



ProteGEER

COOPERAÇÃO PARA A PROTEÇÃO DO CLIMA
NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS



Aproveitamento energético do biogás de aterros sanitários de RSU

José Fernando Thomé Jucá
Universidade Federal de Pernambuco

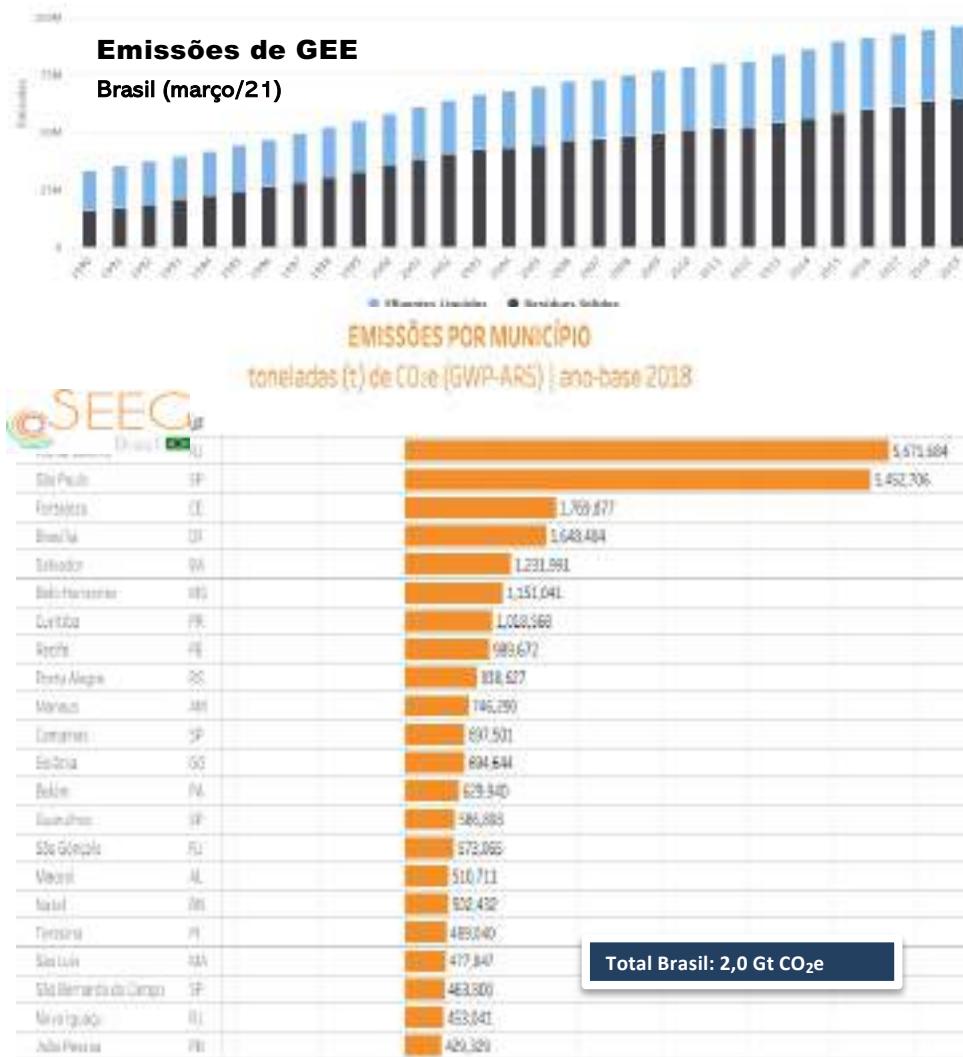
01Out21



Conteúdo:

- Contexto internacional e nacional
- Legislação & Editais
- Conceitos sobre geração, emissões e aproveitamento
- Ensaios de campo e laboratório
- Modelos de previsão
- Exemplos de unidades instaladas no Brasil

Contexto Internacional do Setor



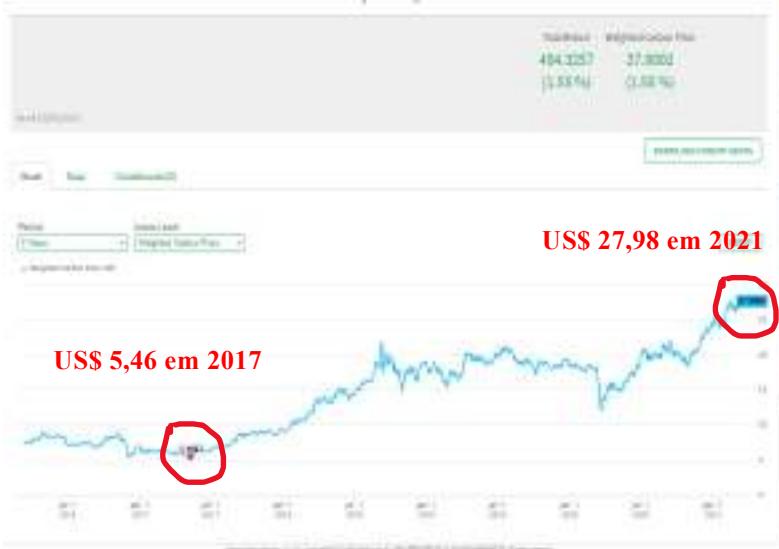
SEEG - Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa



Política Internacional para o Clima



IHS Markit Global Carbon Index (USD)



Cúpula do clima: EUA surpreendem com metas de cortes de emissão ambiciosas

22 abril 2021



ROBERT ALEXANDER

A Casa Branca confirma que os EUA terão como objetivo reduzir as emissões de carbono em 50-52%, no dia em que líderes mundiais se reúnem para uma cúpula virtual.

Os Estados Unidos anunciaram nesta quinta-feira (22/04) um compromisso para cortar as emissões de carbono em 50-52% abaixo dos níveis de 2005 até o final desta década.



Como a "turma da Greta" colocou o governo alemão na parede por metas climáticas mais ambiciosas

Jovens ativistas do clima colocam o Partido Verde como possível vitorioso nas eleições nacionais em setembro e adiantam as metas de neutralidade climática da Alemanha para 2045

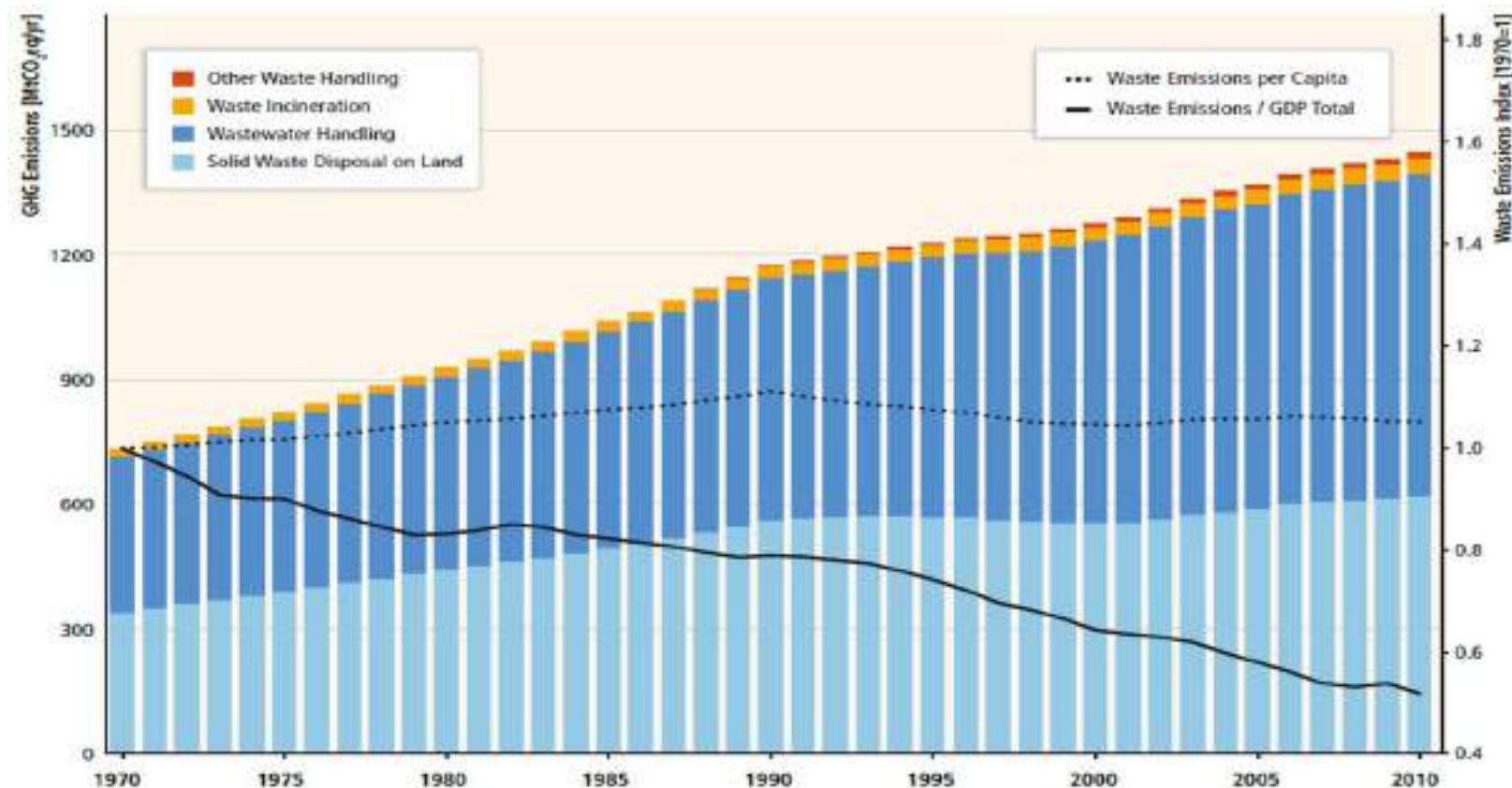
06/05/2021 11h30 - Atualizado há 3 dias



O governo Merkel, através de seu Ministro das Finanças Olaf Scholz (sim, o Paulo Guedes alemão) anunciou ontem, 5 de maio, que a Alemanha reduzirá suas **emissões de gases de efeito estufa** em 65% até 2030 e o país será **carbono neutro** em 2045. As novas metas climáticas

General remarks landfill gas (LFG) in Germany

Global waste emissions Mt CO₂eq / year per GDP and capita referred to 1970 values



- Up to 12% of total GHG emissions in developing countries and emerging markets
- Up to 50% of this GHG emissions originate from LFG

Source: IPCC, 2014



September 2, 2021 Online Webinar

Presenter: Heijo Scharff

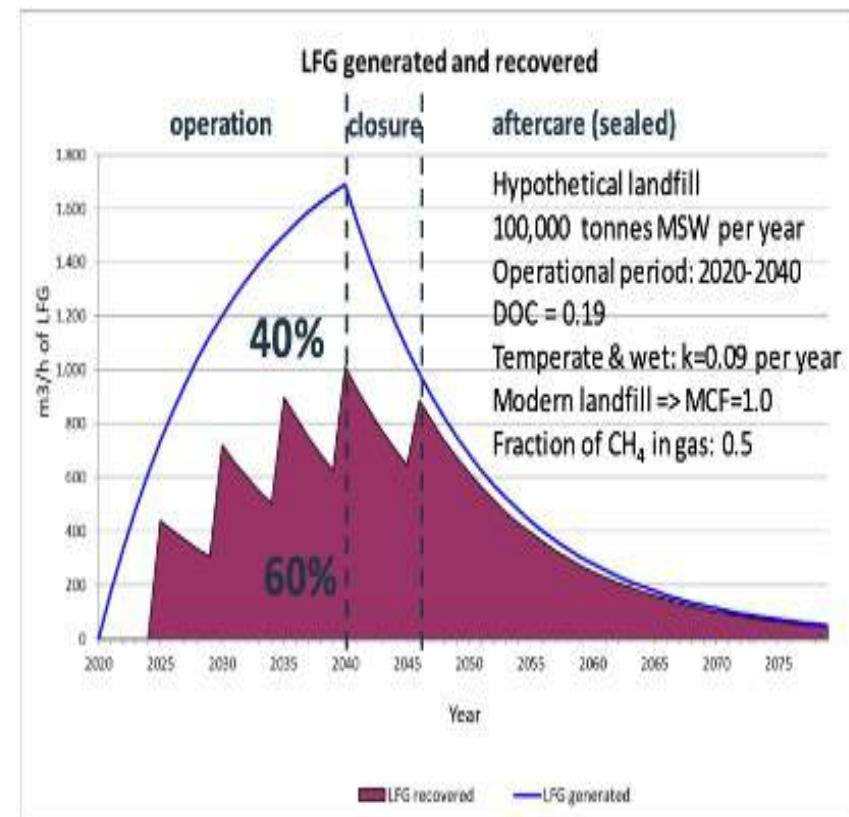
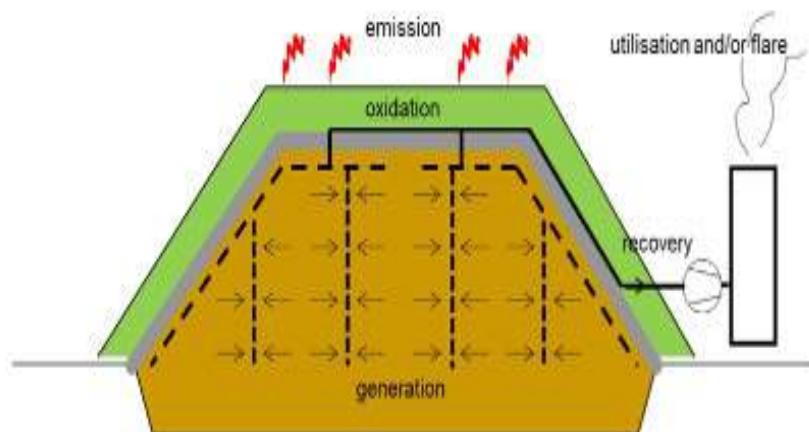
The Impact of Management Choices on Landfill Methane Emissions: Introduction



Introduction to the WGL initiative: approach

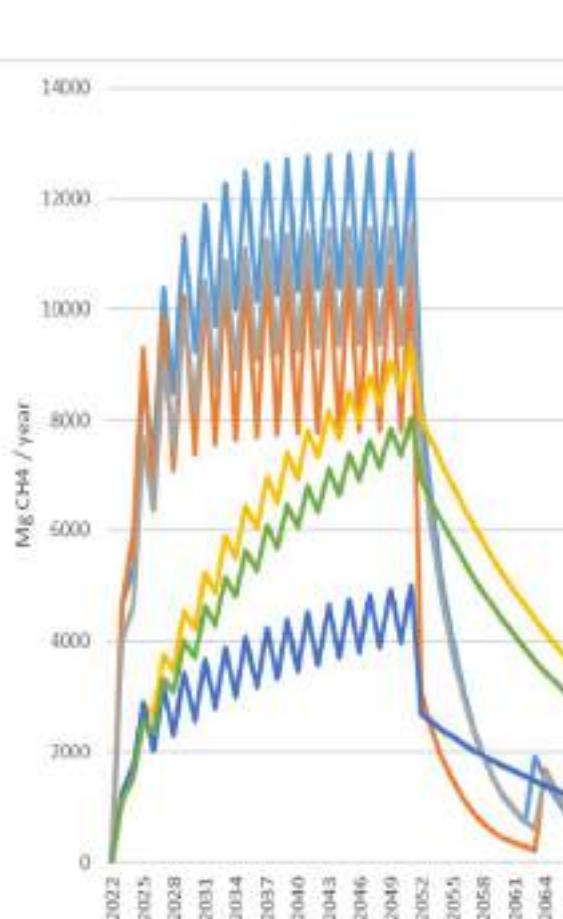
A literature review is a challenge. Operational conditions are usually poorly described and make comparison difficult.

Therefore it was decided to design plausible scenarios for each continent and illustrate the GHG impact of realistic management choices for these continents by means of modelling.



We used a single phase model: for all parameters weighted averages were calculated with IPCC default values.

Comparison of GHG Emission South America Scenarios



Compared to the baseline scenario (#1 & #4):

- Using a surface sealing in landfill provides a 21% methane emission reduction (#2) and 49% (#5)
- Reducing DOC/input (from 52% of MSW to 48%) provides a 10% methane emission reduction (#3) and 9% (#6)
- To achieve a percentage reduction in the level reached using surface sealing, a greater reduction in the organic fraction disposed in the landfill is necessary
- Energy recovery reduces the overall GHG impact of the landfill in all scenarios ; the maximum reached in scenario #5 (6.3%)

Scenario acronym	South America 1 Tropical Wet Current	South America 2 Tropical Wet, Surface Sealing	South America 3 Tropical Wet, Reduce DOC	South America 4 Tropical Dry Current	South America 5 Tropical Dry, Surface Sealing	South America 6 Tropical Dry, Reduce DOC
CH4 emitted [MgCO ₂ eq]	9.838.688	7.762.437	8.832.131	9.134.643	4.655.709	8.324.513
kg CH4/tonne waste	23,43	18,48	21,0	21,7	11,1	19,8
% of emission	38,1%	30,0%	37,6%	35,6%	18,1%	35,7%
fossil fuel [MgCO ₂ eq]	1.287.864	1.331.894	1.012.679	1.221.820	1.603.409	1.111.746
% of scenario generation	5,0%	5,2%	4,3%	4,8%	6,3%	4,8%
overall emission [MgCO ₂ eq]	11.126.552	9.094.331	9.844.810	10.356.463	6.259.118	9.436.259

— South America 1 Tropical Wet Current
— South America 2 Tropical Wet, Surface Sealing
— South America 3 Tropical Wet, Reduce DOC
— South America 4 Tropical Dry Current
— South America 5 Tropical Dry, Surface Sealing
— South America 6 Tropical Dry, Reduce DOC

Contaminação do ar



Cenário de Emissões Destinação Final



Cobertura de coleta 90,8 %

Coleta
não-diferenciada

Coleta
Diferenciada

17,2%

LIXÃO

2.228.831
tCO₂

24,1%

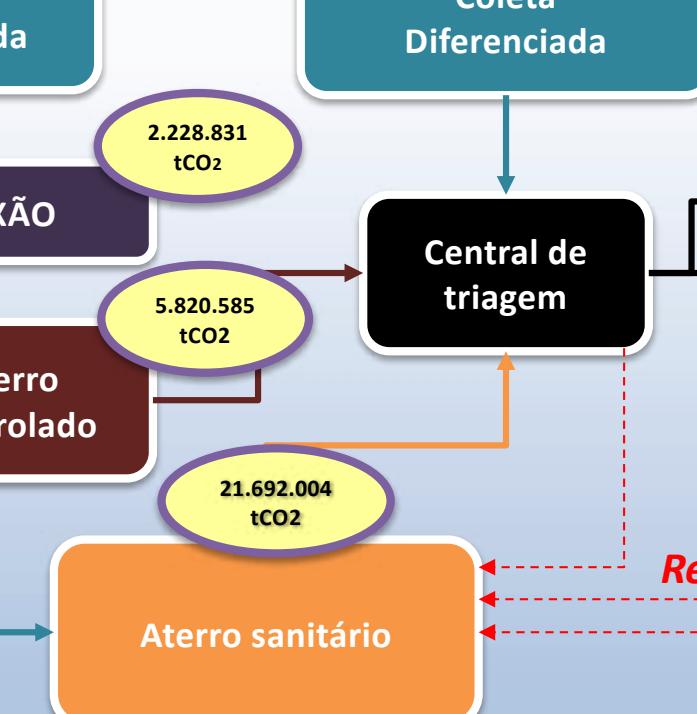
Aterro
Controlado

5.820.585
tCO₂

58,7%

Aterro sanitário

21.692.004
tCO₂



Média anual das
Emissões de GEE
pela disposição
dos resíduos:
29.741.420 tCO₂e

Resíduos do tratamento

Fonte: CETESB, 2019

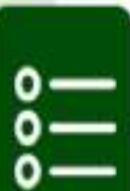
USA Greenhouse Gas Emissions from MSW (136.6 TgCO2E)

- Landfills (117.5)
 - Methane generation at sites
 - Minus energy, flaring, oxidation
- Composting (3.5)
 - Methane + nitrous oxide
- Waste-to-Energy (12.7)
 - Nitrous oxide + carbon dioxide
- Trucks/processing/recycling (2.9)

BIOGAS DATA



DOWNLOAD: Nota técnica - Panorama do biogás no Brasil em 2020



APRESENTAÇÃO



PANORAMA BRASILEIRO: Disposição das plantas biogás no território nacional com informações a nível municipal



FONTES DE SUBSTRATOS E APLICAÇÕES: Aqui podem ser consultadas informações relacionadas as principais fontes de substratos utilizadas no Brasil (Agropecuária, Indústria e Saneamento) e as aplicações energéticas do biogás.



EVOLUÇÃO DO SETOR: Nesta aba você pode acompanhar a evolução anual no número de plantas em operação

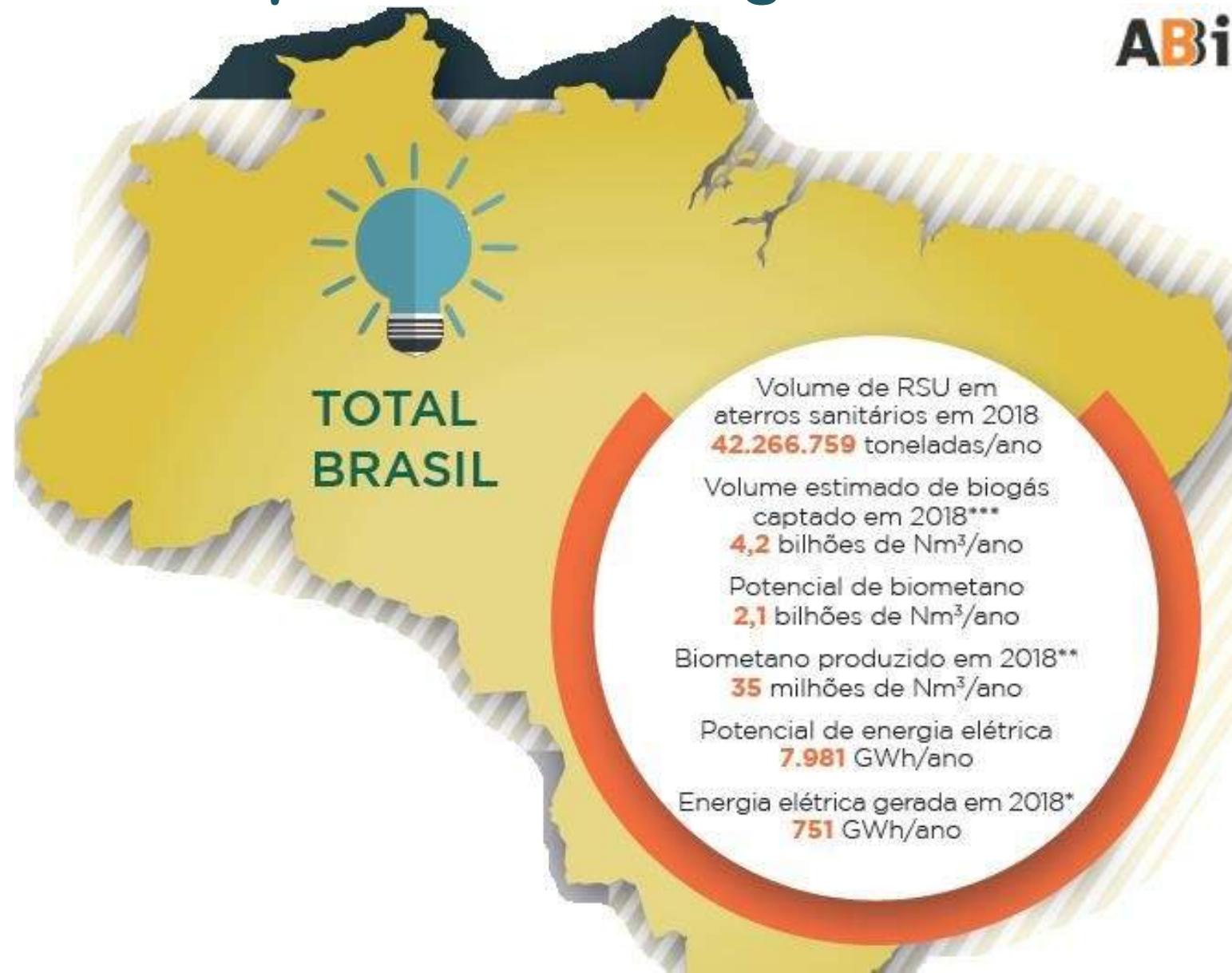
Geração de RSU e potencial de produção de biogás

ABiogás



RSU em aterros sanitários e o potencial perdido em biogás

ABiogás



RSU em aterros sanitários e o potencial perdido em biogás



Em 2018, a maioria dos aterros sanitários brasileiros queimou a céu aberto (flaring) o biogás captado. O país deixou de gerar 7.230 GWh de eletricidade que poderiam ter fornecido energia renovável para quase 24 milhões de residências ou produzido biometano suficiente para substituir mais de 2 milhões de litros de diesel.

Títulos e Objetivos do Projeto

Tema prioritário 1.3 da Chamada Pública: SANEAMENTO AMBIENTAL E HABITAÇÃO.

Convênio: 01.13.0092.00

Título do projeto: Desenvolvimento de Soluções Tecnológicas a partir do Biogás Produzido em Sistema de Tratamento de Esgotos e Aterros Sanitários para Geração de Energia Elétrica.

Objetivo geral do projeto: O objetivo geral da Rede de Biogás é estudar processos que otimizem a produção de biogás e o seu posterior aproveitamento como fonte de energia elétrica, proporcionando a integração entre os pesquisadores de diferentes instituições, com consequente troca de experiências, promovendo a capacitação continuada das instituições e estimulando o desenvolvimento de parcerias. A rede compromete-se a desenvolver soluções tecnológicas a partir de biogás de sistemas de tratamento de esgotos e aterros sanitários, visando a geração distribuída de energia de forma a atender os requisitos exigidos pelas concessionárias de energia elétrica.

Instituição convenente: FADE/UFPE

Instituições executoras: UFPE, UFCG, UFC, UFMS, UFES, UFRJ, UNIOESTE, ITAI, UFSC.

Recursos aprovados:

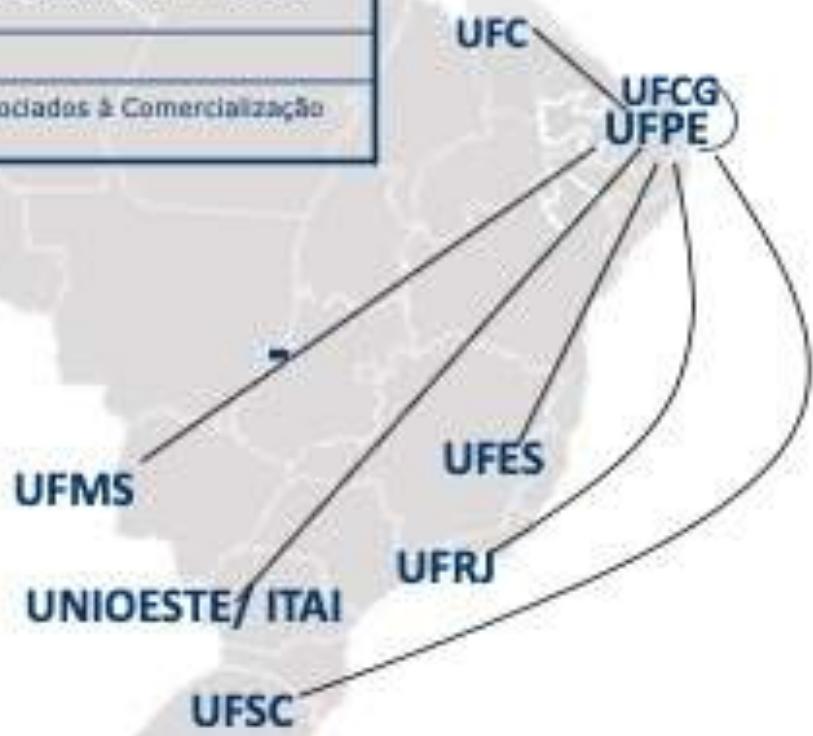
Despesas de capital e custeio – **R\$ 4.521.775,65**

Bolsas CNPq – **R\$1.756.400,00** (64 bolsas de desenvolvimento tecnológico)

Total – **R\$ 6.278.175,65**

2. Contextualização do Projeto

Subprojeto	Titulo
1	GERE - Gestão da Rede
2	PROBIO-AT - Otimização da Produção de Biogás em Aterros
3	PROBIO-EG - Otimização da Produção de Biogás em Estação de Tratamento de Esgoto
4	PURIBIOGÁS - Processos de Purificação e Armazenamento de Biogás
5	SIGEREEL - Caracterização dos Diferentes Sistemas de Geração de Energia Elétrica
6	GERDISTE - Sistema de Proteção e Controle Associados a Conexão na Rede de Distribuição
7	VIABILII - Análise da Viabilidade Econômica
8	REGULA-GD - Aspectos Regulatórios e Normativos Associados à Comercialização de Energia



Camada de Cobertura -UFC



Planta Piloto Biogás - UFPE



Crescimento Continuo Biomassa Algaea -UFES



odigestão de lodo de esgoto com resíduos
urbanos e industriais visando ao aumento
da produção de metano - UFRJ



Biodigestor fluxo contínuo – UNIOESTE



GEE para a extração de biogás.



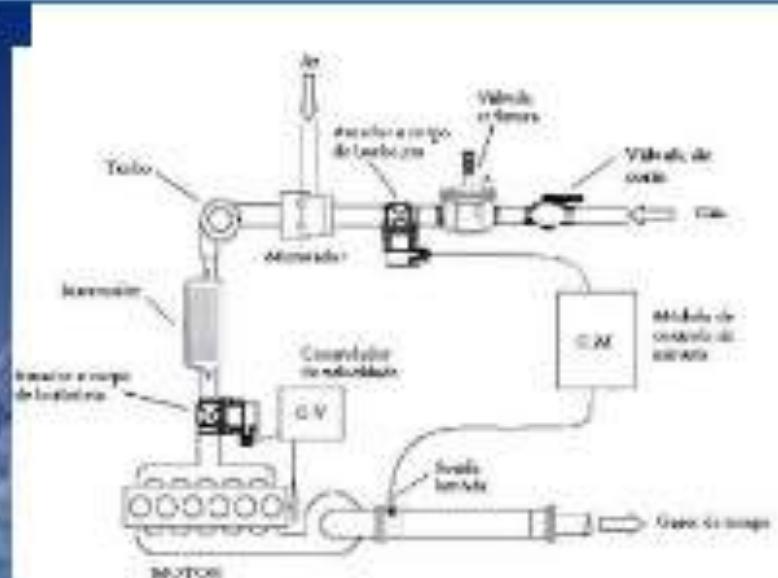
CAPTAÇÃO DO BIOGÁS- UFSC



Drone na tubulação de biogás.

Avaliação de motor gerador a biogás de 100 kVA - UNIOESTE

E
UNIOESTE



Laboratório de Modelagem e Simulação de Sistemas Elétricos - UFMS



Emulador para Microturbina - UNIOESTE

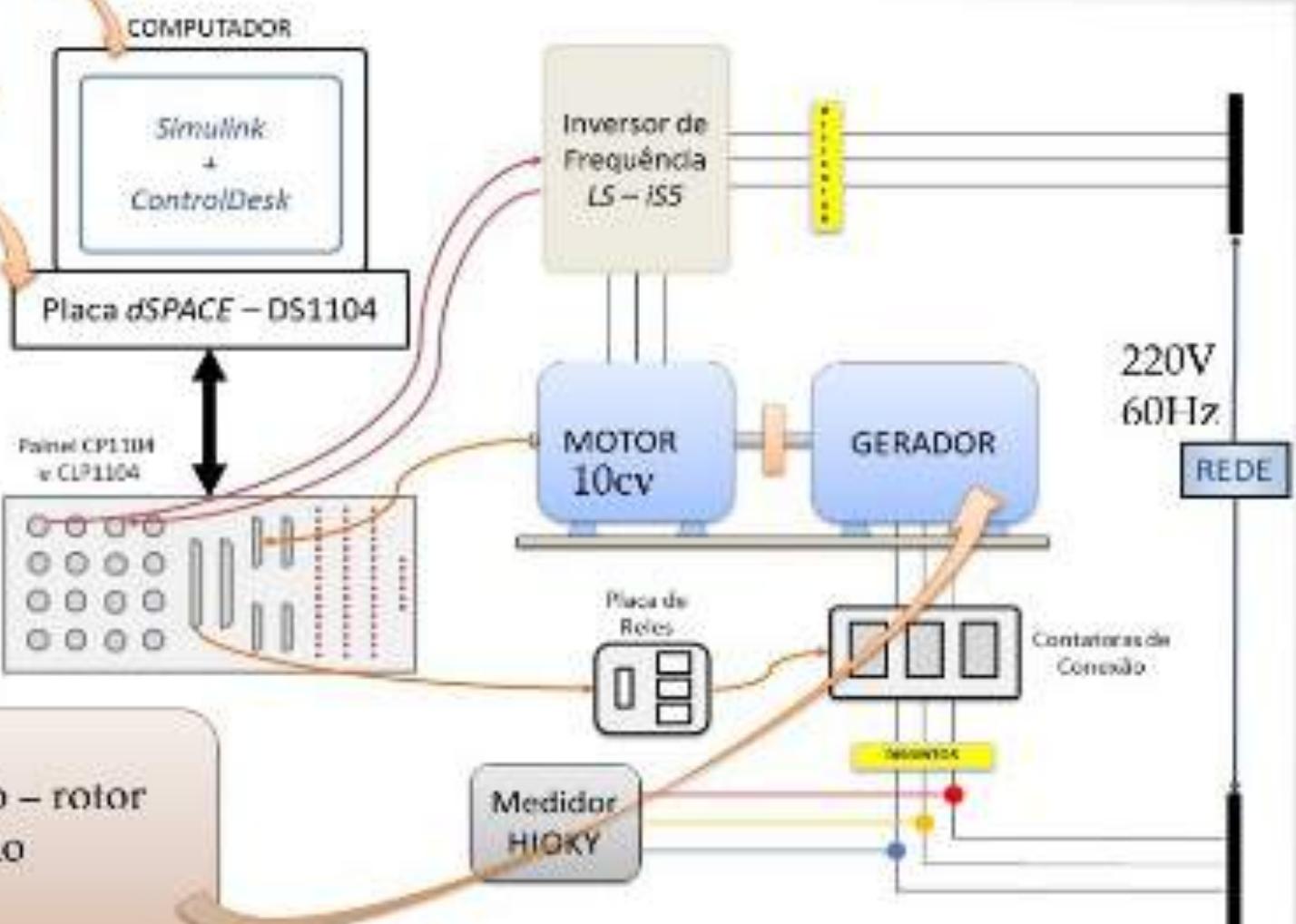
Desenvolvimento

Supervisão

Simulação

Controle

Gerador assíncrono – rotor
em gaiola de esquilo



Comercialização de energia – Leilões

Levantamento realizado pela UNIOESTE



Livro Rede Biogás

Capítulos	Conteúdo
Capítulo 1	Apresentação, introdução e conclusão
Capítulo 2	Biodigestão de Resíduos e Geração de Biogás
Capítulo 3	Aproveitamento energético do biogás em aterros sanitários
Capítulo 4	Tecnologia de tratamento, concepção da ETE e a geração e o uso do biogás
Capítulo 5	Purificação e Enriquecimento de Biogás
Capítulo 6	Geração de energia elétrica utilizando biogás oriundo de resíduos sólidos e líquidos urbanos
Capítulo 7	Regulação e Análise Econômica da Geração de Energia Elétrica em ETE e AS

Produção Acadêmica

Pós-doutorado	4
Tese	15
Dissertação	32
Relatórios Iniciação Científica	35
Trabalho de conclusão de curso	15
Congressos	58
Resumos publicados em anais de congressos	20
Periódicos	84
Apresentação de trabalhos	20
Patentes	2



ProteGEer

COOPERAÇÃO PARA A PROTEÇÃO DO CLIMA
NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS



Legislação & Editais

Aspectos Regulatórios e Normativos associados a comercialização
de energia elétrica produzida por Geração Distribuída

Arcabouço legal e regulatório

- Decreto no 5.163/2004 que dispõe sobre a Geração Distribuída e a Resolução ANEEL no 482/2012, complementada pela Resolução ANEEL no 687/2015, estabelecem as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída de energia elétrica e para o sistema de compensação de energia elétrica.
- Lei no 12.187/2009, que instituiu a Política Nacional de Mudanças Climáticas, trata da produção e uso de biogás e biometano, que visam reduzir emissões de gases de efeito estufas;
- Lei no 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), dedica um capítulo inteiro a esta temática;
- Lei no 13.576/2017 instituiu a Política Nacional de Biocombustíveis (Renovabio), que foi regulamentada pelo Decreto Federal no 9.308 de 15 de março de 2018. Esta política define a estratégia para o aumento da produção de biocombustíveis e, assim, aumentar a sua participação na matriz energética brasileira.
- RenovaBio: Biocombustíveis2030 – Nota Técnica 3: Novos Biocombustíveis, EPE Empresa de Pesquisas Energética, Ministério de Minas e Energia, EPE-DPG-SGB-Bios-NT-03-2017-r0 em Fevereiro de 2017.
- ANP publicou a Resolução 685/2017, sobre biometano oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto destinado ao uso veicular e às instalações residenciais, industriais e comerciais a ser comercializado em todo o território nacional
- NT DEA 019/2018 Estudo sobre a Economicidade do Aproveitamento dos Resíduos Sólidos Urbanos em Aterro para Produção de Biometano - EPE Empresa de Pesquisas Energética, Ministério de Minas e Energia N° EPE- NT-019/2018-r0
- No âmbito dos Estados, São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Paraná, Rio Grande do Sul, Bahia, Goiás possuem políticas de mudanças climáticas que indiretamente estimulam a produção e uso de biogás e biometano
- Normas Técnicas e Legislações (ANEEL, MME, MMA, MCidades, EPA, EC, WB).

As primeiras versões da Resolução:

2012 – lançamento da REN nº 482

- **Geração própria de energia a partir de fontes renováveis;**
- **Fornecimento do excedente de energia para a rede local;**
- **Adiamento de investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição;**
- **Redução no carregamento das redes e minimização das perdas**
- **Diversificação da matriz energética.**
- **Incentivo à economia circular e bioeconomia;**

2015 – Revisão da REN nº 482 – Ren nº 687:

- **Redução de custos e tempo para conexão ;**
- **Aumento do público alvo;**
- **Tempo para a conexão da micro e minigeração;**
- **Compatibilidade com o Sistema de Compensação Energética Elétrica;**
- **Uso de qualquer fonte renovável além da cogeração qualificada e dos benefícios créditos;**
- **Instalação da GD em condomínios;**
- **Geração compartilhada;**
- **Instituição de formulários padrão para realização da solicitação de acesso pelo consumidor e o prazo de conexão das usinas pelas distribuidoras;**

2021 – Aperfeiçoamento da Resolução nº482:

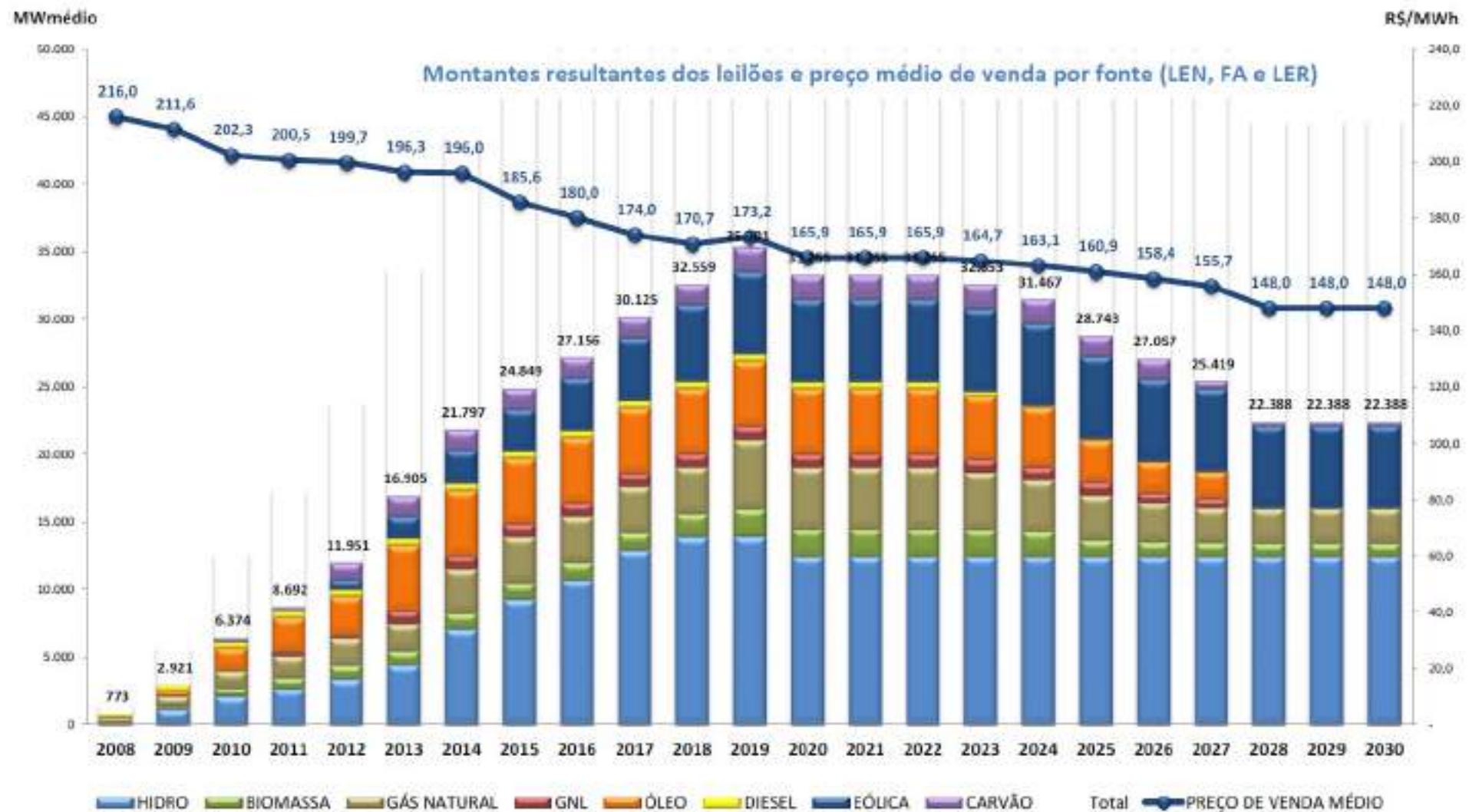
Diante das propostas apresentadas pela ANEEL em fevereiro de 2020 para as novas regras da Mini e Micro geração Distribuída, o CIBiogás como parte da gama de envolvidos e fornecedores de estratégias para o impulsionar o setor, apresenta um documento com posicionamento sobre o tema e divulga as suas contribuições elaboradas em conjunto em um Grupo de Trabalho (GT).

Consumidores & Comercialização

- **Consumidores livres: potência $\geq 3000 \text{ kW (3 MW)}$ e consumo com tensão $\geq 69\text{kV}$.**
- **25% do mercado de energia.**
- **Os consumidores com potência $\geq 500 \text{ kW}$, poder negociar fontes incentivadas (FI).**
- **Fis: PCHs, Biomassa, eólicas, cogeração qualificada.**
- **A comercialização de energia deve atender a Lei 10.848, de marco de 2004;**
- **A qual estabelece um mercado competitivo, leilões e dois ambientes de comercialização de energia:**
- **O ambiente de contratação regulada (ECR);**
- **O ambiente de contratação livre (ACL).**

Comercialização de energia

Leilões



Análise dos cenários frente a comercialização de energia

- Energia do Biogás:
- RN 482/2012 – Compensação

Resolução Aneel nº 1.897 de 16 de junho de 2015:

Tarifa convencional de energia: R\$ 0,42911 por kWh incluindo os impostos ou US\$ 0,107 por kWh (dólar em fev. 2016 a R\$ 4,00).

- Venda de Energia em Leilões

3º Leilão de Fontes Alternativas - 27 de abril de 2015

Usinas de biomassa: R\$ 209,91 por MWh ou US\$ 52,48 por MWh - US\$ 0,052 por kWh (dólar a R\$ 4,00).

Geração distribuída

Cenário atual da geração distribuída no Brasil:

- Quantidade de GDs: 402.329
- Quantidade de UCs que recebem créditos: 512.422
- Potência Instalada (kW): 4.938.716,51



Figura 2 – Quantidade de conexões anuais na GD.

Fonte: Aneel (2021).

Efetividade da 482/2012 – Aterros Sanitários

A melhor opção para potências até 5000 kW é a compensação, provando a efetividade da 482/2012.

População	Eficiência (%)	IRB (%)	Potência (kW)	VPL (US\$)	Payback (Anos)	TIR (%)
Compensação de energia						
2.000.000	25	50	1.241,31	3.110.636,49	4	35
		70	1.737,83	4.644.488,64	4	37
		100	2.482,61	7.045.870,66	4	40
4.000.000	25	50	2.482,61	7.045.870,66	4	40
		70	3.475,66	10.372.658,29	3	43
		100	4.965,23	15.539.549,86	3	47
Comercialização nos ambientes de ACR e ACL						
2.000.000	25	50	1.241,31	-376.555,11	-	11
		70	1.737,83	-209.357,34	-	13
		100	2.482,61	111.478,04	14	15
4.000.000	25	50	2.482,61	69.328,95	15	14
		70	3.475,66	664.203,48	12	16
		100	4.965,23	1.670.001,75	10	18

Requisitos para projetos de captação de gás de Aterros Sanitários:

- Sistema eficiente de gestão dos resíduos sólidos urbanos;
- Requer recursos financeiros significativos; os investimentos não são recuperados apenas pela receita da venda de energia. Eventualmente cobrem os custos operacionais;
- Aspectos financeiros e institucionais: taxas, financiamentos, receitas com a energia e fundos de carbono, etc.
- **Quantidade e composição de resíduos - consórcios e evolução da MO;**
- **No aterro podem existir áreas de deposição mais específicas para os resíduos orgânicos;**
- Projeto adequado: sistemas de drenagem de líquidos e gases, camadas de cobertura eficientes;
- Quadro jurídico e impactos ambientais: processos licitatórios, obrigações das partes, normas e seguranças ambientais e monitoramento;
- Recursos humanos mais qualificados;
- Uma planta de geração de energia pode cobrir apenas uma pequena parcela da energia elétrica da cidade (5%).

Possibilidades de Comercialização do Metano



Eletricidade

- Venda em Leilões
- Venda no Mercado Livre
- Autoprodução
- Geração Distribuída

Biometano

- Injeção na malha de GN
- Compressão e Venda
- Venda como GNV
- Uso GNV em frota própria

Icon made by Vectors Market from www.flaticon.com



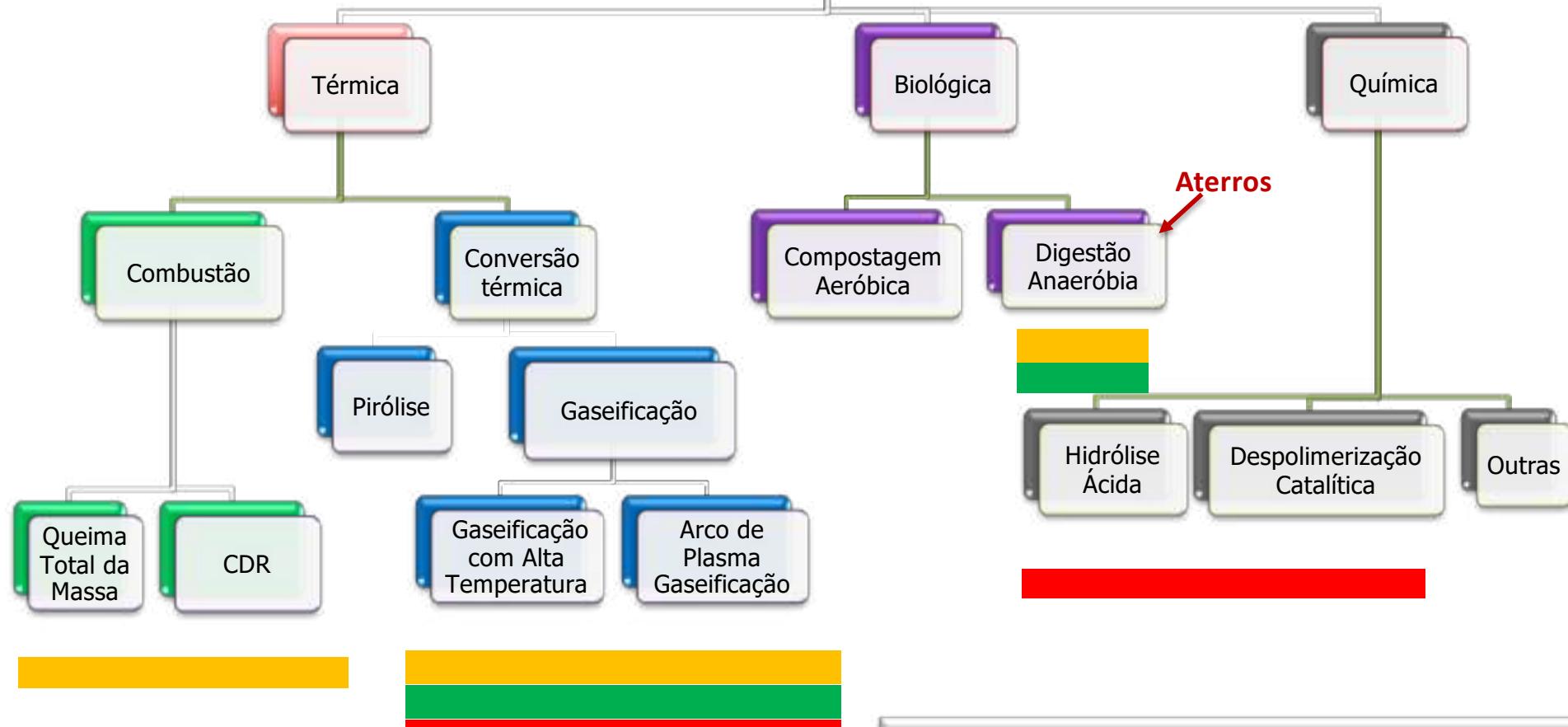
ProteGEER

COOPERAÇÃO PARA A PROTEÇÃO DO CLIMA
NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS



*Conceitos sobre geração, emissões, perdas e
aproveitamento energético*

Tecnologias para processamento de RSU com recuperação energética

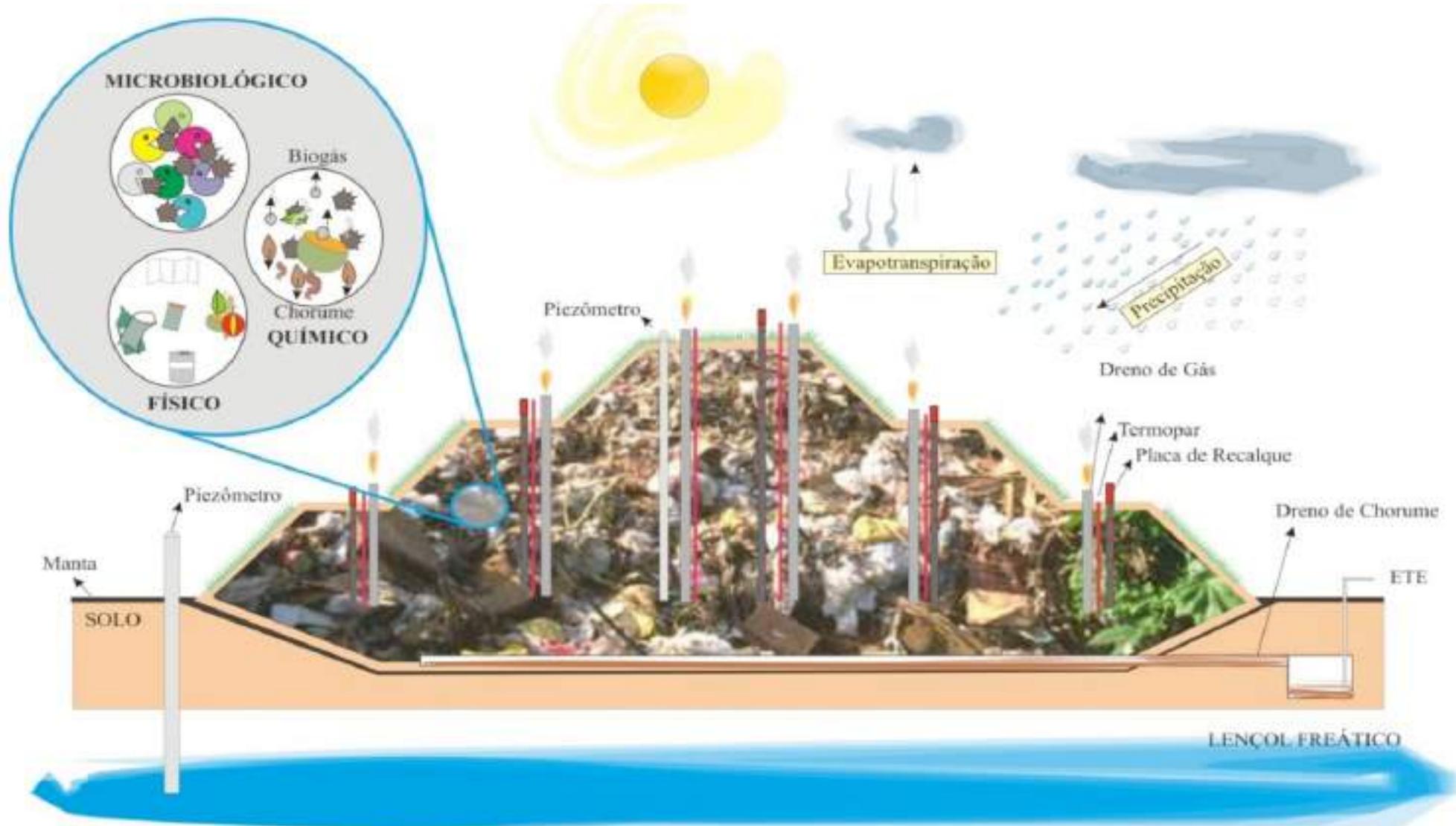


Recuperação de Energia

- Recuperação de energia convertida em eletricidade
- Gás combustível (syngas, biogás)
- Combustível Líquido

ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

SISTEMA DINÂMICO COMPLEXO QUE ENVOLVE REAÇÕES FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICAS, SOB A INFLUÊNCIA DE AGENTES NATURAIS (CLIMA E MICRORGANISMOS)

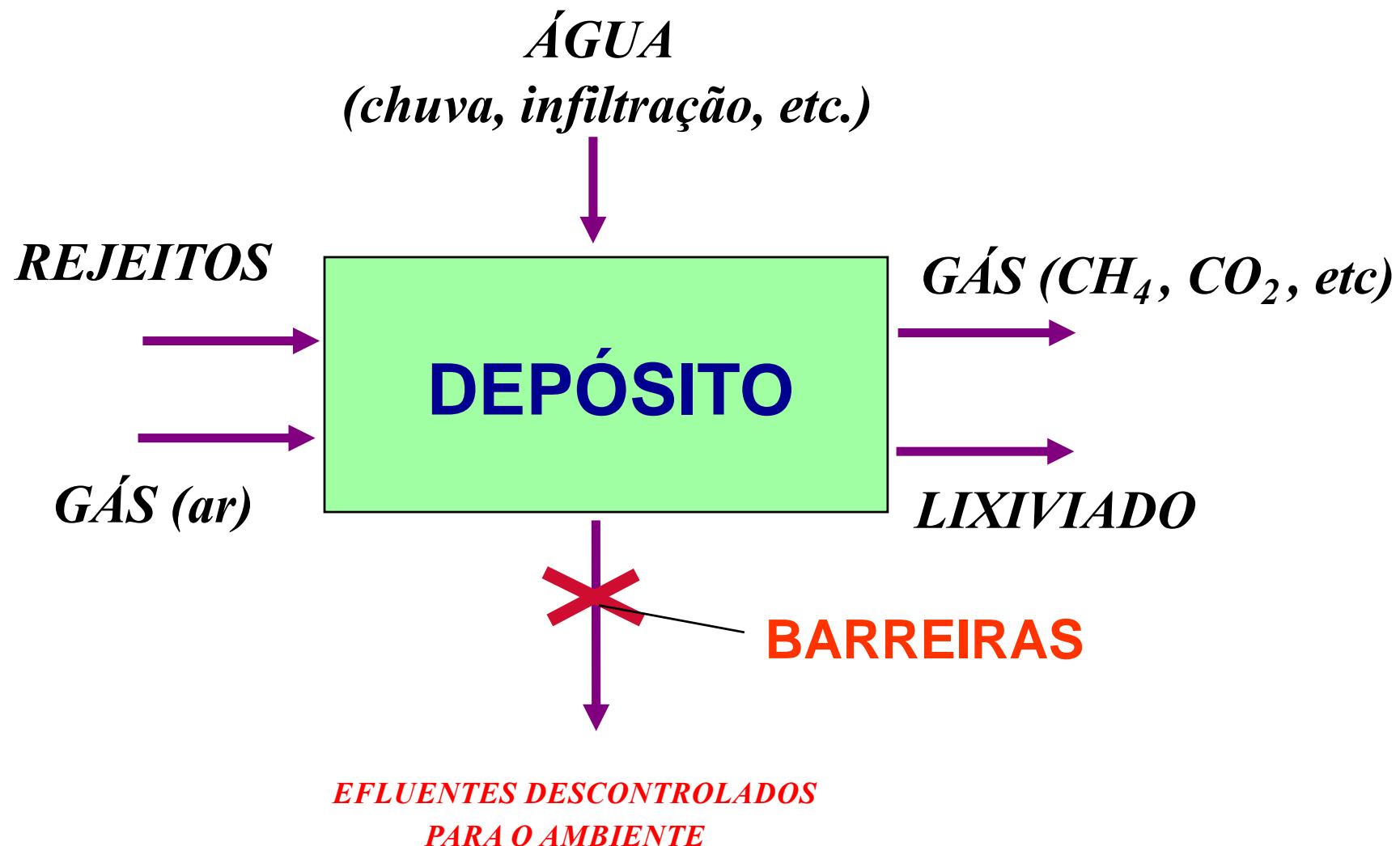


Aproveitamento energético por biogás em aterros de resíduos sólidos urbanos



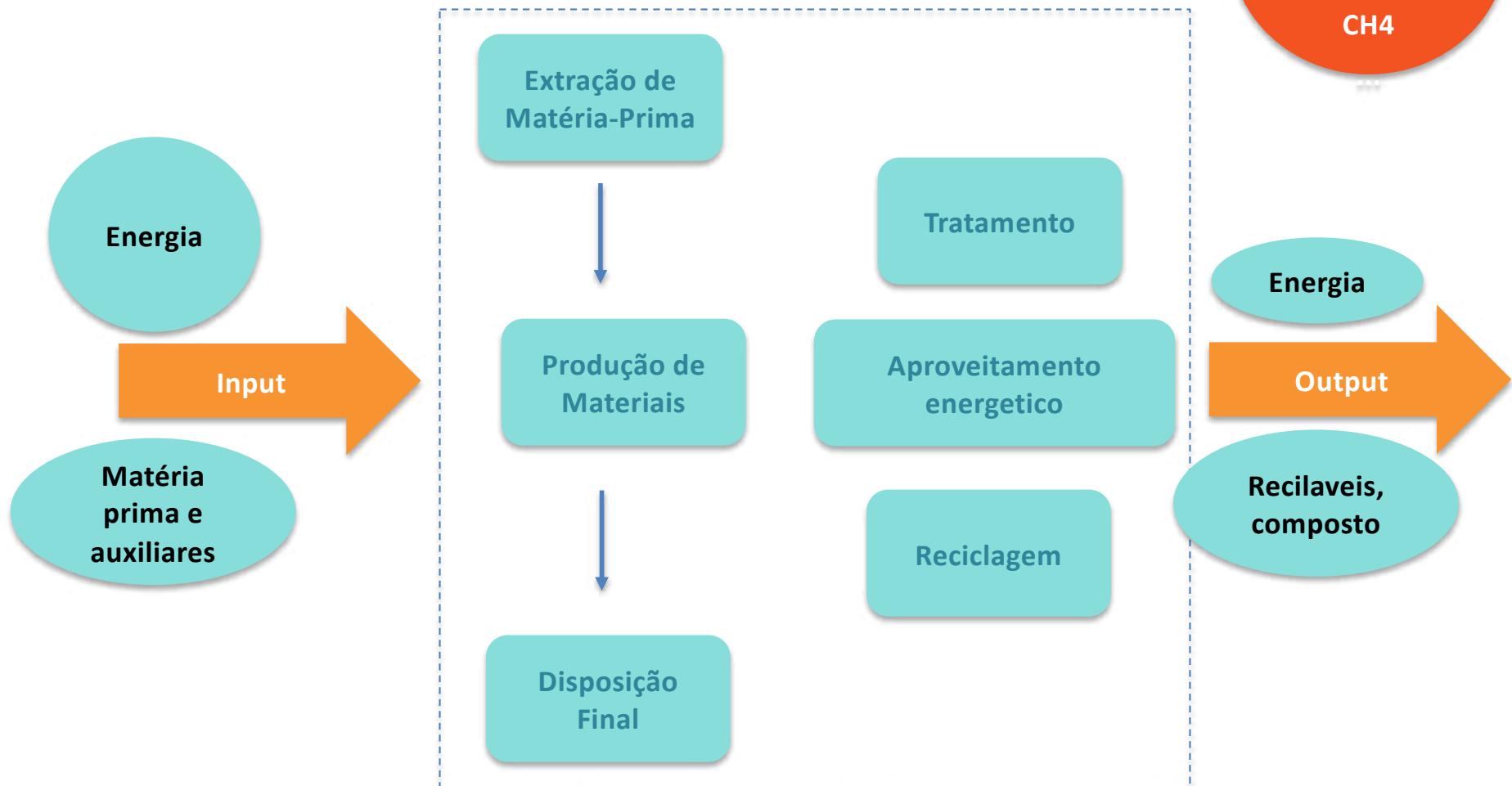
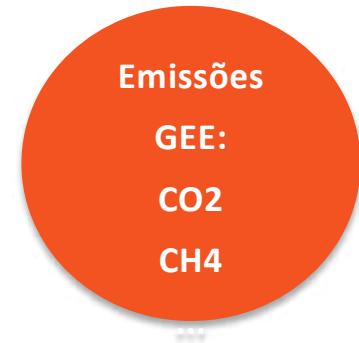
RSU	Poder calorífico do RSU	kJ/kg	8.374	Rendimento Médio por Tecnologia
	Poder calorífico	Kcal/kg	2.000	
	Umidade média (P = 1000 a 1500mm)	%	35	
	Fração orgânica biodegradável	%	30	
	Fração de plásticos	%	15	
	Aterro Sanitário de RSU			
Aterro Sanitário	Produção de biogás	m ³ /t	185	
	Composição média do biogás			
	CH4	%vol	58	
	CO2	%vol	42	
	Poder calorífico biogás	kJ/m ³	20.650	
		Kcal/m ³	4.932	
	Densidade do biogás (sêco)	kg/m ³	1,246	
	Rendimento da captação do biogás	%	50	
	Rendimento energético neto	%	24	
			15-30 %	

Aterro sanitário como um bioreactor

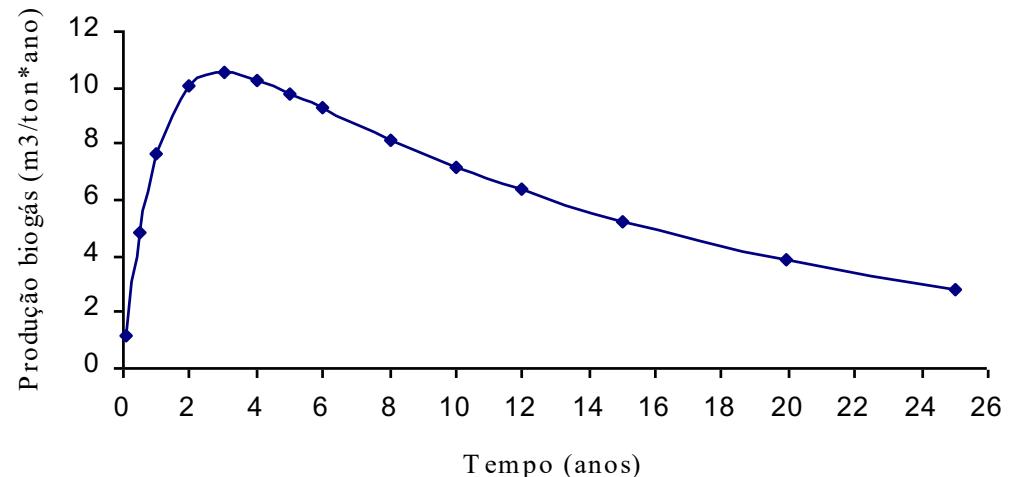
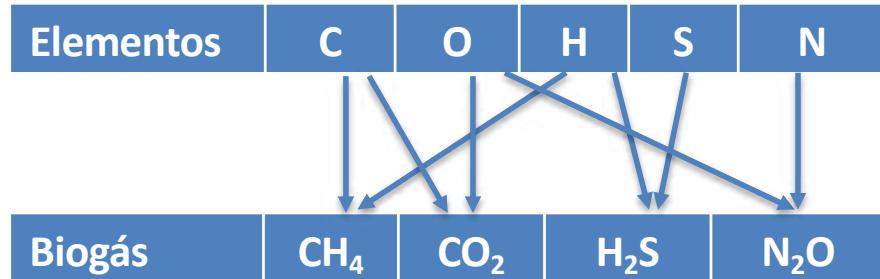


Análise do Ciclo de Vida (ACV)

A ACV examina todas as *emissões causadas* e *emissões evitadas* pelo tratamento e aproveitamento de uma certa quantidade de resíduos



Aspectos quantitativos e qualitativos da produção



Composição do biogás

Metano (CH₄).....	45-55%
Dióxido de Carbono (CO₂).....	35-50%
Nitrogênio (N₂).....	0-10%
Oxigênio (O₂).....	0-4%
Vapor de água (H₂O).....	2-4%
Hidrogênio (H₂).....	< 0,1%
Monóxido de carbono (CO).....	< 0,1%
Gás sulfídrico (H₂S).....	< 0,01%

Emissions from LFG monitoring on

Primary compounds	Typical concentration
Methane	20 - 70 vol.-%
Carbon Dioxide	30 - 60 vol.-%
Oxygen	0 - 21 vol.-%
Nitrogen	0 - 78 vol.-%
Carbon Monoxide	0 - 3 vol.-%
Hydrogen	0 - 3 vol.-%
Moisture	saturated

Trace compound	Typical concentration
Ammonia	0 - 100 vol.-ppm
Ethen	0 - 65 vol.-ppm
Ethane	0 - 30 vol.-ppm
Acetone	0 - 100 vol.-ppm
Other hydrocarbons (without aromatics)	0 - 50 vol.-ppm each
Hydrogen sulphide*	0 - 100 vol.-ppm
Ethyl mercaptan**	0 - 120 vol.-ppm
Benzene, Toluene, Xylol**	0 - 15 vol.-ppm
Ethyl Benzene, Vinyl Chloride**	0 - 10 vol.-ppm
Halogen compound i.a. 1,1-dichloroethene, methylene chloride, carbon tetrachloride, trichloroethane, frigene**	0 - 100 vol.-ppm

*In particular cases higher.

**Resulting from chemical products in waste.

General remarks landfill gas - Global warming potential (GWP)

The assessment of the climate impact of methane (GWP)

Gas	SAR (1995)	AR4 (2007)	AR5 (2013)
Carbon dioxide	1	1	1
Methane	21	25	28
Nitrous oxide	310	298	265
CFC/HFC		< 500 to > 15000	

SAR: Second Assessment Report IPCC

AR4, AR5: Fourth (Fifth) Assessment Report IPCC

Geração de biogás:

- **Mecanismo de degradação**



Fatores que afetam a geração de gases

Composição do lixo (orgânico), umidade (40-60%), pH (6,8-7,4) e temperatura (35-45°C), impermeabilização da célula (limitar O₂), densidade, altura das camadas, sistema de drenagem de líquidos e gases, clima, etc.

Potencial de geração

1 ton de lixo com 60% fração orgânica = 150–200 m³ de biogás
Ensaios BMP

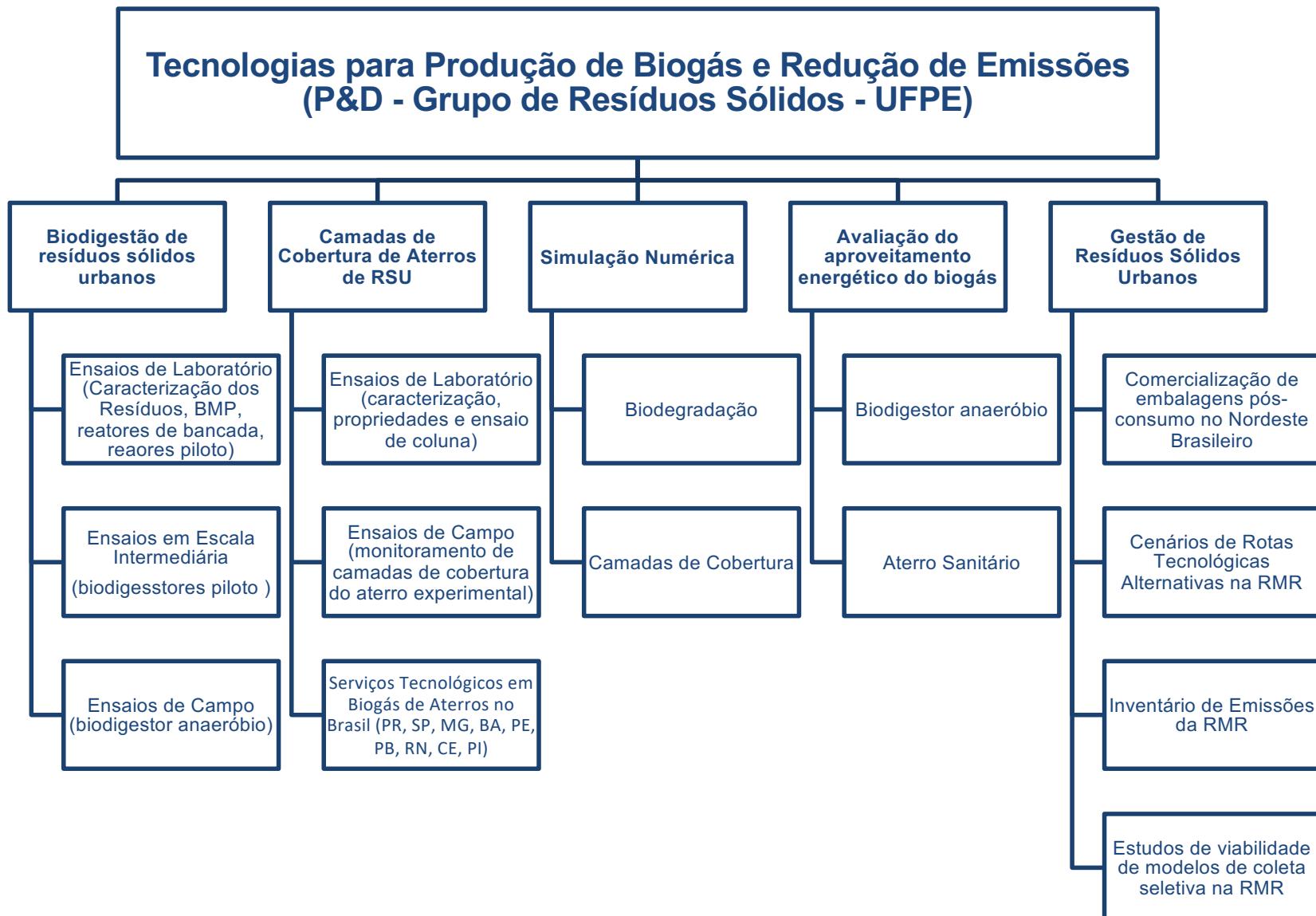


ProteGEER

COOPERAÇÃO PARA A PROTEÇÃO DO CLIMA
NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS



*Ensaios para avaliar o
Aproveitamento do Biogás*



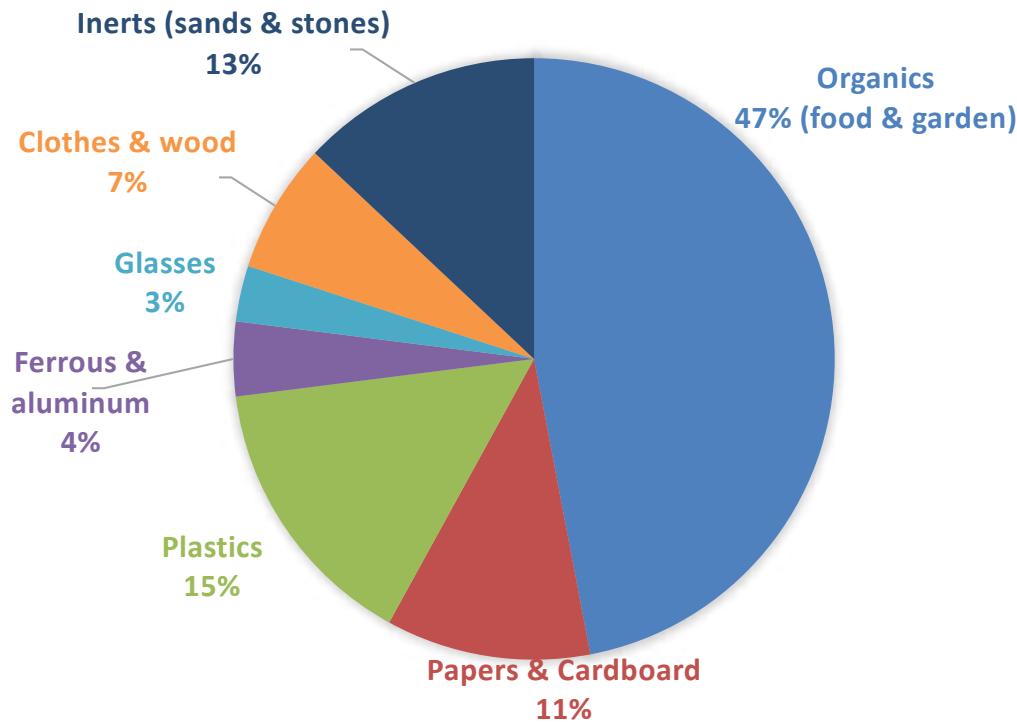
Propriedades dos Resíduos



Recicláveis + Orgânicos + Rejeitos



Composição dos RSU no Aterro Sanitário de Brasília

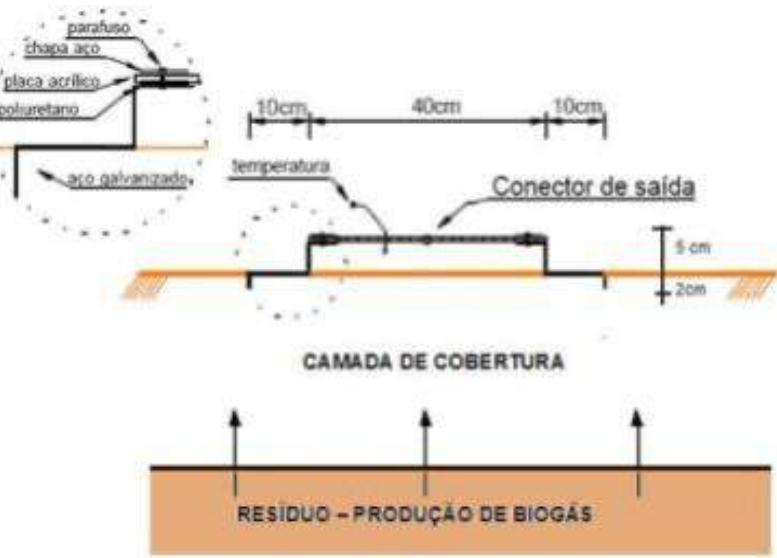


Materials	Average (%)
Organics (food and garden waste)	47
Papers & Cardboard	11
Plastics	15
Ferrous & aluminum	4
Glasses	3
Clothes & wood	7
Inerts (sands & stones)	13
TOTAL	100

Average values of 23 tests from different locations



Ensaios de placa de fluxo para avaliar emissões de GEE



Emissões de metano obtidas através dos ensaios de placa

Ponto	Emissões CH ₄	Emissões CH ₄ em massa Etapa 1*	Emissões CH ₄ em volume Etapa 1	Emissões por ano - Etapa 1 (toneladas)
1	8,57 mg/m ² .min	56,9 kg/hora	79,4 m ³ /hora	498
2	4,35	28,9	40,32	253
3	0,32	2,13	2,97	19
4	0,40	2,66	3,71	23

*Área considerada: 110.760 m²; Densidade do CH₄ = 0,717 kg/m³

Biodegradabilidade dos resíduos sólidos

urbanos
alimentares
agroindustriais



HOLANDA
(2016)



ALVES (2008)
FIRMO (2013)

Análises de condições de degradação:

- Tipos de resíduos;
- Tipos de inóculos;
- Relação Substrato/inóculo
- Controle de pH – tipos de agentes alcalinizantes
- Umidade;
- Granulometria;
- Temperatura

Potencial de Geração de Biogás

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2; \quad T = cte$$

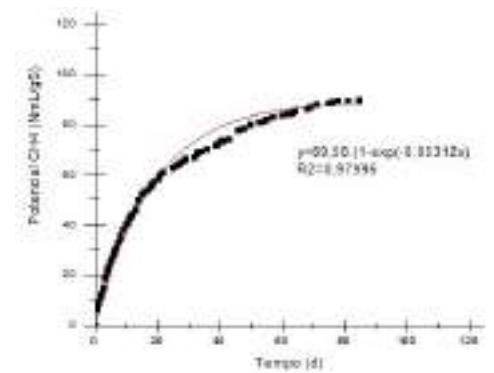
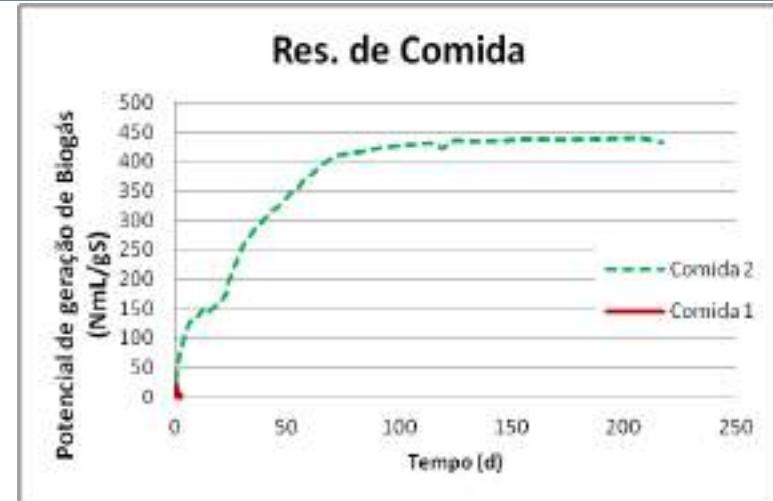
$$(P_{atm} + \Delta p) \cdot V_{hs} = P_{atm} \cdot (V_{hs} + V_g) \rightarrow V_g = \frac{\Delta p}{P_{atm}} \cdot V_{hs}$$

$$V'_g = V_g \cdot \frac{p_{atm}}{1013} \cdot \frac{273,2}{273,2 + T} \cdot \left(1 - \frac{p_w}{p_{atm}}\right)$$

$$p_w = 0,61121 \cdot e^{\frac{17,502 \cdot T}{240,97 + T}}$$

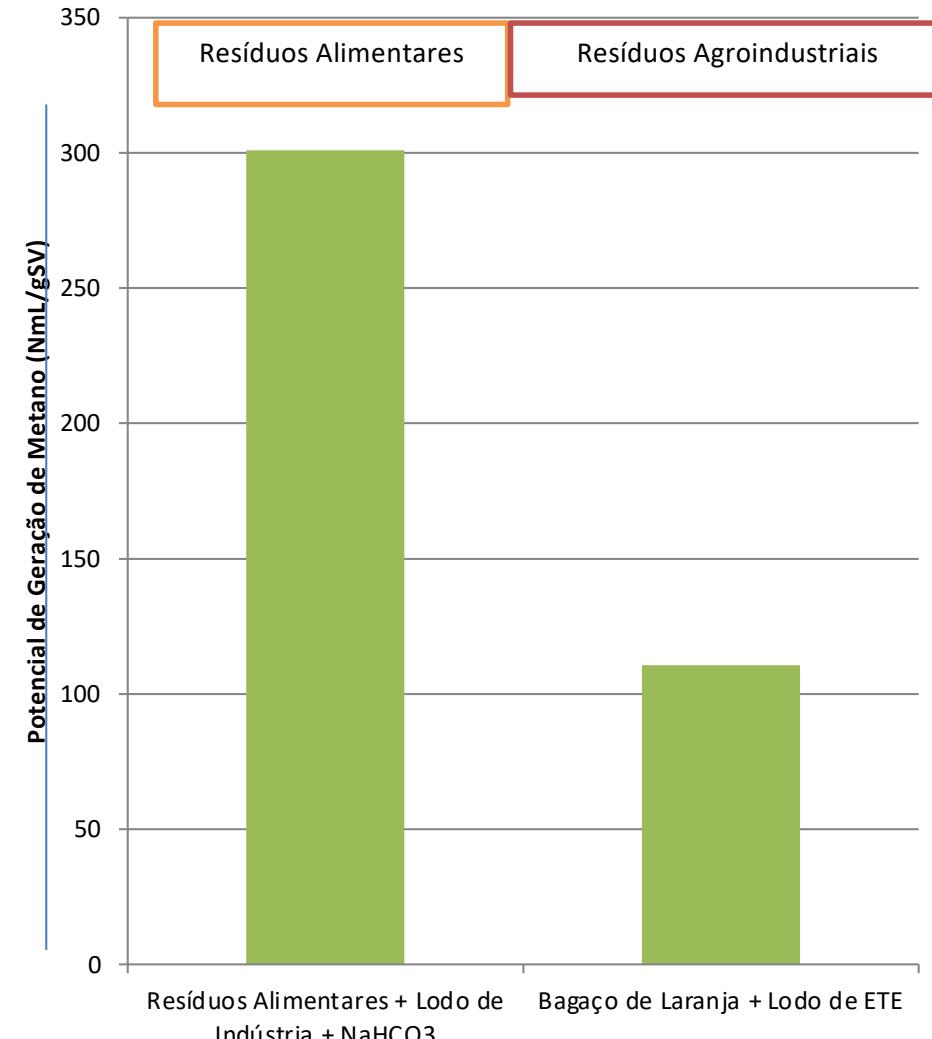
Lo- potencial
k- cte de degradação
 e geração de biogás

$$L = L_0 \cdot (1 - e^{-k^i t})$$



Potencial Máximo de Geração de Metano – Resíduos de Aterros

Geração máxima de biogás	(NmL/gS)	(NmL/gS)
Amostras	Lo biogas	Lo CH4
Resíduos de alimentos	19,44	0
RA + lodo de esgoto	45,24	0
RA + lodo industrial	36,47	0,83
RA + CC + lodo de esgoto	56,84	0
RA s/ tampão	2,05	0,06
RA c/ tampão	75,84	0,53
RA + LI bruto s/tampão	54,79	1,9
RA + LI bruto c/tampão	145,71	21,01
RA + LI granular s/tampão	88,16	2,83
RA + LI granular c/tampão	123,01	6,51
Casca maracuja + LI granular	228,73	98,07
Bagaço de cana + vinhaça tratada	19,89	NR
Resíduo Orgânico + Lodo de ETE	18,75	NR
RSU envelhecido (8 anos)	11,04	8,91
RSU envelhecido (8 anos) + Lodo ETE	18,21	8,78
RSU (8 anos) +Lodo ETE + Consórcio Microbiano	48,07	33,72

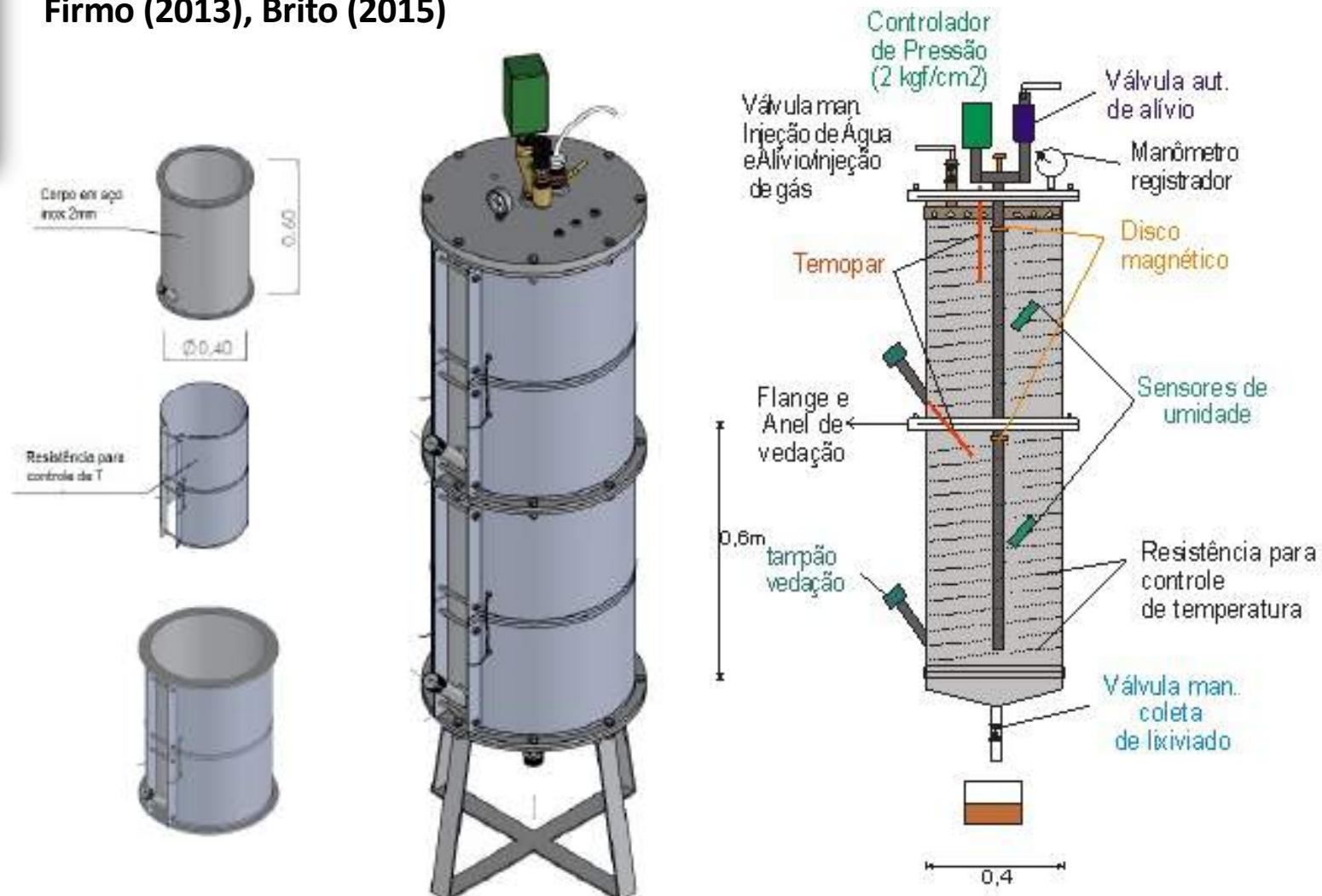


FINEP (2016), Santos (2018)

REATORES PILOTO - Batelada



Reatores piloto: comportamento da geração de biogás/metano na digestão de resíduos novos e velhos, efeito da co-disposição com lodo anaeróbio (10%).
Firmo (2013), Brito (2015)

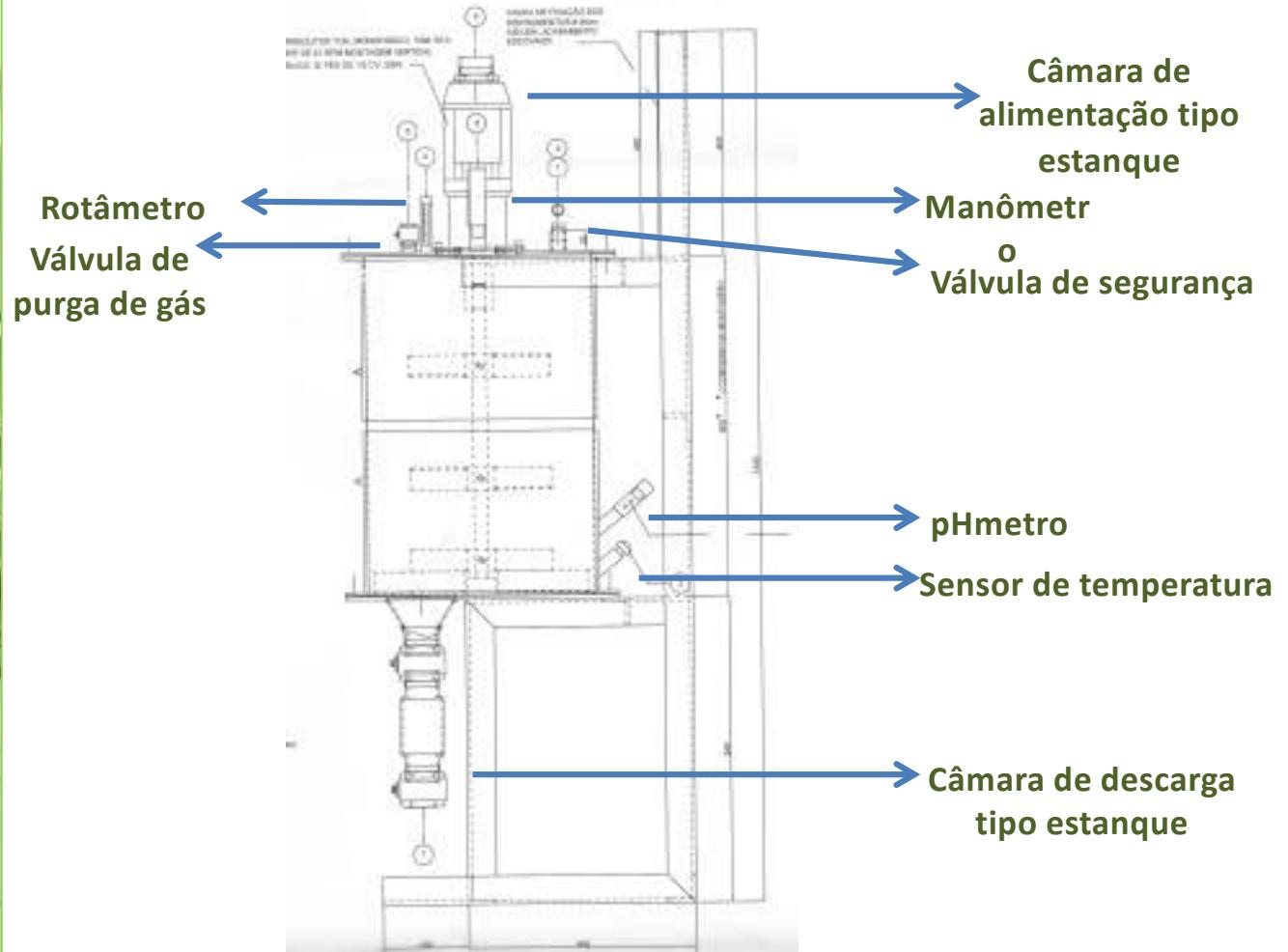


REATORES PILOTO versão 2 - contínuo

1- Alimentações



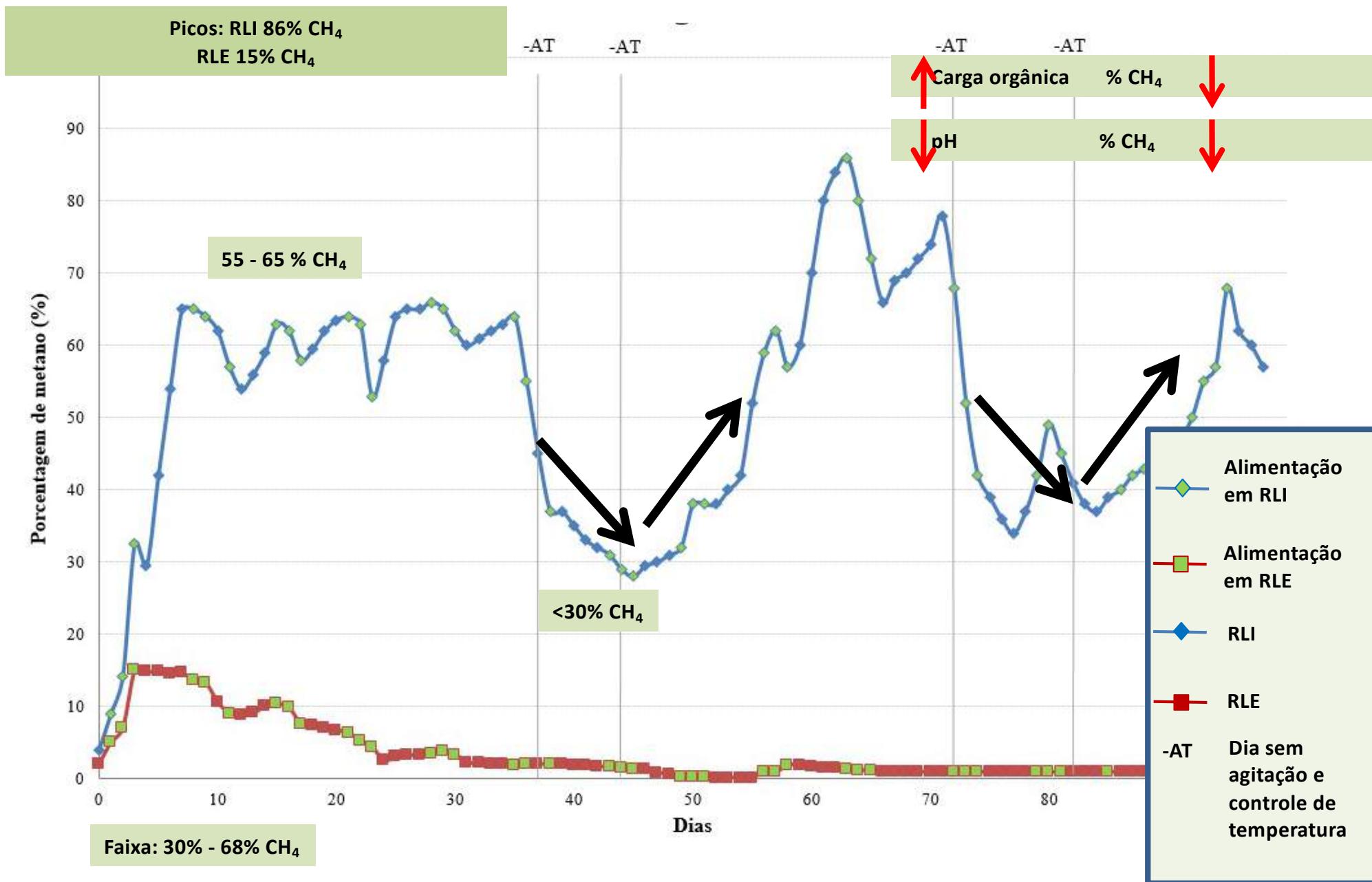
2- Monitoramento



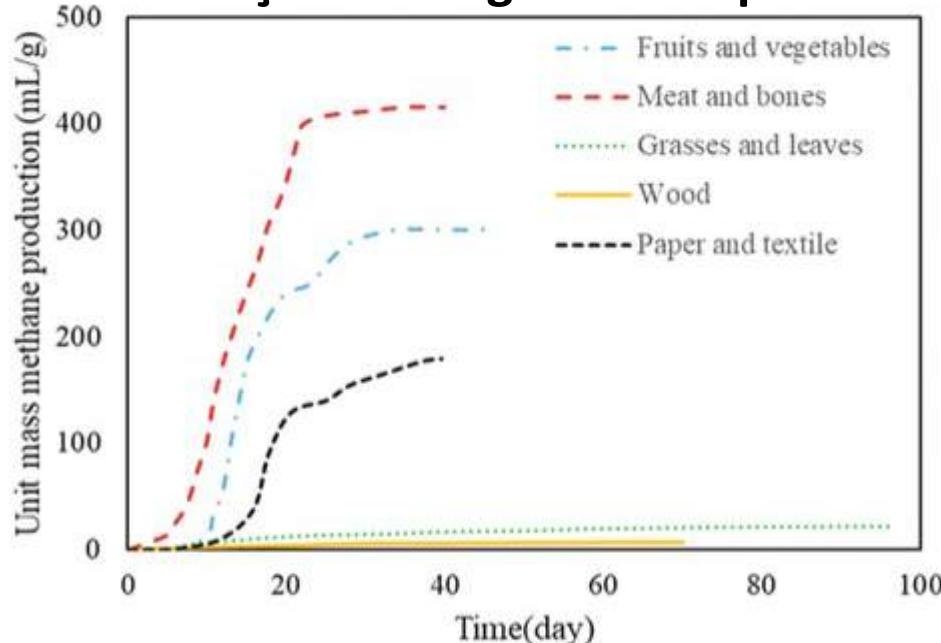
3- Tratamento dos dados

Fonte: Valença, 2017.

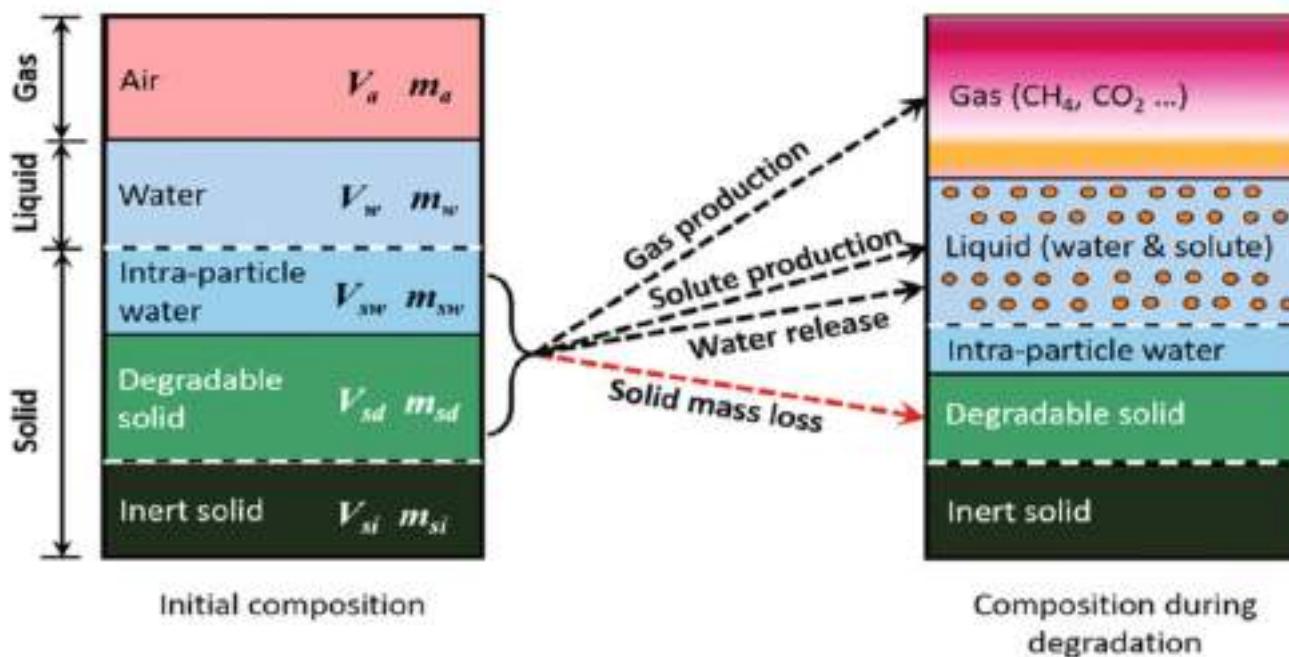
Porcentagem de metano diária



Produção de biogás no tempo

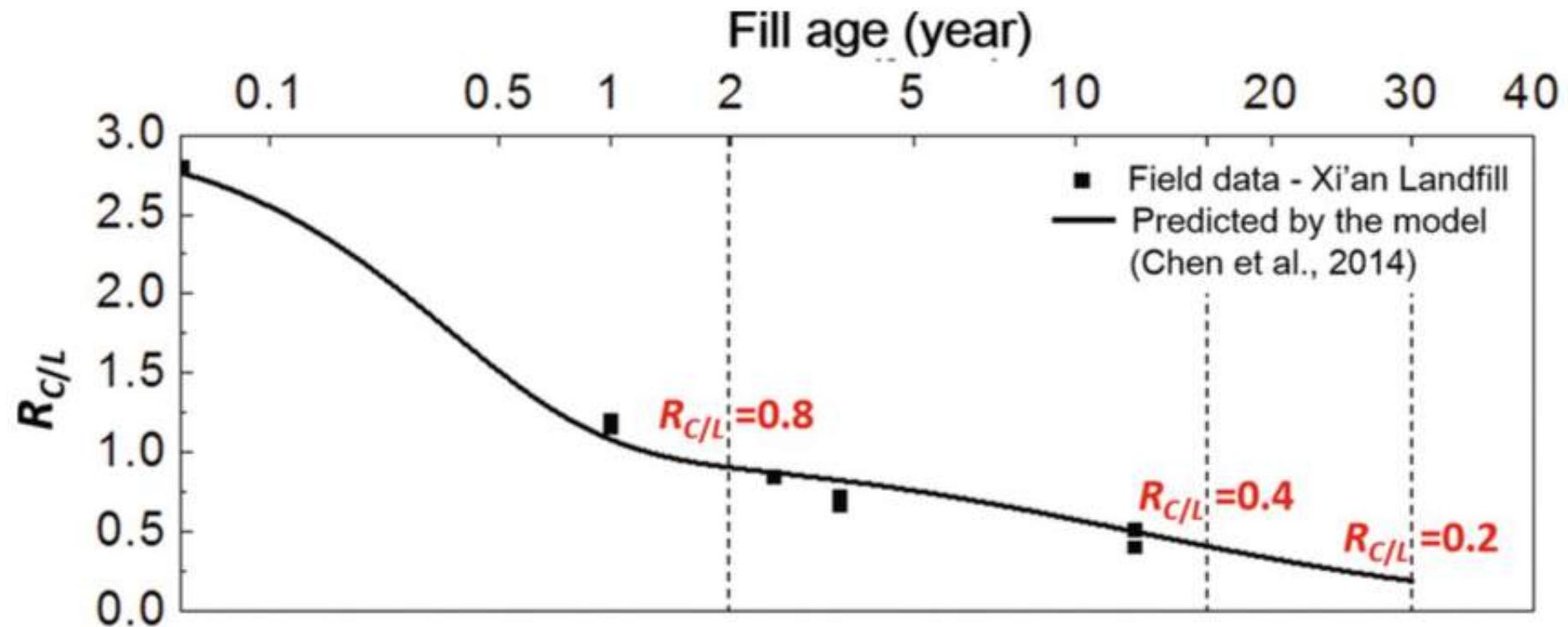


Perda da massa aterrada



Coeficiente de Biodegradação

$R_{C/L}$ = Celulose/Lignina





ProteGEER

COOPERAÇÃO PARA A PROTEÇÃO DO CLIMA
NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS



GRS

Geotecnia Ambiental
Grupo de Resíduos Sólidos - UFPE

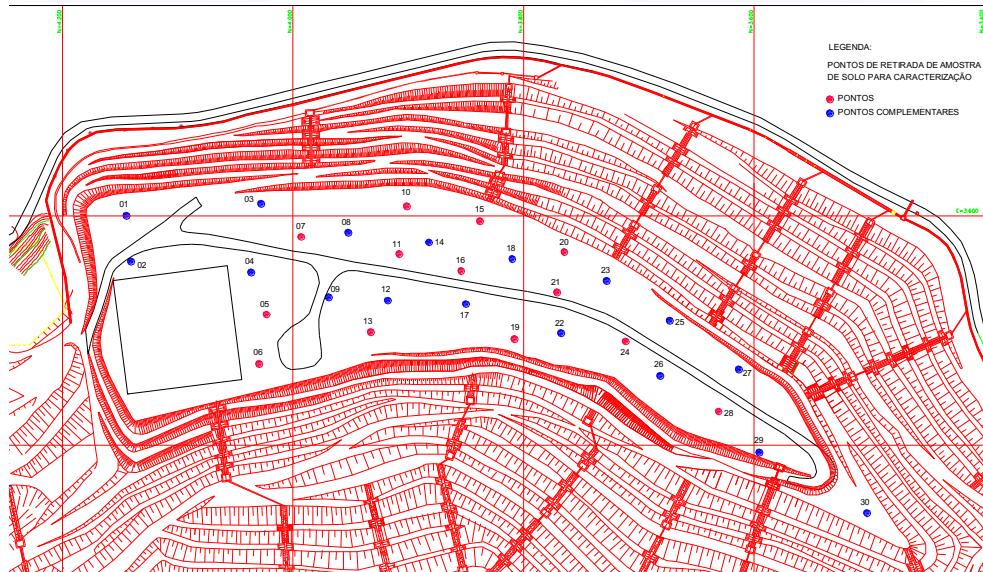
***Experiência do GRS/UFPE em
estudos de biogás no Brasil***

Sanitary Landfill of Bandeirantes, São Paulo

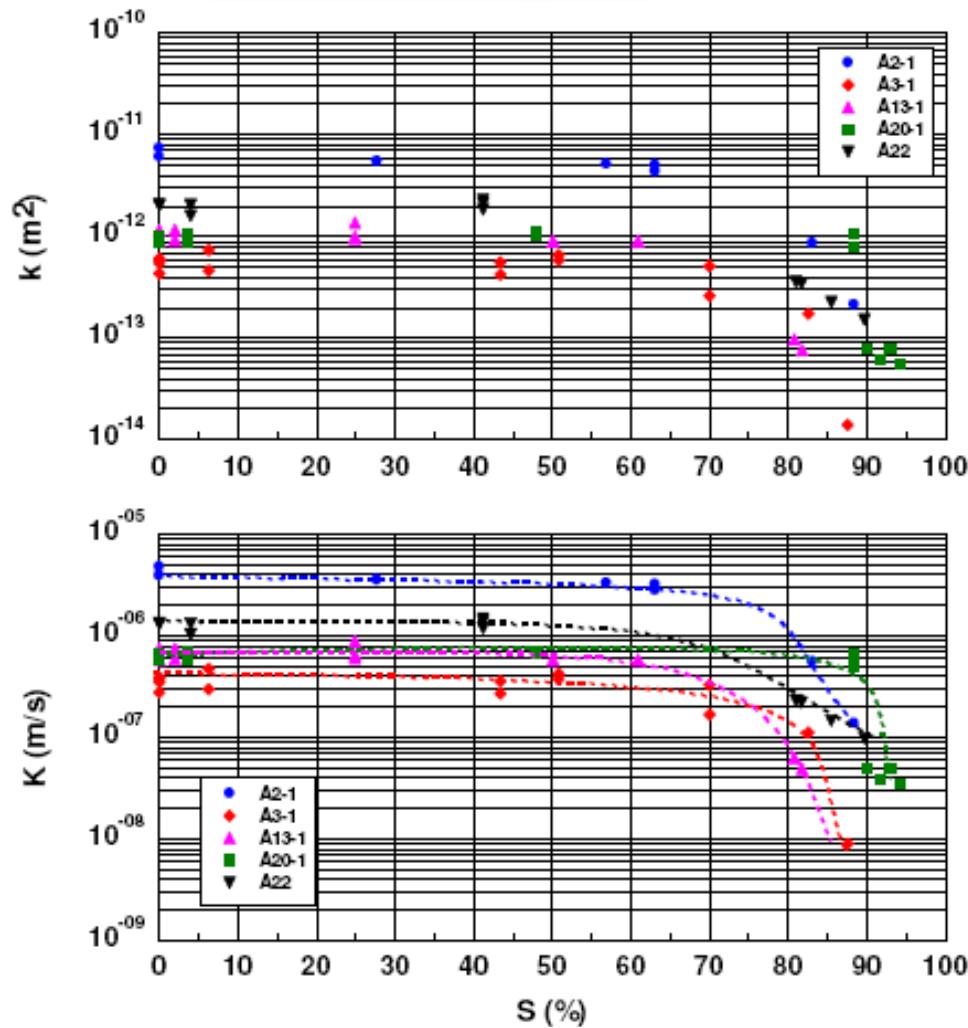


- ▶ 6.500 ton/day.
- ▶ Volume: 35 millions of toneladas.
- ▶ Area: 1.400.000 m².
- ▶ Landfill hight: 105 m.

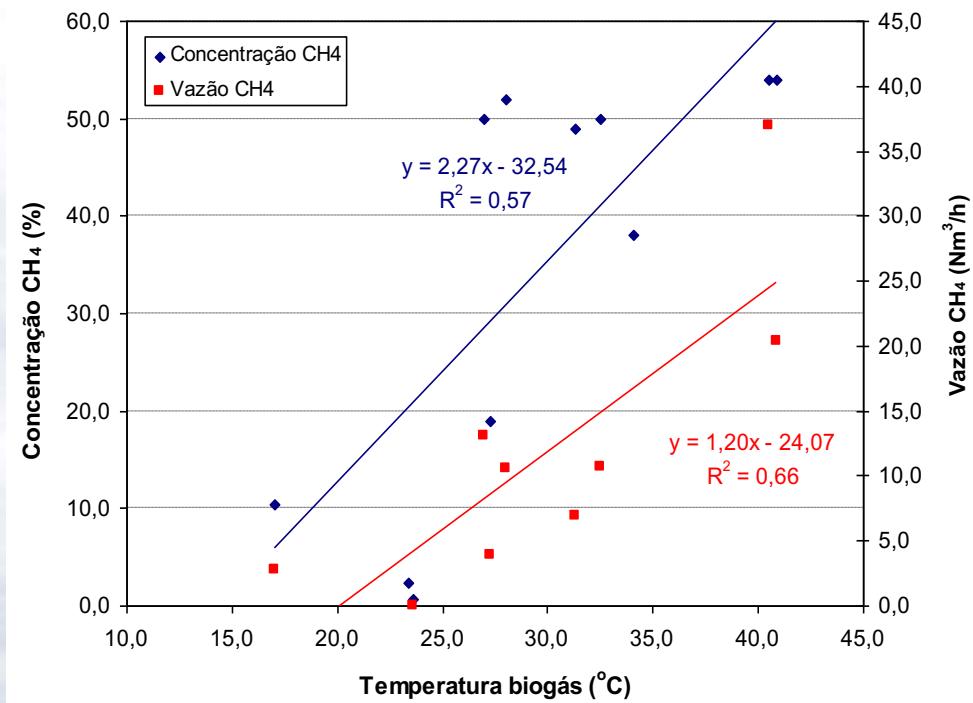
Ilustração da abrangência do estudo e relação com zonas de coleta de biogás



Permeabilidade da camada de cobertura



Relação da temperatura do biogás com a vazão



Sanitary Landfill of São João, São Paulo



Operation data: 1986

Amount of MSW: 6.500 ton/day

Landfill hight: 150 m

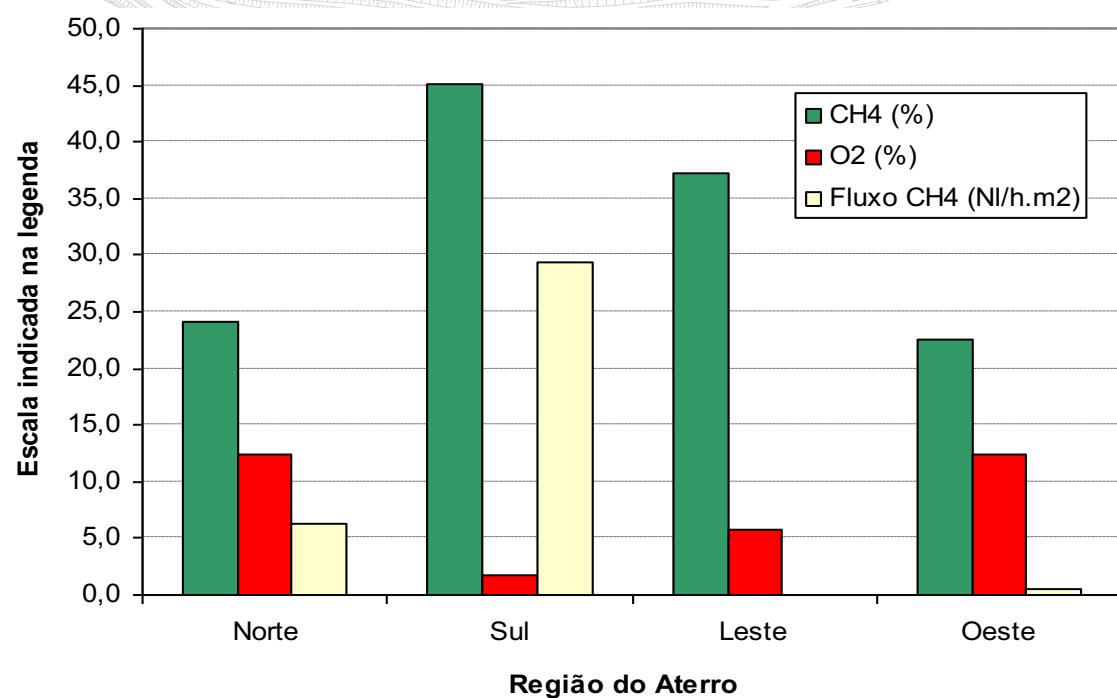
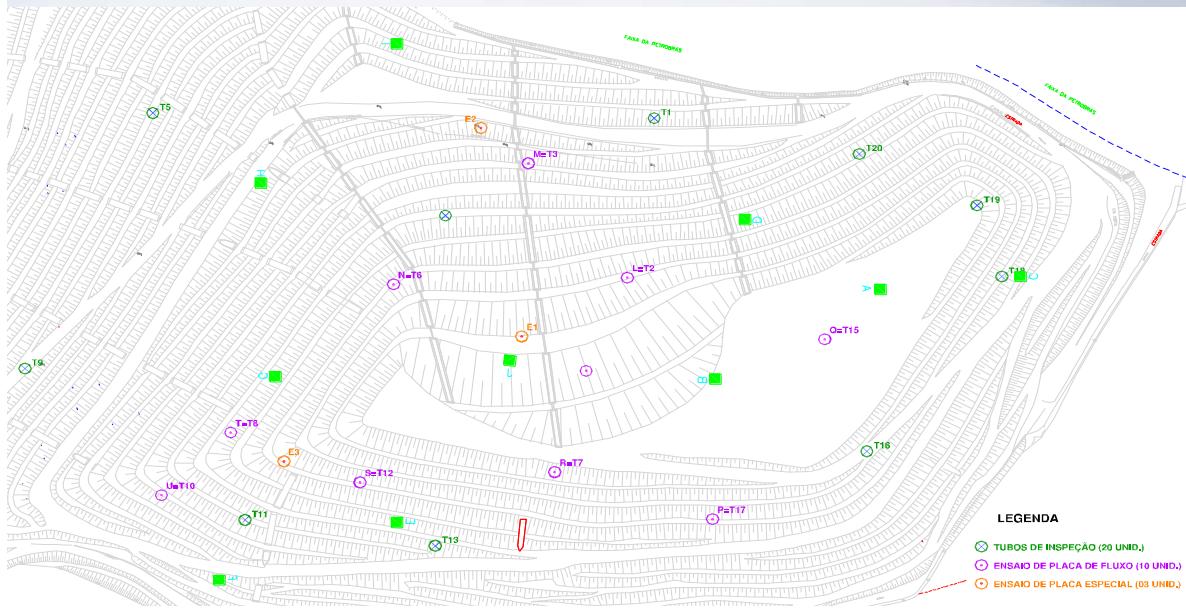
Gas recovery: 34 MW (installed energy power)

SERVIÇOS NO ATERRO SÃO JOÃO/SP - 2008

- Interferências da implantação do sistema de coleta e aproveitamento do biogás no comportamento geotécnico do aterro.



Estudo da camada de cobertura com ensaios de placa e tubos de inspeção



ro de Macaúbas – Belo Horizonte - MG

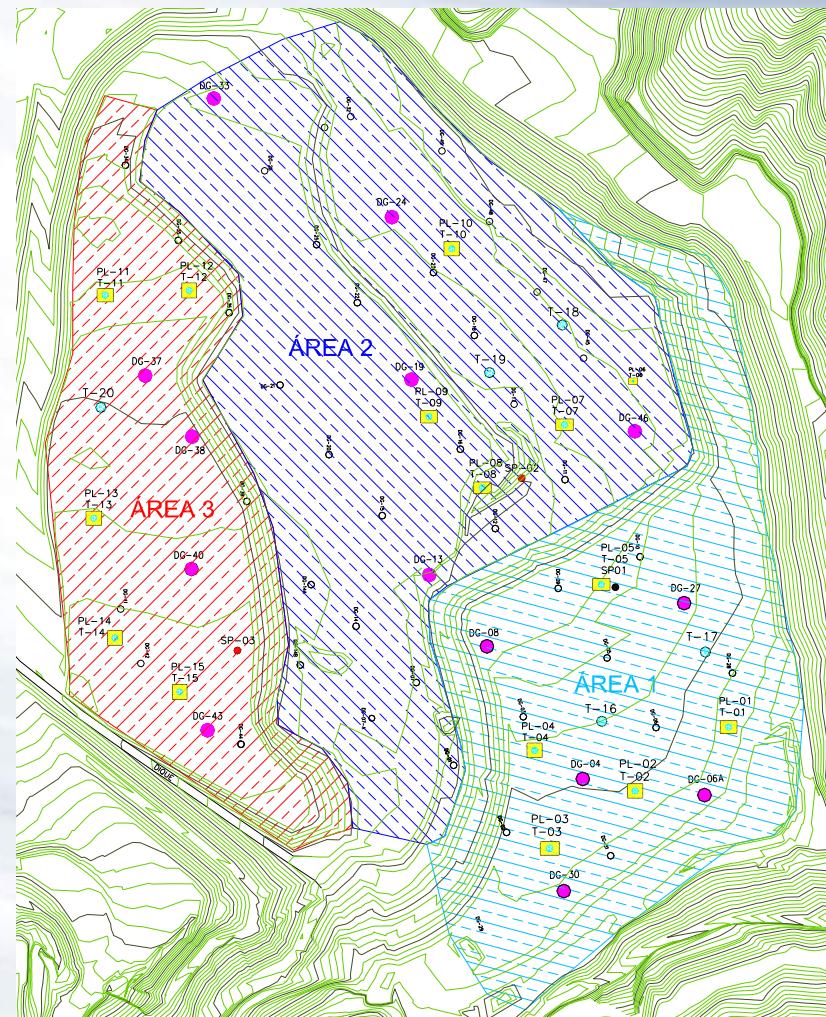


Operation data from:
Amount of MSW: 380
Landfill volume: 500.0
Population: 4.600.898
Generation per capita
No Gas recovery

ATERRO DE SABARÁ - MACAÚBAS - 2010



- Relevância: Estudo de potencial de biogás e simulação numérica.

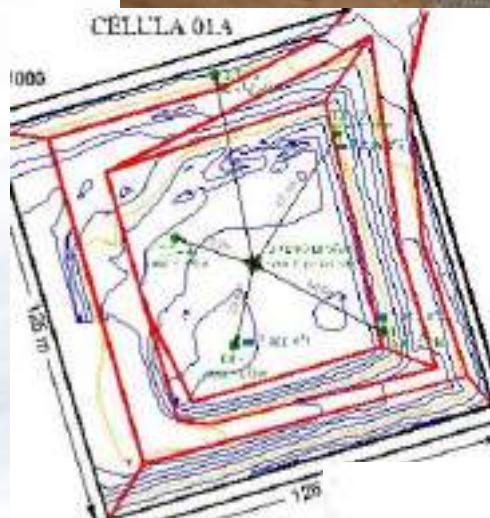


Ensaios de Campo e Laboratório

- a) Composição dos resíduos;
- b) Sondagens SPT para coleta de amostras em profundidade;
- c) Ensaio BMP



ATERRO SANITÁRIO NATAL/RN



- Primeiro uso da tecnologia de placa de fluxo e tubos de inspeção fora de Pernambuco. (metodologia desenvolvida na UFPE para avaliação das emissões fugitivas);
- Correlação c/ caracterização do solo arenoso (densidade, compactação, umidade, etc).

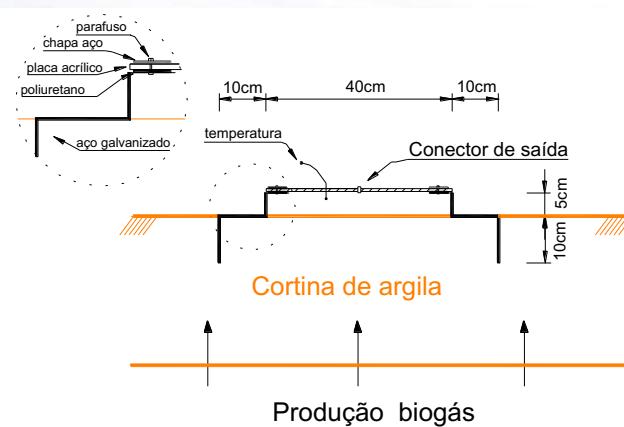


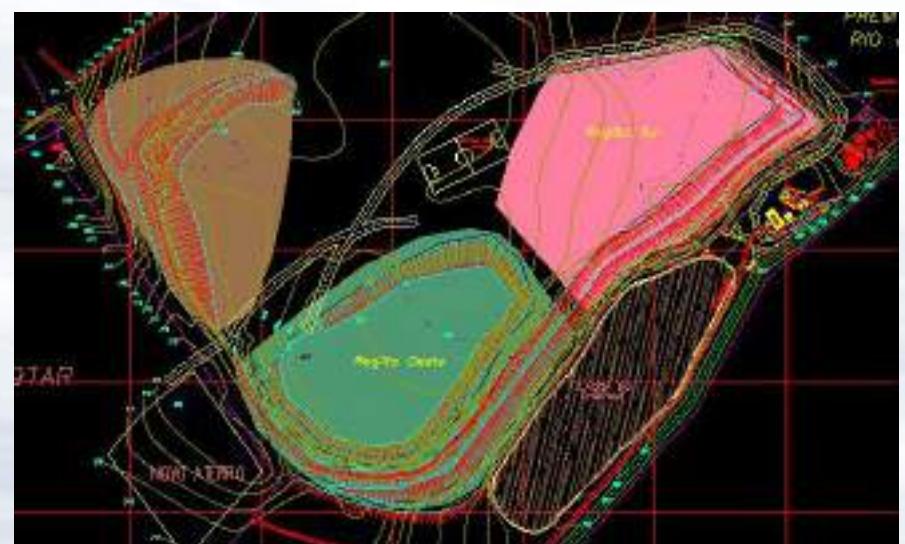
Ilustração de etapas do estudo e da zona de fluxo atípica (“bolhas”).



ATERRO DE FEIRA DE SANTANA/BA -2006

Potencial de Biogás:

- Aterro desativado em 2003 (menor geração de biogás);
- Local antiga vala de mineração;
- Área de estudo de 12 hectares (3 zonas de estudo);
- Utilizou-se 2 placas de fluxo (circular e retangular).



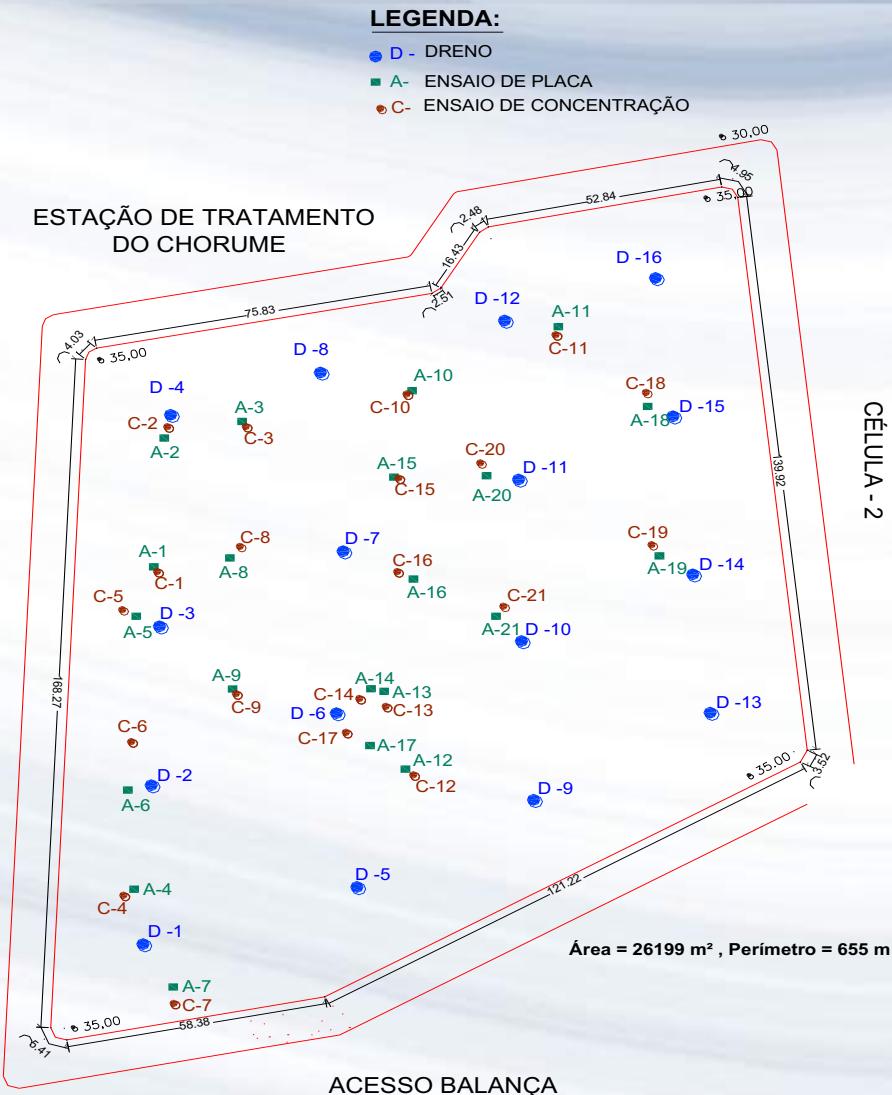
Ações preliminares (fechamento dos drenos com lona plástica para evitar influência atmosférica e desobstrução dos drenos)



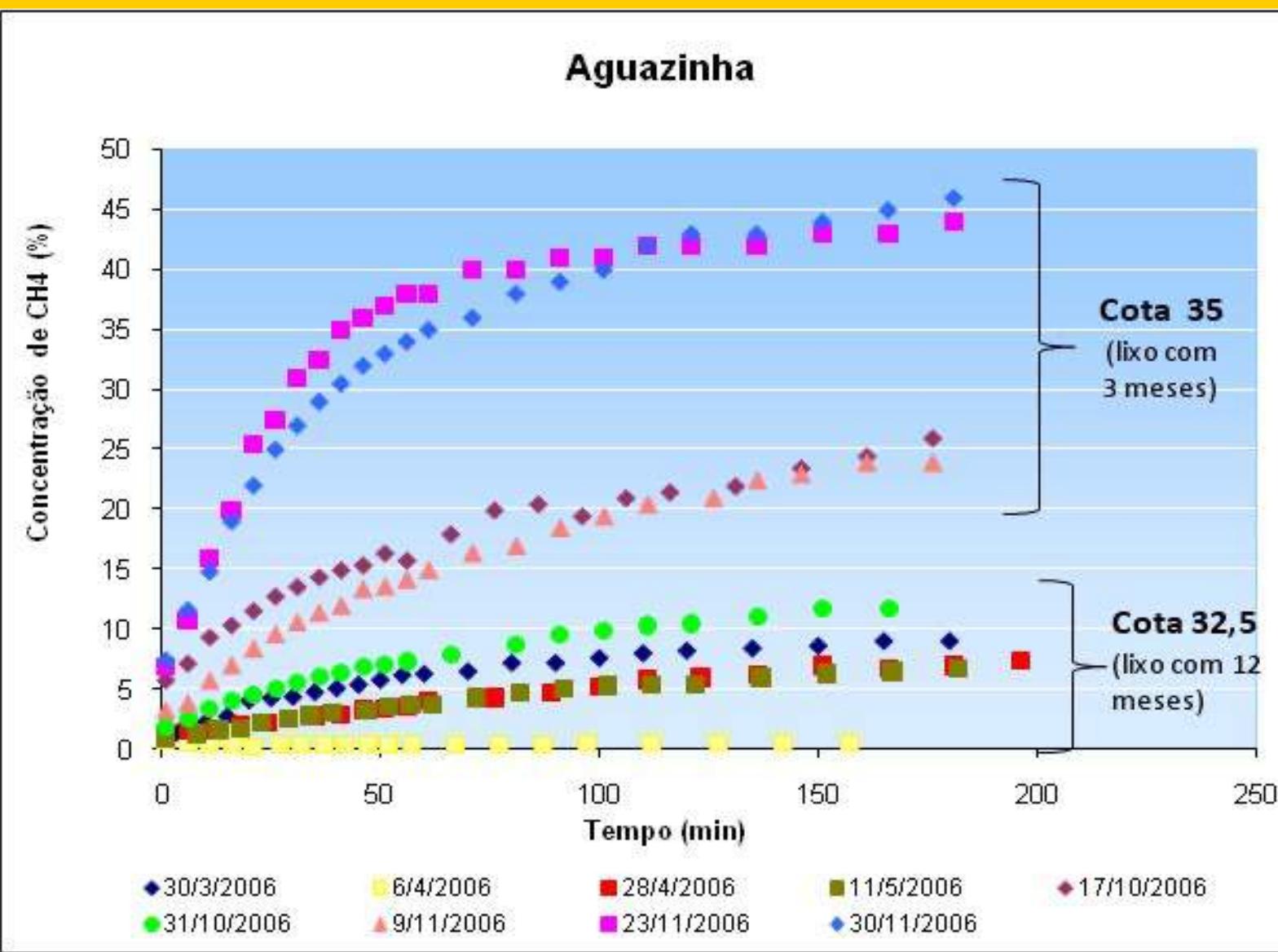
Aterro muito antigo (baixa geração biogás e emissão de CH4 cobertura)

Pontos de investigação	Espessura da camada (m)	Emissão (fuga) superficial (gCH ₄ /h por m ²)	Geração de CH ₄ sob cobertura (l/h)	CH ₄ (%) sob cobertura (tabela 3)
PI-1	0,50	Não detectado	1,6	12,1
PI-2	0,30	Não detectado	Não detectado	0,0
PI-3	0,55	Não detectado	10,0	55,2
PI-4	0,60	0,55	7,1	53,5
PI-5	0,40	1,38	2,8	42,5
PI-6	0,85	Não detectado	2,0	56,8
PI-7	0,55	Não detectado	4,3	50,9
PI-8	0,55	Não detectado	Não detectado	5,0
PI-9	0,80	Não detectado	Não detectado	0,6
PI-10	0,40	Não detectado	0,15	11,1
PI-11	0,28	Não detectado	Não detectado	0,0
PI-12	0,45	Não detectado	Não detectado	0,0
PI-13	0,35	Não detectado	3,8	42,5
PI-14	0,30	Não detectado	0,3	25,5
PI-15	0,50	Não detectado	0,7	6,2
PI-16	0,55	Não detectado	0,4	5,0
PI-17	0,43	Não detectado	0,9	5,0
PI-18	0,15	2,62	4,3	43,3
PI-19	0,80	Não detectado	5,7	15,8
PI-20	0,70	Não detectado	Não detectado	0,0

ATERRO DE AGUAZINHA - OLINDA

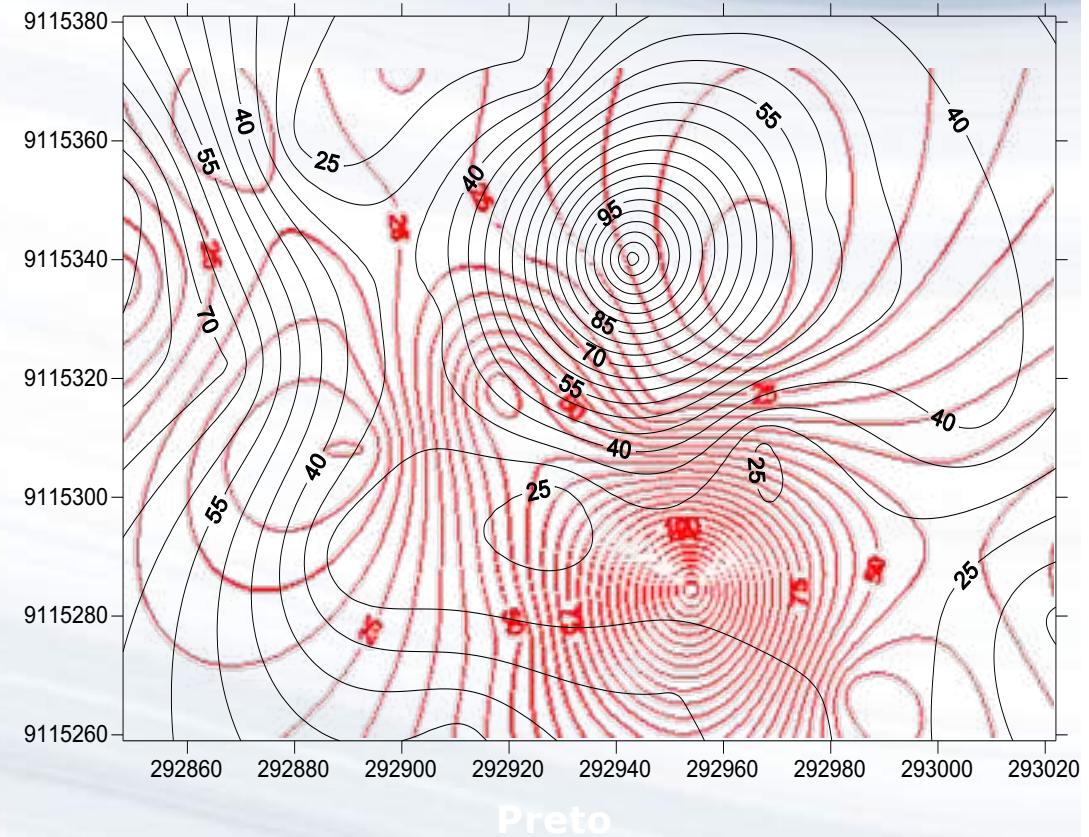
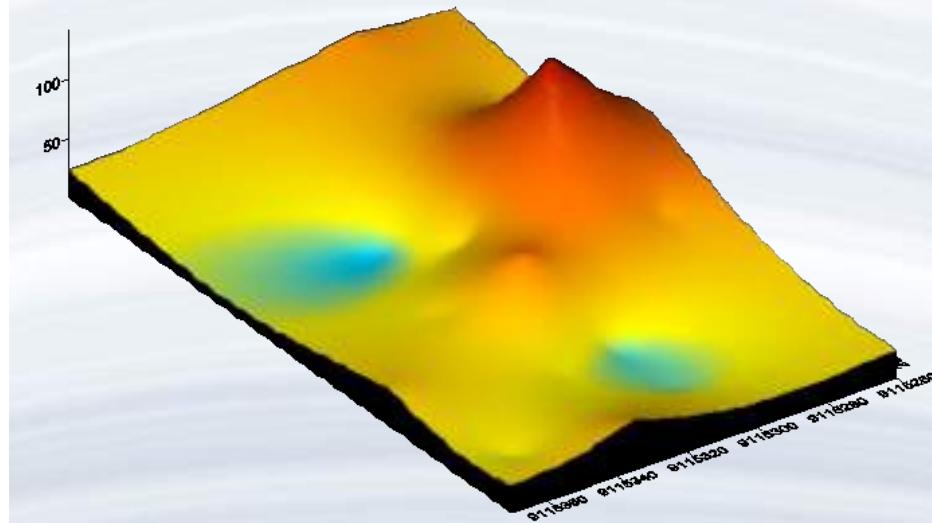
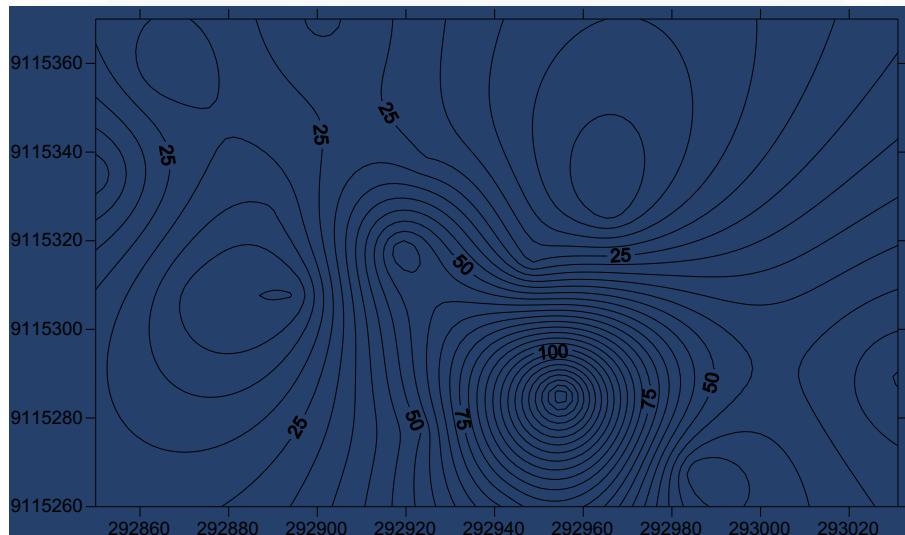


20 ENSAIOS REALIZADOS PLACA DE FLUXO (Mariano, 2009)



FLUXO de CH₄

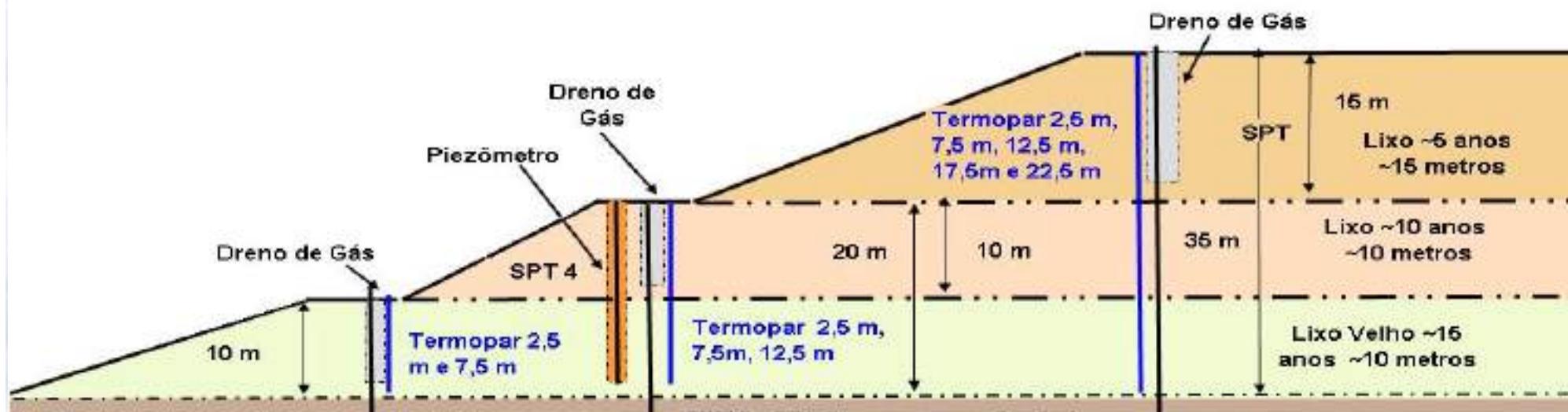
RESULTADOS (Mariano, 2007) – 20 ENSAIOS REALIZADOS



Preto

**O Fluxo de emissões 1.100 tonelada/m².
Fluxo pela camada de cobertura = 57%
Fluxo pelos Drenos = 43%**

Aterro Controlado da Muribeca



Sondagens



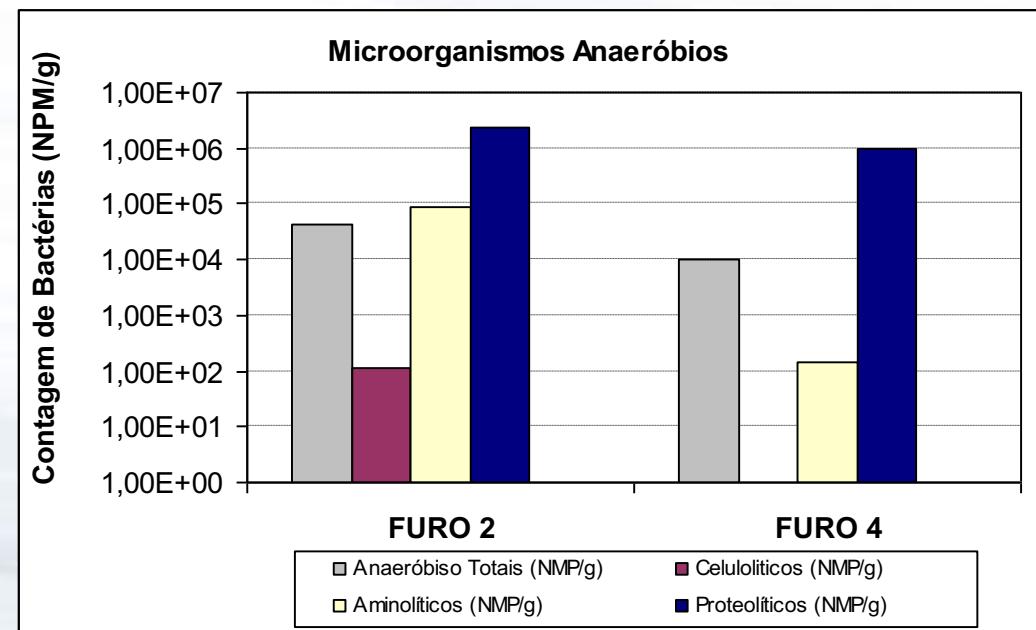
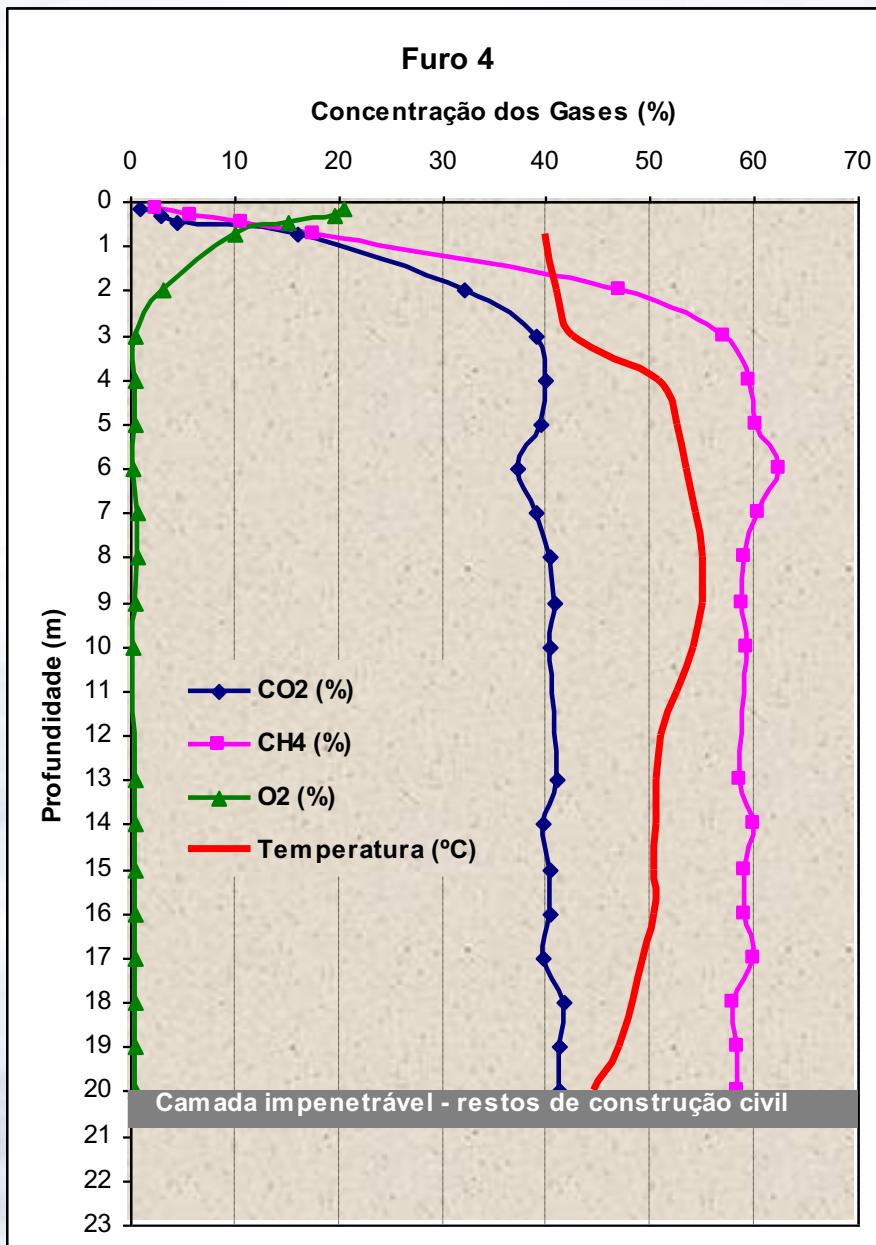
INSTRUMENTAÇÃO

Equipamentos de leitura:



Equipamentos		Parâmetro	Faixa de medição	Faixa de erro do equipamento
Drager X-am 7000	CO ₂	concentração	0 – 100%	± 2,0%
	CH ₄		0 – 100%	± 5,0%
	H ₂ S		0 – 500 ppm	± 5,0%
	O ₂		0 – 25%	± 1,0%
	CO		0 – 500 ppm	± 1,0%
Gallus 1000 G1.6		vazão	0,016 – 3,0 m ³ /h	± 3,0%
Dwyer 477-2		pressão	0 – 10,0 kPa	± 1,0%
Dwyer		Velocidade do ar	0 – 7 m/s	± 3,0%
Termometer Appa Mt-520		temperatura	-50 a 1.300°C	± 0,5%

Resultados – Célula 8

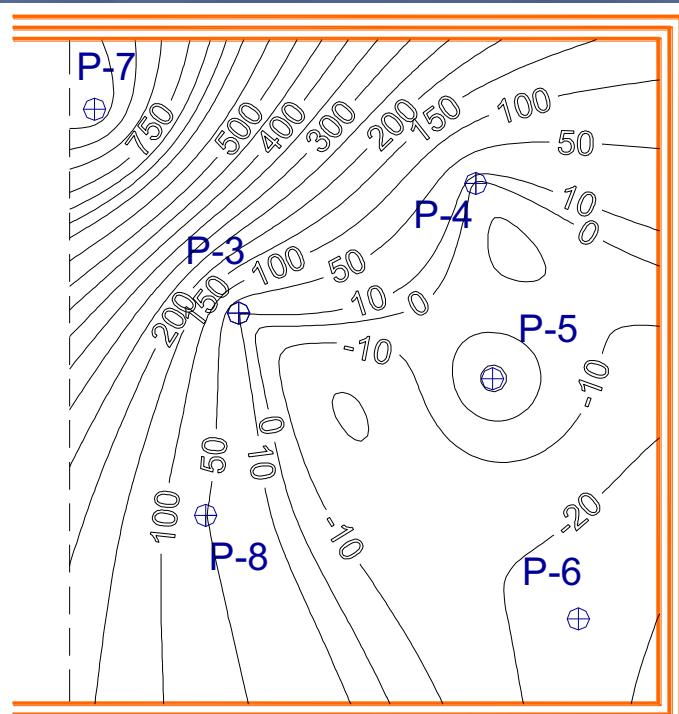


Medida da concentração e pressão

Composição biogás	
CH4	55,6%
CO2	42,2%
O2	0,0%
H2S	61 ppm
CO	27 ppm

Concentração típica da fase metanogênica coerência com a idade do lixo aterrado (<5 anos);

Pressões existentes abaixo da cobertura = (-)100 à 61 Pa = susceptibilidade condicionantes atmosféricos;



Pressões atípicas
= 2.500 Pa



Vista ponto P-7



CÉLULA EXPERIMENTAL

Convênio UFPE – UPE – EMLURB - CHESF/ANEEL
(Maciel, 2009; Lopes, 2012; Galdino, 2013)



Área de base = 6.020 m² (70m x 86m)

Altura máxima = 9,0 m (distribuídos em dois patamares);

Capacidade de armazenamento = 36.600 t;

Camada de base = 40 – 60 cm;

Cobertura superior = 40 – 90 cm - três tipos de coberturas experimentais

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS RSU:

Composição gravimétrica (base úmida)

Média de 10 ensaios preliminares (veículos coletores) e 15 ensaios no enchimento;

Biodegradabilidade RSU	Frações	Composição gravimétrica (base úmida)	
		Veículos Coletores	Enchimento Célula
Facilmente degradáveis	Mat.orgânica putrescível e papel/papelão	58,4%	56,2%
Medianamente degradáveis	Côco, madeira, fraldas	11,2%	10,3%
Dificilmente degradáveis	Têxteis, borracha e couro	4,2%	5,4%
Não degradáveis*	Plásticos, isopor, metais, vidros e outros	26,2%	28,1%

- Importância: “input” dos modelos de previsão de geração de gás;
- Outros estudos na Muribeca: Alcântara (2007) determinou 59,3% de frações facilmente degradáveis e Farias (2000) encontrou 79%.

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS RSU:

Local de amostragem	Idade	pH	Sólidos Voláteis (%)	Carboidratos (%)	Proteína (%)	Lipídeos (%)	Lignina (%)
Célula Experimental (enchimento - 4 amostras)	Novo (≈ 15 dias)	$6,1 \pm 1,0$	$47,4 \pm 9,2$	$26,5 \pm 9,2$	$6,7 \pm 1,3$	$1,1 \pm 0,5$	$8,9 \pm 2,4$
Célula Experimental (SPT - 18 amostras)	< 1 ano	$7,1 \pm 0,78$	$28,8 \pm 9,9$	$24,9 \pm 6,5$	$3,3 \pm 0,7$	$1,3 \pm 1,0$	$11,4 \pm 5,2$
Inferior à base da Célula (05 amostras)	12-15 anos	$8,6 \pm 0,4$	$8,9 \pm 1,2$	$4,8 \pm 3,0$	$0,6 \pm 0,1$	< 0,1	$7,1 \pm 2,3$

- Análise indica redução de 40% no SV em 1 ano. Literatura, SV entre 10-20% já pode ser considerado bioestabilizado;
- Esperava-se decréscimo mais acentuado do carboidrato em 1 ano;
- Em 12-15 anos, carboidratos e proteínas redução significativa (>80%);
- Lignina praticamente não foi alterada ao longo do período.

Calorimetria dos RSU:

Fração dos resíduos	Teor de umidade (%)	Poder calorífico (kJ/kg)					Média
		14/11/07	9/1/08	25/1/08	30/1/08		
Matéria Org. Putrescível	46,2	6.160	14.047	-----	-----	10.104	
Papel/Papelão	52,3	10.015	16.232	10.680	-----	12.309	
Plásticos mole	36,9	-----	9.049	14.532	11.543	11.708	
Plásticos rígido	17,4	-----	33.619	40.156	39.086	37.620	
Isopor	30,4	46.871	37.218	29.110	38.890	38.022	
Madeira	37,4	-----	16.918	15.530	15.937	16.128	
Materiais Têxteis	46,2	-----	19.903	21.516	15.403	18.941	
Borracha e Couro	8,7	-----	17.613	40.507	-----	29.060	
Côco	64,1	-----	14.161	13.542	9.788	12.497	

- Fração mais representativa (caloricamente) = plástico duro (37.620 kJ/kg) e menos representativa = matéria orgânica (10.104 kJ/kg);
- Interesse econômico reciclagem x incineração (plástico duro);
- Aterros RSU não tem interesse nos plásticos duro (volume e elasticidade);
- Tratamento dos resíduos deve ser função do poder calorífico x umidade x biodegradabilidade;

Desenvolvimento de ensaio BMP

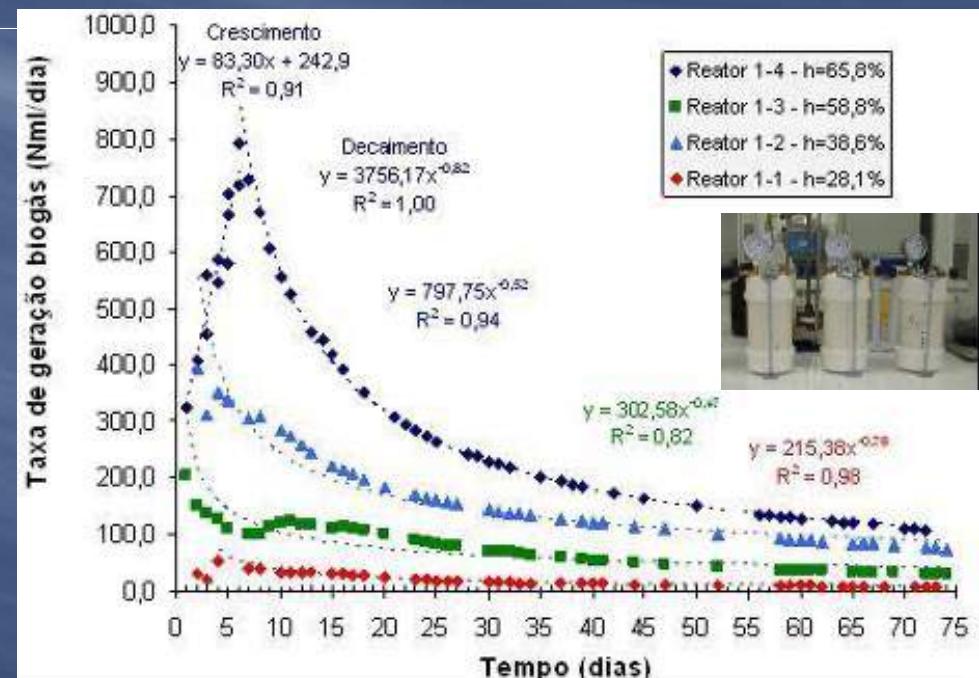
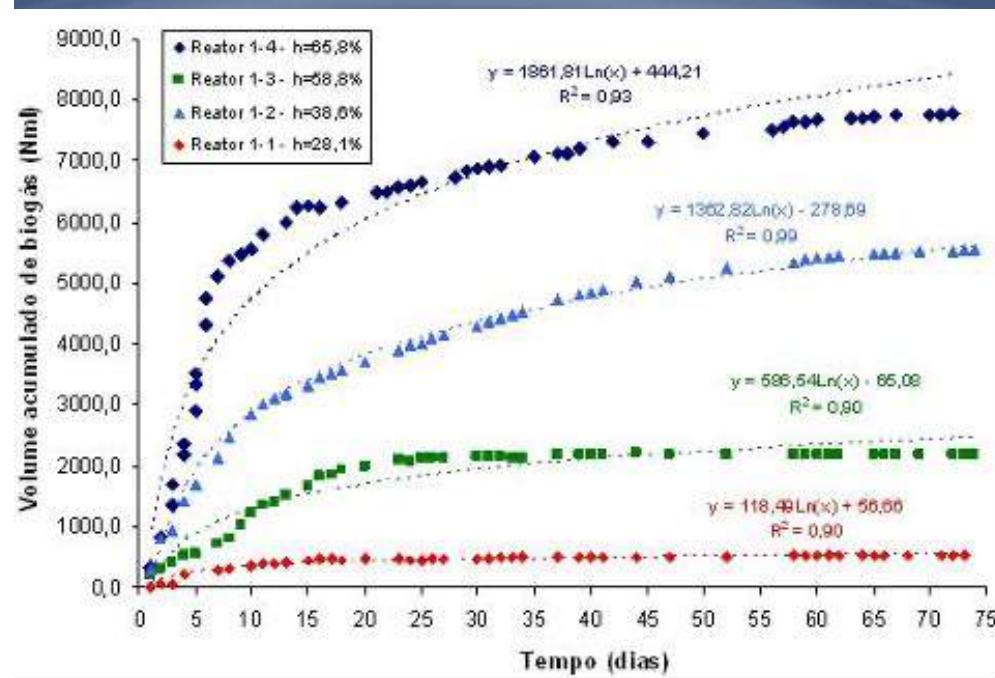
(Alves & Brito 2008):

- a) Consiste em incubar amostra de lixo com lodo e monitorar geração de gás por meio de manômetros – avaliar potencial de gás;
- b) Frasco 250 ml; 2,5 g de amostra líquida; circulação prévia de mistura CO₂/N₂; incubado em estufa por 75 dias;



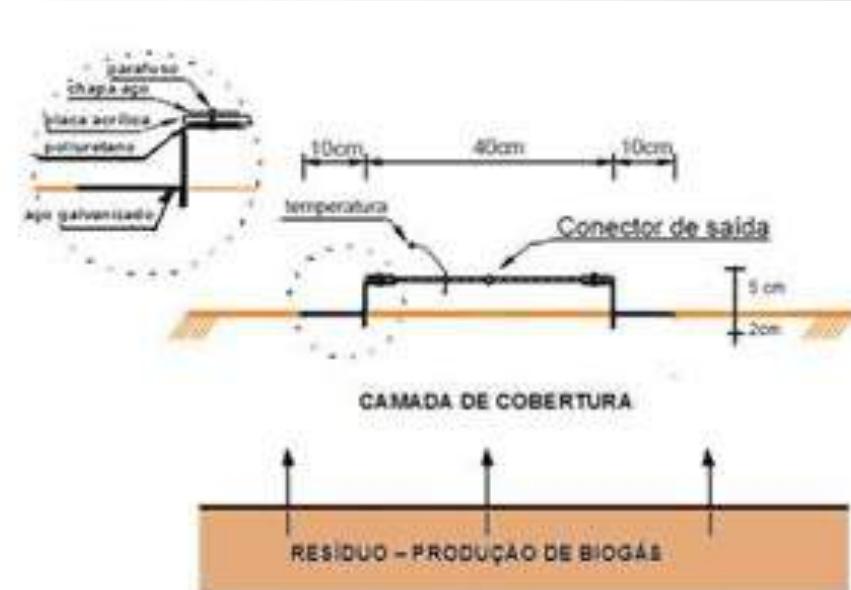
RESULTADOS

Reatores de bancada:



- Resíduos novos = potencial biogás de 1,2 a 20,2 Nm³/t lixo seco em função da umidade;
- Correlações logarítmicas satisfatórias;
- Resultados inferiores ao BMP (% lodo, amostra sólida e não incubado em estufa). Se comparado por g SV, resultados são próximos.

Ensaios de câmara de fluxo estática



Período	MET		BAC	CONV	TOTAL
	MET-01 50/50	MET-02 75/25			
Setembro/08 a fevereiro/09	03	08	10	11	32
Março/09 a Agosto/09	05	03	08	09	25
Setembro/09 a fevereiro/10	07	10	15	18	50
TOTAL	15	21	33	38	107
			36		

Controles de campo - UFPE

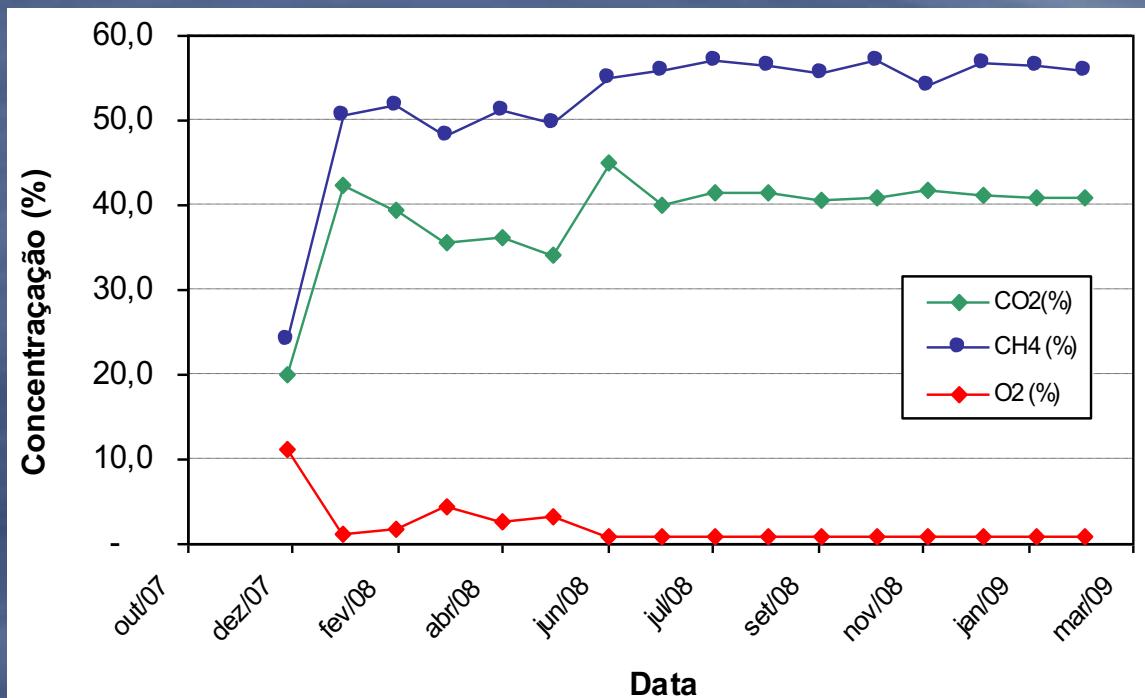


Monitoramento individual por dreno e do sistema completo (saída do flare):

RESULTADOS

MONITORAMENTO PRODUÇÃO DE BIOGÁS:

Qualidade do biogás

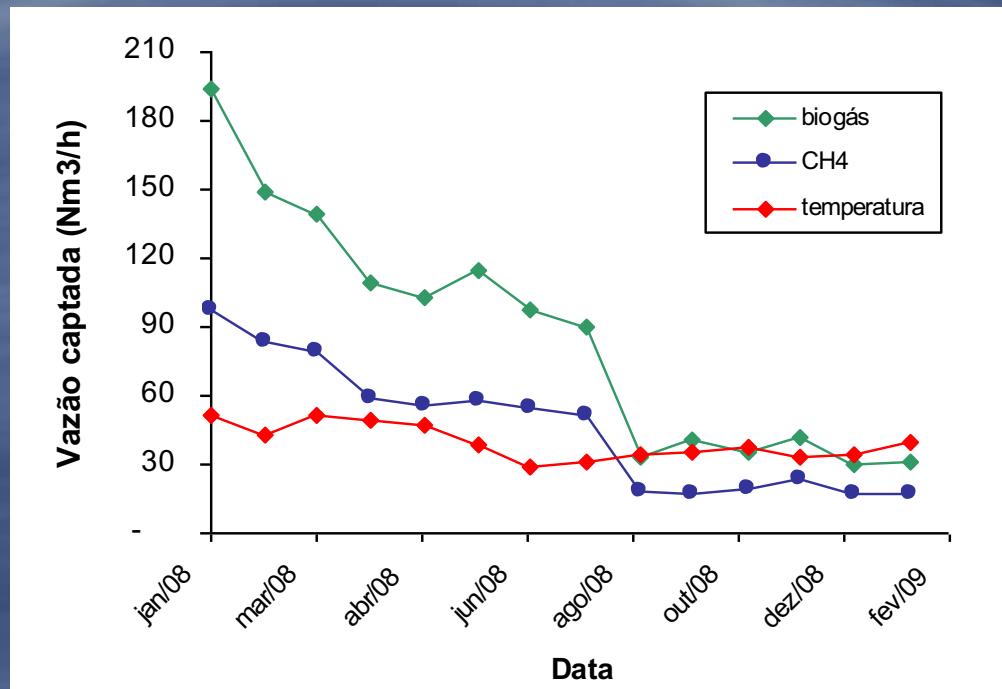


Dreno	Concentração média do biogás (%) – Dez/07 a Mar/09		
	CH ₄	CO ₂	O ₂
DV-01	55,0	40,4	1,1
DV-02	55,7	40,8	0,8
DV-03	53,6	40,5	1,6
DV-04	49,5	35,5	3,3
DV-05	46,3	33,4	4,2

- Não foi observado variações significativas na qualidade do gás;
- Qualidade do biogás ($\text{CH}_4 > 50\%$) favorável para recuperação energética;
- Drenos 4 e 5 – qualidade inferior em função da baixa profundidade;

RESULTADOS

Quantidade de biogás



Dreno	Vazão CH4 (Nm ³ /h)		variação %
	jan/08	mar/09	
DV-01	30,4	12,1	-60,3
DV-02	22,6	10,2	-55,0
DV-03	26,8	15,3	-42,9
DV-04	9,7	2,5	-74,6
DV-05	8,0	0,8	-89,5

- Produção de biogás mais acelerada e mais intensa que o previsto na literatura internacional;
- Este fato deve ser considerado nos estudos de viabilidade econômico-financeira;

Sucção do Biogás e Geração de Energia



ENERGIA (consumo gás, produção de energia e eficiência)



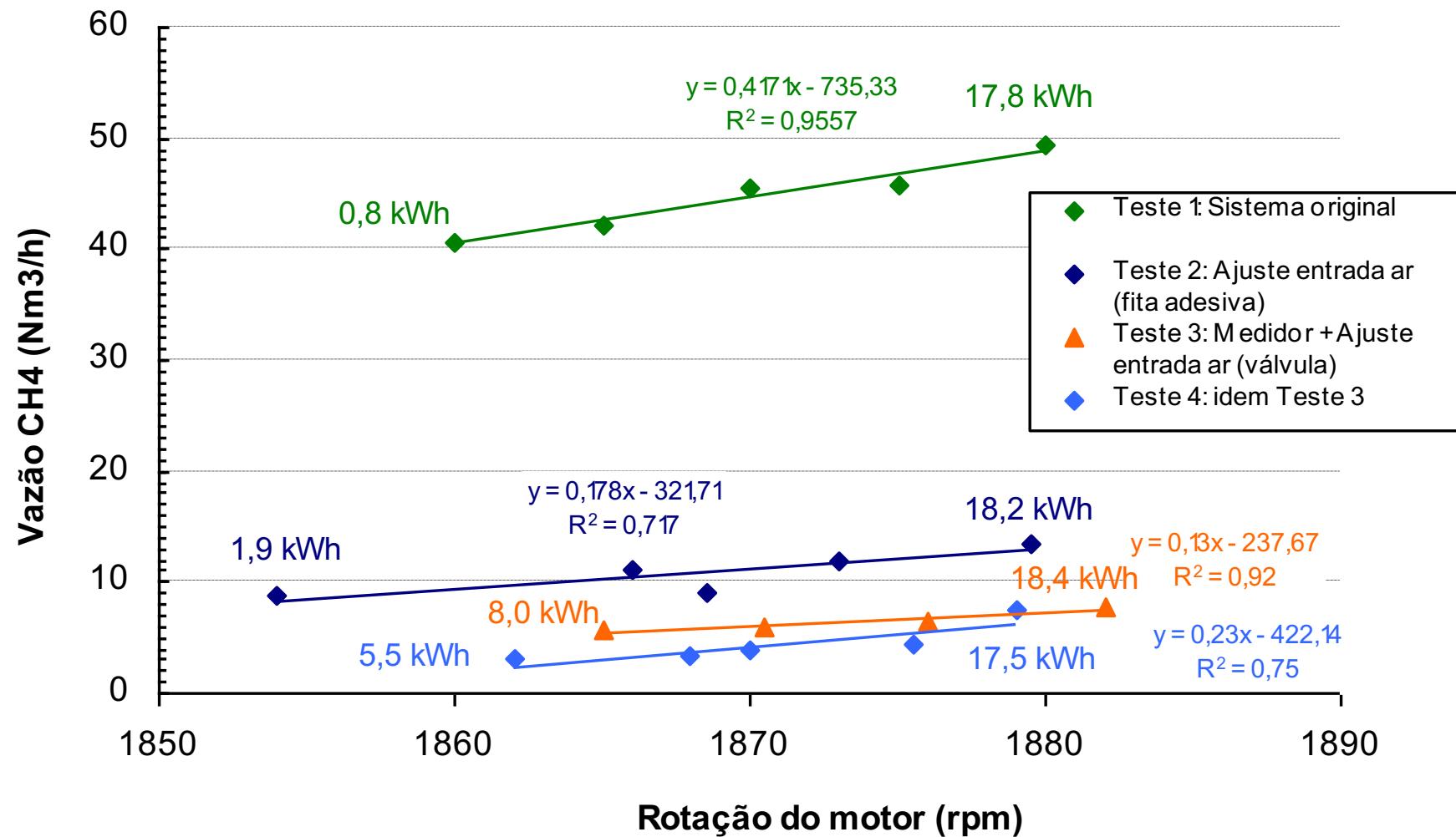
Leituras instantâneas (carga, rotação, temperatura, etc) - Painel de Comando do Equipamento

Leituras acumuladas (medidor de gás volumétrico e medidor trifásico de energia)



GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Eficiência elétrica: 35% (valores máximos 45%)

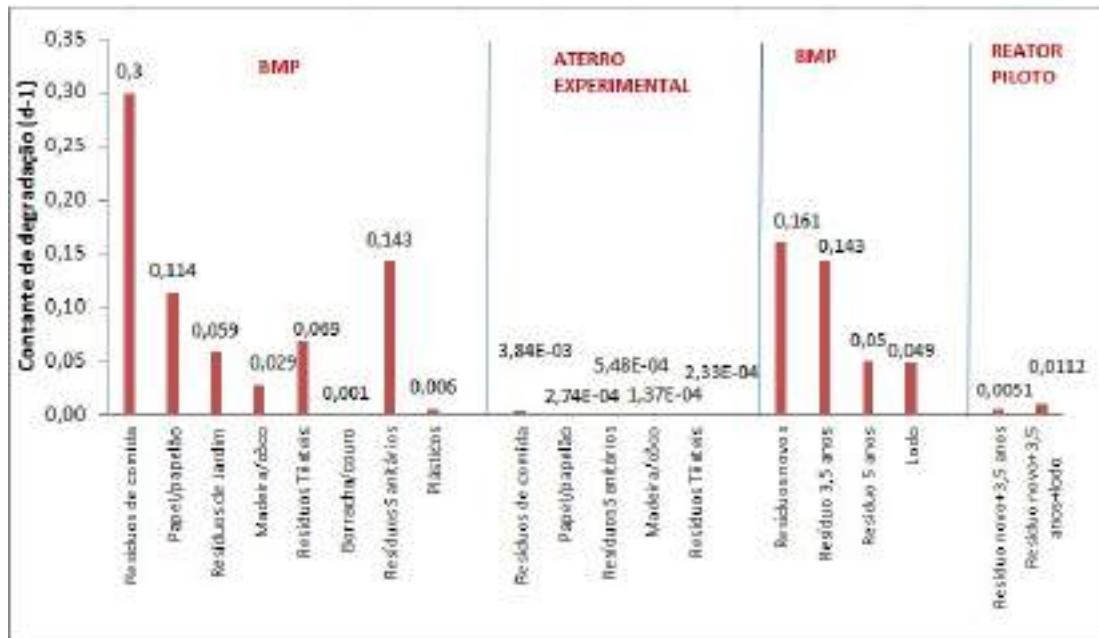


COMPARAÇÃO ENTRE ESCALAS (Firmo, 2013)

Velocidade de degradação

Dados utilizados no modelo para comparar escalas (Análise numérica)

Velocidade de biodegradação acelerada em:



- Condições de T e umidade controladas;
- materiais processados ($d < 2\text{mm}$);
- 90% de inóculo.

- Condições de T e umidade controladas;
- resíduos reduzidos ($d < 10\text{cm}$);
- 10% de inóculo ou ausente.

- Condições de T e umidade não controladas;
- resíduos brutos sem separação;
- sem inóculo e nutrientes.



ProteGEER

COOPERAÇÃO PARA A PROTEÇÃO DO CLIMA
NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS



Modelos de Previsão de Biogás

Landfill gas modeling - Model types (incomplete)



Zero order model: LFG formation is constant over time, so there is no effect of waste age



Constant rate model: after a lag phase LFG formation rises instantly to a constant value until all organics are degraded, and decreases than to zero



First-order model (FOD): effect of waste age is incorporated by an exponentially decline of LFG generation. With modifications, this model is mostly used



Multiphase model: FOD model which distinguishes different waste fractions with different degradation rates



Scholl Canyon model: Most commonly used FOD model. The model doesn't consider a lag phase or limiting factors like moisture



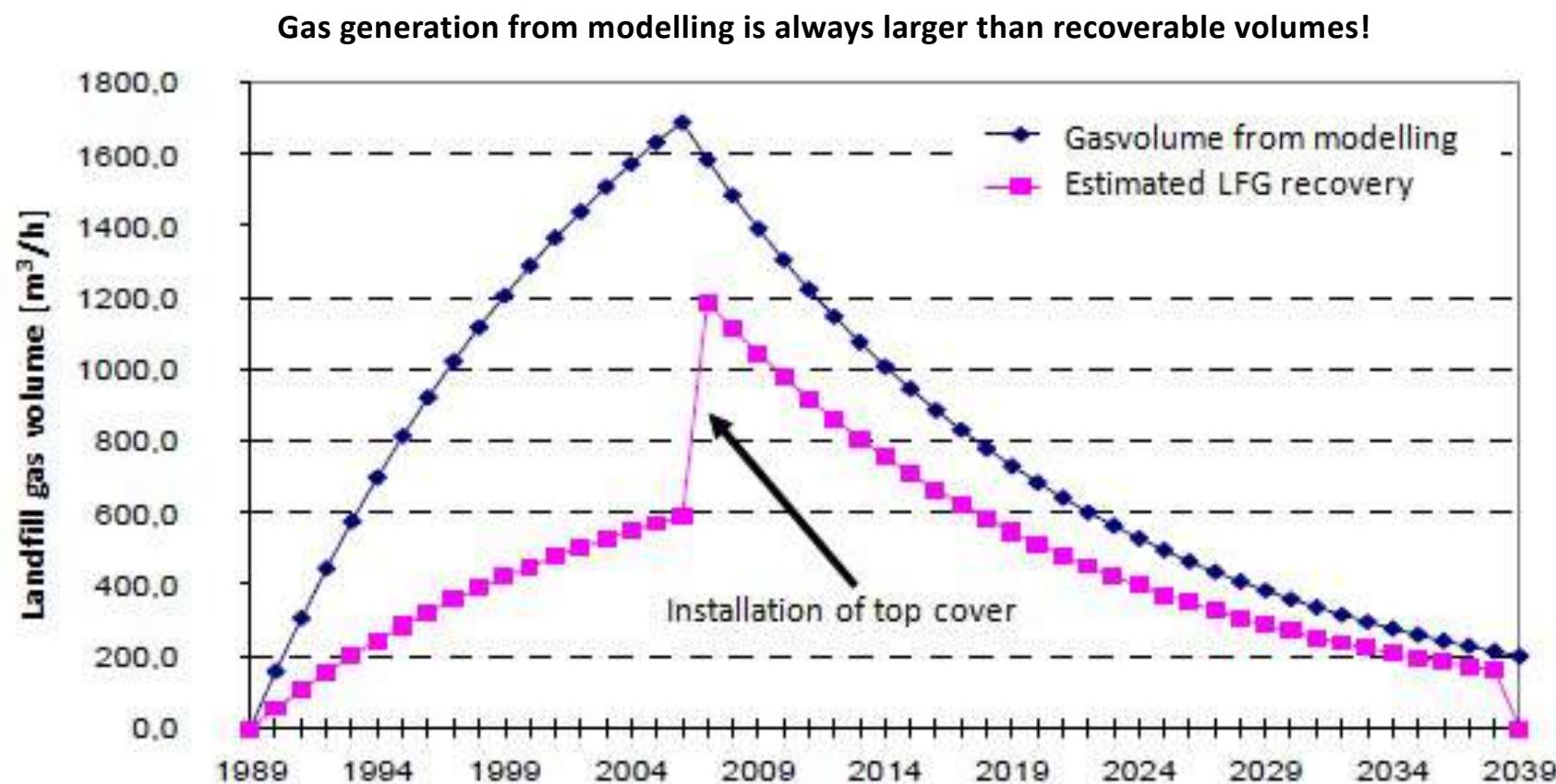
Stoichiometric model: Based on a stoichiometric reaction, in which the waste is represented by an empirical chemical formula. It only estimates the total amount of LFG, but gives no information in view of the generation rate. Requires knowledge of the chemical composition of waste



Use of landfill gas - Overview

Modeled gas volume = Recovered gas volume + non-recovered gas emissions during operation + methane oxidation + changes in gas storage

The only parameter in the balance that can be determined is the volume of recovered gas, the other parameters are estimations!



Tabarasan-Rettenberger model (VDI 3790) - the most used FOD model in Europe:

$$G_t = f_1 * f_2 * G_e * (1 - e^{-kt}) = f_1 * f_2 * 1,868 * C_{org} * (0,014 * T + 0,28) * k * e^{-kt}$$

G_t accumulated gas generation until year t ($\text{CH}_4 = 55 \text{ vol.-%}$) $[\text{m}^3/\text{t}]$

f_1 correction factor for carbon loss through aerobic degradation or fire;
landfill-site specific

f_2 correction factor for reduced gas yield, ca. 0,4 to 0,6

G_e gas formation potential $[\text{m}^3/\text{t}]$

k degradation constant = $\ln 2/t_{1/2}$
[1/a]

t time [a]

1,868 theoretically generated gas volume from 1 ton of carbon

C_{org} content of under anaerobic conditions degradable carbon in waste $[\text{kg/t}]$

T temperature in the landfill $[{}^\circ \text{C}]$

G_e in Germany for MSW: 200 - 250 m^3/t $[\text{m}^3/\text{t}]$

Landfill gas modeling - IPCC model

$$CH_{4,emission} = MWS_T * MWS_F * MCF * DOC * DOC_F * F * \left(\frac{16}{12} - R \right) * (1 - OX)$$

IPCC model

MWS_T total MSW generated [Gg/a]

MWS_F fraction of MSW disposed of at the landfill site

MCF methane correction factor (fraction)

DOC degradable organic carbon (fraction)

DOC_F fraction of the DOC that is biodegradable under real landfill conditions

F fraction of methane in LFG

R recovered methane [Gg/a]

OX oxidation factor

In the meantime the model has been adopted to many country specific conditions (waste composition, climate conditions, landfill technologies...).

IPCC model

Default values for half life time

Type of Waste		Climate Zone							
		Boreal and temperate (MAT = 20 °C)				Tropical (MAT > 20 °C)			
		Dry (MAP/PET < 1)		WET (MAP/PET > 1)		Dry (MAP < 1000 mm)		Moist and wet (MAP = 100)	
		Default	Range	Default	Range	Default	Range	Default	Range
Slowly degrading waste	Paper/ textiles waste	17	14 - 23	12	10 - 14	15	12 - 17	10	8 - 12
	Wood/ straw waste	35	23 - 69	23	17 - 35	28	17 - 35	20	14 - 23
Moderately degrading waste	Other (non-food) organic putrescible/ garden and park waste	14	12 - 17	7	6 - 9	11	9 - 14	4	3 - 5
Rapidly degrading waste	Food waste/ sewage sludge	12	9 - 14	4	3 - 6	8	6 - 10	2	1 - 4
MSW or industrial waste		44	12 - 17	7	6 - 9	11	9 - 14	4	3 - 5

Default values for degradation constant [1/a]

Type of Waste		Climate Zone							
		Boreal and temperate (MAT = 20 °C)				Tropical (MAT > 20 °C)			
		Dry (MAP/PET < 1)		WET (MAP/PET > 1)		Dry (MAP < 1000 mm)		Moist and wet (MAP = 100)	
		Default	Range	Default	Range	Default	Range	Default	Range
Slowly degrading waste	Paper/ textiles waste	0.04	0.03 - 0.05	0.06	0.05 - 0.07	0.045	0.04 - 0.06	0.07	0.06 - 0.085
	Wood/ straw waste	0.02	0.01 - 0.03	0.03	0.02 - 0.04	0.025	0.02 - 0.04	0.035	0.03 - 0.05
Moderately degrading waste	Other (non-food) organic putrescible/ Garden and park waste	0.05	0.04 - 0.06	0.1	0.06 - 0.1	0.065	0.05 - 0.08	0.17	0.15 - 0.2
Rapidly degrading waste	Food waste/ sewage sludge	0.06	0.05 - 0.08	0.185	0.1 - 0.2	0.085	0.07 - 0.1	0.4	0.17 - 0.7
MSW or industrial waste		0.05	0.04 - 0.06	0.09	0.08 - 0.1	0.065	0.05 - 0.08	0.17	0.15 - 0.2

Landfill Cover

- How much of the generated LFG can be collected and how much is emitted into the atmosphere?
- Quantification: Measure of collected CH₄ and fugitive CH₄ emissions from the same area at the same time
- Collection efficiency = collected CH₄ / (collected CH₄ + emitted CH₄)
- Soil cover: Strong influence of water saturation: dry: 53 % at saturation: > 90 %

Type of cover	Range (%)	Mid-range default (%)
Area without active gas collection, regardless of cover type	0*	--
Area with daily soil cover and active gas collection	50 - 70	60
Area with an intermediate soil cover, active gas collection	54 - 95	75
Area with a final soil cover of clay and/or geomembrane cover system and active gas collection	90 - 99	95

* Without passive systems

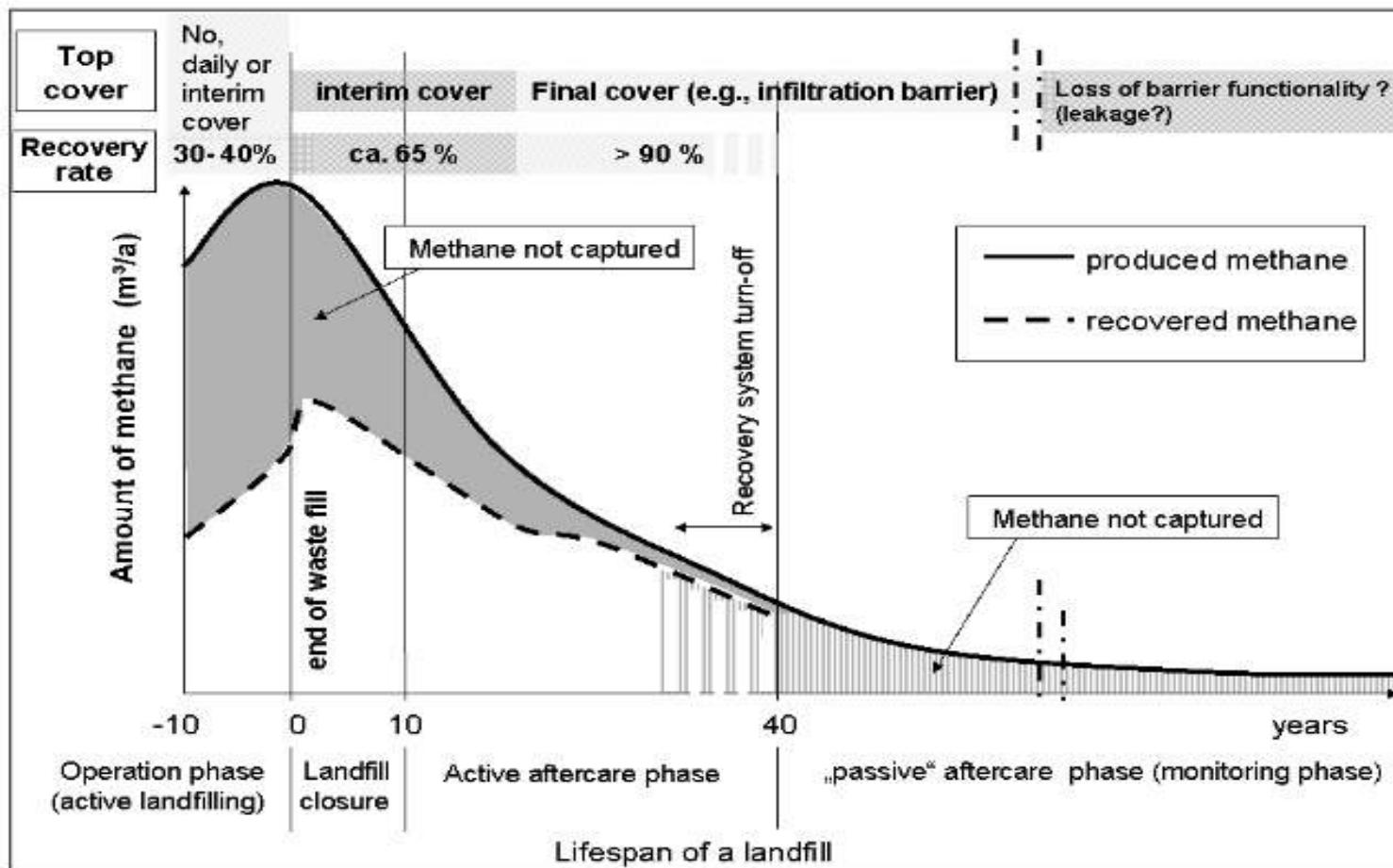
IPCC model

- **Delay time:**
 - After disposal, it takes 7 months up to 1 year until methane is generated
 - Delay time depends on waste composition and climate conditions
 - Default value is 6 months, but changes to values from 0 - 6 months are allowed
- **DOC see table below**

	DOC (Degradable organic carbon), weight fraction, wet	
Type of waste	Range	Default
Food waste	0.08 - 0.20	0.15
Garden	0.18 - 0.22	0.2
Paper	0.36 - 0.45	0.4
Wood and straw	0.39 - 0.46	0.43
Textiles	0.20 - 0.40	0.24
Disposable nappies	0.18 - 0.32	0.24
Sewage sludge	0.04 - 0.05	0.05
Industrial waste	0 - 0.54	0.15

Landfill gas modeling - Collection efficiency

These efficiencies are not representative for the total lifespan of the landfill,
as CH_4 is already emitted before the cover system is installed!





ProteGEER

COOPERAÇÃO PARA A PROTEÇÃO DO CLIMA
NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS



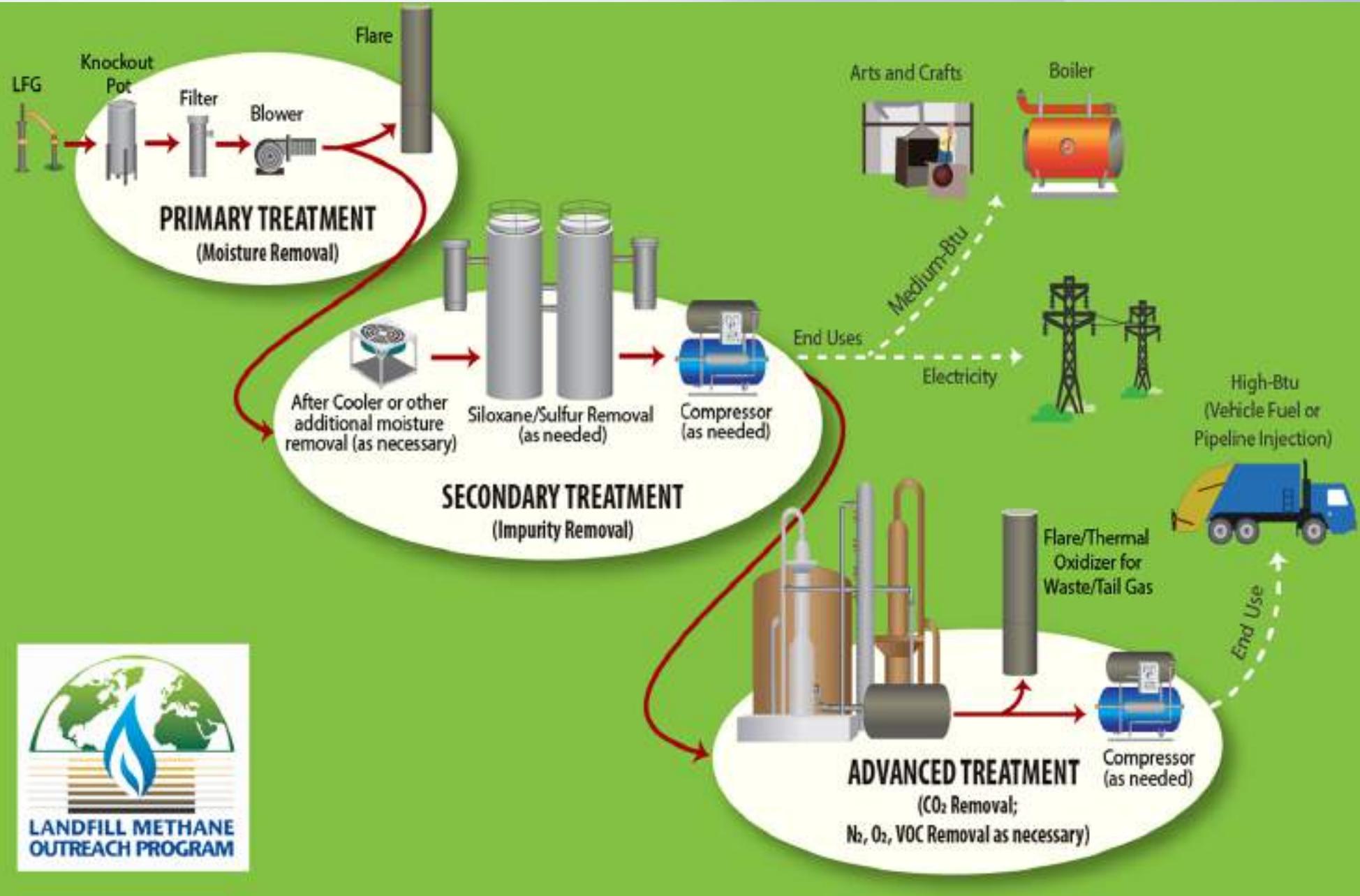
GRS

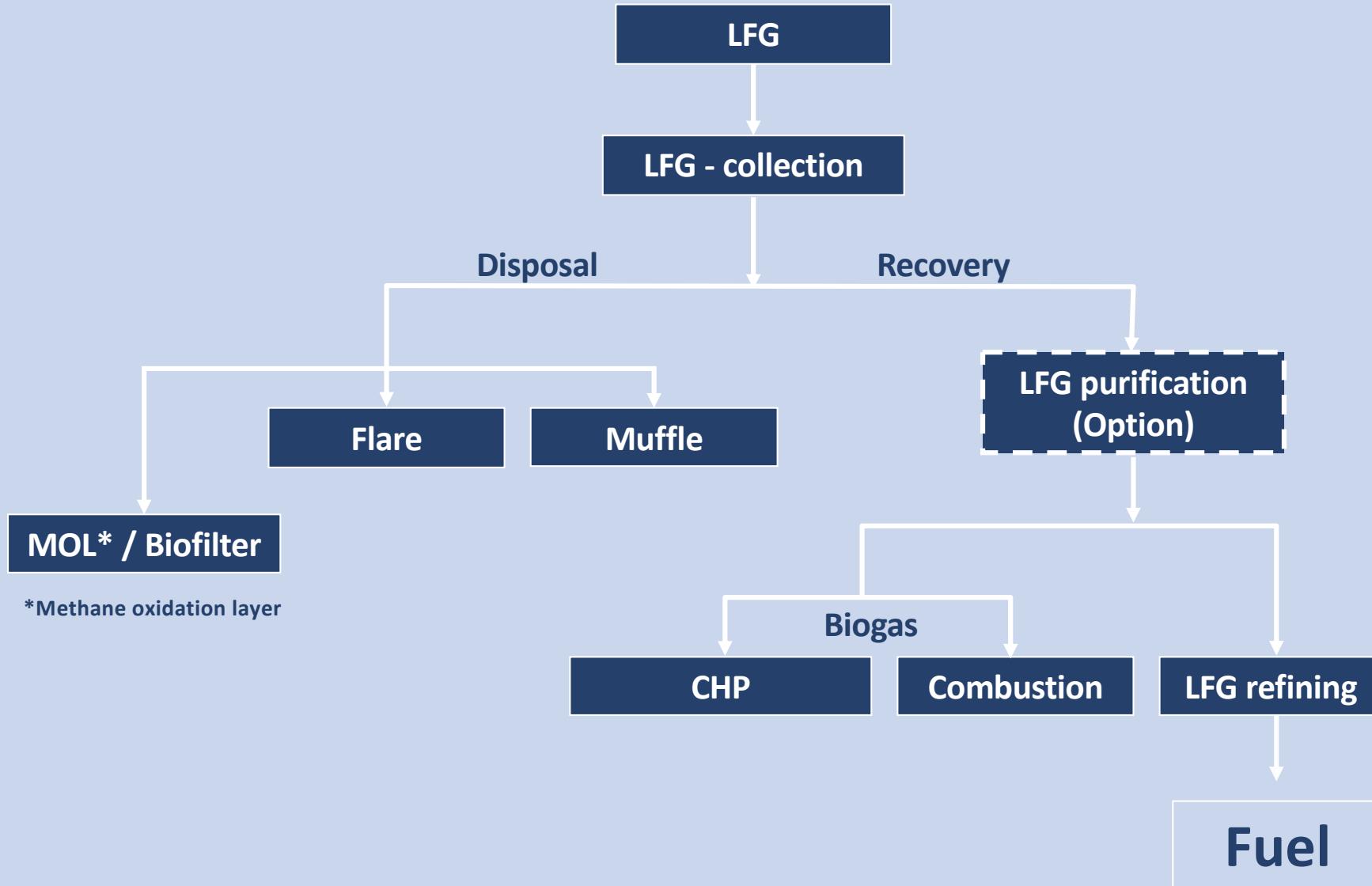
Geotecnia Ambiental
Grupo de Resíduos Sólidos - UFPE

Aproveitamento do Biogás para Geração de Energia Elétrica

Uso do Biogás de Aterros

Etapas do tratamento do Biogás (EPA, 2017)





Energy content and CH₄- content of LFG

Types of LFG	Calorific values (MJ/m ³)	CH ₄ -Content (%)
Medium-grade fuels	16.8	50 - 55
High-grade fuels	37.3	> 90
Lean gas	< 8.5	< 25

Different gas qualities require specific utilisation and disposal technologies!

Electricity generation:

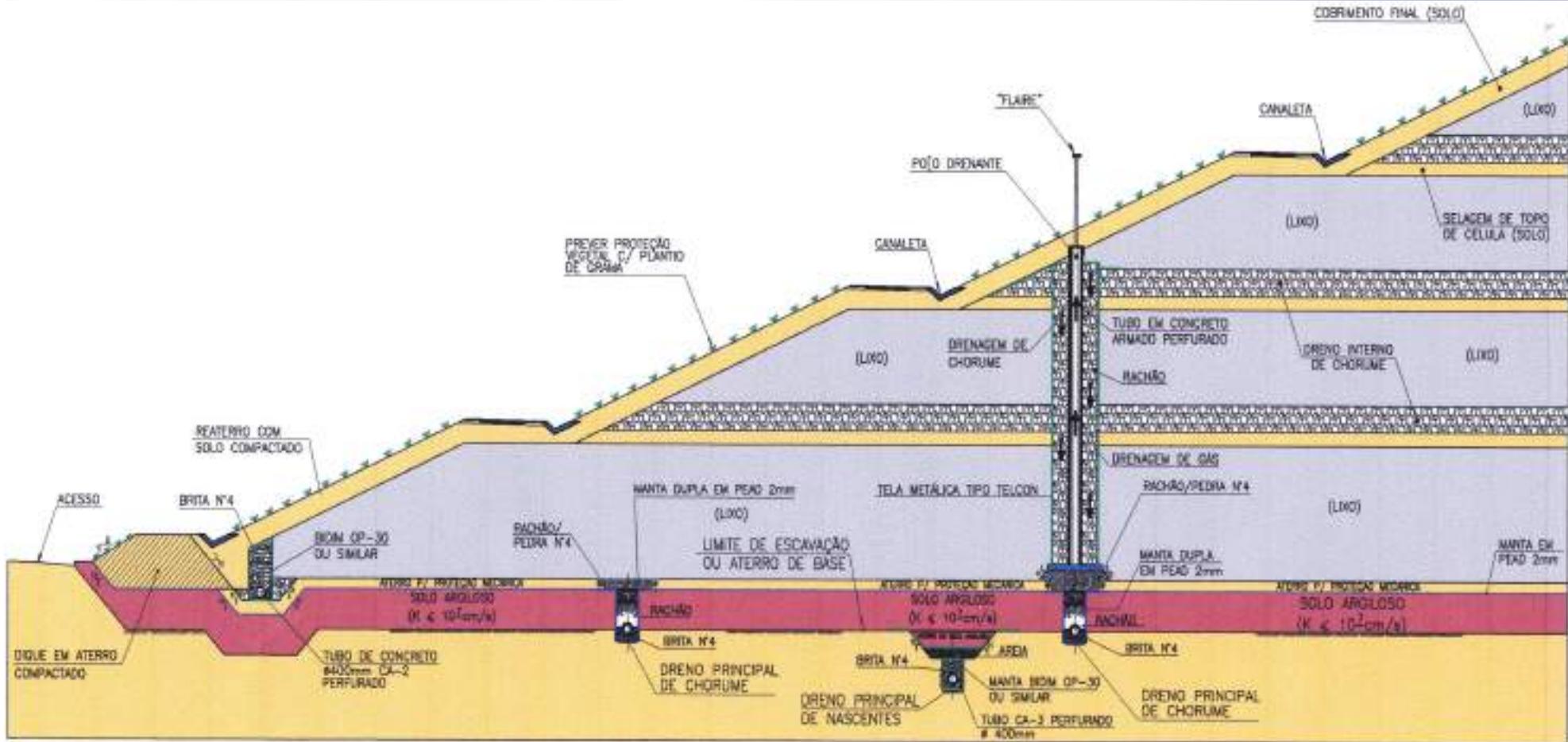
- Internal combustion engines for 800 kW to 3 MW projects
- LFG flow \sim 8.5 to 30 m³/min with min. 40 - 50 vol.-% CH₄ electrical efficiency 30 - 40 %
- Gas turbines for \geq 5 MW LFG flow $>$ 35 m³/min with min 40 - 50 vol.-% CH₄ electrical efficiency 20 - 28 %
- Micro-turbines for projects $<$ 1 MW LFG flow $<$ 1 m³/min with min 35 vol. % CH₄ is possible

Aterro Sanitário Bandeirantes, São Paulo



- ▶ 6.500 t/dia.
- ▶ Área: 1.400.000 m².
- ▶ Encerrado em 2010.
- ▶ Volume: 35 milhões de toneladas.
- ▶ Altura do aterro: 105 m.

Aterro Bandeirantes - SP

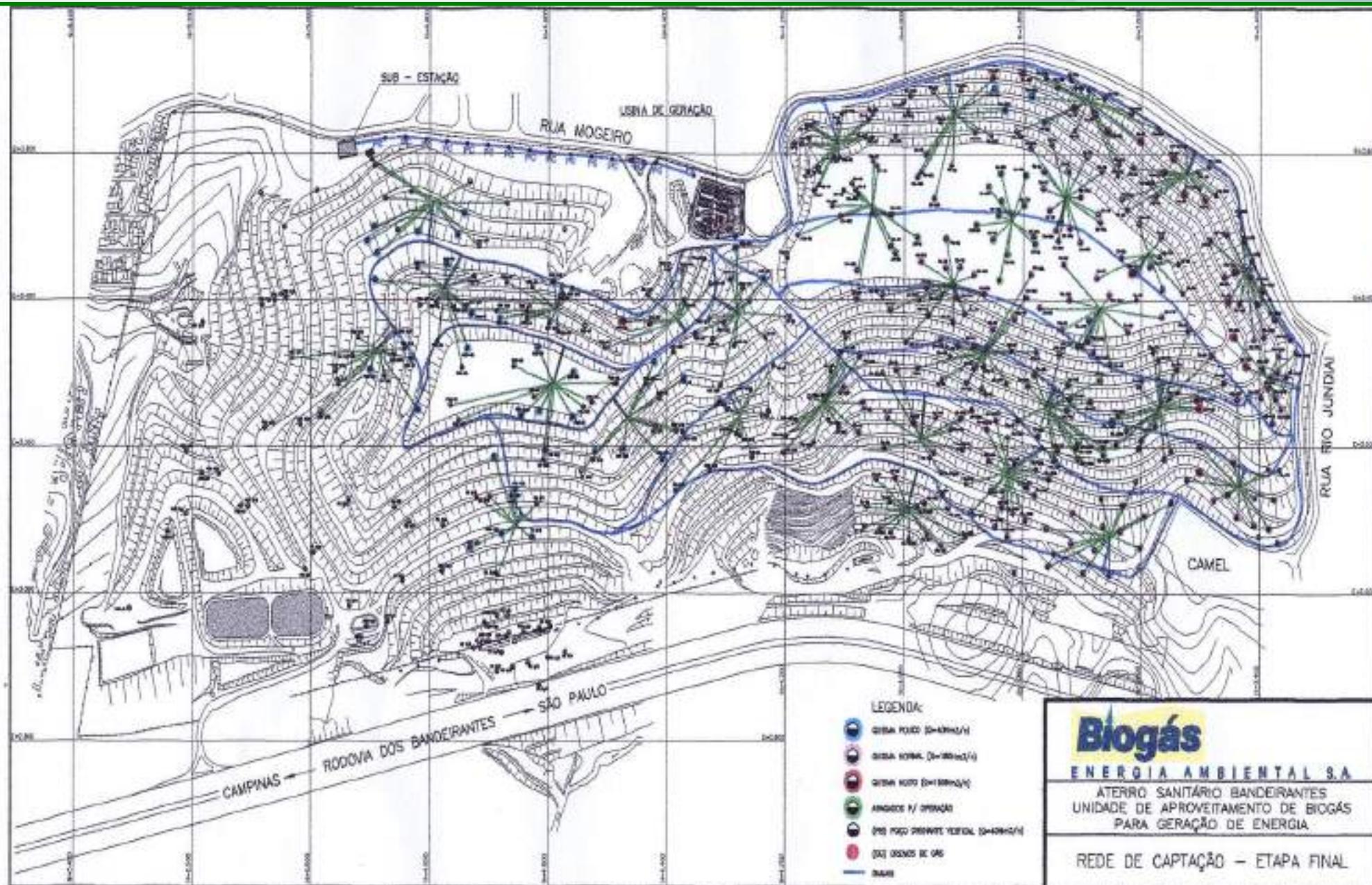




ENSAIOS DE CAMPO - 1^a Etapa

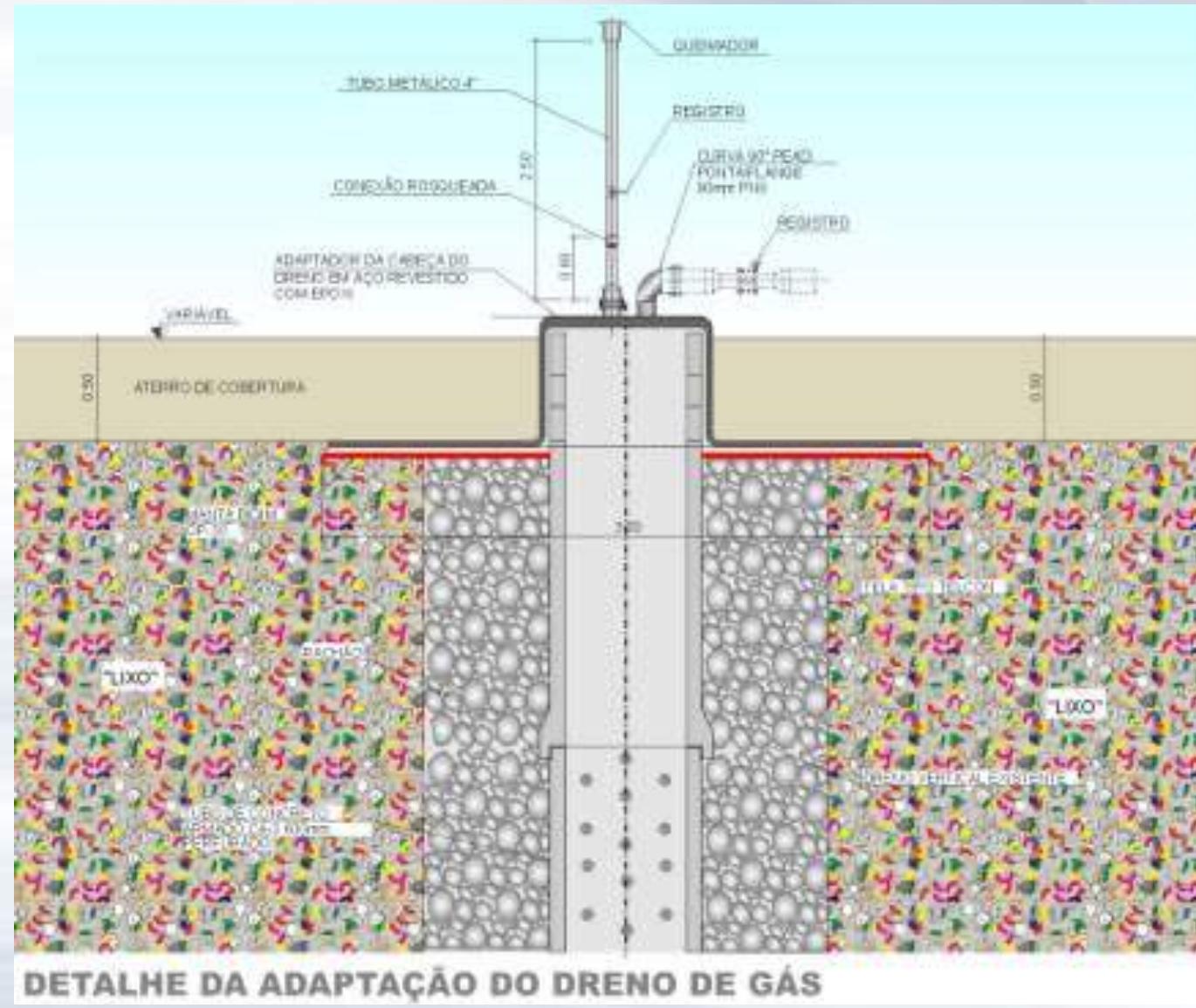


Rede de Captação do Biogás





DETALHE DE ADAPTAÇÃO DO DRENO DE GÁS



EXECUÇÃO DE CABEÇOTES

Conexão com PDR concluída

Cabeçotes: Coleta de gás



INSTALAÇÃO DA REDE DE CAPTAÇÃO



**SERVIÇOS DE EXECUÇÃO DE
TUBO COLETOR A JUSANTE DO
MACIÇO, COM ENFOQUE PARA
IÇAMENTO E COMPACTAÇÃO DE
FUNDO DE VALA**

DETALHE DOS MANIFOLDS EM EXECUÇÃO



CONDENSADORES



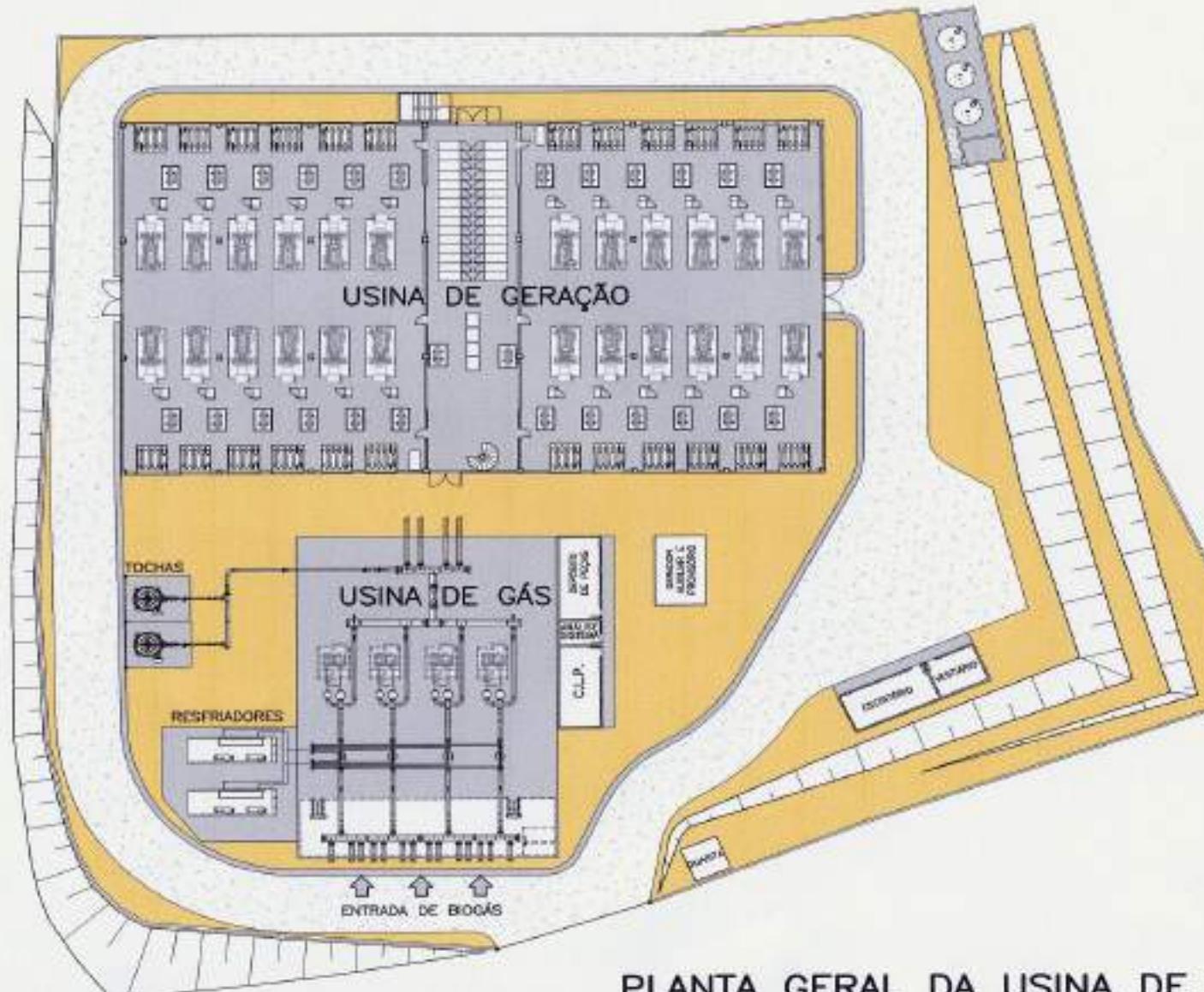
RESFRIADORES



SOPRADORES



USINA DE BIOGÁS



PLANTA GERAL DA USINA DE BIOGÁS

ÁREA INTERNA DA USINA – 22MW



SISTEMA DE CONTROLE

Controle elétrico e de automação dos moto-geradores







Projeto GNR Fortaleza

**Captação e Purificação de Biometano
do aterro sanitário ASMOOC
Caucaia - CE**



Projeto GNR Fortaleza – Grandes números

- Produção de 100.000 Nm³/dia de biometano na primeira fase em operação;
- Produção de 150.000 Nm³/dia de biometano na segunda fase → após 2020;
- Projeto com vida útil de 20 anos;
- Volume de 85.000m³/dia vendida para Cegás – injeção em gasoduto da concessionária;
- Geração de 500.000 ton/ano créditos de carbono;
- Possibilidade de geração de energia elétrica com excesso de biogás;
- Possibilidade de aproveitamento do CO₂;

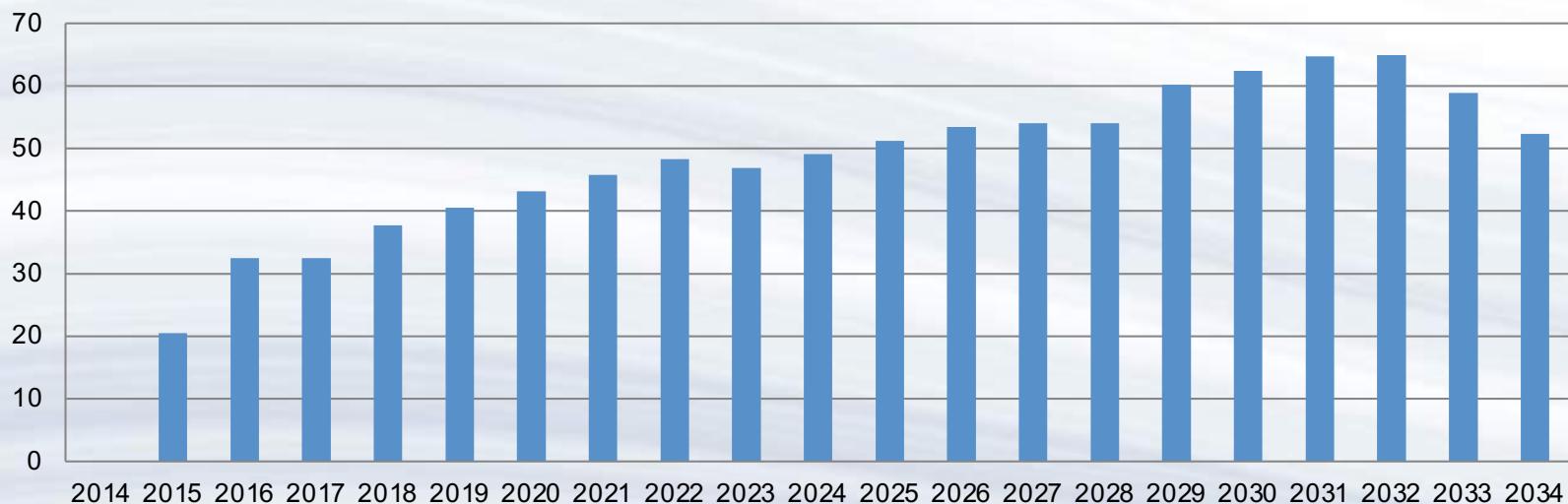
Curva de Biogás do Aterro de Caucáia - CE



Captação e Processamento de Biogás Bruto (Nm³/h)

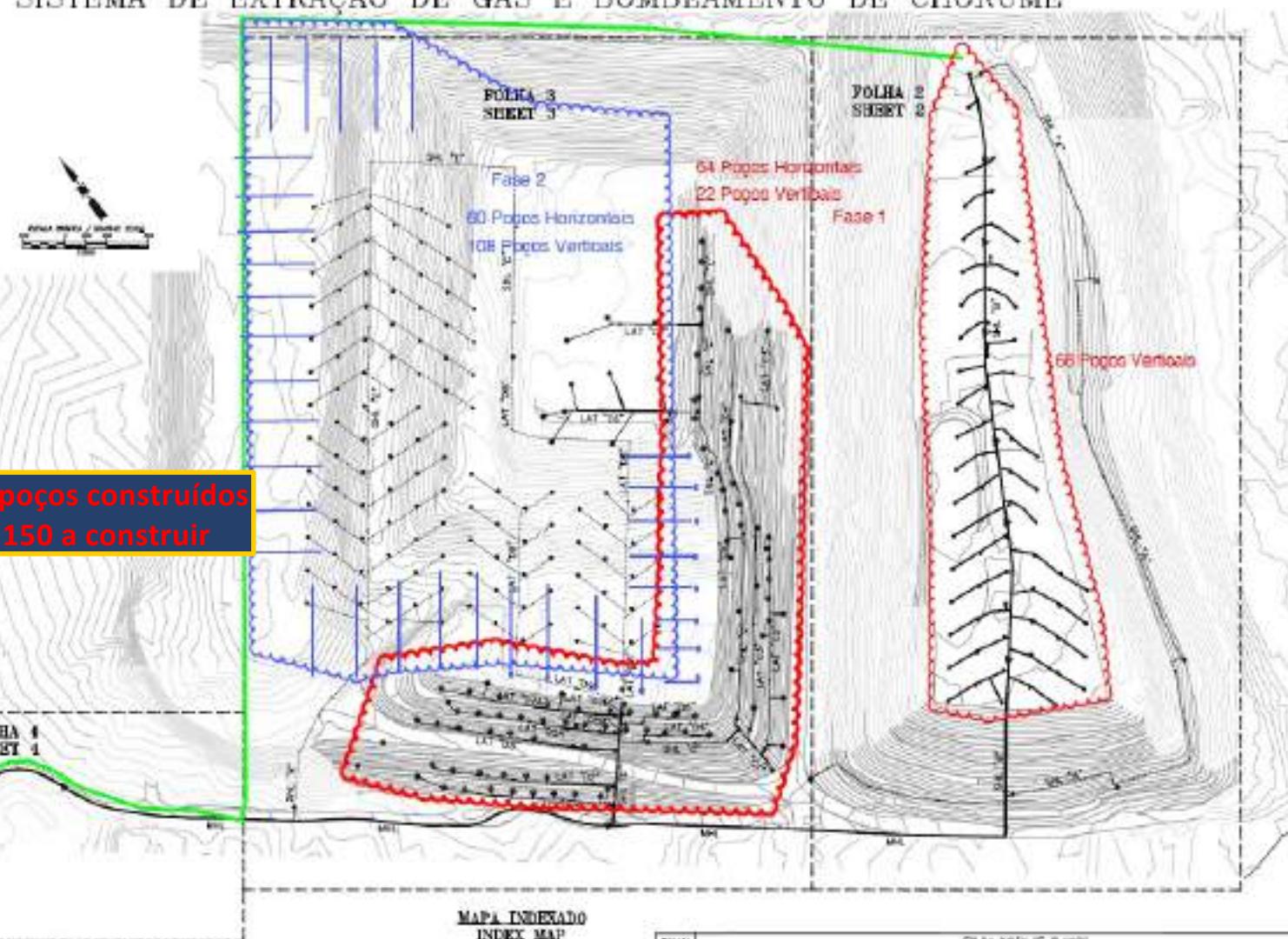


Produção de Biometano (milhões de Nm³/ano)



GNR-FORTALEZA (ECOFOR)
SISTEMA DE EXTRAÇÃO DE GÁS E BOMBEAMENTO DE CHORUME

**250 poços construídos
+ 150 a construir**



LEGEND / LEGENDA

MAPA INDEXADO
INDEX MAP

FILM MIX (E PLANO)

卷之三

LANDTEC

THE RECORD OF CANADA, 1871

© 2004-05, AFRICAN-UNITED STATES

1948-1950: The First Years of the Cold War

GNR-FORTALEZA (ECOFOR)

SISTEMA DE ENTRADA DE GÁS

E BOMBEAMENTO DE CHÓRUMO

1 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022

Sistema de Captação – Construção Poços Horizontais



Sistema de Captação – Perfuração Poços Verticais



Controle Qualidade Biogás em Campo



Figura 2 - Spot Map para O₂ evidencia quais poços devem ser evitados para não causar contaminação de O₂ no sistema.

Produção Biometano: Purificação do Biogás



METANO CH₄

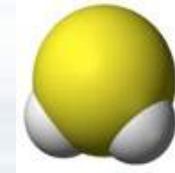
BIOGÁS BRUTO

55-58%



DIÓXIDO DE CARBONO CO₂

42-45%



SULFETO DE HIDROGÊNIO H₂S

1000ppm



NITROGÊNIO N₂

1,0%



OXIGÊNIO O₂

0,01%

TRATAMENTO PARA ESPECIFICAÇÃO
RESOLUÇÃO 685/17

BIOMETANO

Min 94,5%

Max 1-2%

< 6ppm

Max 1-3%

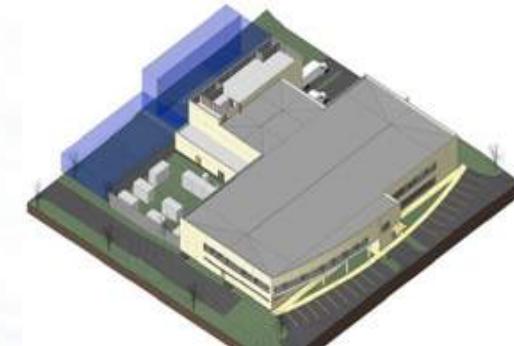
< 0,8%



MERCADO EXISTENTE
REGRAS CLARAS



MERCADO VEICULAR



MERCADO INDUSTRIAL



MERCADO RESIDENCIAL
COMERCIAL

Planta de Purificação



Subestação Elétrica 69KV - 5MVA

Demanda elétrica da planta de purificação: 2,5 MW - Linha transmissão de 5,5Km construída exclusiva para o projeto



Captação e Queima do Biogás no Aterro Metropolitano de João Pessoa

- **Capacidade: 1.100 toneladas/dia**
- **Vida útil: 25 + 15 anos**
- **Unidades de Operação em Células**
 - 24 células (150m x 150m)
 - 5 células de (320m x 320m)

Aterro Sanitário CTR JP – situação atual

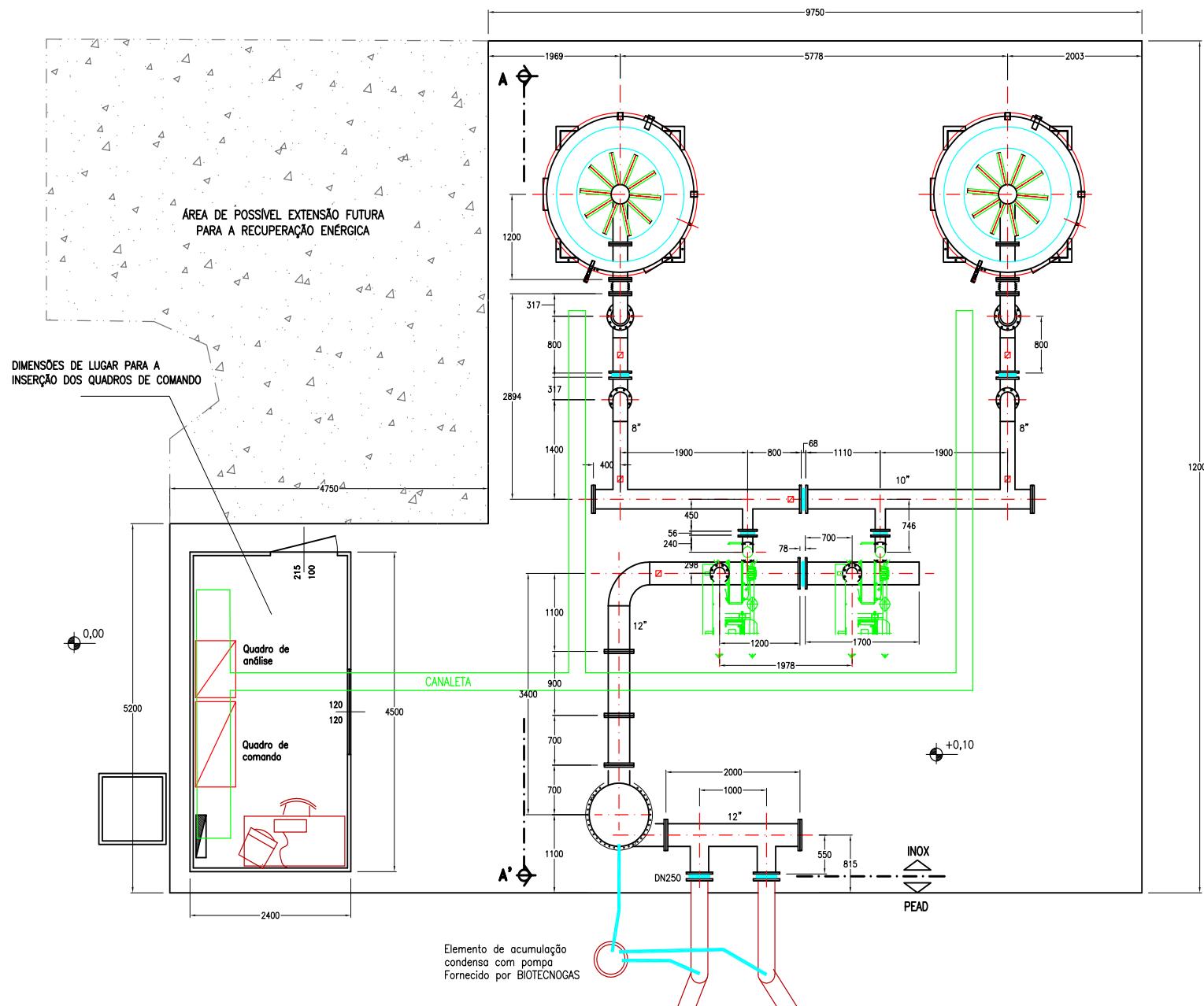




VALVULA		11:32 - 09/29/12		Barra: 996 mb
Anal	Ajustado	Inicial	Anterior	Unida
CH ₄	56.2	56.2	56.1	%
CO ₂	43.9	43.9	43.9	%
O ₂	0.1	0.1	0.1	%
HC	82	82	82	ppm
H ₂ S	671	671	671	ppm
Bal	0.0	0.0	0.0	%
Estante	-41.32	-41.32	-41.32	mb
P. Dif	25.000	25.000	25.000	mb
Temp	+0.0	+0.0	0.0	°C
Fluxo	0.0	0.0	0.0	m ³ /h
Energia	0.0	0.0	0.0	kW

Captação do gás no aterro





Central de combustão do biogás



Vista Geral da Central de Combustão



Investimentos em algumas unidades de captação de biogás no Brasil (2019)

Local/Aterro	Cidade	Tipo de Aproveitamento	Potencia Instalada	Vazão de metano	Investimentos	Observações
CGA Titara	Grande SLZ	Energia elétrica	2,4 MW		R\$ 20 milhões	Asja
GNR Fortaleza ASMOC	Caucaia e RM Fortaleza	Biocombustível		100.000 m ³ /dia prod. de biometano	R\$ 100 milhões	500.000 t CO ₂ e evitadas por ano
Metropolitano	João Pessoa PB	Queima Central. de metano		1.600 m ³ /h		Implantando 4x 1,4 MW para Energia Elétrica
CTR Candeias	Recife e Jaboatão PE	Queima centralizada de metano	11,2 MW	3.000 m ³ /h	R\$ 30 milhões	Implantando 8x 1,4 MW para Energia Elétrica - 52 mil pessoas - Asja
CTR PE	Igarassu e RMR Norte PE	Energia elétrica	1 MW - 4,2MW		EUR 1 milhão	Em instalação com início de operação 2018
CTR Petrolina	Petrolina PE e Juazeiro BA	Energia elétrica	1 MW	600 m ³ /h de biogás, CH ₄ 50%	EUR 1 milhão	Início da operação em agosto de 2019
Macaúbas	Sabará e Belo Horizonte	Energia elétrica	5,6 MW	30.000 m ³ /h em 100 poços	EUR 7 milhões	250.000 t CO ₂ e evitadas por ano
Brasília	Distrito Federal	Energia elétrica	5 MW		R\$ 22,3 milhões	Início da operação em 2019
CTR Santa Rosa	Rio de Janeiro	Queima Central. de metano		20.000 m ³ /h	US\$ 100 milhões	Está queimando 18.000 m ³ /h. P perspectiva de ser comerc. com CEG
GNR Dois Arcos	São Pedro de Aldeia RJ	Biocombustível				
Bandeirantes	São Paulo	Energia elétrica	20 MW	2.260 m ³ /h		Perdas pela cobertura 0,03m ³ .CH4/m ² .dia (16%) ou 504 m ³ CH ₄ /h
Caieiras	São Paulo	Energia elétrica	29,5 MW	7.250 m ³ /h	R\$ 100 milhões	Perdas pela cobertura 0,30m ³ .CH4/m ² .dia (35%) ou 3840 m ³ CH ₄ /h
Canhanduba	Itajaí - SC	Energia elétrica	1 - 3 MW		R\$ 7,5 milhões	350 t/dia
Central do Recreio	Minas do Leão - RS	Energia elétrica	8,5 MW			Recebe 4 mil t de 135 municípios



<http://www.grs-ufpe.com.br>

jucah@ufpe.br

WhatsApp: 81-99926.8469