráter técnico que certamente irão proporcionar dados e informações básicas sobre a recuperação do gás metano, divulgar a tecnologia

existente e fornecer subsídios para: estudos de viabilidade e desenvolvimento de novos projetos, melhoria do rendimento e captação do gás e alternativas de aproveitamento deste combustível.

A despeito da pequena quantidade de dados existentes, este manual será útil ao desenvolvimento de novos projetos e ao aprimoramento dessa tecnologia.

Além do enfoque operacional, acredita-se que a divulgação destas técnicas sensibilizará tanto a opinião pública como os administradores municipais no sentido de conseguir-lhes o empenho, o apoio e os recursos necessários à implantação de aterros sanitários com recuperação de gás metano.

1.1 - MECANISMO DE GERAÇÃO DE GÁS METANO EM ATERROS

Embora pouco conhecidos, os mecanismos de decomposição dos resíduos depositados em aterros podem ser resumidos em quatro fases, nas quais intervêm diversas espécies de bactérias. Essas fases podem ser assim divididas em: aeróbia, anaeróbia acidogênica, anaeróbia metanogênica instável e anaeróbia metanogênica estável.

- fase aeróbia

Trata-se da primeira fase de decomposição, onde o Oxigênio presente no ar que está contido nos interstícios da massa de resíduos aterrados é consumido. Nesta etapa, a temperatura sobe e como produtos são formados dióxido de carbono, água, nitratos e nitritos.

A equação de combustão da glicose pode ilustrar esta etapa:

$$C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 \longrightarrow 6\,CO_2 + 6\,H_2O + 674\ \text{kcal}$$

- fase anaeróbia acidogênica

A medida que o oxigênio existente vai se esgotando, organismos facultativos e anaeróbios começam a predominar dando continuidade ao processo de decomposição da matéria orgânica, porém de forma mais lenta do que na primeira etapa. Na ausência de Oxigênio, as bactérias transformam os compostos orgânicos complexos tais como: carbohidratos, gorduras e proteínas, em matéria orgânica mais simples (principalmente ácidos orgânicos de cadeia curta como o acético, fórmico, butérico, etc), ocorrendo

ainda a formação de gases (principalmente gás carbônico). Nesta etapa, o pH pode chegar a 4,5.

- Fase anaeróbia metanogênica instável

Esta fase caracteriza-se pela presença de bactérias metanogênicas, que transformam o substrato da fase anterior, sendo a sua velocidade de reprodução bastante inferior à das bactérias acidogênicas.

Além disso, tem-se uma redução paulatina da quantidade de gás carbônico e o desaparecimento do hidrogênio.

A instabilidade é caracterizada por diferentes relações CO_2 : CH_4 em face a adaptação do sistema, isto é, das bactérias metanogênicas ao tipo de substrato presente no meio.

- Fase anaeróbia metanogênica estável

Nesta etapa a relação CO_2 : CH_4 é aproximadamente constante e o pH situa-se na faixa de 6,8 a 7,2.

A equação de decomposição da matéria orgânica pode ser representada pela degradação da glicose:

$$C_6 H_{12} O_6 \longrightarrow 3\ CH_4 + 3\ CO_2$$

Para uma melhor compreensão do processo de decomposição apresenta-se a figura 1.1 que mostra a evolução do mesmo, através da composição dos gases, em condições ideais.

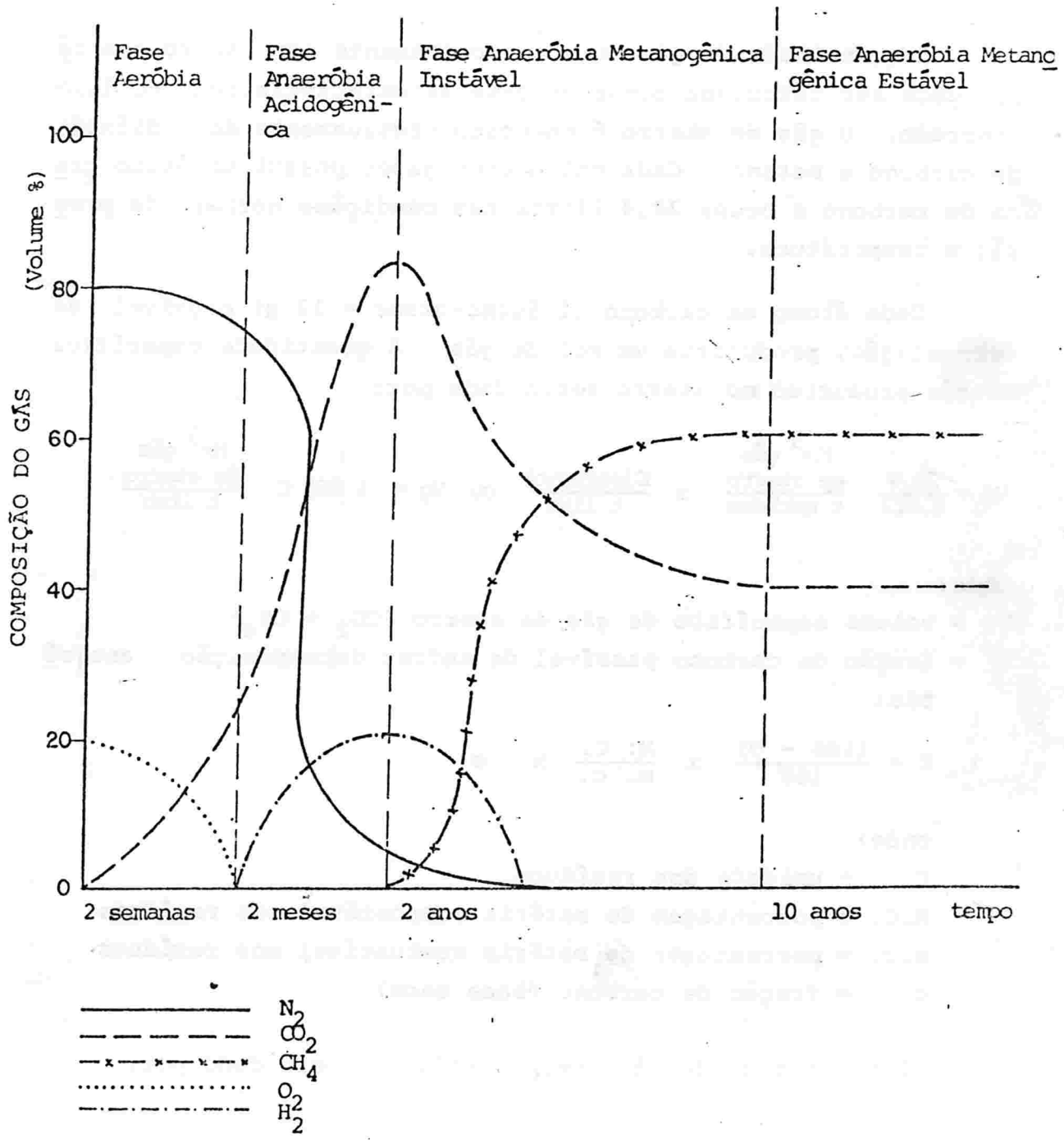


FIGURA 1.1 - COMPOSIÇÃO TEÓRICA DOS GASES [1]

1.2 - PRODUÇÃO TEÓRICA E QUANTIDADE RECUPERÁVEL DE GÁS METANO

A quantidade de gás gerado teoricamente num aterro sanitário pode ser calculada conhecendo-se as características do lixo aterrado. O gás de aterro é composto praticamente de dióxido de carbono e metano. Cada mol destes gases possui um átomo grama de carbono e ocupa 22,4 litros nas condições normais de pressão e temperatura.

Cada átomo de carbono (1 átomo-grama = 12 g) passível de fermentação, produziria um mol de gás. A quantidade específica de gás produzido no aterro seria dada por:

$$Vg = \frac{22,4}{0,012} \; \frac{Nm^3 \text{ gás de aterro}}{t \text{ carbono}} \times \frac{C(\text{carbono})}{t \text{ lixo}} \quad \text{ou} \quad Vg = 1\,867\, C \; \frac{Nm^3 \text{ gás de aterro}}{t \text{ lixo}}$$

onde:

Vg = volume específico de gás de aterro (CO_2 + CH_4)

C = fração de carbono passível de sofrer decomposição anaeróbia:

$$C = \frac{(100 - U)}{100} \times \frac{M.\,C.}{m.\,c.} \times c$$

onde:

U = umidade dos resíduos

M.C. = porcentagem de matéria compostável nos resíduos

m.c. = porcentagem de matéria combustível nos resíduos

c = fração de carbono (base seca)

A quantidade de gás metano produzido será dado por:

$$V = \frac{x \cdot Vg}{100}$$

onde:

V = volume específico de gás metano

x = porcentagem de metano no gás de aterro

Vg = volume específico de gás de aterro (CO_2 + CH_4)

A quantidade de gás recuperável difere da teórica, pois grande parte desse potencial é perdido devido aos seguintes fatores:

. decomposição aeróbica do lixo, ocorrida logo após a descarga, com a produção intensa de CO_2;

. lixiviação de uma parte da matéria orgânica, carreada juntamente com o chorume para fora do aterro;

. utilização de frações de carbono para formação e metabolismo das bactérias;

. perdas, por difusão, através da camada de cobertura do aterro e das fronteiras com o solo vizinho.

1.3 - TAXA DE PRODUÇÃO, DURAÇÃO DE PRODUÇÃO E VIDA ÚTIL

A produção dos gases em aterros sanitários vai depender das características dos resíduos a serem aterrados. Para efeito de comparação dos resultados obtidos em diversos experimentos, é apresentada na tabela nº 1.1 a composição percentual de lixo encontrada por diversos pesquisadores e na tabela nº 1.2 e nº 1.3 apresentam-se os resultados de análises do lixo de Curitiba, Santos e São Paulo efetuadas pela CETESB.

Dada a insuficiência de dados relativos à produção de gás em aterros sanitários, foram compilados dados referentes às taxas de produção obtidas em ensaios de laboratório em condições controladas e em três diferentes aterros localizados nos Estados Unidos. Deve-se ressaltar a inexistência de dados práticos sobre a variação dessas taxas ao longo do tempo.

A tabela nº 1.4 apresenta as taxas de produção de GBQ (gás Bioquímico) obtidas para três diferentes aterros.

A tabela nº 1.5 apresenta as taxas de produção de gás a partir da biodegradação de resíduos sólidos em ensaios de laboratório.

A figura nº 1.2 apresenta curvas de variação da velocidade de produção de gás para aterros sanitários propostas por Tabasaran e Rettenberger (17).

Os valores teóricos de produção de gás encontrados variam de 248 Nm^3/t (lixo) calculado por Gomes (20), até 410 Nm^3/t conforme calculado por Anderson e Calleman (23). Entretanto, os valores recomendados para aterros são mais modestos, variando de 42 Nm^3/t, calculado por Hirt (24) até 124 Nm^3/t, de acordo com De Walle e Chian (16). Esses valores recomendados referem-se a quantidades recuperáveis de gás, pois basearam-se em aterros

TABELA Nº 1.1

COMPOSIÇÃO DO LIXO ENCONTRADA POR DIVERSOS PESQUISADORES

Variáveis \ Autor (Referência)	Merz (2)	Merz (3)	Ramasnamy (4)	Rovers & Farquhar (5)	Walle & Chian (6)	U.S. EPA (7)	Farquhar & Rovers (8)	Fungaroli & Steiner (9)
Densidade seca (kg/m^3)	188,0	251,0	–	156,0	–	–	–	–
Umidade (% peso seco)	70,0	49,5	41,0	98,0	–	–	–	–
Madeira (%)	–	–	2,5	5,9	1,8	2,1	1,1	2,29
Pano (%)	–	–	–	3,8	0,7	0,7	1,6	0,76
Ciscos (%)	–	5,0	–	13,5	14,9	8,3	7,2	1,53
Grama/Folhas (%)	38,0	38,0	5,0	–	3,1	6,9	13,8	4,59
Metal (%)	–	7,0	–	7,9	14,7	22,2	13,4	6,86
Papel (%)	57,0	43,0	50,0	25,9	36,5	48,6	46,2	53,46
Plástico (%)	–	3,0	–	4,5	2,8	2,8	3,9	1,14
Alimentos (%)	5,0	?	25,0	31,6	14,4	11,1	15,3	8,40
Vidro (%)	–	5,0	–	6,9	6,8	8,3	10,1	7,73
Outros (%)	–	–	–	–	–	–	–	11,33

TABELA Nº 1.2

COMPOSIÇÃO DO LIXO COLETADO NOS MUNICÍPIOS DE SANTOS E CURITIBA

Variáveis \ Município	Santos (10)	Curitiba (11)
Umidade (%)	67,40	64,20
Papel (%)	17,17	18,40
Papelão (%)	2,89	1,50
Madeira (%)	3,46	0,80
Panos e Trapos (%)	2,57	2,90
Couro (%)	1,02	0,40
Borracha (%)	-	0,20
Plástico Duro (%)	2,57	1,50
Plástico Mole (%)	1,58	4,30
Material Org. Putrescível (%)	19,90	30,40
Metais (%)	4,63	3,60
Vidro (%)	2,11	3,40
Entulho (%)	-	0,30
Ossos (%)	-	0,50
Agregado Grosso (%)	41,14	26,50
Agregado Fino (%)	1,01	2,80
Perdas (%)	-	3,50

OBS: O valor da porcentagem de umidade refere-se à base úmida e os demais valores de porcentagem referem-se a material úmido.

TABELA Nº 1.3

COMPOSIÇÃO DO LIXO COLETADO NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

Variáveis \ Município	São Paulo (12)
Umidade (%)	61,3
Papel (%)	17,3
Papelão (%)	5,5
Plásticos e Borracha (%)	9,4
Inorgânicos (%)	5,6
Orgânicos (%)	62,1

TABELA Nº 1.4

TAXAS DE PRODUÇÃO DE GBQ

Autor	Referência	Local	Taxa ml(gás)/kg(lixo) x dia
Schuyler	(13)	Palos Verdes	30 - 56
BSC Los Angeles	(16)	Sheldon Arleta	22
Colona	(15)	Mountain View	45

TABELA Nº 1.5

TAXAS DE PRODUÇÃO DE GÁS* A PARTIR DA BIODEGRADAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Autor	Referência	Produção total l (gás)/kg (lixo) base seca	Máxima taxa de produção ml (gás)/kg (lixo) x dia base seca	Período de ensaio. dias	Tipo de preparação do resíduo
Merz	(2)	2,6 - 12,9	580	600	Picado
Merz & Stone	(3)	5,5	22	600	Não picado
Ramasnamy	(4)	10,0 - 183,0	3 300	60	Sintético partícula 2 mm
Rovers & Farquhar	(5)	6,5	84	600	Não picado
De Walle, Chian & Hammerberg	(16)	5,4	180	300	Moído partícula 0,7 a 2 mm

(*) Dados referentes à produção total de gás (CH_4 + CO_2 + Outros)

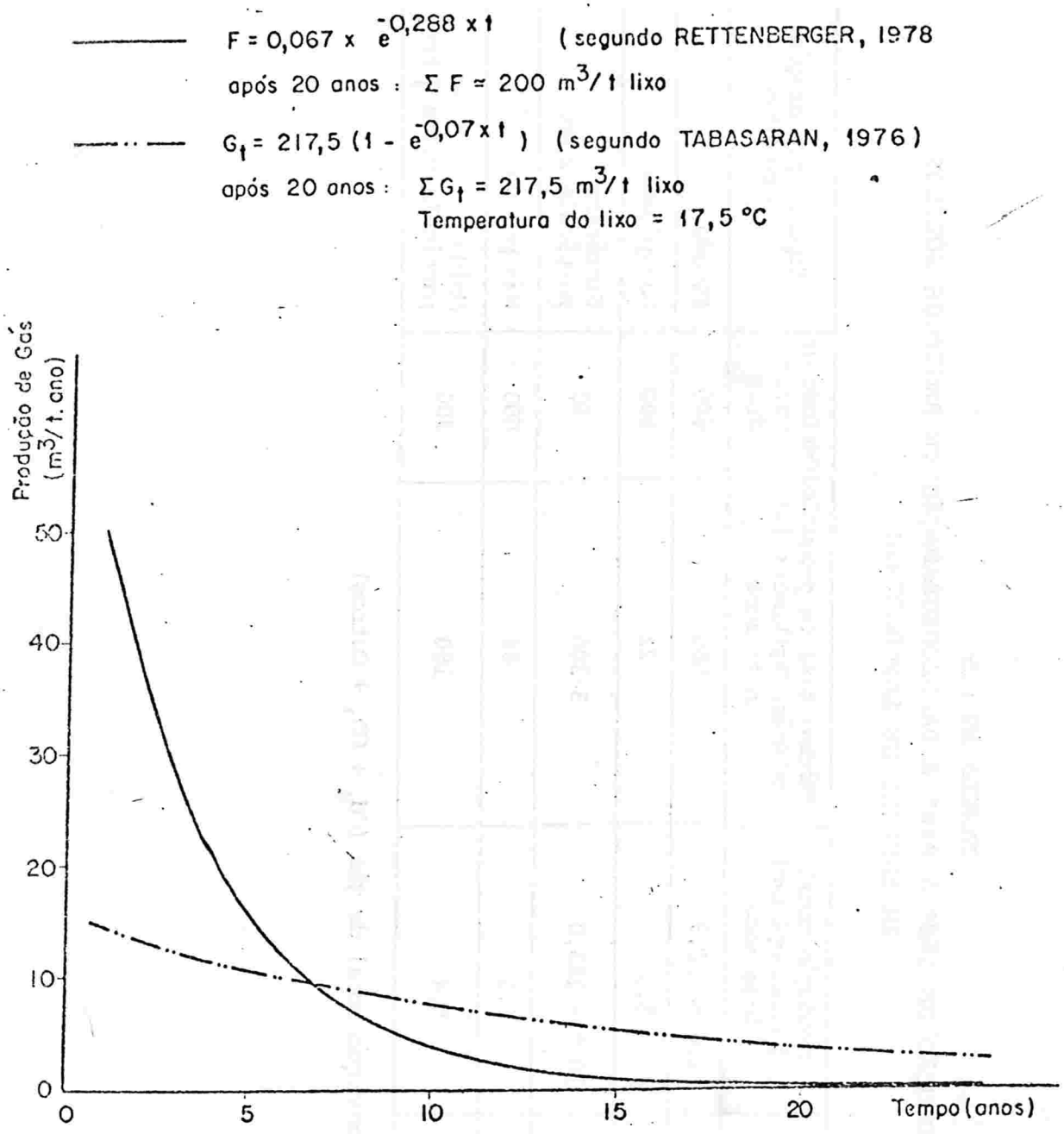


FIG. Nº 1.2

VELOCIDADE DE PRODUÇÃO DE GÁS SEGUNDO TABASARAN, 1976, E DE RETTENBERGER, 1978 [17]

construídos sem finalidade de aproveitamento de gás como fonte de energia.

Deve-se levar em conta que, para o caso brasileiro, estes valores podem ser majorados, tendo em vista as diferenças de teor de matéria orgânica e teor de umidade de lixo, temperatura do meio ambiente e a uma concepção de construção do aterro sanitário de forma a favorecer a formação e a captação do GBQ, minimizando-se suas perdas.

É de se esperar que as taxas previstas por Tabasaran e Rettenberger (17) se mostrem um tanto conservativas quando aplicadas ao caso brasileiro, dadas as diferenças apontadas anteriormente entre resíduos sólidos brasileiros e os de países que serviram de base para os trabalhos desses autores.

Tendo em vista o apresentado, pode-se estimar, com alguma margem de segurança, que os aterros construídos com o objetivo de se recuperar o gás produzido possam apresentar taxas de produção de GBQ útil, ou seja, de gás passível de ser utilizado, descontadas as perdas, conforme apresentadas na tabela nº 1.6 e figura 1.3.

A vida útil do processo de geração de gás em aterro sanitário é ainda uma incógnita que não tem uma resposta absolutamente confiável.

Não se sabe com certeza o que ocorrerá com a produção dos gases em um processo em escala de extração industrial, pois até o momento não se faz nada nesse sentido durante longo tempo.

Até o momento só dispõem-se de estimativas teóricas para a produção total de gases e determinações experimentais, sob um regime de extração de escala industrial, para a produção específica de gás no início da fase metanogênica.

Esta dúvida irá se diluindo na medida que os projetos existentes e os futuros começarem a fornecer dados experimentais confiáveis.

TABELA Nº 1.6
ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE GBQ ÚTIL DO
ATERRO SANITÁRIO DO PROJETO "ELBAS"

Ano	Produção Anual de GBQ (Nm^3/t de lixo x ano)	Produção Acumulada do GBQ (Nm^3/t de lixo)
1º	-	-
2º	19	19
3º	18	37
4º	17	54
5º	16	70
6º	15	85
7º	14	99
8º	13	112
9º	12	124
10º	11	135
11º	10	145
12º	9	154

OBS: t de lixo = tonelada de lixo em base úmida

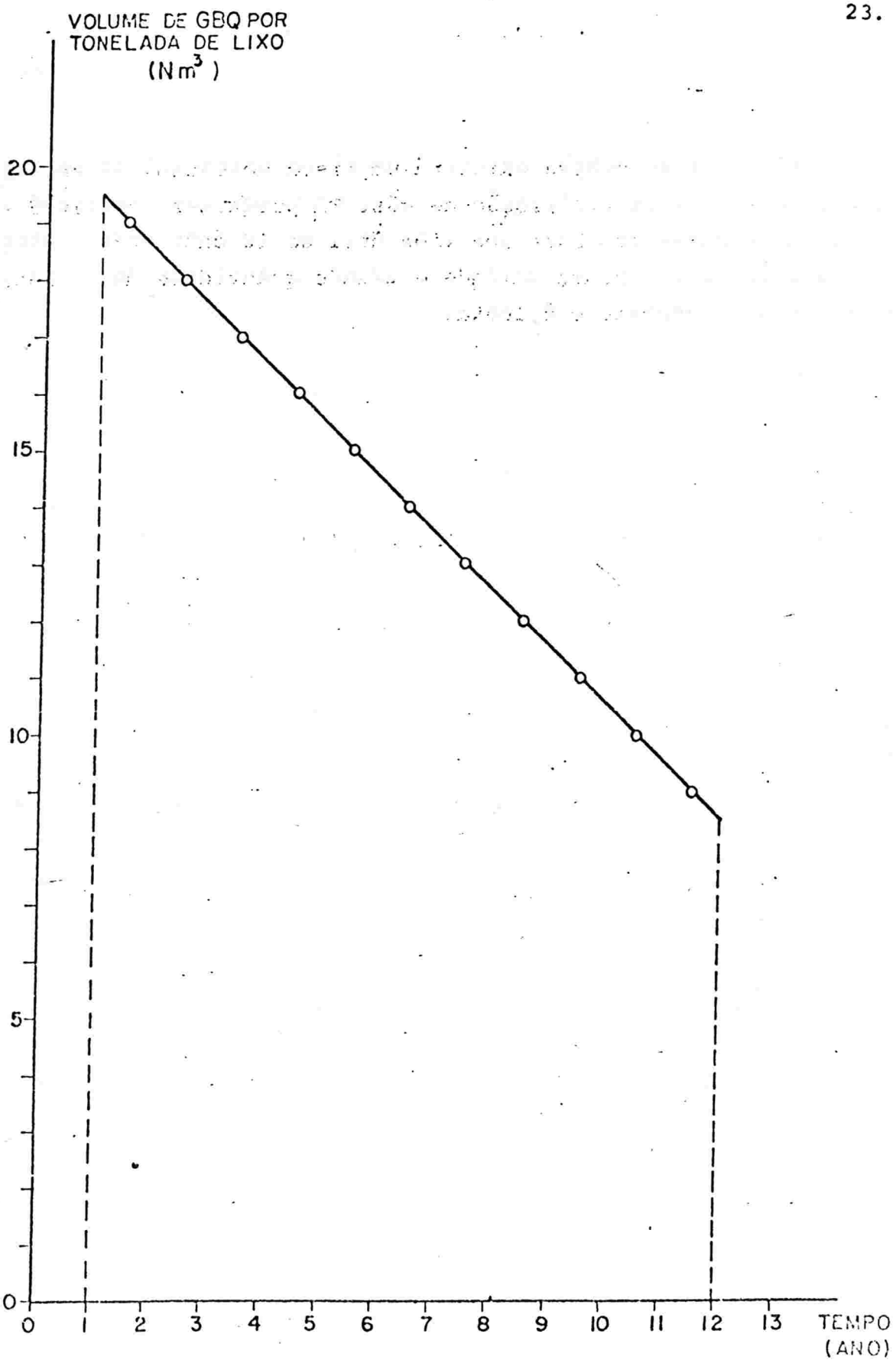


FIG. Nº 1.3 - ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO ANUAL DE GBQ A PARTIR DE 1 TONELADA DE LIXO
(BASE ÚMIDA)

Até que isso ocorra existirá um risco potencial ao se implantar projetos de utilização de gás. Em pesquisas realizadas na U.S.A. toma-se com base uma vida útil de 10 anos para aterros sanitários com pouca umidade e grande quantidade de materiais cuja decomposição é lenta.

1.4 - COMPOSIÇÃO E PODER CALORÍFICO DOS GASES DE ATERROS SANITÁRIOS

Dado o grande número de fatores intervenientes na geração do GBQ, é de se esperar que este apresente uma grande variabilidade na sua composição e no seu poder calorífico. Assim sendo, a tabela nº 1.7 mostra as composições de GBQ e a tabela nº 1.8 o poder calorífico superior, segundo os dados encontrados nos aterros estudados.

Como se observa da tabela nº 1.8, para o aterro de lixo do Município de São Paulo (Raposo Tavares, km 14,5) encontram-se valores do poder calorífico superior (PCS) do GBQ de 5 810 e 6 300 kcal/Nm^3*.

Para efeito deste trabalho, no que se refere aos cálculos preliminares necessários, será adotado o valor do PCS de 5 800 kcal/Nm^3, o que equivale a uma concentração de metano no GBQ da ordem de 61%, em volume. A partir destes dados, pode-se avaliar o poder calorífico inferior (PCI), descontando-se do PCS o valor referente ao calor perdido na vaporização da água formada na reação do hidrogênio contido no gás com o oxigênio introduzido no processo de combustão. Desta forma, pode-se estimar para o GBQ um PCI da ordem de 5 200 kcal/Nm^3.

(*) Nm^3 - Refere-se ao volume de gás (m^3) medido em condições padronizadas de pressão (p = 760 mm Hg) e temperatura (0ºC).

TABELA Nº 1.7

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO GBQ EM ATERROS ESTUDADOS

(% em volume)

Autor	Griesinger	Griesinger	Griesinger	Griesinger	Dair & Schwegler	Gomes	Collins	Raimundo & Pinto
Local e referência / Componentes	Aterro de Aarau	Aterro de Hardwald	Aterro de Baarburg	Aterro de Uttigem	Aterro de Palos Verdes	Aterro Km 14,5 Raposo Tavares	US EPA Standart	Aterro Km 14,5 Raposo Tavares
	(18)	(18)	(18)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)
CH_4 %	56,7	52,6	46,3	20,7	50,2	61,9	50-60	67,0
CO_2 %	35,1	37,2	33,0	27,7	48,0	36,7	40-45	26,1
O_2 %	0,4	0,6	2,4	0,3	0,16	} 1,4	0-1	2,1
N_2 %	5,9	9,6	18,4	49,5	0,86		1-5	4,3
CO %	3,7	...	...	...	...	...	...	0,2
H_2S %	...	...	...	...	...	0,001	...	...
SO_2 %	...	...	...	...	...	...	...	traços
Hidrocarbonetos %	...	...	...	...	0,62	...	...	...
Outros %	...	...	...	...	0,2	...	1-5	0,3

OBS.: (...) cifra desconhecida

TABELA Nº 1.8

PODER CALORÍFICO SUPERIOR DO GBQ

Autor	Referência	Local	Poder Calorífico kcal/Nm^3
Dair & Shwegler	(19)	Aterro de Palos Verdes	4 717
Gomes	(20)	Aterro km 14,5 Raposo Tavares	5 810
Collins	(21)	US EPA Standard	4 450 4 895
Raimundo & Pinto	(22)	Aterro km 14,5 Raposo Tavares	6 300

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

1.5 - FATORES INTERVENIENTES

Alguns fatores podem interferir nesse processo. As bactérias metanogênicas são bastante sensíveis às variações ambientais, exigindo condições específicas para reproduzirem-se em um aterro, dentre as quais citar-se-ão as mais importantes: ausência estrita de oxigênio, temperatura na faixa ótima de 30ºC a 35ºC, umidade dos resíduos superior a 40%, pH compreendido entre 6,8 a 7,2, resíduos ricos em matéria orgânica e ausência de substâncias tóxicas e de metais pesados.

Muito embora os dados referentes à produção de gás em aterros sanitários sejam escassos, aqueles compilados e já apresentados permitem tecer as seguintes considerações:

. os valores obtidos, tanto em experimentos laboratoriais, como aqueles realizados em campo, referem-se aos resíduos sólidos domiciliares característicos dos E.U.A., com teores de umidade da ordem de 30%, de restos alimentares de 10 a 15% e de papel de 40 a 45%. Os resíduos sólidos característicos do Município de São Paulo apresentam 61,3% de umidade, 17,3% de papel, 5,5% de papelão e 62,1 % de orgânicos.

. todos os ensaios efetuados mostraram que um aumento, tanto na umidade do lixo, como na temperatura do processo, acelera a produção de gás. A figura nº 1.4 mostra o efeito da umidade na produção total de gás.

. os ensaios efetuados por Fungaroli e Stainer (9) mostram que uma diminuição do tamanho das partículas provoca um sensível aumento na produção de metano, conforme mostrado na figura nº 1.5. Estes ensaios mostram também um efeito semelhante provocado pelo aumento da densidade, apresentado na figura nº 1.6.

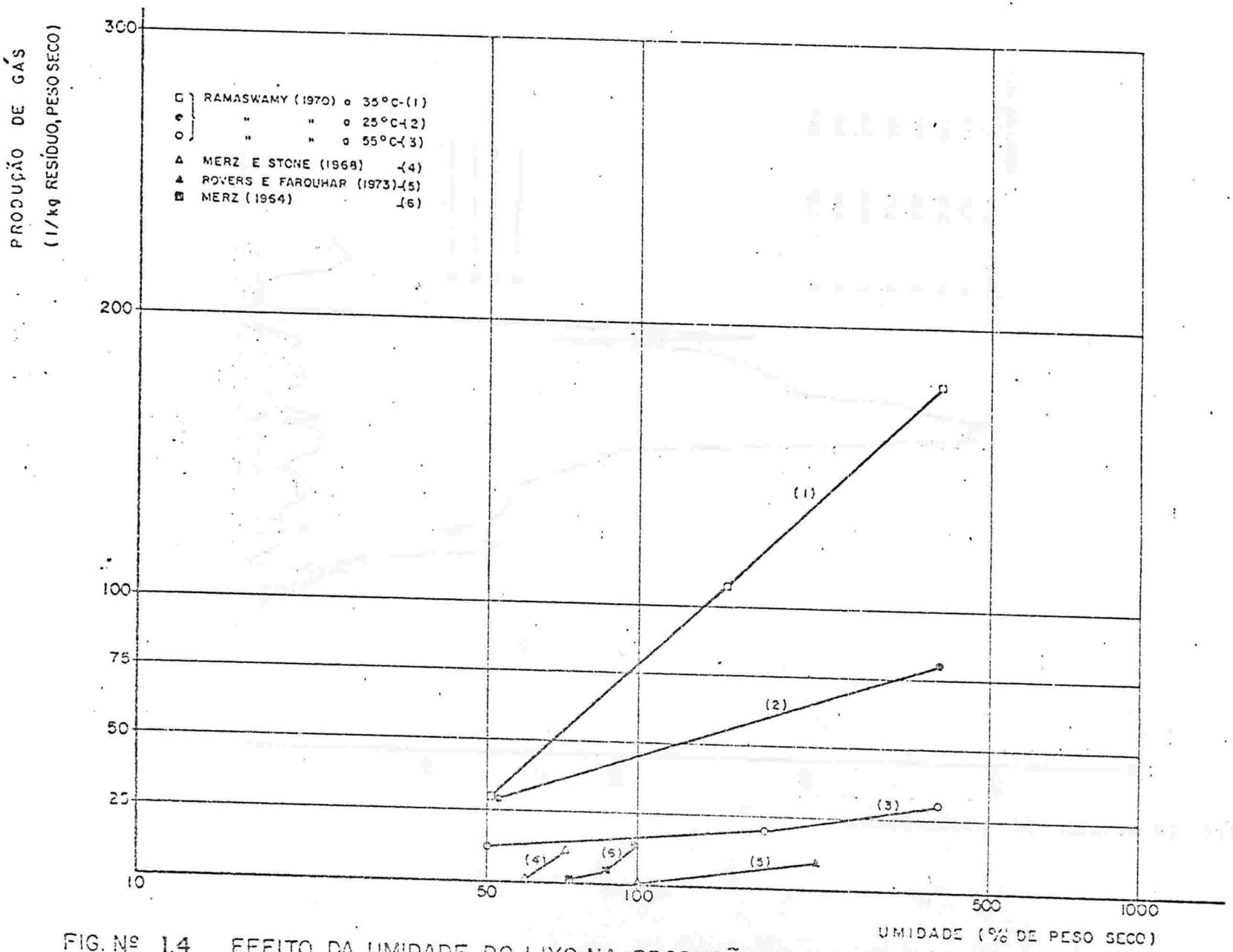


FIG. Nº 1.4 EFEITO DA UMIDADE DO LIXO NA PRODUÇÃO TOTAL DE GÁS (l/kg PESO SECO) [16]

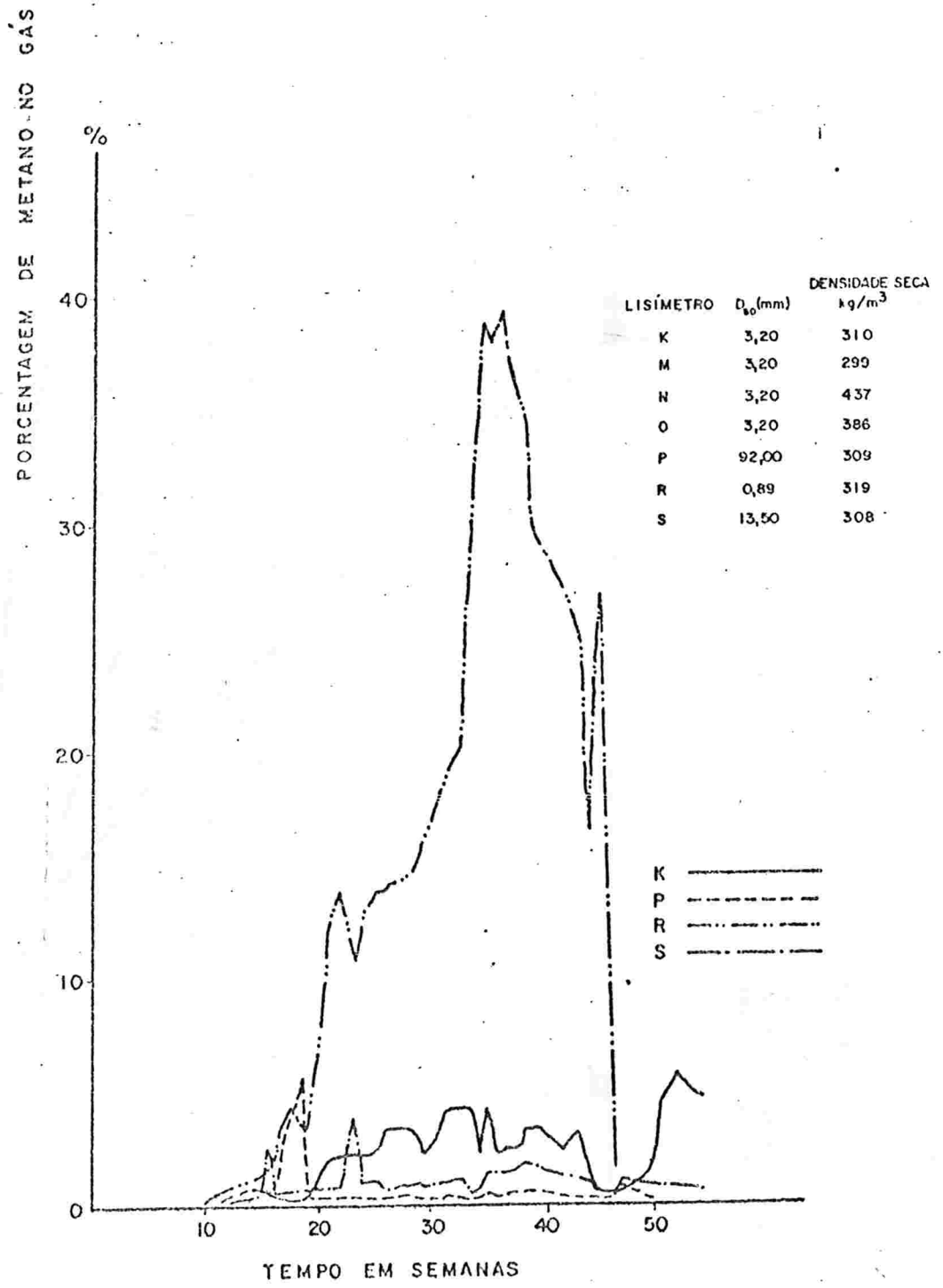


FIG. Nº 1.5

INFLUÊNCIA DO TAMANHO DA PARTÍCULA NA CONCENTRAÇÃO DE METANO [9]

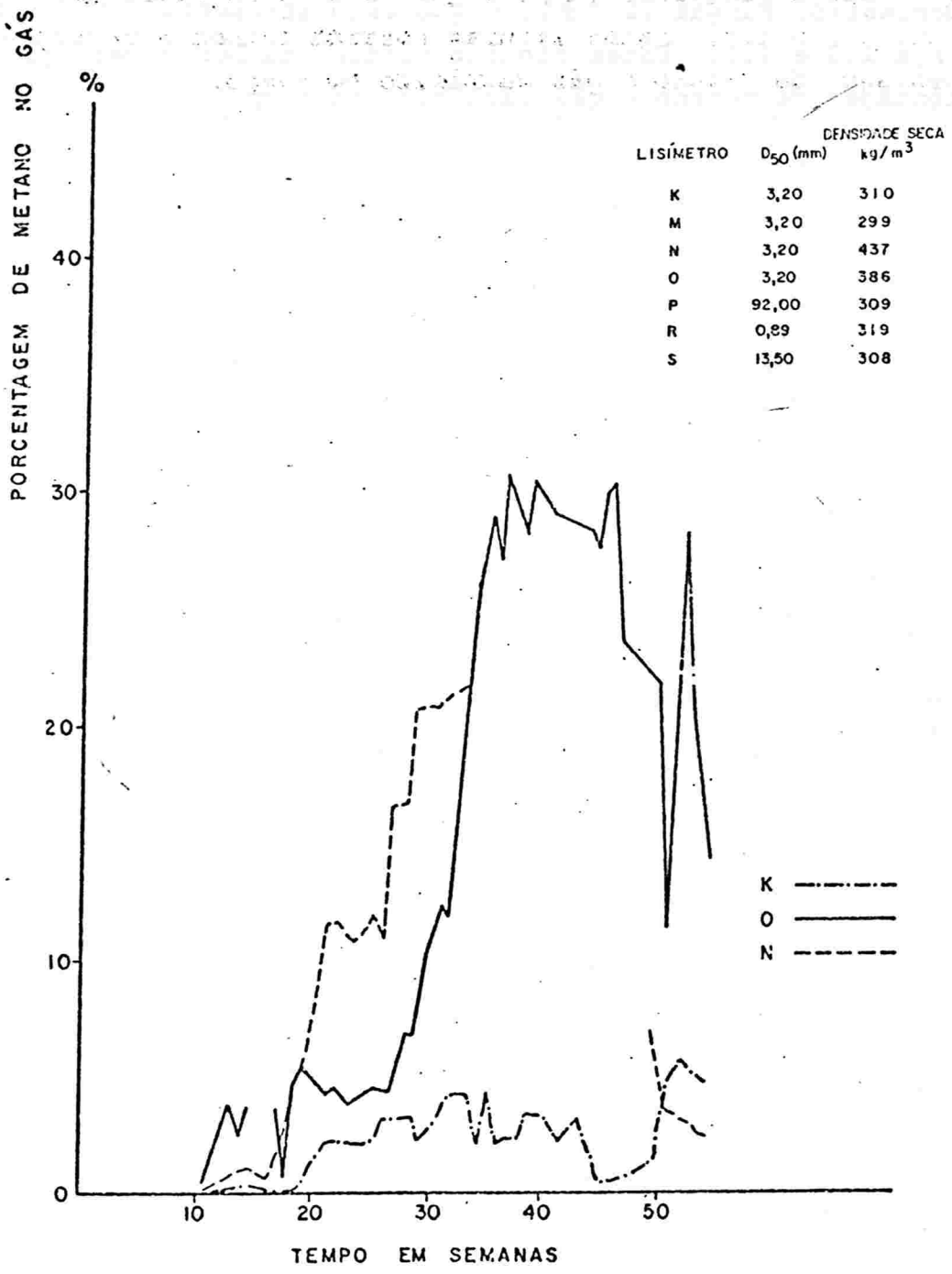


FIG. Nº 1.6

INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DO RESÍDUO NA CONCENTRAÇÃO DO METANO [9]

. existe também uma variação na porcentagem de metano e gás carbônico relacionada com a profundidade do aterro, conforme demonstrou Fungaroli (9), e que está apresentada nas figuras nos 1.7 e 1.8. Estas figuras mostram também a variação da porcentagem de metano e gás carbônico no tempo.

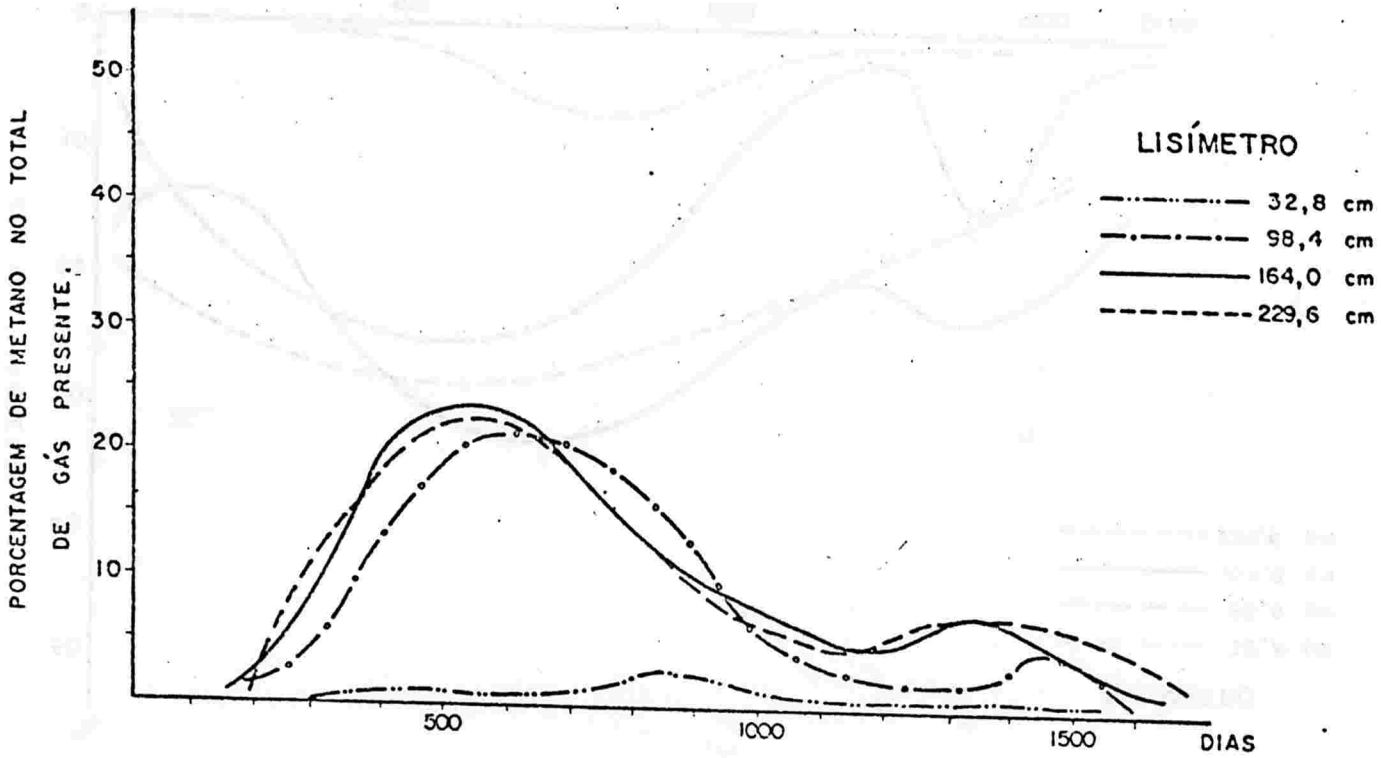


FIG. Nº 1.7 - PRODUÇÃO DE METANO [9]

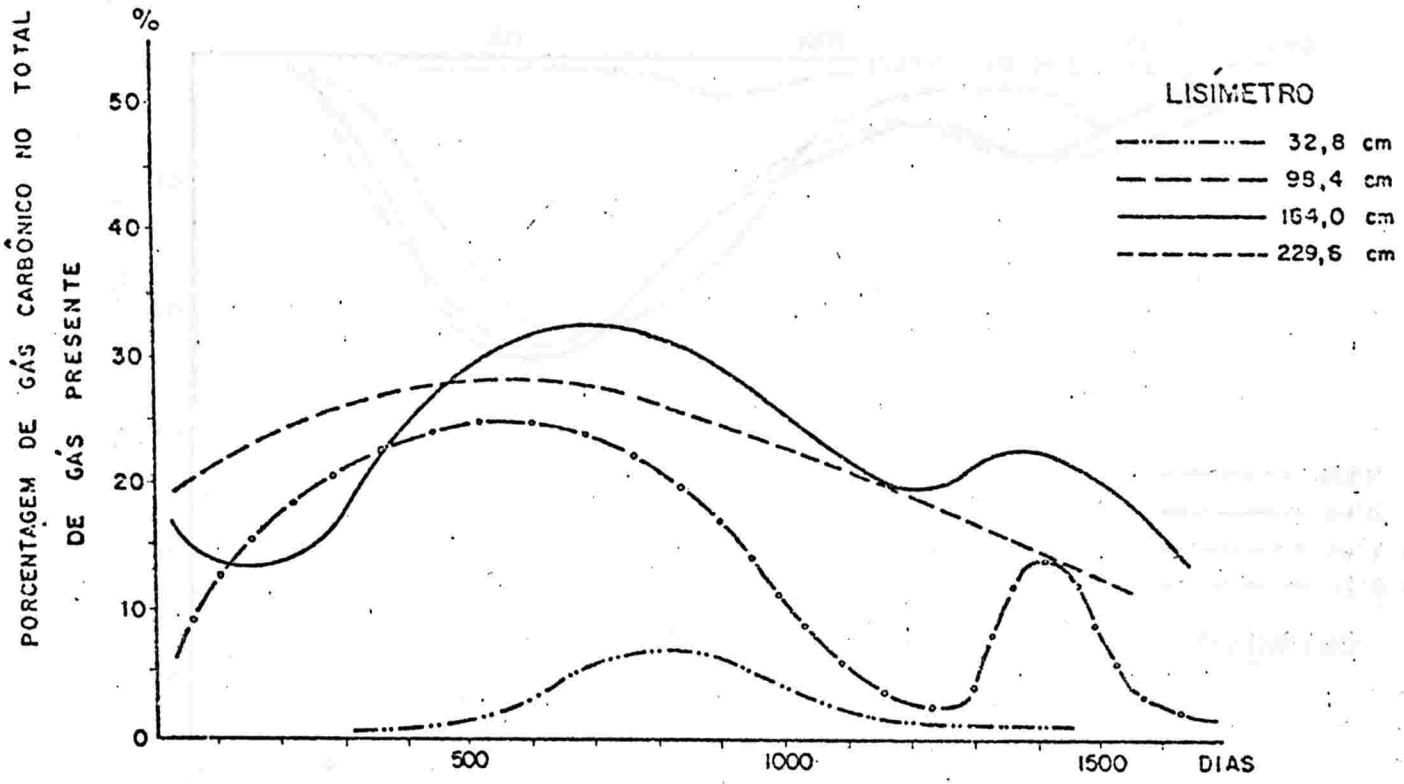


FIG. Nº 1.8 – PRODUÇÃO DE GÁS CARBÔNICO [9]

2.1 - DISTRIBUIÇÃO RESIDENCIAL DO GÁS DE ATERRO

2.1.1 - DISTRIBUIÇÃO DIRETA

Consiste em captar-se o gás através de uma rede de poços, proceder-se ao tratamento e distribuí-lo, diretamente, a residências nas cercanias do aterro.

Para escolha desta alternativa, deve-se levar em conta os seguintes aspectos técnico-econômicos:

- Distância das residências que serão abastecidas até o aterro

Considerando-se o elevado custo das redes de distribuição de gás (1,0 metro de tubulação em aço, instalada, custando cerca de Cr$ 10 000 em março de 1982, em São Paulo) deve-se procurar otimizar e minimizar o raio de distribuição. Deve-se ainda, procurar utilizar materiais não convencionais, como tubos de polietileno.

- Existência de instalações internas de gás nas residências que serão abastecidas

Em geral, as residências situadas próximas aos aterros de São Paulo não possuem instalações internas, visto não estarem situadas em áreas abrangidas pelo Decreto Municipal nº 12 706, de 8 de março de 1976, o qual estabelece que todas as novas construções situadas no Município de São Paulo devem ser dotadas de instalações internas para gás canalizado, desde que situadas dentro do perímetro de abastecimento da COMGÁS ou de objeto do seu plano de expansão.

Caso as residências não possuam instalações internas para gás canalizado será necessária a adaptação de um ramal à rede de distribuição local de gás de aterro, um medidor de vazão (capacidade: ≃ 6 m^3/h), um purgador para líquidos condensados (à montante do medidor) e eventualmente, um regulador individual de pressão, caso as residências não possuam uma estação suporte redutora de pressão, centralizada.

- Possibilidade de expansão futura do sistema de gás canalizado da concessionária local, até as residências ora abastecidas com gás de aterro

Tendo em vista, que o gás produzido em aterros sanitários constitui um combustível não renovável, com produção economicamente viável, em torno de 10-15 anos, é conveniente e confortável que as residências abastecidas por gás de aterro possam, no futuro - quando do esgotamento desta fonte - vir a ser abastecidas por outro suprimento de gás canalizado, o que inclusive aumentaria a vida útil da rede de distribuição de gás de aterro.

Caso as condições acima fossem satisfatórias, a distribuição direta do gás seria realizada através do seguinte sistema:

. Poços de captação
. Linhas de interligação dos poços a um coletor central
. Separador de condensados ("demister")
. Sistema de 2 turbo-compressores (um em "standby"), para pressurização e despacho de gás (o turbo-compressor de reserva garantiria a confiabilidade do suprimento do gás)
. Medidor central da vazão
. Linha suporte de transmissão

. Rede de distribuição residencial
. Estação suporte redutora de pressão
. Instalações internas residenciais

No caso de distribuição residencial direta é necessário um programa de conversão de equipamentos, visto que os fogões e aquecedores existentes no mercado não são adequados ao uso de gás de aterro.

2.1.2 - DISTRIBUIÇÃO INDIRETA

Consiste na injeção do gás de aterro, seja diretamente na rede da concessionária local de gás canalizado, seja nos balões de armazenamento desta última.

O sistema de captação e distribuição consistiria em:

. Poços de captação;
. Linhas de interligação dos poços a um coletor central;
. Separador de condensados "demister" e, na maioria dos casos, o gás teria que ser ainda desidratado (com o uso de trietileno glicol, peneiras moleculares, carvão ativado, etc) com o fim de evitar corrosão na rede de distribuição ou de transmissão da concessionária;
. "Set-booster", para arraste e injeção do gás na rede de transmissão ou de distribuição da concessionária. No caso de redes de distribuição em baixa pressão, poderiam ser eventualmente utilizados turbo-compressores para despacho do gás.

- Vantagens

A distribuição indireta é mais vantajosa e segura

que a distribuição direta, uma vez que eventuais oscilações nas vazões de gás poderiam ser mais facilmente absorvidas pelo sistema. A medida em que o gás se esgota, existirá uma maior flexibilidade por parte da concessionária em procurar novas fontes de gás.

- Limitações

Para injeção do gás em redes de transmissão ou de distribuição de gás de cidade (no Brasil, gás de nafta, de médio poder calorífico), ou gás natural (elevado poder calorífico), deve-se respeitar os limites de intercambiabilidade dos gases que serão misturados: isto é, a mistura gasosa deverá possuir características tais, que permitam seu uso nos equipamentos de combustão originalmente utilizados, sem que sejam necessárias adaptações nos equipamentos.

Quando a mistura gás de aterro com gás de nafta o limite máximo de mistura é de respectivamente 6,9% e 93,1%, o que torna difícil a injeção integral, no caso de aterros com grande produção de gás, uma vez que as vazões de gás de nafta veiculadas na rede estão abaixo das vazões prescritas pelos limites de intercambiabilidade.

Quando a mistura é realizada com gás natural, o problema pode ser contornado pela eliminação do dióxido de carbono (CO_2) presente no gás de aterro, o qual também é corrosivo em presença de água (formando os íons CO_3^- e H^+) e, particularmente, danoso para as tubulações em aço, que operam a média e alta pressão.

Cabe salientar que, nas cidades latino-americanas geralmente se utiliza o gás de nafta, não sendo, portanto, necessário empregar-se os mesmos processos de purificação do gás utilizado , por exemplo, na Califórnia, onde se usa gás natural.

As normas de operação das companhias de gás impõem a desitratação do gás que será distribuído em tubulações de aço, o que torna mais onerosa a distribuição indireta em virtude de necessidade de um sistema de desitratação de gás, o que não ocorre na distribuição direta do gás de aterro.

A escolha das alternativas acima dependerão evidentemente de um estudo custo-benefício, que em função das distâncias, sistemas de tratamento, existência de linhas de transmissão e/ou nas proximidades, permitirá a escolha da alternativa mais adequada.

2.2 - DISTRIBUIÇÃO INDUSTRIAL DO GÁS DE ATERRO

2.2.1 - VANTAGENS

A distribuição industrial de gás de aterro constitui uma alternativa bastante vantajosa, sob os seguintes aspectos:

O consumidor industrial necessita, via-de-regra de grandes vazões de gás, o que diminui a pulverização do número de instalações internas de gás. Adicionalmente, as instalações internas industriais podem ser concebidas segundo um sistema "double-fuell" (ex:gás-óleo), o que garante a confiabilidade do sistema, em caso de panes ou flutuações nas vazões de gás de aterro.

Dentro de seus programas de alternativas energéticas, existe o interesse de um grande número de indústrias em investir nas redes de distribuição do gás de aterro, através do financiamento de todo o sistema de distribuição industrial. Em contrapartida, a concessionária local ofereceria reduções atraentes no preço do gás, até a viabilização total do capital investido.

Para distribuição industrial não existe necessidade de um tratamento sofisticado do gás, bastando a redução de condensados.

Tendo em vista que o gás de aterro, como qualquer outro combustível gasoso, queima eficientemente e sem deixar resíduos tóxicos, sua utilização em indústrias atende às estratégias de redução do consumo de energia e combustíveis fósseis oriundos do petróleo importado (gás liquefeito de petróleo, óleo combustível e diesel) como atende também as exigências de redução de poluição ambiental causadas pelas indústrias.

2.2.2 - SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO INDUSTRIAL

O sistema de distribuição industrial pouco difere do sistema de distribuição residencial direta, salvo que requer maior potência dos turbo-compressores, e maior capacidade do medidor central de vazão. Adicionalmente, é conveniente instalar-se alguns dispositivos de segurança, tais como válvulas corta-chama e válvulas de retenção, assim como um pressostato para acionamento automático dos turbo-compressores.

2.2.3 - ALGUMAS CONCLUSÕES

As experiências relativas ao Município de São Paulo têm demonstrado que a distribuição industrial de gás de aterro (onde existam indústrias próximas) constitui um empreendimento vantajoso, do ponto de vista econômico e mercadológico. Entretanto, como não há incentivos governamentais a quaisquer destas alternativas, a iniciativa privada tem se mostrado bastante reticente em investir no estudo e aperfeiçoamento da infra-estrutura de captação e distribuição de gás.

O fornecimento de gás, em caráter comercial, a um consumidor industrial, implicaria em benefício para o desenvolvimento dos projetos.

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

2.3 - UTILIZAÇÃO EM VEÍCULOS

A Prefeitura do Município de São Paulo, através do seu Departamento de Limpeza Urbana, vem se dedicando ao estudo da substituição do diesel e da gasolina pelo gás de aterro. Para diminuir o elevado teor de CO_2 (o qual além de ser um gás não combustível, provoca corrosão, quando em presença de água) encontrado no gás, vem-se estudando métodos de purificação adequados (absorção em água, em hidróxido de sódio, em carbonatos, ou mesmo por métodos criogênicos).

Adicionalmente, o gás assim purificado deve ser comprimido a pressões da ordem de 200 kg/cm^2, e acondicionado em cilindros especiais.

O LIMPURB realizou alguns testes em motores do ciclo Otto, utilizando metano como combustível, e posteriormente, em conjunto com a COMGÁS e a White Martins, utilizou o gás de aterros, purificando com hidróxido de sódio e água (CO_2 final $\simeq$ 20%), e comprimindo a 170 kg/cm^2, em um caminhão de lixo, com economia de quase 70% de óleo diesel. As eficiências alcançadas foram de aproximadamente 10 km/m^3 de gás e 3,5 km/m^3 de gás para os motores de ciclo Otto e de ciclo Diesel respectivamente; o esquema das experiências está sintetizado na figura nº 2.1.

2.3.1 - LIMITAÇÕES

Atualmente os grandes desafios encontrados na utilização do gás de aterros em veículos referem-se a:

. Remoção do CO_2 - uma vez que os métodos convencionais existentes para remoção de gases ácidos são aplicáveis a concentrações bem mais baixas de CO_2, é necessário encontrar

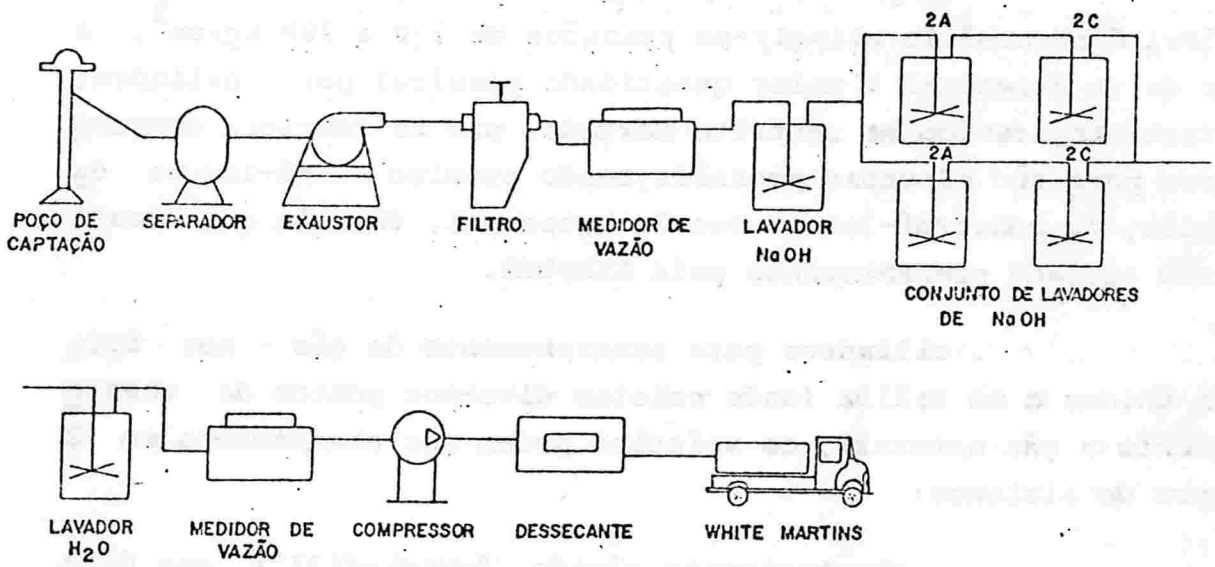


FIGURA 2.1 - PURIFICAÇÃO EXPERIMENTAL DE GÁS DE ATERROS PARA USO EM VEÍCULOS

-se um ponto de equilíbrio entre a economia e a eficiência. Os métodos que parecem mais aconselháveis parecem ser a liquefação do CO_2 - aproveitando-se das altas pressões necessárias para o engarrafamento - ou a sua absorção em água, sob pressão.

Este último foi utilizado com sucesso em um projeto desenvolvido pela Municipalidade de Modesto, Califórnia (EUA) utilizando-se o gás de esgotos, e atingindo-se concentrações de 98% em metano.

. Compressão - para uma utilização economicamente viável é necessário atingir-se pressões de 170 a 200 kg/cm^2, a fim de se armazenar a maior quantidade possível por cilindro; entretanto, devido ao restrito mercado, não se fabricam compressores para tão elevadas pressões, sendo preciso buscá-los no exterior, ou construí-los em escala artesanal, fórmula que está sendo adotada presentemente pela LIMPURB.

. cilindros para armazenamento de gás - nos Estados Unidos e na Itália (onde existem diversos postos de abastecimento a gás natural), os veículos podem ser abastecidos em 2 tipos de sistemas:

- abastecimento rápido ("quick-fill"), que dura entre 2 a 5 minutos; o gás processado e comprimido a 245 kg/cm^2 é armazenado em cilindros de elevadas capacidades ou em baterias de cilindros, que abastecem instantaneamente o veículo, em um posto apropriado;

- abastecimento por turnos ("time-fill"), no qual deixa-se o gás fluir diretamente do compressor aos tanques do veículo, durante um período de 14 horas (geralmente o veículo é abastecido durante a noite);

Em ambos os casos são necessários cilindros de elevada resistência, conjugada a uma certa leveza, de modo a não comprometer o desempenho do veículo, pelo carregamento de um grande peso morto. No Brasil já se fabricam em escala indus

trial, cilindros em aço, com capacidade para $10m^3$ de gás a uma pressão de 170 kg/cm^2, e que pesam cerca de 70 kg (quando vazios); estas características "a priori" inviabilizariam a utilização do gás em veículos providos de motores do ciclo Otto, de pequeno porte, pois não existiriam sequer condições para uma correta disposição do comprido e pesado cilindro no interior do veículo.

Em qualquer hipótese - utilização em motores Otto ou Diesel - a utilização do gás de aterro em veículos deveria ser restrita a veículos da frota pública, pois não existiriam condições para distribuição adequada deste combustível dentro da cidade, tanto no que se refere ao manuseio dos cilindros quanto no tocante à centralização dos postos de engarrafamento em alguns poucos aterros.

2.4 - GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Nesta alternativa o gás é injetado em um motor de combustão interna que aciona um gerador elétrico e cuja carburação tenha sido convenientemente modificada para operar com este combustível, com uma pressão de injeção que varia entre 0,35 a 0,7 kg/cm^2 (5 a 10 lb/in^2).

Convém empregar-se motores capazes de funcionar com outros combustíveis além do gás de aterro, como por exemplo gás liquefeito de petróleo ou diesel, para o caso de um eventual corte no fornecimento daquele gás.

Outra forma de se produzir eletricidade é utilizando-se turbinas a gás. Esta alternativa requer uma etapa prévia de compressão do gás, antes de introduzí-lo na turbina, já que a pressão de inversão se encontra entre 10,5 a 21 kg/cm^2 (150 a 300 lb/in^2).

O sistema motogerador frente ao turbogerador apresenta as seguintes vantagens:

- inversões mais baixas;
- uso de gás a pressões menores;
- melhor rendimento por economias ao se suprimir o trabalho de compressão prévia.

No Brasil, não se tem nenhuma experiência em termos de geração de energia elétrica a partir de gás de aterro sanitário.

2.5 - PRODUÇÃO DE METANOL

2.5.1 - PROCESSO A BAIXA PRESSÃO

Existem, atualmente, dois processos para produção de metanol: em baixa e alta pressão. O processo a baixa pressão seria mais vantajoso economicamente devido, entre outros fatores, às pequenas capacidades das instalações que seriam utilizadas.

O processo consiste em:

- Produção de gás de síntese no reformador primário

$$CH_4 + H_2O \longrightarrow CO + 3\,H_2$$
$$CO_2 + H_2 \longrightarrow CO + H_2O$$

No caso da produção de metanol, a existência de CO_2 no gás de aterro constitui uma vantagem uma vez que a estequiometria da reação requer uma relação de hidrogênio:carbono de 2:1, conforme a equação da reação global:

$$CH_4 + H_2O \longrightarrow CO + 2H_2 \longrightarrow CH_3OH$$

Como o metano presente no gás de aterro possui uma relação hidrogênio:carbono de 4:1, o gás de síntese produzido conterá um excesso de hidrogênio. O dióxido de carbono suprirá então os átomos adicionais de carbono, necessário à produção de metanol.

- Conversão do gás de síntese em metanol

O gás de síntese é comprimido a pressões entre 50 e 100 atm e enviado ao conversor de metanol, onde reagirá entre si, em presença de um catalisador de óxido de cobre e a temperatura entre 480 a 520ºF. O enxofre presente deve ser removido para não contaminar o catalisador.

O metanol produzido é separado da fração de gás que não reagiu através de resfriamento e condensação. O gás não reagido é reciclado.

- Destilação

Para remoção de impurezas, o metanol bruto é destilado em duas colunas, uma na qual eliminam-se as impurezas voláteis (éter dimetílico, ésteres, cetonas, ferro-carbonila) e na outra em que removem-se a água e álcoois de pontos de sublimação elevados.

No caso de utilização do metanol como combustível não existe necessidade de removerem-se outros álcoois, sendo necessário, portanto , apenas uma coluna de destilação.

2.5.2 - ECONOMIA DO PROCESSO

Segundo dados norte-americanos, a produção de metanol só seria economicamente viável, para vazões de gás superiores a 140 000 m^3/dia, ou seja, apenas para aterros de grandes proporções. Na tabela nº 2.1 a seguir, são apresentados alguns valores do sistema de produção de metanol, para vazões de gás de 140 000 a 280 000 m^3/dia.

TABELA Nº 2.1

INVESTIMENTOS PARA A PRODUÇÃO DE METANOL

(US$ DE 1975)

. Vazão de gás de aterro (m^3/dia)	140 000	280 000
. Investimento (10^3 US$)*	5 000	7 500
. Produto (t/dia) (short)	68,5	137
. Custo do produto (US$/$10^6$ BTU) (US$/galão)	4,01 0,26	2,55 0,17

(*) Não foram computados custos do sistema de captação, preço do gás, etc.

3.1 - CONDIÇÕES MÍNIMAS PARA SE EXPLORAR GÁS DE ATERROS EXISTENTES

O crescente interesse na recuperação do gás metano gerado em áterros sanitários já existentes evidencia a necessidade de se estabelecer uma metodologia de avaliação do potencial de produção de gás desses aterros. É importante que se saiba quais dos aterros existentes apresentam-se como promissores no tocante à capacidade de produzir substânciais quantidades de gás.

É possível fazer uma avaliação preliminar do potencial de produção de gás de um aterro a partir de dados como: área, profundidade média e capacidade ao aterro; taxa de disposição, bem como quantidade de resíduos sólidos já dispostos; tipo e composição dos mesmos, além de características físicas e químicas do sistema como unidade, teor de sólidos voláteis, pH e temperatura.

Um critério utilizado para se saber se um aterro sanitário pode ser considerado promissor quanto a produção de metano está indicado na tabela nº 3.1

TABELA Nº 3.1

CONDIÇÕES MÍNIMAS A SEREM CONSIDERADAS NA RECUPERAÇÃO DE METANO DE UM ATERRO SANITÁRIO (25)

. População contribuinte	200 000 pessoas
. Capacidade	2 000 000 t
. Profundidade média	9 m
. Área	12 Ha
. Taxa de disposição	500 t/dia

Deve-se notar que, embora todo aterro sanitário produza metano, aquele cujas características apresentam valores inferiores aos indicados na tabela nº 3.1, usualmente, não é considerado interessante o suficiente para demandar estudos imediatos.

Por outro lado, o fato de um aterro se enquadrar no critério apresentado não implica necessariamente que o mesmo produza substanciais quantidades de gás metano, mas somente que o mesmo pode ser considerado promissor sob este ponto de vista.

O tipo e composição do lixo aterrado podem limitar a produção total e a taxa de produção de metano em um aterro sanitário. Em geral, a produção de metano é estimulada por resíduos que contenham um alto teor de matéria organica passível de decomposição, como restos de alimentos e jardins, papéis, tecidos e madeiras.

Com relação à composição dos resíduos sólidos, é importante haver um controle rígido da presença de substâncias como metais pesados e sais de sódio, potássio, amonia e outros nestes, pois as mesmas podem perturbar a atividade das bactérias formadoras de metano.

A umidade do lixo bem como o seu teor de sólidos voláteis são indicadores do potencial de produção de gás de aterro, sendo que altos valores destes parâmetros associam-se a altos potenciais de produção de gás. No Brasil, a umidade do lixo varia em torno de 60%, enquanto que o teor de sólidos voláteis é cerca de 83%. O pH ideal para formação de metano é próximo ao neutro, situando-se entre 7,0 e 7,2, sendo que um pH do meio inferior a 6,0 prejudica a ação das bactérias formadoras de metano. Na maior parte dos aterros sanitários dos EUA, o ambiente é inicialmente ácido, tendendo a neutro em poucos anos. Este fato indica que ao menos com relação ao pH, as condições que favorecem uma alta produção de metano ocorrem após alguns anos do início da operação do aterro sanitário. Temperaturas altas no

interior do aterro favorecem a produção de metano; por outro lado, deve se esperar uma queda significativa nessa atividade quando as temperaturas se situam abaixo de 10ºC.

Muito embora os dados anteriormente citados sirvam como indicadores gerais úteis do potencial de um aterro sanitário como produtor de metano, eles não permitem que se façam estimativas confiáveis da produção e da taxa de recuperação de gás. Para tanto, é necessário um programa extensivo de testes de campo, composto por testes estáticos e dinâmicos ou de extração.

3.2 - TESTES DE CAMPO

A avaliação de vários parâmetros de operação dos sistemas de extração de gases de aterros sanitários é fundamental para que se possa maximizar a produção destes.

Os gases são recuperados em aterros, através do bombeamento em poços de extração. Isto estabelece um gradiente de pressões no aterro, possibilitando que os gases produzidos em uma região em torno do poço escoem através deste. Ao mesmo tempo, o bombeamento pode também criar pressões negativas de ordem tal, que gases atmosféricos escoem para o interior do aterro através da sua camada de cobertura. Essa migração de ar tende a degradar a qualidade do gás, por aumentar o conteúdo de dióxido de carbono neste, devido às reações de oxidação aeróbias. Assim, é necessária uma investigação completa de campo para se determinar as condições de máxima extração de gás sem degradação de sua qualidade.

No sentido de se otimizar o sistema de extração de gases, deve-se determinar o número, tamanho e profundidade de poços, que podem ser escavados em certas partes do aterro, a fim de que a eficiência seja a máxima possível. Para tanto, é necessário que se façam as seguintes avaliações experimentais:

. seleção de uma taxa de extração "firme" com a qual se possa extrair gases com máximo poder calorífico;

. estabelecimento de um gradiente diferencial de pressões que assegure o aproveitamento dos gases de uma região do aterro, sem interferência com poços adjacentes. Isto equivale a se determinar raios de influência dos poços;

. otimização da quantidade de energia necessária para operar o sistema de extração de gases;

. determinação do número total de poços que podem ser escavados no aterro e,

. avaliação da máxima produção de energia possível do sistema de extração.

Para que se possam fazer as investigações de campo necessárias deve-se construir um poço experimental e em seu redor, vários poços de monitoramento que permitam determinar a distribuição de pressões nessa região do aterro. No aterro sanitário de Palos Verdes em Los Angeles, o esquema experimental foi feito conforme está mostrado na Figura nº 3.1.

O poço de extração experimental deve ter as seguintes características:

. deve ser construído em um local do aterro onde os resíduos sólidos tenham sido dispostos há não mais de um ano, de preferência entre seis meses e um ano. Isto se baseia na hipótese de que um aterro bem compactado e coberto torna-se completamente anaeróbio cerca de seis meses após a sua conclusão;

. os materiais utilizados em sua construção devem ser resistentes a ácidos carbônicos;

. deve ser provido de um sistema de amostragem que permita a extração de gases a várias profundidades;

. deve ser equipado com instrumentos de medição de temperatura, vazão e pressão absoluta.

Na Figura nº 3.2 apresenta-se um esquema de poço de extração utilizado em testes.

Os testes de campo realizados podem ser classificados em:

. estáticos;

. dinâmicos ou de extração de curto termo;

. dinâmicos ou de extração de longo termo.

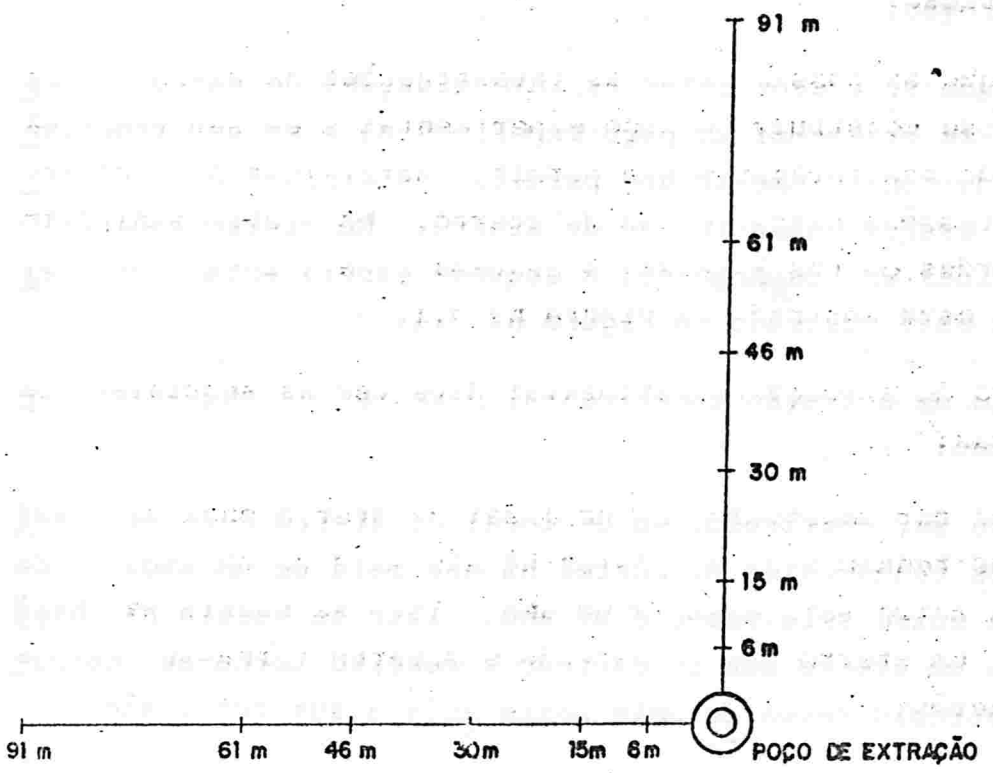


FIGURA 3.1 - LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DE EXTRAÇÃO E MONITORAMENTO EXPERIMENTAIS NO ATERRO DE PALOS VERDES - LOS ANGELES [26]

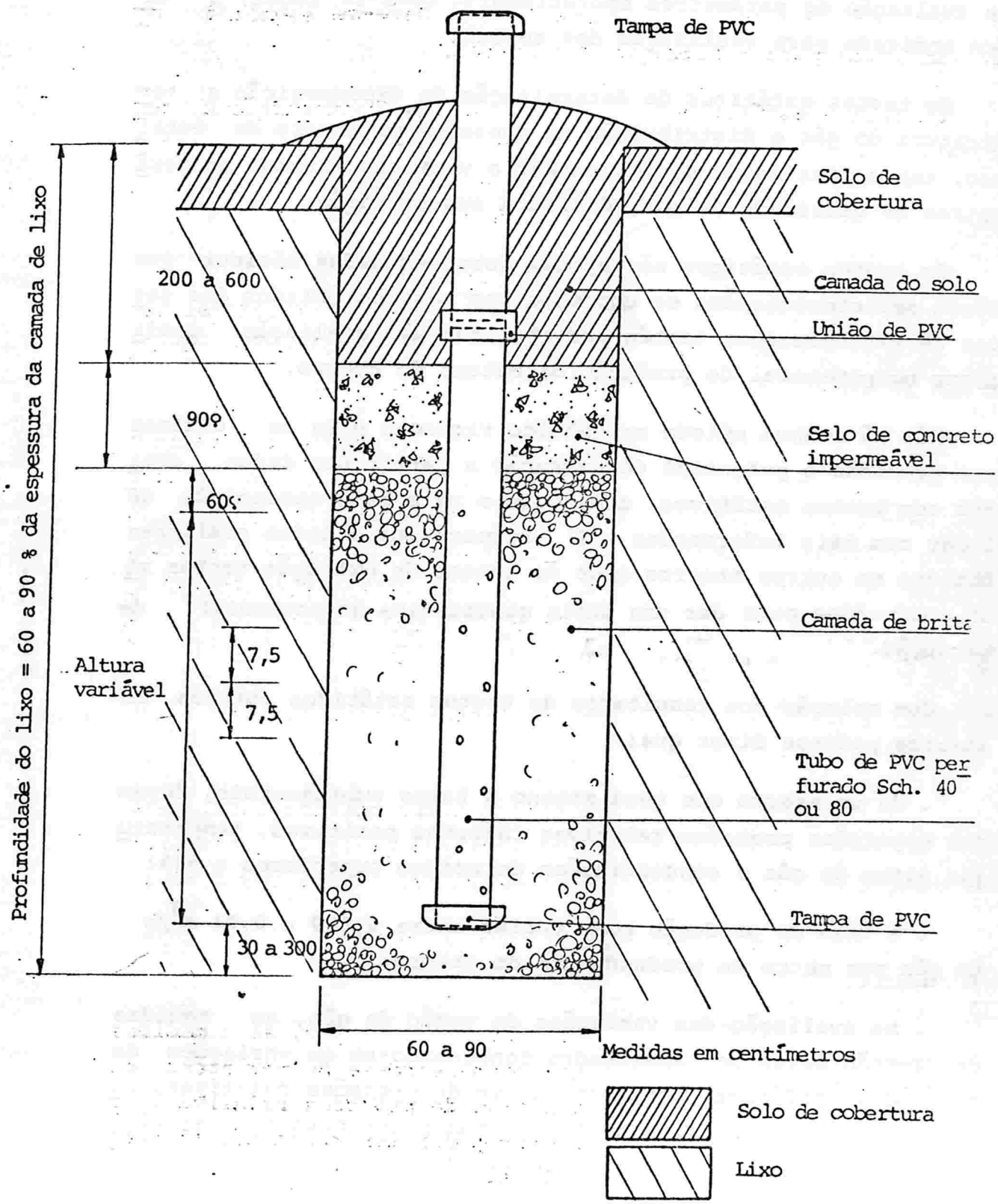


FIGURA 3.2 - DETALHE DE UM POÇO DE TESTE DE GÁS TÍPICO

A tabela nº 3.2 descreve um plano de execução de testes para avaliação de parâmetros operacionais. Deve-se seguir a ordem indicada para realização dos testes.

Os testes estáticos de determinação de decomposição e temperatura do gás e distribuição de pressões no aterro de extração, tem a finalidade de determinar a variação causada no parâmetros de qualidade do gás, devido à sua extração.

Os testes estáticos não apenas fornecem dados básicos que devem ser considerados em conjunto com aqueles obtidos dos testes de extração, como também possibilitam uma avaliação preliminar no potencial de produção de metano do aterro.

Não há nenhum método matemático rigoroso para se estimar com precisão o potencial de produção a partir dos dados obtidos com testes estáticos, sendo que o meio mais apropriado de lidar com tais informações é compará-los a dados similares obtidos em outros aterros onde os testes de extração tenham sido conduzidos para dar uma idéia qualitativa do potencial de produção.

Com relação aos resultados de testes estáticos obtidos em aterros pode-se dizer que:

. de um aterro que gera metano a taxas substanciais, devem ser esperadas pressões relativas internas positivas, temperaturas altas de gás e concentrações de metano superiores a 50%;

. a taxa de produção pode variar entre 0,009 e 0,04 m^3/s de gás por metro de profundidade do aterro;

. na avaliação das variações de vazão de gás, as medidas de pressão devem ser analisadas conhecendo-se as variações da pressão atmosférica, pois tratando-se de pressões relativas, suas variações no interior do aterro podem ser causadas, simplesmente, por alterações atmosféricas.

TABELA Nº 3.2

PLANO PARA AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE OPERAÇÃO (26)

Código	Tipo de teste	Parâmetros	Dias necessários
A	Estático	Perfil de pressões no aterro e composição do gás anterior à extração inicial	7*
B	Curto-Termo	A diferentes taxas de extração e profundidades do poço, avaliar: (1) distribuição de pressões no poço de extração e nos poços de monitoramento; (2) composição do gás	Cada taxa de extração e profundidade do pó selecionada irá demandar cerca de 7 a 15 dias
C	Estático	Mesmos parâmetros de "A"	7
D	Estático	A selecionadas taxas de extração: (1) composição do gás; (2) valores de calor; (3) estabilidade da taxa de extração	150 a 180 dias
E	Estático	Mesmos parâmetros de "A"	7
F	Vida do Poço	Mesmos parâmetros de "D"	

(*) O tempo fixado no plano selecionado para avaliação dos parâmetros de operação é arbitrário. Pode variar de aterro para aterro, dependendo da profundidade do aterro e as características químicas do lixo depositado.

O propósito dos testes de curto termo é estabelecer os dados iniciais de composição de gás, distribuição de pressões no aterro, o raio de influência de um poço para vários valores de taxa de extração e profundidades do poço. Conforme dito anteriormente, a composição do gás depende da taxa de extração. Assim, a situação de extração ótima é aquela na qual os gases são extraídos à mesma taxa pela qual são gerados, pois, em tal situação, não há gradiente de pressões entre a cobertura do solo e a massa de lixo que propicie migração de gases atmosféricos para o interior do aterro. A variação da composição do gás não se dá por variação na atividade dos organismos anaeróbios e sim devido à intrusão de ar pela camada superior do aterro.

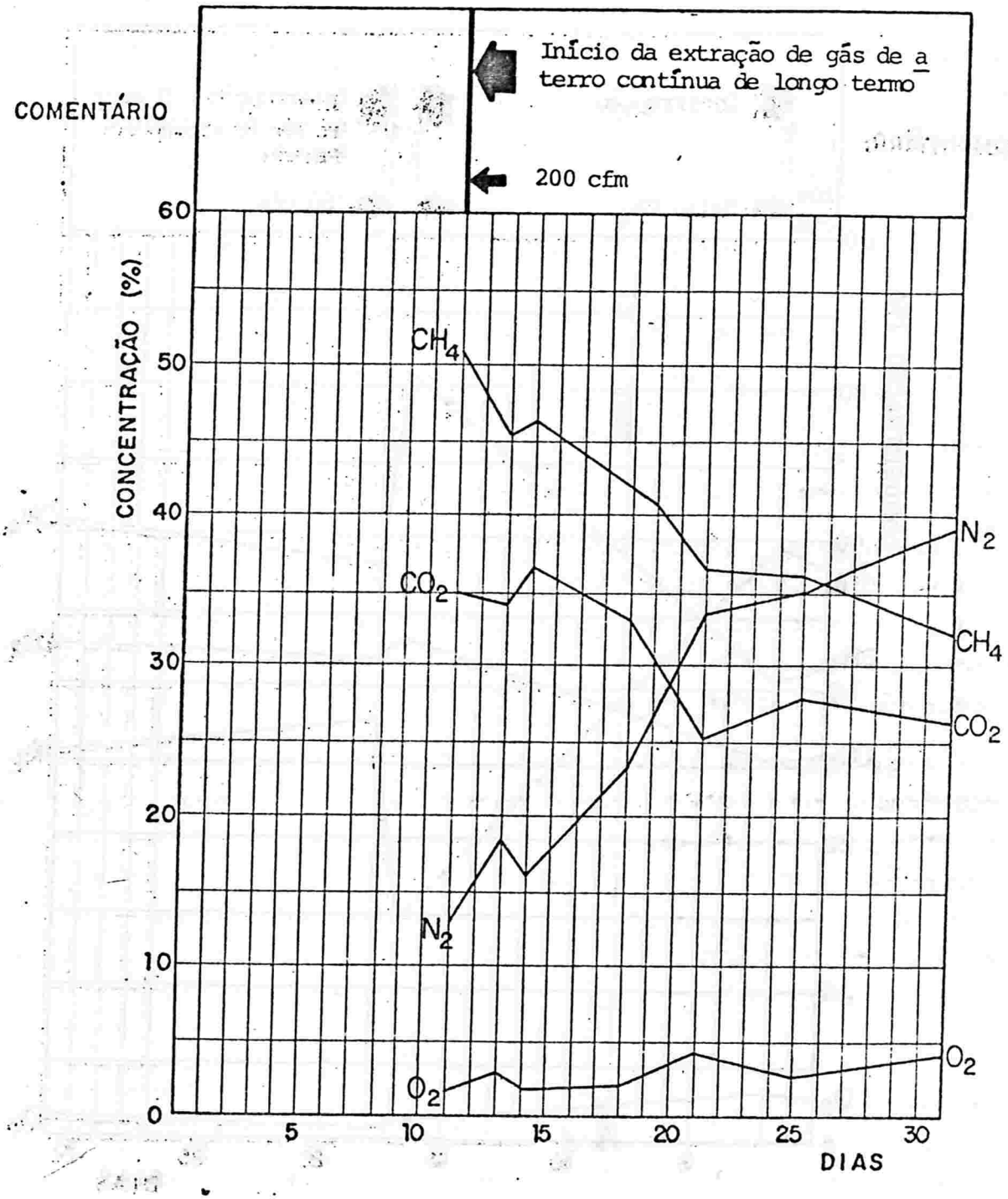
A variação da composição do gás de aterro com a taxa de extração verificada no aterro de Mountain View é mostrada nas Figuras nºs 3.3 a 3.7. Os gráficos, no caso, referem-se a um teste de longo termo e indicam claramente a interelação existente entre taxa de extração e composição do gás.

A recuperação de grandes quantidades de gás em um aterro requer a construção de um determinado número de poços de extração cujo expaçamento pode ser determinado a partir dos dados de distribuição de pressões a uma dada taxa de extração. A distância para a qual não há nenhum efeito de pressão do poço de extração (gradiente de pressão aproximadamente nulo) é chamada ponto neutro, e a distância entre o poço e este ponto é o raio de influência.

Reportando-se novamente ao estudo feito no aterro de Mountain View, apresenta-se na Figura nº 3.8 a relação entre a carga de pressão negativa e o raio de influência. A figura nº 3.9 mostra a relação entre a carga de pressão negativa no poço e a taxa de extração. Combinando-se as expressões matemáticas derivadas e empiricamente das Figuras nºs 3.8 4 3.9, isto é:

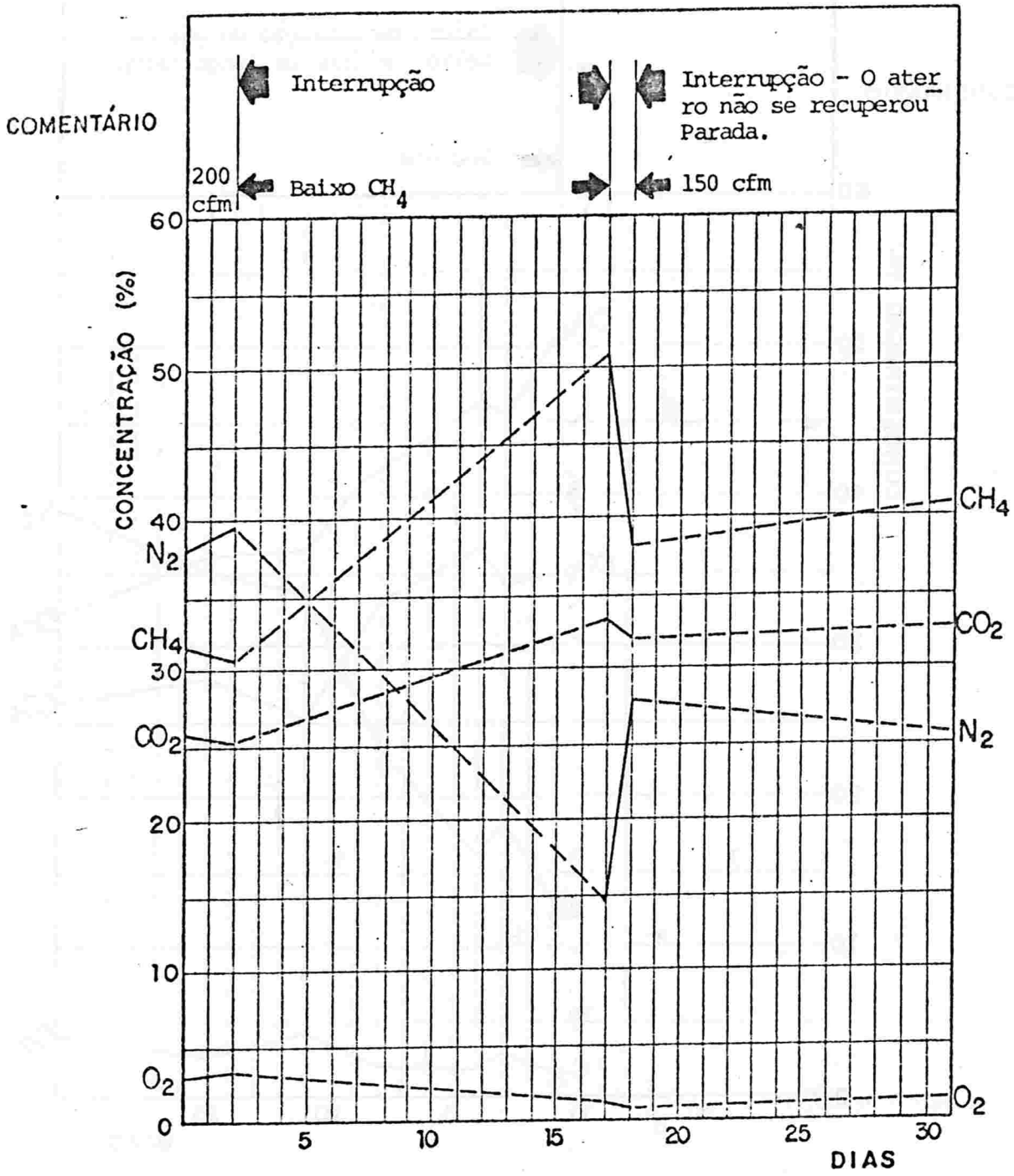
Se $\frac{h}{Hw} = \frac{12,5}{R^{1,25}}$ (Figura nº 3.8)

e se $Hw = - 0,00039\ Q\ (Q + 133)$ (Figura nº 3.9)



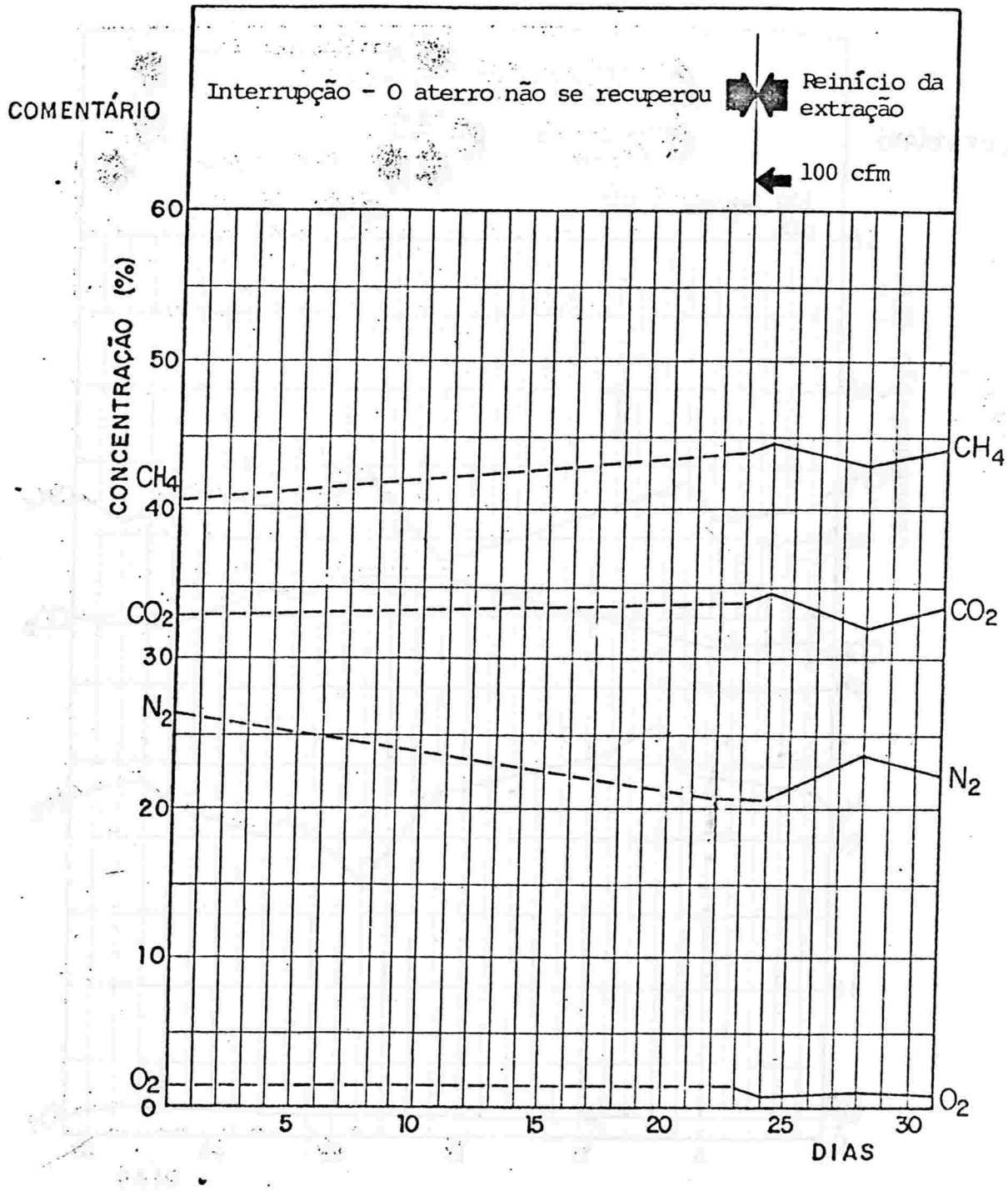
MÊS : FEVEREIRO / 1975

FIGURA 3.3 - CRONOLOGIA DA EXTRAÇÃO DE GÁS CONTÍNUA DE LONGO TERMO



MÊS : MARÇO/1975

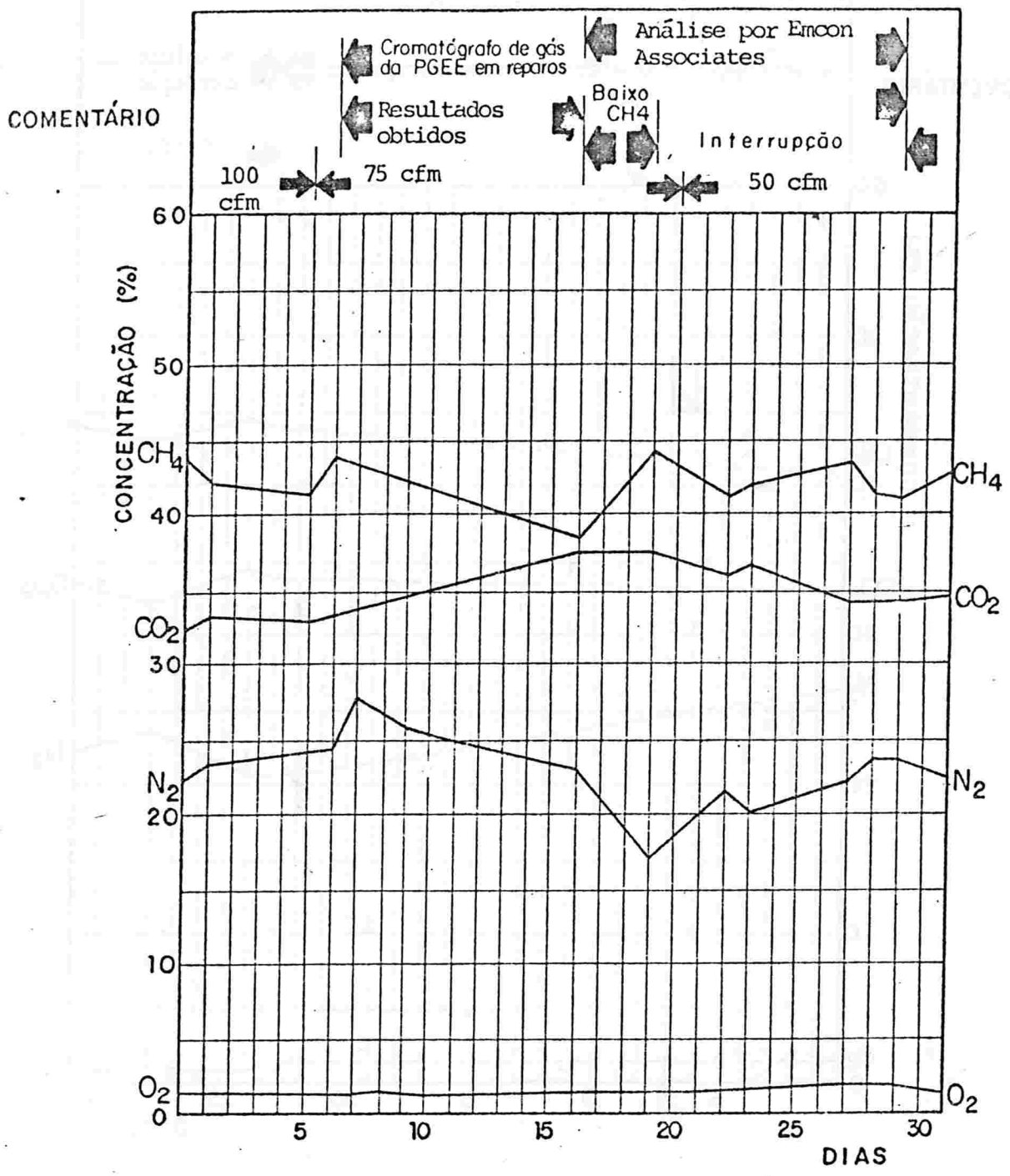
FIGURA 3.4. - CRONOLOGIA DA EXTRAÇÃO DE GÁS CONTÍNUA DE LONGO TERMO



MÊS : ABRIL / 1975

FIGURA 3.5 - CRONOLOGIA DA EXTRAÇÃO DE GÁS CONTÍNUA DE LONGO TERMO

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA



MÊS : MAIO / 1975

FIGURA 3.6 - CRONOLOGIA DA EXTRAÇÃO DE GÁS CONTÍNUA DE LONGO TERMO

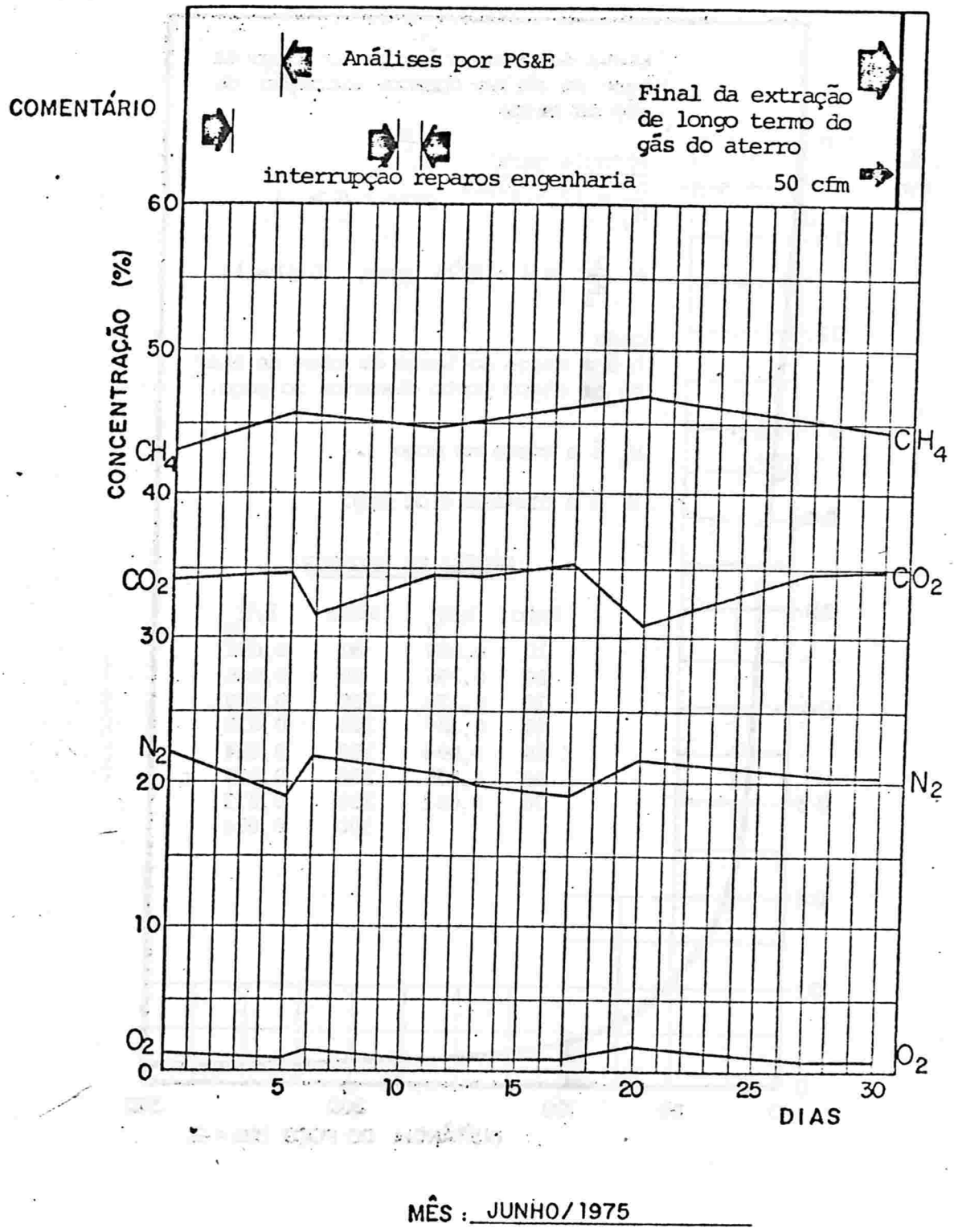


FIGURA 3.7 - CRONOLOGIA DA EXTRAÇÃO DE GÁS CONTÍNUA DE LONGO TERMO

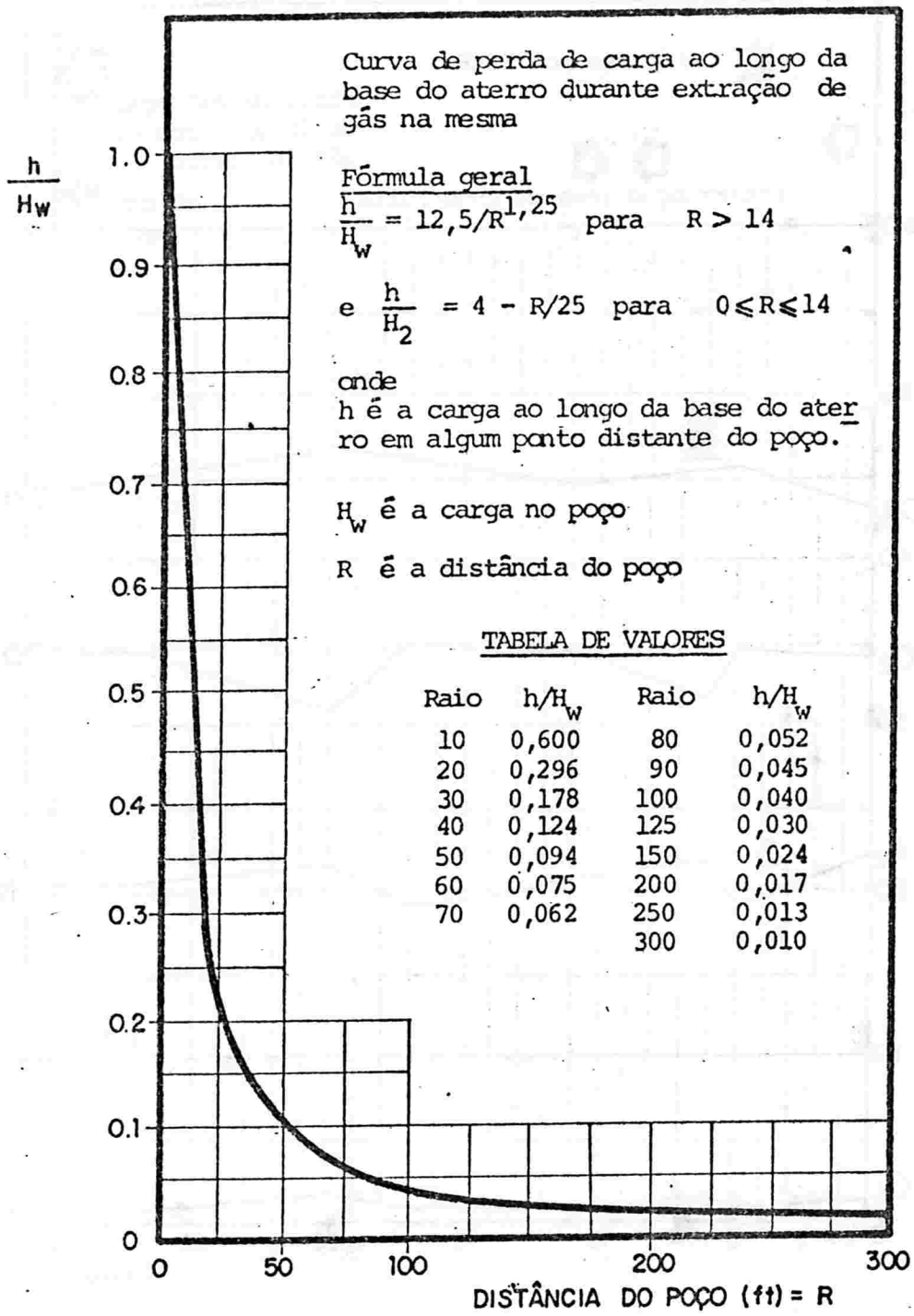


FIGURA 3.8 - CURVA DE PERDA DE CARGA

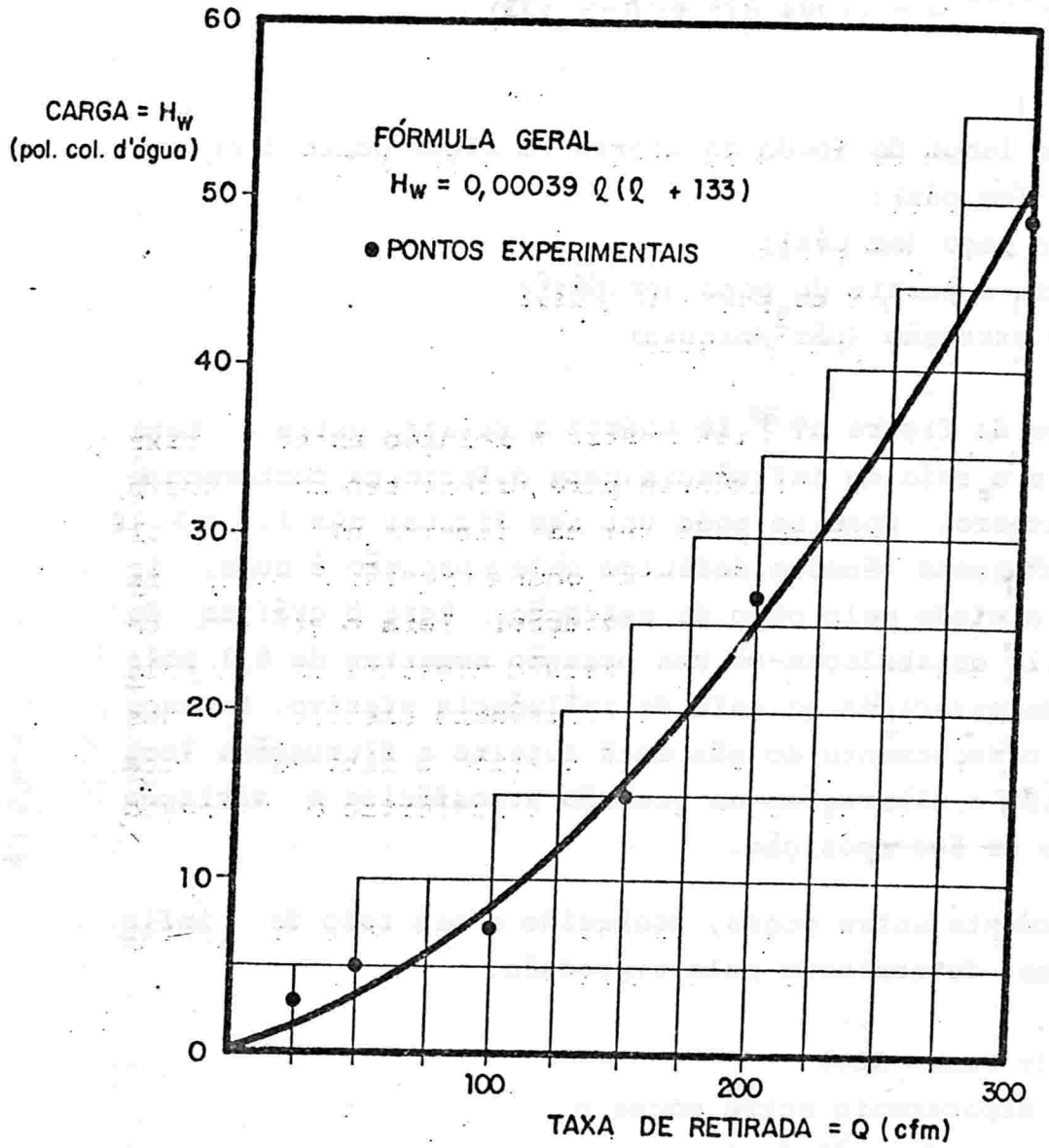


FIGURA 3.9 - CURVA DE TAXA DE DESCARGA PARA O POÇO 7A QUANDO A EXTRAÇÃO É FEITA NA BASE DO ATERRO

então $h\ R^{1,25} = -\ 0{,}004\ 875\ Q\ (Q + 133)$

onde:

h = carga ao longo do fundo do aterro em algum ponto distante do poço (em pés);

Hw = carga no poço (em pés);

R = distância a partir do poço (em pés);

Q = taxa de extração (pés^3/minuto)

O gráfico da figura nº 3.10 mostra a relação entre a taxa de extração e o raio de influência para diferentes contornos de pressão no aterro. Como se pode ver nas figuras nºs 3.8 e 3.10 não há nenhum ponto técnico definido onde a pressão é nula, isto é, não é afetado pelo poço de extração. Para o gráfico da figura nº 3.10 estabeleceu-se uma pressão negativa de 0,1 polegadas de água associada ao raio de influência efetivo. A menos deste valor o escoamento do gás está sujeito a flutuações localizadas devido a alterações na pressão atmosférica e variação na atividade de decomposição.

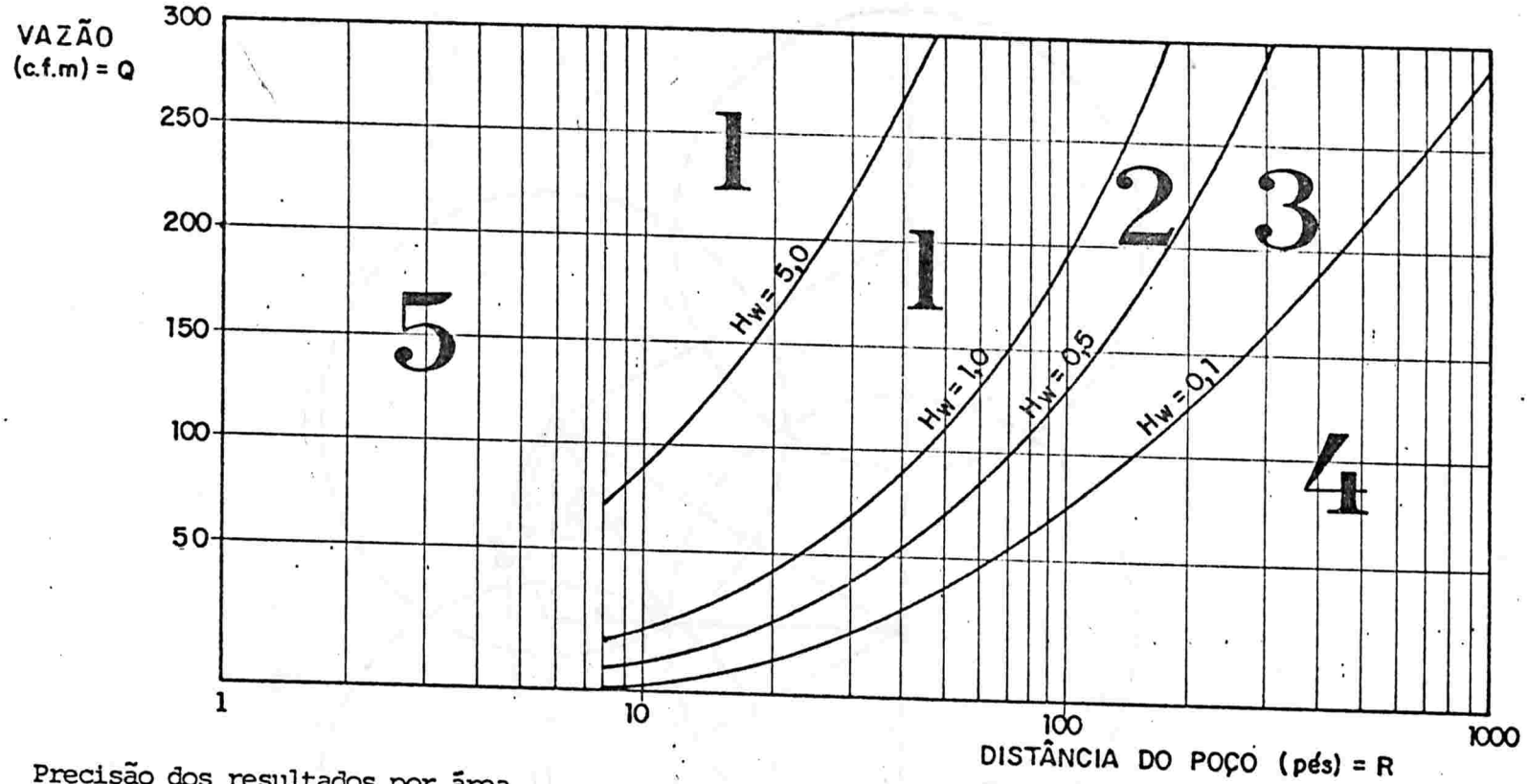
O espaçamento entre poços, conhecido o seu raio de influência pode ser determinado pela expressão:

$$Sw = 2\ (r\ \cos\ 30º)$$

onde Sw = espaçamento entre poços e
r = raio de influência

conforme o esquema da figura nº 3.11.

O volume de um aterro sanitário pode incluir de 40 a 60% de vazios, onde o gás fica armazenado e os testes de extração de curto termo extraem somente uma pequena fração desse gás. Na avaliação dos resultados destes testes é difícil separar a porção do gás extraído que estava armazenada nos vazios no início da testagem daquela produzida durante a realização do teste. Devido a essa limitação, é essencial que a testagem de extração



Precisão dos resultados por área

1 - Preciso
2 - Levemente afetado pelas condições ambientais, pressão mensurável
3 - Afetado pelas condições ambientais, medidas inconsistentes
4 - Pressões muito baixas para medir
5 - Fictício

FIGURA 3.10 - PRECISÃO DOS RESULTADOS

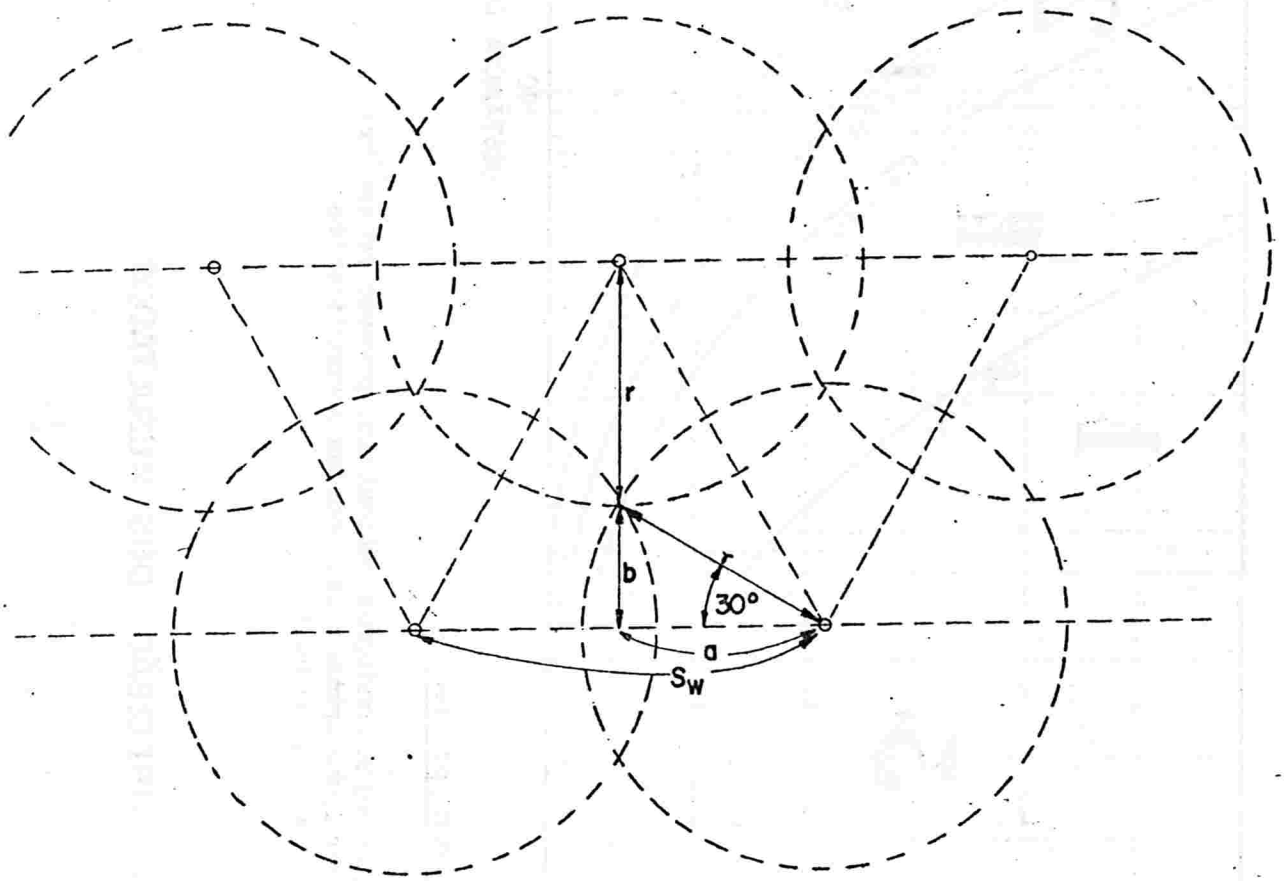


FIGURA 3.11 - TAXA DE PRODUÇÃO TOTAL DE GÁS

se desenvolva por um período de tempo longo o suficiente para se certificar que o gás produzido durante a extração esteja sendo retirado do aterro.

O teste de extração de longo termo é conduzido de maneira a se extrair gases continuamente durante um período de tempo grande, fornecendo dados reais sobre qualidade e quantidade do gás recuperado através de um poço no aterro. Conforme já foi citado, as figuras nºs 3.3 a 3.7 mostram um teste de longo termo em Mountain View. Por meio deste tipo de teste, determina-se a máxima taxa de extração de gases com valor calorífico constante, e também a mínima energia necessária para operar o sistema de extração.

Os testes de longo termo devem simular as condições esperadas no projeto (comercial) de recuperação de gás, e se este se mostrar viável, é possível aproveitar para o mesmo muitas das peças do sistema de extração utilizadas durante a testagem.

O desempenho satisfatório de um sistema de recuperação de gás de aterro depende dos seguintes fatores:

. minimização das variações da composição do gás durante o período de extração;

. vida útil de um poço operando sob condições de extração forçadas.

A viabilidade econômica do sistema pode ser determinada baseando-se na vida útil do poço durante a qual uma taxa de extração desejável pode ser mantida.

3.3 - ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO MÍNIMA DE GÁS

Uma estimativa mínima da taxa de recuperação firme de gás de um poço pode ser feita a partir de dados do teste de extração de longo termo assumindo-se que após se retirar um volume de gás equivalente ao volume de vazios do aterro, todo gás extraído passa a ser aquele gerado durante o teste. A expressão a seguir permite o cálculo desse parâmetro:

$$Qr = \frac{V}{t}$$

onde:

Qr = taxa de recuperação firme mínima $[Qr] = \frac{L^3}{T}$

V = volume de gás gerado e extraído durante o teste $[V] = L^3$

t = duração do teste

A menos que a estimativa indicada se iguale à taxa de recuperação ótima do sistema, deverá ser considerada conservativa.

Na realidade o que se tem normalmente é uma série de poços distribuídos no aterro. Para esta situação a estimativa da produção é feita com base na figura nº 3.11, da seguinte maneira:

- determinado o espaçamento Sw entre poços conforme foi mostrado anteriormente, calcula-se a taxa de extração por unidade de área do aterro (Qa). O cálculo baseia-se na hipótese da metade de um poço para um triângulo equilátero com Sw de lado (ver figura).

. área do triângulo

$$A = \frac{1}{2} \; Sw \; (r + b) = \frac{1}{2} \; Sw \; (r + a \; tg \; 30º)$$

. taxa de extração por unidade de área Q_a

$$Q_a = \frac{1}{2} \frac{Q}{A}$$

Q = vazão do poço $[Q] = L^3/T$

A = área do triângulo $[A] = L^2$

$$[Q_a] = \frac{L^3}{L^2 \; T}$$

- em seguida determina-se a produção total do aterro por unidade de tempo - Q_{aterro}

$Q_{aterro} = Q_a \times A_{aterro}$

onde A_{aterro} = área do aterro

$$[Q_{aterro}] = \frac{L^3}{T}$$

A seleção de áreas e as técnicas de projeto e operação de um aterro sanitário devem ser compatíveis com o controle do lixiviado. A produção e a percolação deste líquido no lençol freático devem ser evitadas devido a sua alta DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio). Um aterro bem projetado e operado é aquele que minimiza a produção do lixiviado através de adequadas redes de drenagem superficial e da utilização de materiais de cobertura impermeáveis, evita a percolação do lixiviado no lençol subterrâneo e a migração de gás em qualquer direção. Entretanto, há poucos locais que apresentam solos em condições topográficas e geológicas ideais e por isso, medidas de projeto e técnicas operacionais devem ser empregadas para diminuir o potencial de poluição dos aterros.

Certas medidas para aumentar a geração de gás podem, no entanto, se opor ao controle da produção e percolação do lixiviado.

4.1 - SELEÇÃO DE ÁREAS - CARACTERÍSTICAS

Os principais critérios de seleção de áreas para implantação de um aterro sanitário com um sistema de recuperação, processamento e utilização de gás são, essencialmente, os mesmos cotejados para qualquer aterro.

Certos aspectos qualitativos devem ser ponderados:

- Quanto à poluição ambiental

As áreas devem possuir características tais que minorem os riscos de contaminação de água, ar e solo.

Como já foi salientado, qualquer que seja o local, estes riscos podem ser evitados desde que se adotem cuidados especiais durante o projeto e a operação.

- Quanto à vizinhança

As áreas receptoras de resíduos devem estar distantes de edificações e interditadas ao acesso público, de maneira a minorar os riscos à saúde pública e poupar a população de desconforto visual.

- Quanto ao acesso

As áreas devem ser servidas por bom acesso, evitando-se tanto quanto possível a abertura de vias de ligação, o que acarretaria um acréscimo no custo final por tonelada.

- Quanto à disponibilidade de terra para cobertura

Os aterros devem dispor de jazidas de terra no próprio local, evitando-se custos adicionais devidos ao transporte deste material.

- Quanto à proximidade em relação ao centro de massa gerador de lixo

As áreas devem estar situadas próximas aos centros geradores de lixo, de maneira a se ter uma economia maior no transporte.

Para o caso específico de áreas para implantação de aterros sanitários com recuperação de gás, o seguinte critério deve também ser considerado:

- Quanto à proximidade da fonte receptora de gás

As áreas devem estar próximas aos consumidores potenciais do gás a ser gerado.

Requisitos adicionais, entretanto, são impostos no intuito de minimizar os custos do sistema de recuperação, aumentar a geração de gás e modificar suas características para sua utilização prática.

O local deve ser o maior possível para se obter vantagens da economia de escala de sistema de processos contínuos.

A utilização de uma área cujo subsolo seja impermeável é particularmente importante para aterros que visem à implantação de um sistema de recuperação de gás, onde é extremamente interessante manter-se um teor de umidade relativamente alto em toda a massa de lixo disposto para aumentar a produção de gás.

A disponibilidade de material de cobertura embora seja um fator importante na escolha de área para qualquer aterro, é particularmente importante para a escolha de uma área onde será implantado um aterro com recuperação de gás, visto que, neste caso, o material de cobertura final deve ser impermeável para se evitar a perda de gás pela superfície ou a entrada de ar quando da operação de sucção de gás. O custo adicional da importação deste material, se se fizer necessária, deve ser considerado e comparado com os custos de outros materiais impermeabilizantes que podem também ser empregados.

No tocante à proximidade da fonte receptora do gás, seria inútil selecionar-se um local para implantação de um aterro com recuperação de gás se não existir nas proximidades consumidores em potencial, interessados na compra e uso do produto, quando ele se tornar disponível. Este exame é necessário, não somente para a seleção básica do local, mas também para se determinar os sistemas alternativos de processos que poderiam ser implantados conhecendo-se o uso a que se destina o produto.

4.2 - PROJETOS

Em geral, as abordagens feitas para o planejamento e projeto de um aterro com um sistema de recuperação e processamento de gás não são muito diferentes das aplicadas para aterros onde não se pretende a implantação deste sistema, apesar de certos aspectos tornarem-se mais importantes no intuito de se otimizar a geração de gás e fazer a recuperação tão eficiente e completa quanto possível.

Na tabela a seguir são apresentadas, de forma resumida, técnicas de operação e de projetos alternativos que poderiam aumentar a geração de gás de aterro. Obviamente, as técnicas de projetos são aplicadas somente para novos aterros, ou em seções de aterros que ainda não foram preenchidas.

Dentre as alternativas empregadas para impermeabilizar o aterro (fundo, laterais e cobertura final), tem-se o aproveitamento de solo impermeável (argila, por exemplo), se disponível, que é sem dúvida o material mais barato, e que também seria necessário para prevenir a percolação do lixiviado no lençol freático quer o aterro sanitário seja desenvolvido para gerar gás ou não. Se for conveniente, o solo de baixa permeabilidade deve ser importado, e a distância determinará o grau de competitividade com outras alternativas, tais como a utilização de membranas impermeáveis , asfalto e cimento asfáltico. O uso de membramas impermeáveis requer cuidados especiais na colocação, que tornam o seu emprego muito mais caro que o de solos impermeáveis. O mesmo pode ocorrer com cimento asfáltico que pode só ser usado sobre bases altamente estáveis.

Dentre as técnicas de controle de umidade, a coleta e recirculação do lixiviado pode ser competitiva com a distribuição de água abaixo da camada de cobertura. Esta prática será permitida , em áreas onde a posibilidade do lixiviado infiltrar-se a

TABELA Nº 4.1

ALTERNATIVAS DE OPERAÇÃO E PROJETO PARA ATERROS SANITÁRIOS COM GERAÇÃO DE GÁS (27)

Alternativa	Eficiência potencial	Variação de custo (US$/m^2)
TIPOS DE IMPERMEABILIZAÇÃO		
Solo Impermeável	Eficiente se a permeabilidade for baixa	0,25 a 0,42
Solo Tratado	Eficiente se a permeabilidade for baixa	1,50 a 1,92
Membrana Impermeável	Eficiente com preparação da base apropriada e cobertura de proteção	1,05 a 4,60
Cimento Asfáltico com selante	Eficiente se instalado apropriadamente em base firme	3,00 a 4,05
CONTROLE DE UMIDADE		
Distribuição de água abaixo da camada de cobertura	Altamente eficiente	0,21 a 0,42
Solo semi-permeável com umectante	Eficiente se mantiver a umidade	0,30 a 0,40 (adicionar 1,00/ano/m^2 custo de operação)
Pressão negativa uniforme controlada abaixo da camada de cobertura	Eficiente e cuidadosamente balanceada pelos poços que devem distar metade do espaçamento normal	0,63 a 0,84 (custo adicional para sub-sistemas recuperado)

continua ...

TABELA Nº 4.1 (Cont.)

ALTERNATIVAS DE OPERAÇÃO E PROJETO PARA ATERROS SANITÁRIOS COM GERAÇÃO DE GÁS

Alternativa	Eficiência potencial	Variação do custo (US$/m²)
Coleta de lixiviado e recirculação	Eficiente; o controle do pH pode ser requerido	0,13 a 0,29 mais o custo de neutralizantes químicos
OPERAÇÃO		
Só aplicação de água (caminhão, mangueira/spray)	Inicialmente eficiente, efeitos não conhecidos	0,02 a 0,03
Lixo triturado sem cobertura diária (somente cobertura final)	Efeitos não conhecidos; pode acelerar a produção inicial de gás e deveria aumentar a permeabilidade do lixo	4,18 a 8,63 por t recebida
Cobertura diária permeável	Aumenta a facilidade do movimento do gás confinado no aterro	Não há custo adicional; se houver disponível o solo apropriado
Lodo de esgoto espalhado sobre o lixo	Efeitos não conhecidos, pode reduzir o tempo inicial de geração de gás	0,25 a 0,42 (o custo do transporte da lama pode exceder o do espalhamento)

continua ...

TABELA Nº 4.1 (Cont.)

ALTERNATIVAS DE OPERAÇÃO E PROJETO PARA ATERROS SANITÁRIOS COM GERAÇÃO DE GÁS

Alternativa	Eficiência potencial	Variação do custo (US$/m²)
Recirculação do lixiviado c/ controle do pH	Eficiente	0,13 a 0,29 mais o custo de neutralizantes químicos

Uma estimativa de custo para 40 ha (100 ac) de área de aterro sanitário para preencher

través da superfície inferior do aterro é desprezível.

No que diz respeito a operações alternativas, são insuficientes as informações disponíveis para se avaliar, ou mesmo se postular, uma provável eficiência. Se a perda de água com o gás é substancial, então uma única adição de água no lixo antes da cobertura diária, provavelmente, será insuficiente para a geração de gás durante um longo período. A trituração do lixo antes de aterrá-lo não tem sido praticada há algum tempo, visto que os seus benefícios provavelmente não são compensados pelo seu alto custo. O uso da cobertura diária permeável, para a prevenção temporária da atração de vetores é eficaz na redução da resistência ao fluxo interno de gás e líquidos no aterro, mas não será muito eficaz na prevenção de odores emanados das células de lixo.

O efeito de se espalhar lodo de esgoto sobre o lixo não é ainda conhecido e até que testes de controle possam ser feitos, esta técnica não poderá ser avaliada.

A recirculação do lixiviado com controle de pH é listada tanto em técnicas de operação quanto em técnicas de projeto, porque esta requer instalações especiais que devem ser projetadas e construídas no aterro desde o início.

Os resultados dessas avaliações enfatizam a necessidade de informações e dados conclusivos sobre os efeitos e interações da umidade na recuperação de gás. Tudo o que se pode posicionar até esse momento é que, como está indicado na tabela anterior, muitos dos projetos e técnicas de operação são razoáveis em termos de custo, promovendo um apreciável incremento na taxa de recuperação do gás, da ordem de no mínimo 10%

Entretanto, dados mais concretos deverão ser obtidos através de aterros cuidadosamente projetados e controlados.

No Brasil, estudos efetuados conduziram a projetos que estão esquematizados nas figuras nºs 4.1 (Esquema Longitudinal) e

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

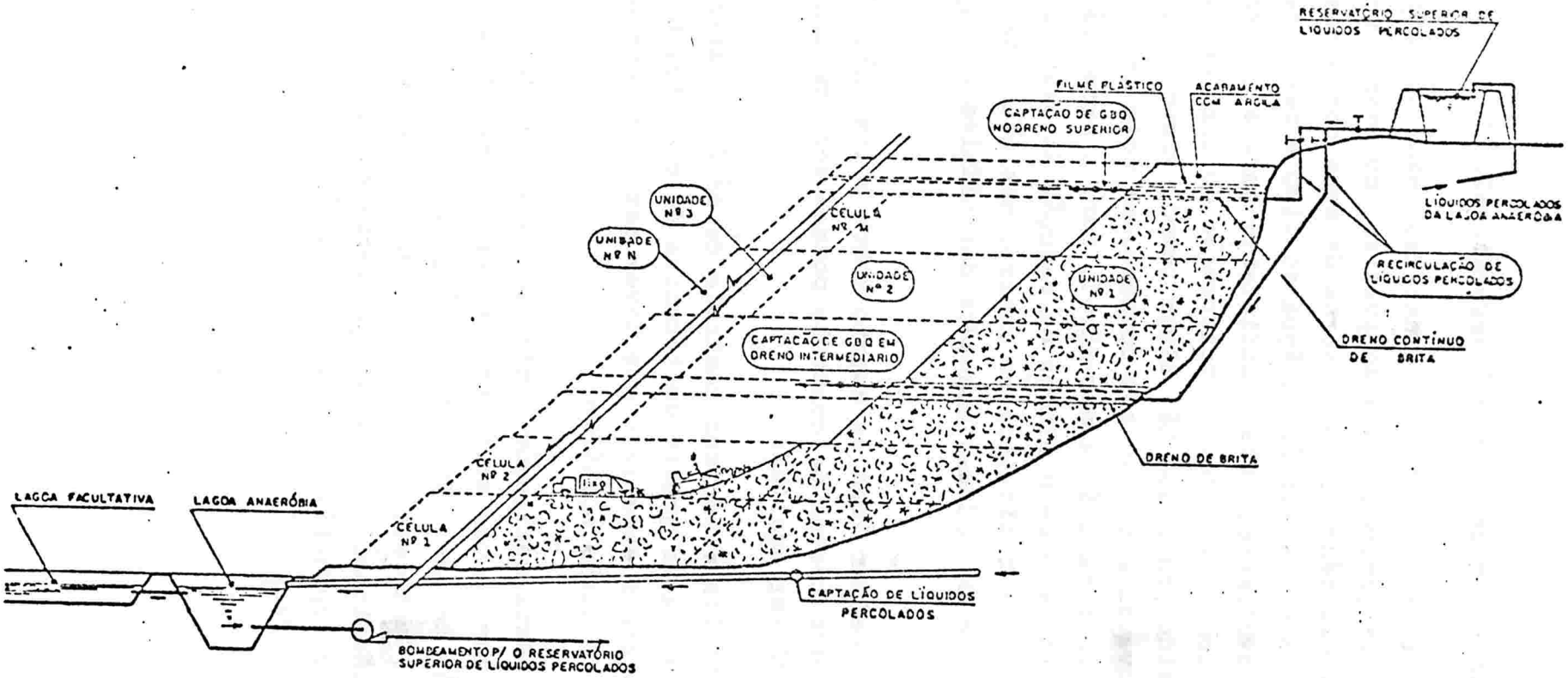


FIGURA 4.1 - ESQUEMA LONGITUDINAL DO ATERRO SANITÁRIO COM APROVEITAMENTO DE GÁS [28]

nº 4.2 (Esquema Transversal), onde se destacam os seguintes pontos:

. os aterros deverão ser construídos em células com cerca de 5 metros de espessura e cobertura mínima (15 a 30 cm). Esta cobertura será removida por ocasião da execução da célula superior, misturando-se a terra com o lixo ao ser este acondicionado na nova célula em execução. Serão evitados, assim, compartimentos estanques que dificultarão a descida dos líquidos e a subida dos gases.

. os líquidos percolados serão captados através de drenos localizados na parte inferior dos aterros e conduzidos ao sistema de tratamento, que constará de lagoas de estabilização em série (anaeróbia + facultativa + maturação) durante a fase de construção dos aterros. Apesar da elevada DBO (demanda bioquímica de oxigênio) dos líquidos percolados (cerca de 20 000 mg/l), sua vazão poderá ser reduzida mediante desvio adequado de águas pluviais, evitando-se assim volume elevado de líquido a ser tratado o que conduziria a instalações de tratamento de proporções impraticáveis.

. concluídas as etapas úteis dos aterros, os líquidos percolados passarão a ser recirculados para o interior da massa de lixo, percolando novamente. Neste novo trajeto, os líquidos atuarão como ativadores dos fenômenos bioquímicos produtores de gás. Parte dos líquidos evaporar-se-á, devendo ser substituída por água ou por esgotos, ou ainda, por resíduos líquidos industriais orgânicos, que poderão ser armazenados nas lagoas que, nesta fase, ficarão dispensadas da função de tratar líquidos percolados, a não ser como segurança em casos de emergência.

. os gases serão drenados através de sistema combinado de drenos verticais e horizontais. Os verticais serão executados em conjunto com os aterros, estarão distantes cerca de 50 metros entre si e serão feitos com formas deslizantes, no interior das quais se montarão tubos de drenagem de concreto seguidos de um anel de pedra britada.

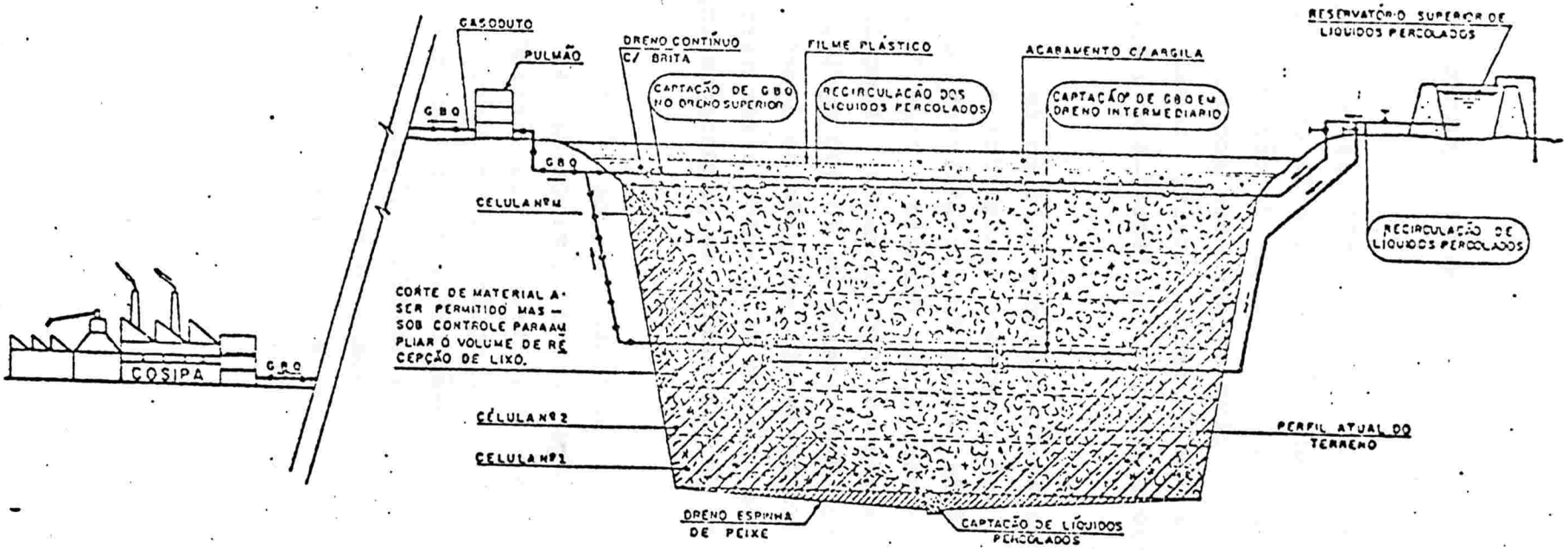


FIGURA 4.2 - ESQUEMA TRANSVERSAL DO ATERRO SANITÁRIO COM APROVEITAMENTO DE GÁS [28]

A cada duas ou três células serão projetados drenos horizontais intermediários, no interior dos quais, protegidos por brita revestida externamente com geo-membranas sintéticas, serão lançadas duas tubulações ranhuradas, uma para recirculação dos líquidos percolados e outra, alguns centímetros acima, para captação do gás.

. Na superfície superior final dos aterros serão construídos drenos contínuos de pedra britada, com 15 cm de espessura cobrindo todo o aterro.

Sobre estes drenos serão colocadas geo-membranas sintéticas para proteção dos filmes plásticos dispostos a seguir. Em seguida, será feita a proteção final com 1 metro de espessura de argila. Na superfície da camada final será aplicada hidro-semeadura para evitar erosão, assim como implantado um eficiente sistema de coleta de águas pluviais.

. No interior do grande dreno horizontal, assim como nos intermediários, serão instaladas duas redes distintas de tubulações ranhuradas: uma para recirculação dos líquidos percolados e outra para captação de gás.

. Para reduzir perdas do gás por dissipação, os aterros deverão ter um desenvolvimento vertical predominante sobre o horizontal. Assim, deverão ser construídos módulos ou unidades constituídos de várias células superpostas. Estes módulos deverão conter os resíduos sólidos aterrados durante o período de um ano, já que a partir do segundo ano tais módulos deverão estar fornecendo gás ao sistema de captação e transporte. Na conformação do aterro sanitário, tais unidades serão construídas em justaposição, constituindo-se cada módulo em um sub-sistema autônomo de geração de gás.

O estudo de pré-viabilidade de um equipamento é o primeiro passo a ser dado visando a sua consecução. Neste estudo avaliam-se as alternativas, dos pontos de vista técnico, econômico-financeiro e institucional, possíveis de serem executadas para atingir determinado objetivo, selecionando-se a alternativa (ou alternativas) que se apresente com melhores perspectivas de sucesso.

O estudo de pré-viabilidade é, portanto, imprescindível para a seleção desta alternativa "ideal" e avaliação dos seus impactos sobre a produção, consumidores e economias regional e nacional.

O estudo de viabilidade do empreendimento segue basicamente a mesma linha de ação do estudo de pré-viabilidade, porém a um nível de detalhes bem superior e levando-se em conta apenas a alternativa (ou alternativas) que apresentou, no estudo prévio, maiores possibilidades de êxito de se atingir a meta pretendida. Ademais, é quase sempre necessário ter-se em mãos o empreendimento a nível de ante-projeto para que se possa obter maior riqueza de detalhes para levar a cabo o estudo de viabilidade com resultados mais realísticos.

O estudo de pré-viabilidade demanda, portanto, um tempo menor de execução e custo mais baixo e servirá para sensibilizar as entidades empresariais, financeiras e governamentais da conveniência da continuidade dos estudos nas suas etapas subsequentes e mesmo da execução do empreendimento.

O estudo de viabilidade deve informar minuciosamente aspectos de natureza técnica de escolhas de processos, equipamentos e materiais, bem como normas a serem seguidas, qualificar e quantificar os insumos, matérias-primas, produtos, sub-produtos e resíduos remanescentes, assim como detalhar os custos de operação, investimentos necessários, fluxos de caixa, rentabilidades e linhas potenciais de financiamento, e o aspecto institucional, na sua forma administrativa e jurídica de implantação e operação do

empreendimento. Com base nessa série de parâmetros, analisados juntamente com a estrutura micro e macro-regional de abrangência do projeto, será tomada a decisão final de se levar adiante o empreendimento, no caso a obtenção e recuperação de gás de aterros sanitários, passando ao detalhamento final de projeto executivo propriamente dito.

Desta forma, ao se executarem os estudos de pré-viabilidade e de viabilidade para a utilização de aterros sanitários, deverão ser realizados e respeitados diversos requisitos, a seguir expostos neste capítulo.

5.1 - USOS PRETENDIDOS PARA O GÁS

Quando se pensa em recuperação de gás de aterros de lixo, duas situações, inicialmente, podem ocorrer.

A primeira situação é aquela em que se tem o aterro sanitário formado ou em operação e se quer implantar um sistema de recuperação do gás aí gerado. Neste caso, deve-se pensar nos diversos usos possíveis a fim de que sejam definidos os consumidores prováveis. Estes devem ser selecionados, tendo-se em vista a compatibilização entre consumo e produção de gás, tanto do ponto de vista qualitativo quanto do quantitativo, distâncias entre consumidores e área de produção e as formas possíveis de transporte do gás.

A segunda situação é inversa à primeira, isto é, tem-se o consumidor (ou consumidores) de gás de aterro e parte-se para a realização de um empreendimento que tem como objetivo a implantação de um aterro sanitário projetado e construído especificamente visando à produção e captação de gás. Esta situação é mais abrangente que a primeira, pois os estudos de viabilidade (técnica, econômica e institucional) devem referir-se desde o transporte da matéria-prima (lixo) até o ponto de produção (aterro sanitário), o acabamento (tratamento), transporte (gasoduto) e aplicação ou distribuição (adaptação ao consumo) do gás. Deste modo, a proposição de uso de gás de aterro apresenta contornos de empreendimento industrial em que, e não deve ser esquecido, os aspectos de proteção ambiental relativos à destinação final de lixo é um ítem a ser considerado num todo, que deve apresentar taxas de retorno atraentes para que o empresário se sinta motivado a participar.

Neste capítulo, o assunto será tratado como um empreendimento a ser proposto, em que o passo inicial é a pesquisa de consumidores em potencial para o gás.

5.2 - ESTUDOS DE VIABILIDADE TÉCNICA

5.2.1 - Caracterização do lixo

Os resíduos sólidos a serem dispostos no aterro sanitário devem ser caracterizados dos pontos de vista físico e químico. Caso não existam informações suficientes a esse respeito em literatura, pode-se elaborar um programa de amostragem e análise dos resíduos.

5.2.2 - Quantificação do lixo

Todos os projetos necessários e as estimativas de produção de gás dependem fundamentalmente das quantidades de lixo existente e das projeções dessas quantidades no futuro. Desta forma, deve-se proceder a um criterioso estudo a esse respeito visando a um perfeito dimensionamento dos sistemas componentes do empreendimento.

5.2.3 - Seleção de áreas

Uma vez estabelecido o uso do gás e os prováveis consumidores, é preciso locar o aterro sanitário de forma favorável ao empreendimento, levando-se em conta tanto a distância de de transporte do lixo quanto a sua posição em relação ao ponto (ou pontos) de consumo. Além disso, a área deverá ter porte suficiente para receber as instalações e equipamentos necessários e dotar o empreendimento de uma vida útil compatível com os investimentos a serem efetuados.

A falta de área adequada ao aterramento sanitário do lixo em situação favorável pode comprometer todo o empreendimento, tornando-o inviável economicamente.

5.2.4 - Caracterização do gás

Devem ser feitos estudos visando ao conhecimento da composição do gás, das suas qualidades como combustível e como fonte de matéria-prima para processos industriais que utilizam metano.

Além de dados bibliográficos, recomenda-se sejam efetuadas amostragens de gás em aterros já existentes e que possibilitam a coleta de amostras para posteriores análises. O conhecimento da concentração de metano e os poderes caloríficos superior e inferior são alguns parâmetros fundamentais aos dimensionamentos do projeto.

5.2.5 - Quantificação da produção de gás

A geração de gás num aterro sanitário é função da idade dos resíduos e da quantidade de lixo aterrada.

Se o aproveitamento do gás der-se somente após a conclusão do aterro, a sua produção deverá decrescer com o tempo e isto aumenta o risco do empreendimento, além do fato de que as receitas (ou economias) do projeto são obtidas em datas tardias em relação às datas de desembolso de investimento.

Se, por outro lado, o método adotado para a execução do aterro permitir o aproveitamento do gás, desde que haja produção suficiente, concomitantemente a sua operação, a produção de gás é incrementada ao longo do tempo em função da entrada de resíduos no aterro.

O cálculo das produções anuais de gás é feito em função das taxas de produção de gás e extratificando-se quantitativamente os resíduos pelas suas idades.

5.2.6 - Compatibilidade entre gás produzido e uso pretendido

Tendo-se em mãos os dados de produção de gás e a qualidade do mesmo verifica-se se são compatíveis com o uso pretendido e o consumo previsto.

Muitas vezes são necessárias modificações, adaptações ou ampliações de processos para a nova situação de consumo de gás de aterro e, desta forma, verifica-se a possibilidade técnica e econômica de serem levadas a cabo estas mudanças.

5.2.7 - Definição dos projetos

Um projeto a ser executado é o do aterro sanitário propriamente dito, com sistemas apropriados de captação e drenagem do gás, de impermeabilização do aterro visando à diminuição das perdas para o ambiente, de recirculação de líquidos, que deve fazer parte do controle do processo de produção de gás, e de tratamento de líquidos percolados do aterro e outras medidas de segurança e proteção ambiental.

Outro projeto intimamente relacionado com o do aterro sanitário é o de transporte, tratamento e armazenagem do gás captado, que deve compreender normalmente gasodutos, separadores de água, filtros, compressores e outros equipamentos.

Deve-se ainda estudar o sistema de transporte do lixo, já que, na seleção da área, visa-se não somente à destinação dos resíduos, mas principalmente ao aproveitamento do gás, e, desta forma, nem sempre a área escolhida é a de melhor localização geográfica em se considerando apenas o aspecto de destino final de lixo. Assim, normalmente no transporte de lixo deverá ser estudada a necessidade de se implantar estações de transbordo, o que significa investimentos no setor de transportes dos resíduos que virá onerar o empreendimento.

Por fim, deve-se fazer um estudo minucioso, junto aos consumidores - poderá ser uma indústria - da melhor forma de utilização do gás de aterro, o que poderá exigir projetos de reformas ou adaptações de equipamentos à nova situação.

5.3 - ESTUDOS DE VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRO

5.3.1 - Investimentos

Uma vez efetuados os estudos de viabilidade técnica, com alterantivas onde possível, deverão ser orçados todos os investimentos necessários aos vários projetos, em instalações fixas, máquinas, equipamentos e veículos para os sistemas de aterro sanitário, captação, transporte e tratamento do gás, trasnbordo e transporte do lixo e investimentos exigidos para a distribuição (rede) e uso pelos consumidores.

Deve-se prever alternativas de desembolso de capital em diferentes datas, em função de possibilidades e alternativas de uso de linhas de financiamento disponíveis no mercado. Desta forma, é importante a pesquisa prévia junto aos órgãos financeiros na tentativa de enquadrar todo ou as diversas partes componentes do empreendimento aos critérios exigidos pelas citadas linhas de financiamento. Além disso, devem ser levadas em conta as condições gerais de financiamento, como prazos de pagamento, carência, encargos financeiros (taxas de juros e correções monetárias), formas de amortização e garantias exigidas.

5.3.2 - Custos operacionais

Os custos de operação, mensais e anuais, dos sistemas devem ser apropriados nos ítens mão-de-obra, encargos sociais, manutenções, suprimentos (combustíveis, energia elétrica, água, etc.), despesas administrativas e outras despesas que se julgar necessárias ao bom andamento dos componentes do empreendimento.

A remuneração do capital investido (amortização do

investimento) pode ser calculada nos casos necessários e quando for útil a análises e dimensionamentos que precisam ser feitos e que levem em conta alternativas de menor custo. Por exemplo, no dimensionamento do transbordo e transporte do lixo, o número de carretas é função do número de turnos de trabalho (um, dois ou três turnos de operação por dia) e o custo operacional de transbordo tem relação com o capital investido, ou seja, à amortização deste. Deste modo, a forma de operar tal sistema pode tornar viável ou inviável a sua implantação.

Todos os custos devem, obviamente, ser apropriados de forma a mais realística e completa possível.

5.3.3 - Benefícios

Os benefícios auferidos pelo empreendimento devem ser computados e podem se apresentar na forma de receitas ou economias obtidas pela utilização do gás de aterro em substituição em parte ou total de um outro insumo que seria exigido na ausência daquele.

Assim, na apropriação destes benefícios deve-se ter bem em mente o uso pretendido para o gás de aterro e também pesquisar-se outras fontes de matérias-primas eventualmente passíveis de serem utilizadas e de forma mais econômica que a existente ou o gás de aterro.

Da mesma forma, deve-se ter a sensibilidade para projeções no futuro, considerando-se as fontes de insumos, a potencialidade destas fontes ou novas descobertas, a renovabilidade de recursos, a proteção ambiental e outros fatores que deverão fazer parte do acervo disponível ao administrador que lhe possibilitará a tomada de decisões.

5.3.4 - Rentabilidade

De posse de todos os montantes monetários, poder-se-á montar os fluxos de caixa das alternativas formuladas e calcular-se as respectivas taxas de retorno sobre o investimento, bem como o tempo em que esse retorno se dá.

Estas taxas, agregadas aos fatores mencionados anteriormente darão a rentabilidade do empreendimento mais as expectativas e riscos a ele inerentes. A partir deste conjunto de assertivas se estabelecerá a atratividade, junto às pessoas envolvidas, órgãos governamentais e empresas privadas interessadas, da recuperação de gás de aterro sanitário como um empreendimento de vulto a ser desenvolvido e implantado.

5.4 - ESTUDOS DE VIABILIDADE INSTITUCIONAL

Trata-se de verificar a melhor forma exequível de conjugação de esforços entre órgãos governamentais e empresas privadas dos pontos de vista técnico, administrativo, jurídico e de captação de recursos para levar a bom termo o empreendimento.

No Brasil, a coleta regular, o transporte e a destinação final de lixos domiciliares estão afetas às municipalidades e, desta forma, são elas que dispõem a "matéria-prima" para a produção de gás de aterro sanitário. Por outro lado, o enfoque dado ao empreendimento traz conotações empresariais que fogem um pouco do âmbito da administração pública.

Nada impede, no entanto, que determinada prefeitura leve a cabo por si só a implantação e gerenciamento do empreendimento e venda o gás, a quem queira, auferindo com isso a sua receita, desde que ela esteja disposta e tenha recursos para isso.

No entanto, o certo é que uma prefeitura, ou às vêzes trata-se de mais de uma prefeitura em solução conjunta, não tenha recursos suficientes e, assim sendo, a empresa privada -pode ser indústria que use o gás como combustível - poderá participar, auferindo com isso também uma parcela dos benefícios.

Do ponto de vista do empresário, no entanto, para que o empreendimento lhe seja interessante, ele exigirá rentabilidade superior a taxa de atratividade mínima da empresa, garantia de suprimento de gás e confiabilidade no seu sistema de produção.

Desta forma, deve-se efetuar estudos minuciosos e negociações entre as partes visando à partição dos ônus necessários e também da forma técnico-jurídica que melhor se adapte à administração operacional e orçamentária do empreendimento.

6.1 - PROJETO NO RIO DE JANEIRO

O projeto no Rio de Janeiro foi desenvolvido com o intuito de se recuperar gás no aterro sanitário em operação pela COMLURB - Companhia Municipal de Limpeza Urbana, localizado na ponta do Caju e cujos objetivos visados são os seguintes:

. Estudar as características do gás e avaliar o potencial de geração local;

. Avaliar a possibilidade de utilização do gás de aterro como matéria-prima nas unidades de produção da CEG - Companhia Estadual de Gás, nas fases de reforma catalítica e de enriquecimento;

. Determinar as características de combustão do gás de aterro e de suas misturas com o gás produzido pela CEG e outros gases disponíveis;

. Analisar os processos convencionais de purificação e tratamento de gases, tendo em vista determinar aquele que, técnica e economicamente, melhor se aplique ao gás de aterro, considerando-se as diversas formas de utilização a serem avaliadas.

O aterro escolhido para os estudos compreende uma área de aproximadamente 1 000 000 m^2, na qual foi disposta uma quantidade de lixo estimada em mais de 10 milhões de toneladas, por um período de mais de 35 anos (até 1977).

A altura média do aterro é da ordem de 15 m, atingindo no seu ponto mais elevado cerca de 25 m.

Para se determinarem as características do gás, a COMLURB estabeleceu dois pontos de amostragem no aterro, além de efetuar alguns ensaios de laboratório.

Amostras de gás foram coletadas em junho e julho de 1976, 3 vêzes por semana, totalizando 19 amostras, empregando-se balões de coleta, após o que foram feitas análises do gás em cromatógrafo.

Os pontos de coleta foram denominados pela COMLURB de "junto ao poste 394" (Ponto A) e "junto à casa" (Ponto B).

Como resultados obtiveram-se os valores médios apresentados na tabela nº 6.1.

TABELA Nº 6.1

COMPOSIÇÃO DO GÁS DE ATERRO SANITÁRIO DO CAJU (RIO DE JANEIRO)

Parâmetro / Local	Composição em volume (%)					
	CH_4	CO_2	N_2	O_2	CO	H_2
Ponto A	68,85	29,64	0,74	*	-	-
Ponto B	66,85	32,38	0,51	-	-	-

Obs.: (-) Ausente

(*) Presente em 2 amostras somente

Os experimentos em laboratório constaram de duas células experimentais de lixo, denominadas pela COMLURB de "Aterro Experimental 01" e "Consolidômetro".

As principais características do Aterro Experimental 01 são as seguintes: área de 18 m^2 e profundidade de 1,20 m, sendo 0,70 m preenchidos com lixo domiciliar coberto com uma canada de 0,44 m de terra.

O outro experimento, o Consolidômetro, consistiu de um tambor de chapa com diâmetro de 1,0 m e altura de 0,5 m, onde se colocou lixo domiciliar até uma altura de 0,4 m, o qual foi co

berto com uma tampa de concreto de 0,1 m de espessura, cujo objetivo foi simular o peso, de igual volume, de terra compactada que normalmente seria usada como cobertura de um aterro sanitário. Este sistema, o tambor (fundo e paredes laterais) e a placa de concreto, possui orifícios fechados que possibilitaram medições de temperaturas e coletas de gases e líquidos.

Em função dos resultados iniciais obtidos, a COMLURB considerou a intercambialidade entre o gás de aterro sanitário e o gás distribuído pela CEG, concluindo por meio do diagrama de Prigg (que relaciona o número de Wobbe com o fator de velocidade de chama de Weaver) que o gás da CEG admitia misturas de até 20% com o gás de aterro sem sofrer modificações nas suas características de combustão.

À luz dos fatos verificados, a CEG e a COMLURB em conjunto decidiram pela execução e implantação de um projeto piloto de aproveitamento de gás do aterro do Cajú.

O projeto compreende basicamente um conjunto de poços de captação que são interligados por uma tubulação de plástico (para evitar corrosão) e que conduz o gás até uma estação de tratamento. Nesta estação, três lavadores tipo "scrubber" retiraram os ácidos orgânicos e possíveis impurezas existentes. Após a lavagem, o gás é bombeado, por meio de compressores e em tubulação de 6", até a fábrica da CEG, onde ele é misturado ao gás de nafta, respeitando-se os limites de intercambiabilidade.

Nesse sistema de captação há também um dispositivo de segurança de operação, composto de um conjunto automatizado para o controle do gás excedente, ou em paralizações de emergência do sistema, que possibilitam a sua queima em dois "flares" antes de lançá-lo na atmosfera.

Para o controle da operação, foi instalado no aterro um conjunto de poços de monitoragem, de forma a regular o fluxo de gás recuperado, evitar a infiltração de ar atmosférico no aterro,

CETESB - CIA. DE TÉCNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

que afetaria a produção de metano e formação de misturas explosivas em seu interior. Este sistema de monitoragem está interligado a um conjunto de aparelhos que realizam as análises e testes necessários à operação.

6.2 -PROJETO EM SANTIAGO

No Chile, o INTEC - Instituto de Investigaciones Tecnológicas realizou estudos, para a GASCO - Compañia de Consumidores de Gás de Santiago, com o intuito de verificar-se a viabilidade de aproveitamento de gás gerado nos aterros sanitários de La Feria e Cerros de Renca, que recebem os lixos da Area Metropolitana de Santiago e que contam com sistema de drenagem dos gases gerados pelos resíduos.

O aterro de La Feria possui uma área aproximada de 33 hectares e altura média de 18 m, recebendo cerca de 500 000 t de resíduos anualmente, totalizando, ao final de sua vida 3 000 000 t. O aterro de Cerro de Renca tem capacidade estimada para 1 200 000t de resíduos, dispostos em área aproximada de 7 hectares e com 20 m de altura.

A quantidade de gás produzido nos 100 poços de drenagem existentes em La Feria foi estimada em 86 000 m^3/dia e em Cerros de Renca em 25 000 m^3/dia, com poder calorífico avaliado em 4 500 kcal/m^3.

Nas tabelas nºs 6.2 e 6.3 apresentam-se a composição encontrada bem como a classificação quanto biodegradabilidade do lixo da área Metropolitana de Santiago. Os gases produzidos no aterro sanitário de Cerros de Renca tem sua composição mostrada na tabela nº 6.4.

Cada poço de recuperação de gas (figura nº 6.1) compreende a instalação de um tubo perfurado ou ranhurado na sua zona de sucção, envolto com uma camada de pedra (brita) e na parte superior, uma camada de argila para impermeabilização e eliminação de perdas do gás. Na saída do tubo é instalada uma válvula para regulação do fluxo e controle da sucção. Este poço de recuperação do gás é construído mediante perfuração do terreno

TABELA Nº 6.2

COMPOSIÇÃO DO LIXO DE SANTIAGO (CHILE)

Componentes	Composição do lixo na área metropolitana de Santiago % em peso base úmida (29)	Composição média do lixo nos U.S.A. % em peso base úmida (30)
Matéria orgânica	56,3	16,3
Resíduos de Jardins	10,0	14,9
Papéis e Papelão	19,3	34,9
Madeira	2,0	3,8
Têxtil e couro	3,7	4,3
Plásticos	2,4	3,8
Vidros	0,9	10,5
Metais	3,0	9,8
Outros	2,4	1,7

TABELA Nº 6.3

CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS DO CHILE QUANTO A SUA BIODEGRADABILIDADE

Componentes	Lixo - Chile		Lixo - USA	
	% Total	% de matéria degradável	% Total	% de matéria degradável
Elementos de rápida decomposição (% em peso de lixo base úmida)	56,3	64,3	16,3	23,3
Elementos de decomposição moderada (% em peso de lixo base úmida)	31,3	35,7	53,6	76,7
Elementos não degradáveis (% em peso de lixo base úmida)	12,4		30,1	

TABELA Nº 6.4

QUALIDADE DOS GASES NO ATERRO DE CERROS DE RENCA (SANTIAGO)

Dreno de gás	CH_4 % vol.	CO_2 % vol.	N_2 % vol.	O_2 % vol.	H_2 % vol.	Temperatura ambiente ºC	Temperatura de gases ºC	Pressão a descarga fechada mm H_2O
9	49,8	49,6	traços	traços	0,6	22	40	11,4
10	49,6	49,3	traços	traços	0,4	22	43	1,3
15	49,3	50,0	traços	traços	0,4	22	42	0,5

OBS: Amostragens efetuadas em 24 de outubro de 1980

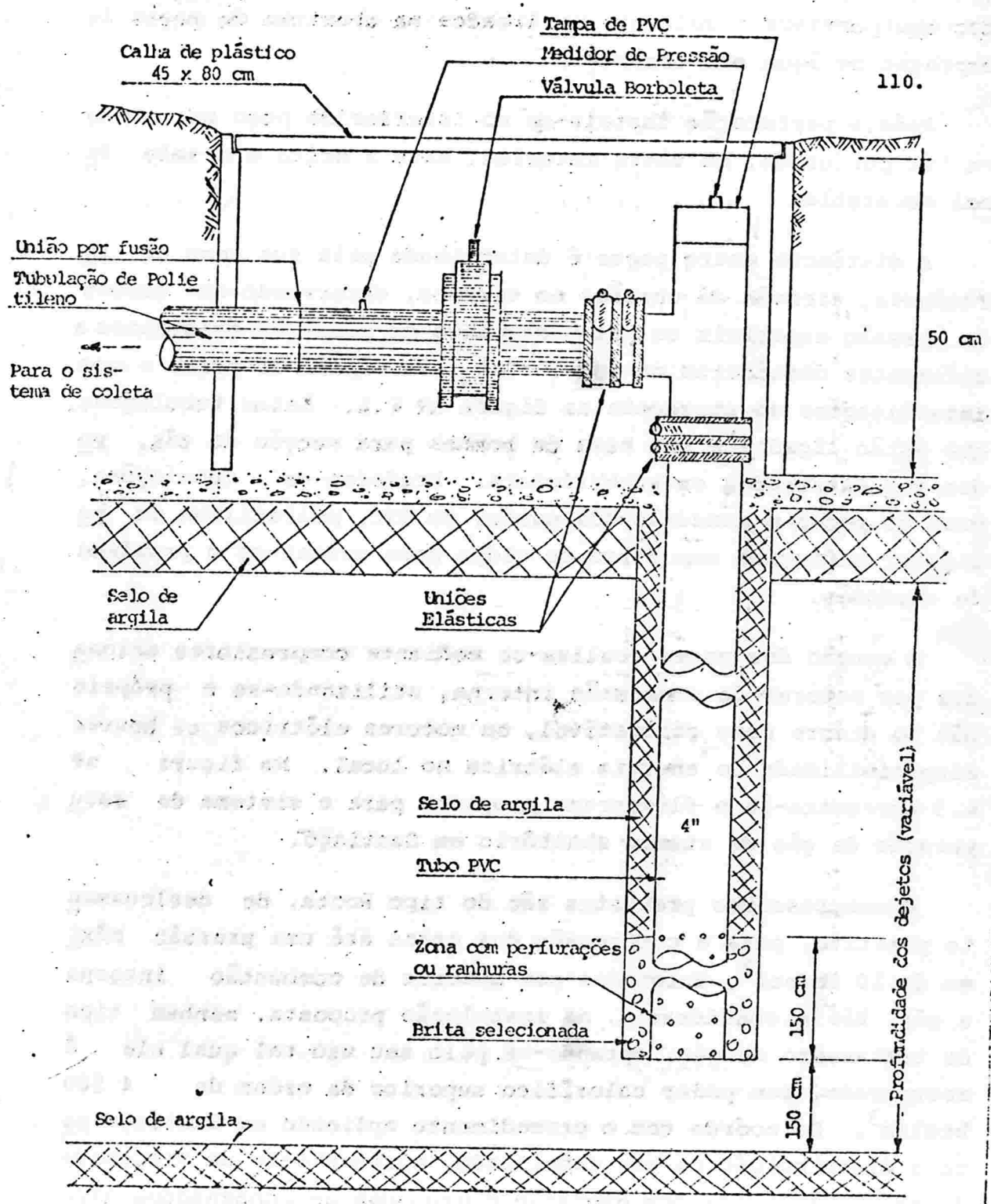


FIGURA 6.1 - ESQUEMA DE POÇO DE EXTRAÇÃO DE GASES DE ATERRO SANITÁRIO (SANTIAGO)

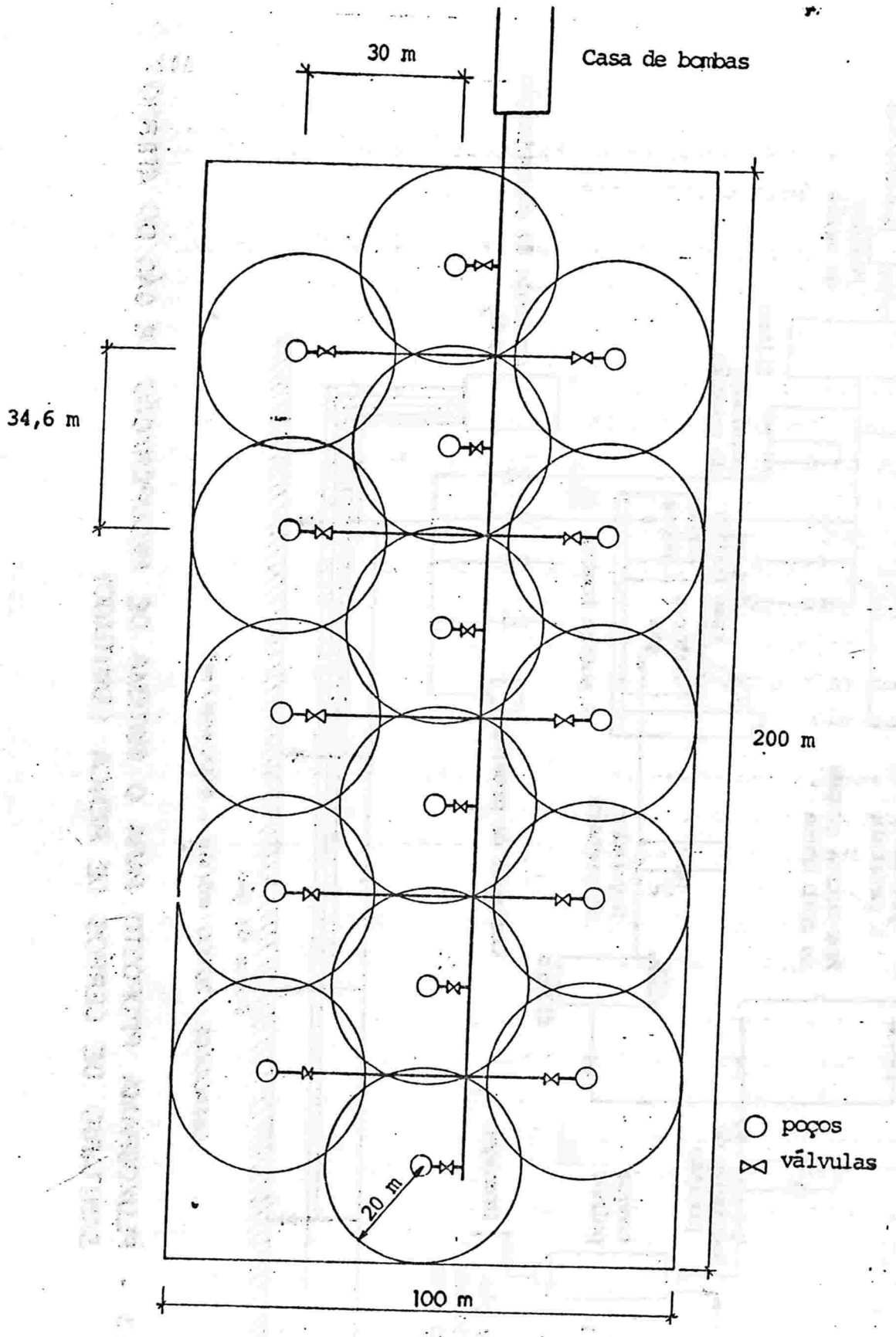
com equipamentos usualmente utilizados na abertura de poços de captação de água subterrânea.

Após a perfuração instala-se no interior do poço um tubo em PVC perfurado, ou outro material, mais a brita e o selo final em argila.

A distância entre poços é determinada pela sua zona de influência, através de ensaios no terreno, observando em sondas de pressão especiais ou pelas chaminés de drenagem existentes a diferentes distâncias do poço. Uma rede típica de poços e suas interligações se apresenta na figura nº 6.2. Estas tubulações, que estão ligadas a uma casa de bombas para sucção do gás, podem ser enterradas ou superficiais. Preferem-se tubulações, para os poços e condução dos gases, em PVC, polietileno ou poliéster reforçado com fibra de vidro para evitar-se o problema da corrosão.

A sucção dos gases realiza-se mediante compressores acionados por motores de combustão interna, utilizando-se o próprio gás do aterro como combustível, ou motores elétricos se houver disponibilidade de energia elétrica no local. Na figura nº 6.3 apresenta-se o fluxograma proposto para o sistema de recuperação de gás de aterro sanitário em Santiago.

Os compressores previstos são do tipo Roots, de deslocamento positivo, para a compressão dos gases até uma pressão máxima de 10 lb/pol^2, acionados por motores de combustão interna a gás. Não se considerou, na instalação proposta, nenhum tipo de tratamento do gás, optando-se pelo seu uso tal qual ele é recuperado, com poder calorífico superior da ordem de 4 500 kcal/m^3. De acordo com o procedimento aplicado em Santiago para a distribuição de gás canalizado, apresenta-se um sistema de distribuição úmida com captação e drenagem de condensados através de sistemas purgadores instalados nas linhas de sucção e recalque do gás.



CAPACIDADE : 20 000 m3/dia - 4000 kcal / m3

FIGURA 6.2 - ESQUEMA DE DISPOSIÇÃO DOS POÇOS DE RECUPERAÇÃO DE GÁS NO ATERRO SANITÁRIO DE CERROS DE RENCO (SANTIAGO)

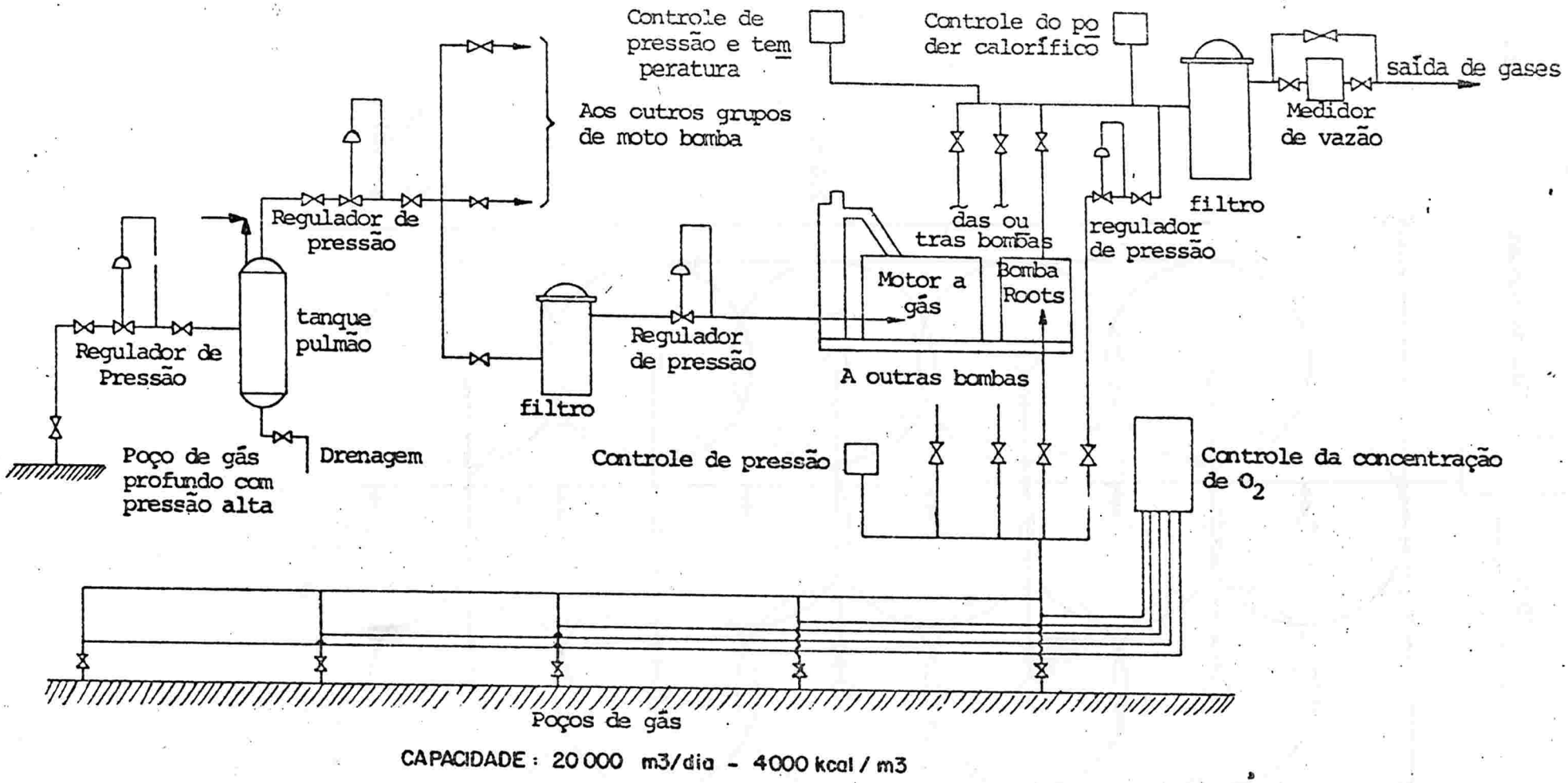


FIGURA 6.3 - FLUXOGRAMA PROPOSTO PARA O SISTEMA DE RECUPERAÇÃO DE GÁS DO ATERRO SANITARIO DE CERROS DE RENCA (SANTIAGO)

A instalação inclui, no entanto, sistemas de controle de vazão, medidores de pressão, temperatura, poder calorífico e um sistema para detectar infiltrações de ar atmosférico mediante o controle do teor de oxigênio em cada poço e na tubulação.

Estudos foram efetuados com o propósito de se determinar os custos de operação e os investimentos necessários à utilização desse gás, especialmente para consumo doméstico, a fim de se verificar a viabilidade econômica do empreendimento.

Os investimentos necessários incluiram a execução de poços, a rede de tubos e válvulas (incluindo instalação), curvas e junções flexíveis, válvulas de regulação de pressão, compressores e motores a gás (incluindo instalação), medidores de oxigênio e de poder calorífico, medidores de fluxo, casa de bombas e outros.

Nos custos de operação considerou-se a mão-de-obra, a amortização do capital investido, direitos de patentes e manutenção. A vida útil do aterro sanitário foi considerada como sendo de 5 anos.

Na elaboração do desenho da rede de tubos supôs-se um raio de influência dos poços de 25 m para o La Feria e de 22 m para o Cerros de Renca.

Os diâmetros de perfuração dos poços variam de 0,6 a 1,0 m, nos quais são introduzidos tubos perfurados de Ø 4" e camada de brita de granulometria 2 a 3" envolvendo os tubos. A superfície dos últimos dois ou três metros superiores do poço é selada com camada de argila compactada.

Os dados econômicos são a seguir resumidos:

I - ATERRO SANITARIO DE LA FERIA

a) Investimentos ..... US$ 870 280

b) Custo de Operação Anual

Mão-de-obra	US$ 72 000
Manutenção	US$ 34 800
Despesas de capital	US$ 330 706
TOTAL	US$ 437 506

c) Custo Unitário de Produção

$$\frac{437\ 506}{86\ 000 \times 365 \times 4\ 500 \times 0{,}65} = 4{,}8\ US\$/10^6\ Kcal$$

(Fator de Eficiência = 0,65)

d) Custo de Transporte do Gás

Considerando transporte por 12 km e tubulação de Ø 8"

Despesa de capital anual ..... US$ 304 000

$$\frac{304\ 000}{86\ 000 \times 365 \times 4\ 500 \times 0{,}65} = 3{,}3\ US\$/10^6\ Kcal$$

e) Custo Anual Total

Produção + Transporte ..... 8,1 $US\$/10^6$ Kcal

II - ATERRO SANITÁRIO DE CERROS DE RENCA

a) Investimentos ..... US$ 291 640

b) Custo de Operação Anual

Mão-de-obra	US$ 33 600
Manutenção	US$ 11 666
Despesas de capital	US$ 110 823
TOTAL	US$ 156 089

c) Custo Unitário de Produção

$$\frac{156\ 089}{25\ 000 \times 365 \times 4\ 500 \times 0{,}65} = 5{,}8\ US\$/10^6\ Kcal$$

d) Custo de Transporte de Gás

Transporte por 12 km e tubulação de Ø 8"

Despesa de capital anual ..... US$ 304 000

$$\frac{304\ 000}{25\ 000 \times 365 \times 4\ 500 \times 0{,}65} = 11{,}4\ US\$/10^6\ Kcal$$

e) Custo Anual Total

Produção + Transporte ..... 17,2 $US\$/10^6$ Kcal

Esses valores assim encontrados referem-se à recuperação, processamento e transporte do gás a um depósito localizado a 12 km de cada aterro e não incluem possíveis despesas administrativas nem custos com a distribuição aos domicílios. Desta forma, concluiu-se que a exploração do gás seria rentável em aterros de certa grandeza, que recebam pelo menos 350 000 t/ano de resíduos ou que os consumidores estejam próximos, de forma a diminuir os investimentos em gasoduto.

6.3 - PROJETO EM SÃO PAULO

O primeiro projeto de recuperação de gás de lixo em São Paulo foi desenvolvido para o aterro situado na altura do quilômetro 14,5 da Rodovia Raposo Tavares, na zona oeste de São Paulo, o qual foi operado de 1975 a 1979, ocupando uma área aproximada de 20 hectares e que recebeu cerca de $2,1 \times 10^6$ t de lixo.

Este aterro tem uma configuração de pirâmide e possui, portanto, grande área superficial, inclusive lateralmente, que propicia condições favoráveis às perdas para a atmosfera, principalmente levando-se em conta a falta de vedação adequada do aterro.

A estação de recuperação de gás, construída pela COMGÁS - Companhia de Gás de São Paulo, em 1978, é constituída de 13 poços de captação, formados por tubulações perfuradas, em aço, de diâmetro de 6 e 8 polegadas, alternadamente para permitir a absorção do recalque progressivo do aterro. O gás captado nos poços é enviado a um sistema coletor, passando então por separadores de condensados e filtros; dois compressores asseguram a manutenção de uma pressão máxima de 4 000 mm de coluna de água (operação em série) e uma vazão máxima de 1 560 m^3/h (operação em paralelo).

Para controles qualitativos e quantitativos, a COMGÁS instalou um laboratório, com registradores de pressão e temperatura, pluviômetro, medidores de vazão, queimadores domésticos e industriais e um cromatógrafo para análises químicas.

A produção teórica de gás estimada pela COMGÁS neste aterro é de 520 milhões de m^3, distribuída ao longo de um período de 10 anos. Estimou-se que 260 milhões de m^3 seriam perdidos para a atmosfera e outros 130 milhões de m^3 se perderiam pela

lixiviação da matéria orgânica e decomposição aeróbia que se dá no início do processo. Restariam, portanto, cerca de 130 milhões de m^3 de gás recuperáveis durante esses 10 anos.

A partir de 1978 têm sido efetuadas amostragens periódicas do gás captado para análises da composição química, do poder calorífico superior (PCS) e outras características, com os seguintes resultados:

. COMPOSIÇÃO VOLUMÉTRICA

CH_4	61,9 %
CO_2	36,7 %
N_2 + 2 (Ar)	1,4 %
H_2S	0,001 %
H_2	traços

. PCS	5 810 kcal/m^3
. DENSIDADE RELATIVA	0,923
. ÍNDICE DE WOBBE (15,6ºC e 1 atm)	645 BTU/ft^3
. VELOCIDADE DE CHAMA (Weaver)	10,4

Em janeiro de 1979, após receber financiamento do Conselho Nacional do Petróleo, a COMGÁS ampliou o sistema existente e passou a abastecer gratuitamente, a título experimental, 41 residências e se passou a cogitar do abastecimento de uma indústria vizinha. Essas residências tiveram seus fogões especialmente adaptados por técnicos da COMGÁS e a rede de distribuição foi construída em polietileno de alta densidade especialmente para esse fim. Os equipamentos adaptados mostram um desempenho bom, a chama é bastante limpa, não deixando resíduos de fuligem nas panelas. Também não é necessário purificar-se o gás de aterro para uso como combustível residencial, apenas promovendo-se a separação dos condensados nas linhas de captação e distribuição.

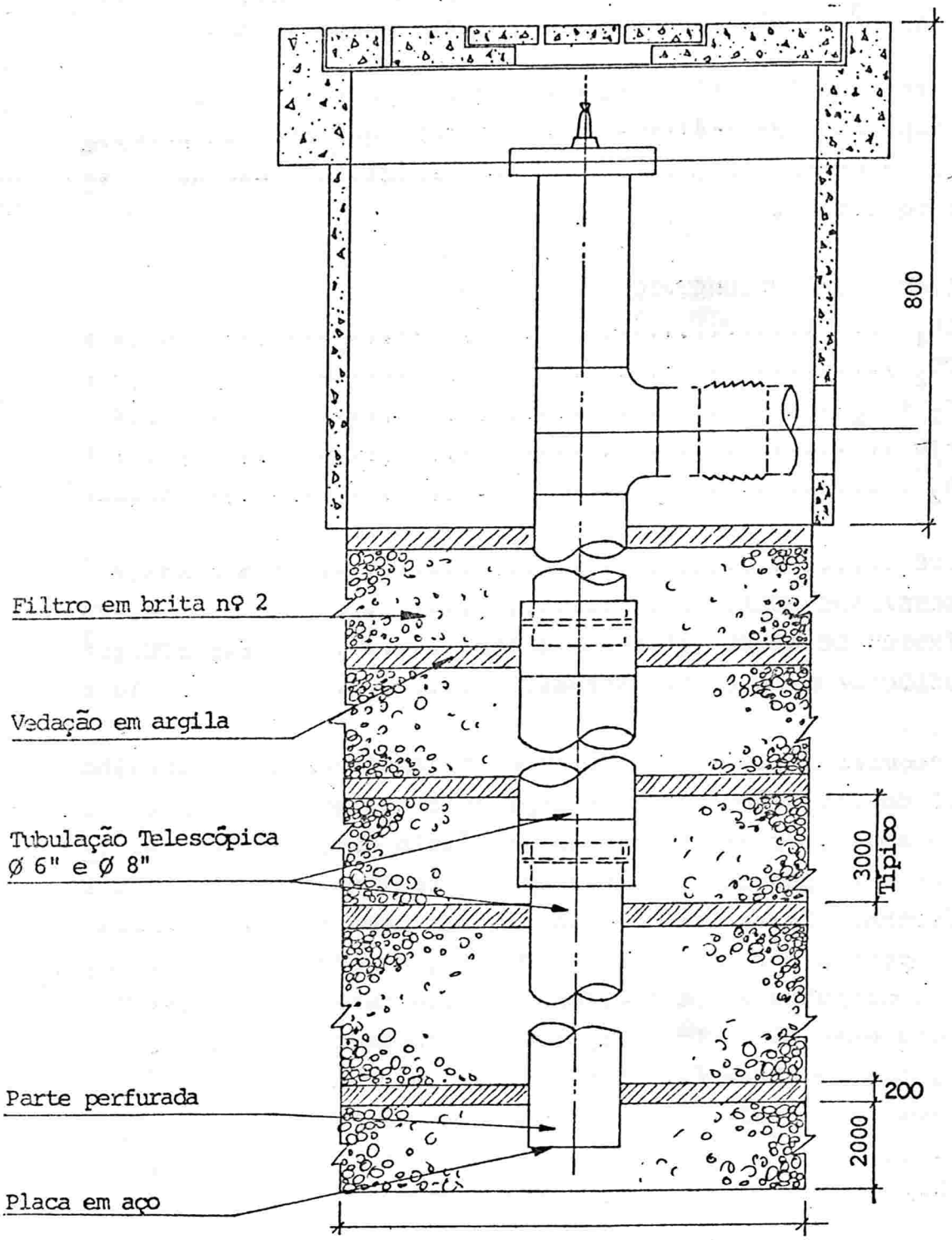


FIGURA 6.4 - PERFIL DE UM POÇO DE CAPTAÇÃO DE GÁS DO ATERRO SANITÁRIO DO Km 14,5 - ROD. RAPOSO TAVARES (SÃO PAULO)

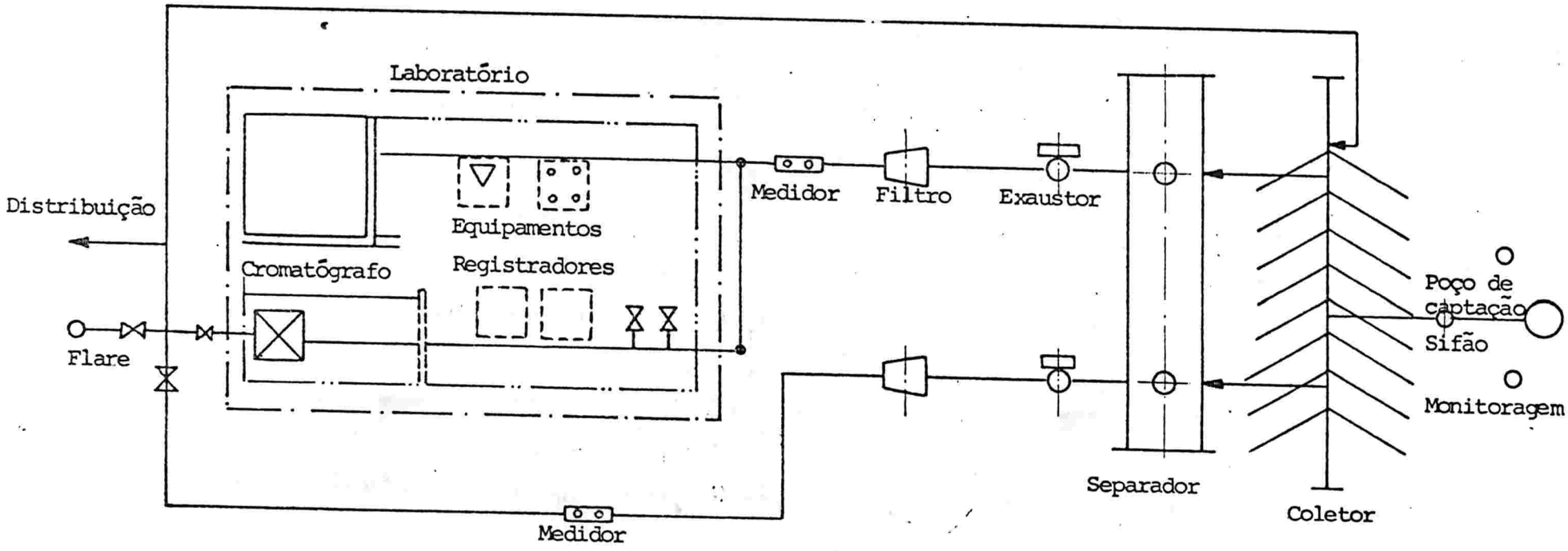


FIGURA 6.5 - ESQUEMA SIMPLIFICADO DA ESTAÇÃO DE CAPTAÇÃO DE GÁS DO Km 14,5 - ROD. RAPOSO TAVARES (SÃO PAULO)

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 - ISWA - Journal nr. 26/27 Forquar Rovers, 1973

2 - MERZ, R.C., "Investigation to Determine the Quantity of Gases Produced During Refuse, Decomposition" University of Southern California to State Water Quality Control Board, Sacramento, California, 1964.

3 - MERZ, R.C. & STONE R., "Special Studies of a Sanitary Land fill", U.S.E.P.A., Cincinnati, Ohio, 1968.

4 - RAMASNAMY J.V., "Nutricional Effects on Acid and Gas Produ tion in Sanitary Landfills", Tese apresentada à West Virgi nia University, Morgantown, W.Va. 1970.

5 - ROVERS, F.A. & FARQUHAR G.I., "Infiltration and Landfill Be havior", Journal of the Environmental Engineering Division; ASCE, vol. 99, nº E.E5, Proc. Paper 10047, Oct. 1973, pp. 671-690.

6 - CHIAN E.S.K., DE WALLE F.B. & HANNERBERG E., "Effect of Mois ture Regime and Other Factors on Municipal Solid Waste Sta bilization", In management of gas and leachate in Landfills- U.S.E.P.A - 600/9-77-026, Sep. 1977.

7 - U.S.E.P.A., "National Survey of Community Solid Waste Practi ces, 1968", U.S.E.P.A., Cincinnati, Ohio (1968).

8 - FARQUHAR G.J. & ROVERS F.A.,"Gas Prodution During Refuse De composition" Water, Air and Soil Pollution, 2, 483 (1973).

9 - FUNGAROLI A.A. & STEINER R.L., "Investigation of Sanitary Landfill Behavior" Vol. 1 - Final Report - EPA -600/2-79-053 a - July 1979.

10- CETESB, "Destinação Final dos Resíduos Sólidos na Baixada San

tista", São Paulo, Dez. 1979

11- CETESB, "Caracterização do Lixo Domiciliar de Curitiba", São Paulo, Maio, 1981.

12- CETESB, "Usina Termoelétrica a Resíduos Sólidos Urbanos da Cidade de São Paulo, São Paulo, Out. 1979.

13- SCHUYLER R.E., "Energy Recovery at the Landfill", Presented at 11th Annual Seminar Government al Refuse Colection and Disposal Association, Santa Cruz, California, Nov., 1973.

14- BUREAU OF SANITATION CITY OF LOS ANGELES, "Estimation of the Quantity and Quality of Landfill Gas from the Sheldon - Arleta Sanitary Landfill", Internal Report, 1975.

15- COLONA R.A., "Methane Gas Recovery in Moutain View Moves in to Second Phase", Solid Waste Manegement, vol. 19, nº 5,1976 90.

16- DE WALLE F.B., CHIAN E.S.K & HAMMERBERG E., "Gas Prodution from Solid Waste in Landfill", Journal of this Environmental Engineering Division, June 1978, pp 415-17

17- STEGMANN R. & BRAUNSCHWEIG D., "Gas aus Geordneten Deponien Allgemeine Problems Tellung, Entstehung und Anfall", ISWA Journal 26/27, Dec. 1978, Jan. 1979.

18- GRIESINGER, B., "Quality of Fermentation Gas from Landfills" ISWA Information Bulletim, nº 21, p. 6-14.
. Aterro de Aarau
. Aterro de Hardwold
. Aterro de Baarburg
. Aterro de Uttigem

19- DAIR F.R. & SCHWEGLER R.E., "Energy Recovery from Landfills" Waste Age, March, April, 1974, p 6-10 (Typical Composition of Refuse Gas at 320 CFM with Drawal Rate)

20- GOMES I.C., "Gás de Aterros Sanitários: O Projeto COMGÁS" -

21- COLLINS R.H., "Upgrading Landfills Gas to Pipeline Specifications" ISWA - Journal Nr. 28/29 March/April 1979

22- RAIMUNDO F.A. & PINTO S.B.H., "Gás de Aterros Sanitários" - Limpeza Pública nº 10, Março/Abril, 1978, p. 36-38.

23- ANDERSON D.R. & CALLIMAN J.P., "Gas Generation and Moviment in Landfills", processings - National Industrial Solid Waste Management Conference, Huston, March, 1970.

24- HEKIMIAN, K.K., LOCKMAN, W.J. & HIRT J.H., "Methane as Recovery from Sanitary Landfills", Waste Age, Dec. 1976, pp 2-9.

25- PACEY, J. & KAPRINSKI, G. "Assessing a Landfills Potential as a Methane Gas Producer", Solid Waste Manangement, 22 (11) 26-88, Nov. 1979.

26- CDM, INC. PASADENA, CALIFORNIA, "A Case Study of the Los Angeles Country Palos Verdes Landfill Gas Development Project" EPA - 600/3-77-047, July, 1977 (PB 272-241)

27- EPA - 600/2-79/001, Feb. 1979

28- CETESB,"Energia de Lixo na Baixada Santista - Projeto ELBAS" São Paulo, 1980.

29- CONCHA M. Y SZCZARANS & SZCZARANSKI, "Publicación I-45 U. de Chile", Chile, 1977.

30- USEPA, "Cuarto Reportaje a Congreso 1977".

BIBLIOGRAFIA

1 - CETESB, Destinação Final dos Resíduos Sólidos na Baixada Santista, São Paulo, dez. 1979

2 - SERETE S.A., Sistema de Esgotos Sanitários da Ilha de Santo Amaro, São Paulo, 1977.

3 - SERETE S.A., Plano Diretor de Abastecimento de Água da Região de Santos - Peruíbe, São Paulo, 1978

4 - MERZ R.C., "Investigation to Determine the Quantity and Quality of Gases Produced During Refuse Decomposition". University of Southern Califórnia to State Water Quality Control Board, Sacramento, Califórnia, 1964.

5 - MERZ R.C. & STONE R., "Special Studies of a Sanitary Landfill", U.S.E.P.A., Cincinnati, Ohio, 1968.

6 - RAMASNAMY J.M., "Nutritional Effects on Acid and Gas Production in Sanitary Landfills", Tese apresentada à West Virginia University, Morgantown, W.Va. 1970.

7 - ROVERS F.A. & FARQUHAR G.J., "Infiltration and Landfill Behavior", Journal of the Environmental Engineering Division; ASCE, vol. 99, nº EE5, Proc. Paper 10047, Oct. 1973, pp 671-690.

8 - CHIAN E.S.K, DE WALLE F.B. & HANNERBERG E., "Effect of Moisture Regime and Other Factors on Municipal Solid Waste Stabilization". In management of gas and leachate in Landfills - U.S.E.P.A - 600/9-77-026, Sep. 1977.

9 - U.S.E.P.A., "National Survey of Community Solid Waste Practices, 1968", U.S.E.P.A., Cincinnati, Ohio (1968).

10- FARQUHAR G.J. & ROVERS F.A., "Gas Production During Refuse

Decomposition" Water, Air and Soil Pollution, 2, 483 (1973).

11- FUNGAROLI A.A. & STEINER R.L., "Investigation of Sanitary Landfill Behavior" Vol. 1 - Final Report - EPA - 600/2-79-053 a july 1979.

12- CETESB, Usina Termoelétrica a Resíduos Sólidos Urbanos da Cidade de São Paulo, 1979

13- GRIESINGER B., "Quality of Fermentation Gas from Landfills" ISWA Information Bulletim, nº 21, p 6-14
. Aterro de Aarau
. Aterro de Hardwald
. Aterro de Baarburg
. Aterro de Uttigem

14- DAIR F.R. & SCHWEGLER R.E., "Energy Recovery from Landfills" Waste Age, March/April, 1974, p 6-10 (Typical Composition of Refuse Gas at 320 CFM Withdrawal Rate)

15- GOMES I.C., "Gás de Aterros Sanitários: O Projeto COMGÁS"

16- COLLINS R.H., "Upgrading Landfills Gas to Pipeline Specifications" ISWA - Journal Nr 28/29 March/april 1979

17- RAIMUNDO F.A. & PINTO S.B.H., "Gás de Aterros Sanitários", Limpeza Pública nº 10, Março/Abril, 1978 p. 36-38

18- SCHUYLER R.E., "Energy Recovery at the Landfill", Presented at 11th Annual Seminar Governmental Refuse Collection and Disposal Association, Santa Cruz Califórnia, Nov., 1973.

19- BUREAU OF SANITATION CITY OF LOS ANGELES, "Estimation of the Quantity and Quality of Landfill Gas from the Sheldon-Arleta Sanitary Landfill", Internal Report, 1975.

20- COLONA R.A., "Methane Gas Recovery in Moutain View Moves in to Second Phase", Solid Waste Manegement. vol. 19, nº5,1976, 90.

21- DE WALLE F.B., CHIAN E.S.K. & HAMMERBERG E., "Gas Production from Solid Waste in Landfill", Journal of the Environmental Engineering Division, June 1978, pp 415-432.

22- STEGMANN R. & BRAUNSCHWEIG D., "Gase aus Geordneten Deponien - Allgemeine Problems Tellung, Entstehung und Anfall " ISWA Journal 26/27, Dec. 1978, Jan 1979.

23- ANDERSON D.R. & CALLIMAN J.P., "Gas Generation and Moviment in Landfills",processings -National Industrial Solid Waste Management Conference, Huston, March, 1970.

24- HEKIMIAN K.K., LOCKMAN W.J. & HIRT J.H., "Methane as Recovery from Sanitary Landfills" Waste Age, Dec. 1976, pp 2-9.

25- ENGINEERING DATA BOOK, "Natural Gas Processors Suppliers Association", NGPSA, U.S.A.

26- NONHEBEL G., "Gas Purification Processes", London, 1964.

27- BARBATO A., "Cálculo de Conduccion de Gas Natural por Cañerias", Argentina.

28- BELLIBONI C., "Combustão de Gases", Brasil.

29- HICSAN LTDA., "Projeto do Aterro Sanitário da Rodovia dos Bandeirantes", São Paulo, 1979.

30- HICSAN LTDA., "Projeto do Aterro Sanitário Sapopemba I",São Paulo, 1980.

31- ZULAUF W. e STUERMER R. - "Lixo: de Fonte de Poluição a Alternativa Energética" - São Paulo, 1980.

32- CETESB, "Caracterização do Lixo Domiciliar de Curitiba",São Paulo, Maio, 1981.

33- CETESB, "Energia de Lixo na Baixada Santista - Projeto ELBAS", São Paulo, 1981.

34- U.S.E.P.A., "Recovery Processing, and Utilization of Gas from Sanitary Landfills" - EPA 600 2-79-001, U.S.A.Cincinnati, Ohio, Feb. 1979.

35- INTEC - "Recuperacion y Utilizacion de gases de Rellenos Sanitários", Chile, Santiago.

36- SAKURAI, K. - "Estudio de Prefactibilida del Proyecto de Recuperacion de gas Metano de Relleno Sanitário - Caso de Estudio nº 6" - Lima, Peru.

37- ARELLANO V. J. MATURANA M. N. - "Utilizacion del Gas Metano Proveniente de un Relleno Sanitário", trabalho apresentado ao XVIII Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y ambiental, Panamá, 1-6 Ago, 1972.

38- ARELLANO V. J. "Utilizacion del Gas Metano Proveniente de un Relleno Sanitário", Chile, Santiago

39- GOMES, I.C. -"Perspectivas de Utilização de Fontes Não-Convencionais de Gás em São Paulo - Um Estudo Comparativo" - São Paulo, Nov. 1981.

40- GOMES, I.C. - "Gás de Aterro: a Energia Recuperada do Lixo" Revista Energia: Fontes Alternativas - Vol. II, nº 10, 1980.

41- GOMES, I.C. - "Aspectos Energéticos e Aproveitamento do Gás de Aterros Sanitários" - Trabalho apresentado ao Seminário sobre Aterro Sanitário, São Paulo.

42- U.S.E.P.A., "Recovery of Landfill Gas at Moutain View - Engineering Site Study" - EPA/530/SW - 537 d, U.S.A., May 1977.

43- U.S.E.P.A., "A Case Study of the Los Angeles Country Palos Verdes Landfill Gas Development Project" - EPA-600/3-77-047, U.S.A., July, 1977.

44- CEG/COMLURB - "Objetivo do Estudo sobre Produção de Gases em Aterros Sanitários", Rio de Janeiro.

LISTA DE PESSOAS OU ENTIDADES ENVOLVIDAS EM ESTUDOS E PROJETOS DE RECUPERAÇÃO DE GÁS METANO EM ATERRO SANITÁRIO

1 - CEPIS/OPS
Kunitoshi Sakurai
Assessor Regional em Resíduos Sólidos
Casila 4337
fone: 35.4135
Lima, 100
Perú

2 - CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
Av. Professor Frederico Hermann Junior, nº 345
(011) 210.1100
05459 - São Paulo - Capital
Brasil

3 - CEG - Companhia Municipal de Gás
Engº Químico Carlos Alberto Rodrigues
Rua São Cristovão, 1200
(021) 234.3365
20.940 - Rio de Janeiro - RJ
Brasil

4 - COMGÁS - Companhia de Gás de São Paulo
Ieda Correa Gomes - Engenheira da Superintendência de Planejamento da COMGÁS
Rua Augusta, 1.600 - 8º andar
01304 - São Paulo - Capital
BRASIL

5 - COSIPA - Companhia Siderúrgiga Paulista
José Raymundo Leal Machado - Assessor da Diretoria de Desenvolvimento
Av. São João, 473, 7º andar - cj. 710
fone: 223.8844 - ramal 488
01035 - São Paulo - Capital
Brasil

6 - COMLURB - Companhia Municipal de Limpeza Urbana
Álvaro Luiz G. Cantanhede - Chefe do Centro de Pesquisa Aplicada
Rua Carlos Seidl, 1.388
fone: (021) 228.0777
20.511 - Rio de Janeiro - RJ
Brasil

7 - EMC - Erlich & Meirelles Consultores Ltda.
Pierre Jacques Erlich
Av. Paulista, 2006 - 12º andar cj. 1216
01310 - São Paulo - Capital
Brasil

8 - ENTERPA S.A. - Engenharia
Wilson Elias - Superintendente de Obras
Av. Presidente Giovanni Grinchi, 7007
05724 - São Paulo - Capital
Brasil

9 - Heleno & Fonseca Construtécnica S.A.
Cid D'Angelo - Coordenador de Obras
Rua Santa Rosa Junior, 283
fone: (011) 211.3322
05579 - São Paulo - Capital
Brasil

10 - Hicsan Ltda. - Engenheiros Consultores
Werner Eugênio Zulauf
Rua Canário, 796
04521 - São Paulo - Capital
Brasil

11 - ITINTEC - Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas
Javier Verástegui Lazo
Jefe del Proyecto Biogás
División de Energía, Dirección de Tecnología
Jr. Morelli 2da. Cdra., Esq. Av. Las Artes
fone: 40-1040
San Borja - Lima 34
Perú

12 - Sidney Benedito Henrique Pinto
Consultor
Rua Elisa Silveira, 303
04152 - São Paulo - Capital
Brasil

13 - Prefeitura Municipal de São Paulo
a. Flávio Cezar Mellone - Diretor de Divisão Técnica
Rua Azurita, 100
fone: (011) 229.6955
03034 - São Paulo - Capital
Brasil

b. Rinaldi
(sem endereço)

14 - Universidade do Chile
José Arellano Vaganay
Investigador da Universidade do Chile
Blanco Encalada, 2140 - 4º Piso
fone: 94.171
Santiago - Chile

Este trabajo ha sido elaborado por la Superintendencia de Estudios de Residuos Sólidos y la Gerencia de Residuos Sólidos Domésticos de la Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB).

Equipo técnico

Ing. Maria Helena de Andrade Orth - Coordinación

Ing. Angela de Campos Machado Najm

Ing. Helio Narchi

Ing. Luiz Augusto Ramos Stellin

Tecnólogo João Antonio Fuzaro

Ing. Maria Cecilia Pires

Ing. Maria Lais Guzzo Leão

Colaboradores

Ieda Correia Gomes - Ingeniera de COMGAS

Max Veit - Ingeniero Consultor

Revisor técnico

Werner Eugenio Zulauf - Ingeniero Consultor

Data quis.:
Indic.: Sup. Res. Sólidos
Livraria: doação
Preço: Cr$ 1,00
Data Tomba: 2.1.84