

Programa de Pós-Graduação em Energia - PPGE

Disciplina: Biomassa como Fonte de Energia

BIOGÁS: ALTERNATIVA ENERGÉTICA

Vanessa Pecora Garcilasso

e-mail: vpgarcilasso@hotmail.com

23 de Outubro de 2020

BIOGÁS: ALTERNATIVA ENERGÉTICA

O que é Biogás?

Conjunto de gases formado na degradação da matéria orgânica em meio anaeróbico

Digestão Anaeróbia: Processo fermentativo, sem a presença de oxigênio, em que a matéria orgânica é degradada, formando, basicamente, metano e gás carbônico.

Composição Média do Biogás

COMPONENTE	QUANTIDADE
Metano	60%
Dióxido de Carbono	35%
Outros Gases – Hidrogênio, Nitrogênio, Oxigênio, Amônia, Ácido Sulfídrico, Aminas Voláteis e Monóxido de Carbono	5%

Fonte: WEREKO-BROBBY; HAGEN, 2000

Principais Fatores que Influenciam a Formação do Biogás

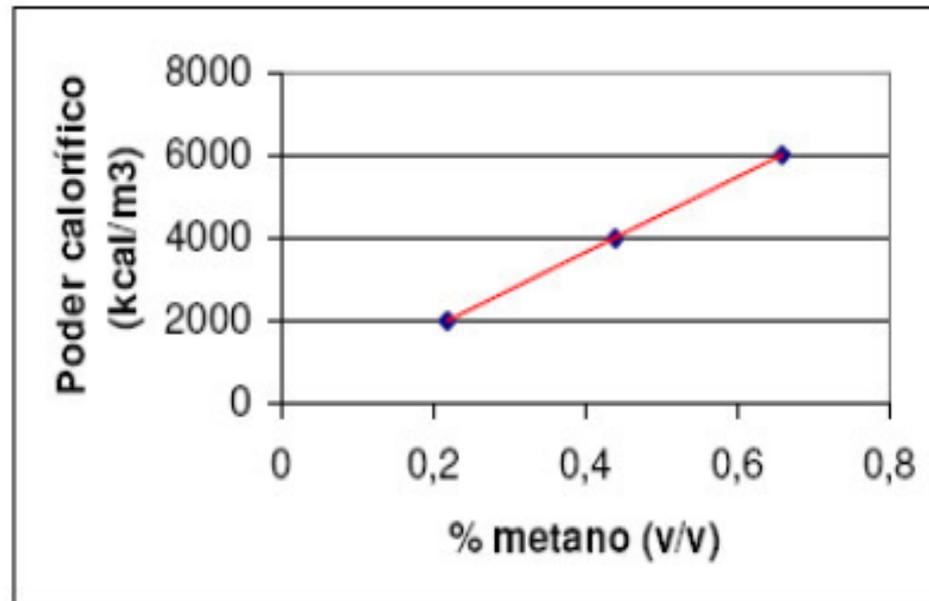
- Impermeabilidade ao ar: bactérias metanogênicas são estritamente anaeróbias – com a presença de ar, ocorre apenas a formação de CO₂;
- Composição dos resíduos: quanto maior a porcentagem de material orgânico no resíduos, maior a concentração de metano no biogás.
- Temperatura: bactérias devem operar na faixa ideal de temperatura. Alterações de temperatura podem causar desequilíbrio nas culturas envolvidas. Abaixo de 10 °C geralmente o processo é interrompido e acima de 65 °C, devido ao excesso de calor, as enzimas perdem a função de degradar a matéria orgânica.

Aspectos Físico-Químicos do Biogás

- Umidade: a umidade presente no biogás influencia diretamente o processo de combustão (diminui o poder calorífico);
- Quantidade de metano: quanto maior a quantidade de metano, maior o poder calorífico do biogás (o CO_2 é a forma mais oxidada do carbono, não podendo ser mais queimado).

% Metano X Poder Calorífico

Relação entre poder calorífico do biogás e porcentagem de metano em volume



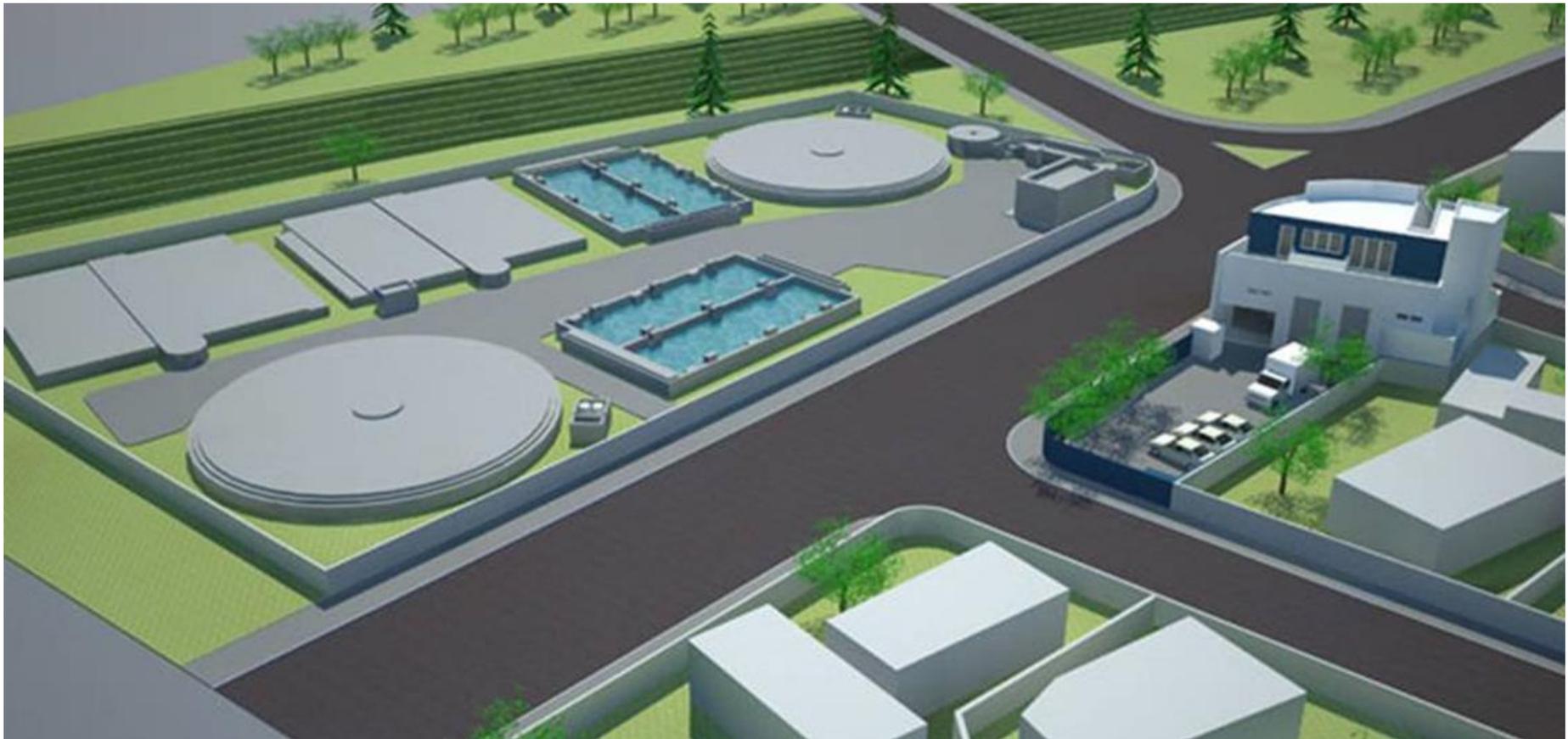
Fonte: Alves (2000)

Poder calorífico do biogás com 50% de metano: ~ 5.500 kcal/m³ (considerado um gás pobre)

Obtenção do Biogás

- Efluentes Líquidos (ETE's / Vinhaça)
- Zona Rural
- Resíduos Sólidos Urbanos

Tratamento de esgoto sanitário em ETE / Produção de Biogás



Efluente Doméstico - Esgoto

Conforme a última publicação do Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, a média de coleta de esgoto (urbano e rural) no país em 2018 foi de 53,2%, e de apenas esgoto urbano foi de 60,9%. (SNIS, 2018).

Quanto ao tratamento de esgoto, o documento aponta que 74,5% do esgoto coletado no Brasil foi tratado em 2018 (SNIS, 2018).

Efluente Doméstico - Esgoto

Índices de coleta e tratamento de esgoto sanitário no Brasil e nas regiões geográficas

Região	Índice de atendimento com rede (%)		Índice de tratamento de esgoto (%)
	Coleta de esgoto		Esgoto coletado**
	Total*	Urbano	Total
Norte	10,5	13,3	83,4
Nordeste	28,0	36,3	83,6
Sudeste	79,2	83,7	67,5
Sul	45,2	51,9	95,0
Centro-Oeste	52,9	52,2	93,8
Brasil	53,2	60,9	74,5

Notas: **Esgoto urbano e rural; *Porcentagem do esgoto coletado que é tratado.

Fonte: (SNIS, 2019).

Pouco mais da metade dos municípios possuem rede coletora de esgoto sanitário no país. Isso significa que o esgoto não coletado em 46,8% dos municípios brasileiros, correspondendo a mais de 100 milhões de pessoas, tem destinos inadequados, como lançamento em rede de águas pluviais e disposição direta no solo ou nos corpos d'água

Observa-se que uma parte significativa (25,5%) do esgoto coletado no país não é tratado antes de seu descarte em corpos d'água, acarretando a poluição ambiental, principalmente dos recursos hídricos, e comprometendo a saúde da população. Esses dados indicam que o Brasil ainda possui dificuldades importantes quanto à coleta e tratamento de esgoto dos seus municípios. A título de comparação, foram lançadas cerca de 5.600 piscinas olímpicas de esgoto não tratado na natureza em 2018

Efluente Doméstico - Esgoto

Considerando a composição complexa do esgoto (água, matéria orgânica – proteínas, carboidratos e gorduras, matéria inorgânica – areia, sais e metais), nem sempre é possível remover todos os materiais em uma única unidade.

Portanto, as estações de tratamento de efluentes devem possuir unidades múltiplas, com objetivos diferentes, a fim de remover esses componentes do esgoto.

A mistura do esgoto urbano com esgoto industrial (frequentemente com metais pesados) acarreta problemas adicionais para o tratamento de esgoto e também para o uso de lodo formado no processo de digestão anaeróbia

O tratamento de esgoto consiste primeiramente na fase física do tratamento, como decantação e sedimentação, seguido pelos processos químicos e biológicos, tais como limpeza e digestão. Pode também ser classificado como tratamento preliminar, primário e secundário.

Fluxo de Tratamento - ETE

Tratamento Preliminar - remover do esgoto os sólidos grosseiros em suspensão. Uso de peneiras rotativas , caixas de retenção de areia (remoção de sólidos facilmente sedimentáveis como areia, farelo e outros) e caixas de separação de óleos e gorduras.

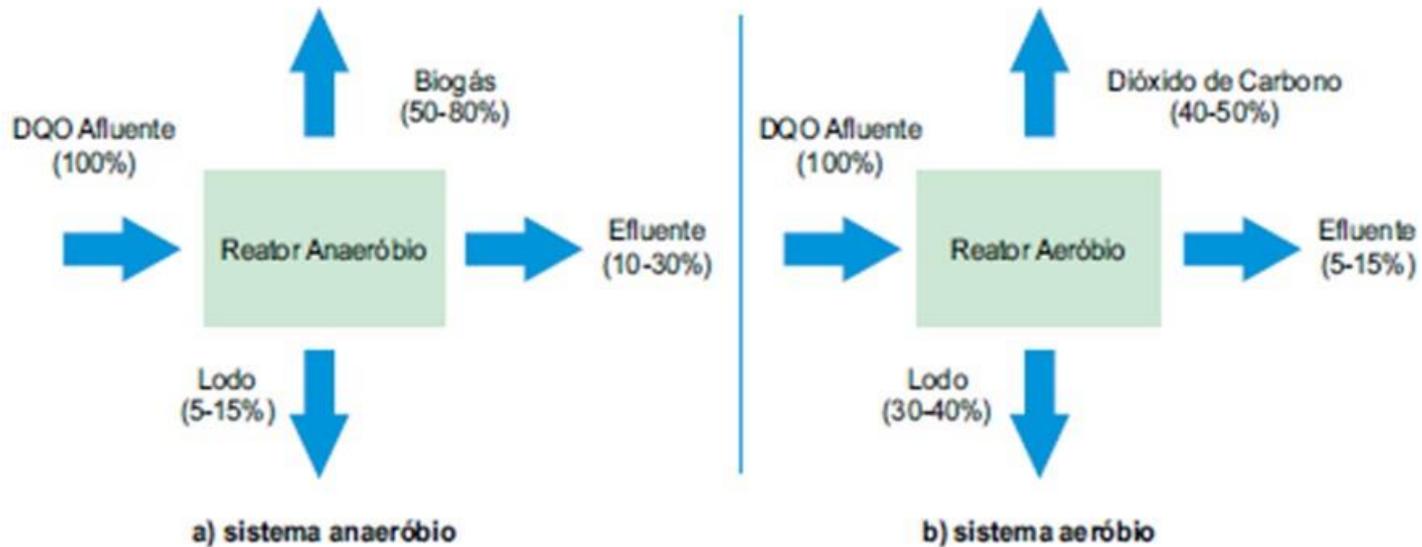
Tratamento Primário - O esgoto ainda contém sólidos em suspensão de porte pequeno cuja remoção pode ser feita em unidades de sedimentação (mecanismos físicos, via decantadores - formação do lodo primário bruto). A eliminação média da DBO, nesta fase, é de 30%.

Tratamento Secundário – tratamento biológico aeróbio ou anaeróbio (biodigestores) - remoção da matéria orgânica e redução dos microrganismos patogênicos. Nesta fase a redução da DBO deve alcançar 80 -90%, ou mais, dependendo do tipo de tratamento utilizado.

A determinação da DBO permite indicar a fração de matéria orgânica biodegradável, bem como a quantidade aproximada de oxigênio necessário para a estabilização biológica da matéria orgânica presente no esgoto. A DBO é um parâmetro significativo para avaliação da carga orgânica que é lançada nos corpos d'água.

Rotas de conversão de matéria orgânica

O tratamento biológico aeróbio consiste na decomposição da matéria orgânica em meio com a presença de oxigênio livre. Já no tratamento biológico anaeróbio a degradação da matéria orgânica é realizada por microorganismos estritamente anaeróbios, ou seja, microorganismos que desenvolvem suas atividades em meio sem a presença de oxigênio.



Digestão Anaeróbia

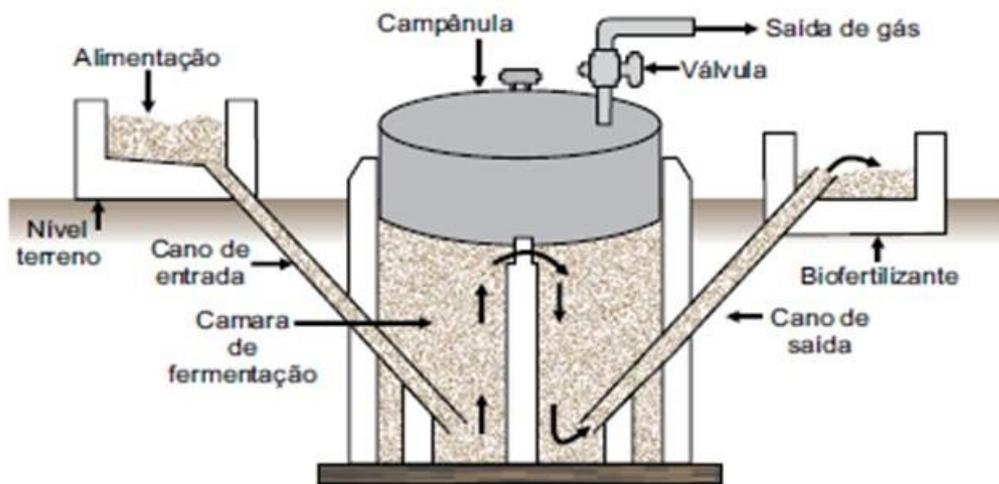
Diante de diversas alternativas para o tratamento do efluente, a digestão anaeróbia pode ser a mais viável, principalmente nas grandes cidades.

Os biodigestores são equipamentos utilizados para digestão de matérias orgânicas presentes nos efluentes líquidos.

A digestão anaeróbia dos efluentes permite a diminuição da quantidade de sólidos, bem como a redução de seu potencial poluidor, além de permitir a recuperação da energia na forma de biogás.

Tecnologias Aplicadas à Produção de Biogás

Biodigestor Modelo Indiano



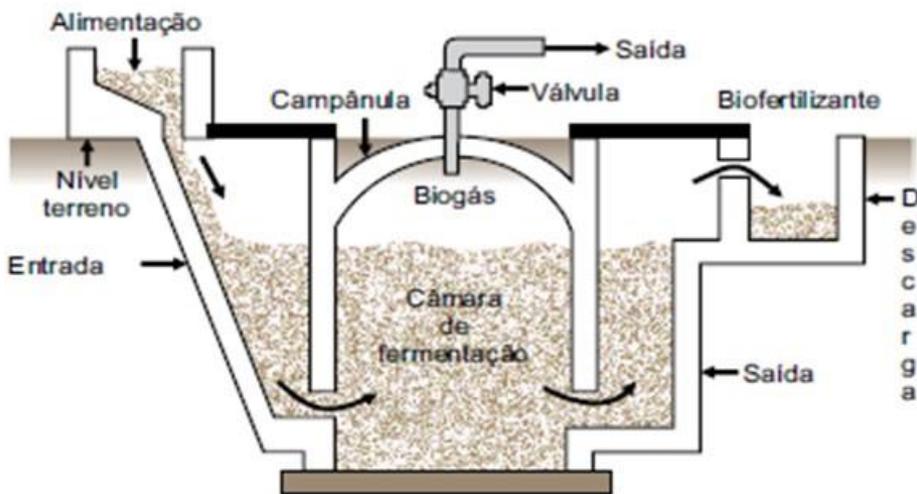
Possui campânula como gasômetro e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras (material circula por toda a câmara de fermentação)

A pressão de operação é constante pois, à medida que o volume de biogás produzido não é consumido, o gasômetro se desloca verticalmente para cima, aumentando o volume da câmara de armazenamento de gás, mantendo a pressão no interior do gasometro constante.

O resíduo alimentado deve conter no máximo 8% em volume de sólidos totais (ST). Isso para facilitar a circulação do resíduo pela câmara de fermentação e evitar o entupimento das tubulações

Tecnologias Aplicadas à Produção de Biogás

Biodigestor Modelo Chinês



Formado por uma câmara cilíndrica para fermentação, com teto impermeável, destinado ao armazenamento do biogás

Não apresenta partes móveis (gasômetro).
Constituído de uma única câmara.
Construído abaixo do nível do solo e, normalmente pode ser construído em alvenaria ou concreto.

Funciona com base no princípio de prensa hidráulica. O aumento da produção de biogás aumenta a pressão interior da câmara, que força a saída do resíduo da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário quando ocorre o abaixamento da pressão

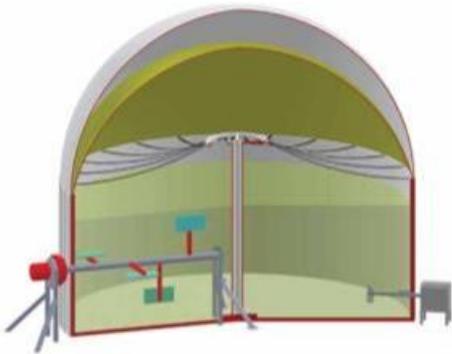
Biodigestores – Indiano e Chinês

Características:

- ✓ Os biodigestores modelos indiano e chinês são de baixo nível tecnológico;
- ✓ Não necessitam de dispositivos auxiliares ou de controles de operação sofisticados;
- ✓ Utilizados principalmente para o tratamento de dejetos de animais;
- ✓ São de alimentação semicontínua;
- ✓ A câmara de biodigestão construída abaixo do nível do solo a fim de diminuir as variações de temperatura;
- ✓ São de baixo custo e atendem a população de baixa renda.

Tecnologias Aplicadas à Produção de Biogás

CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactor*) ou Reator Contínuo de Mistura Completa



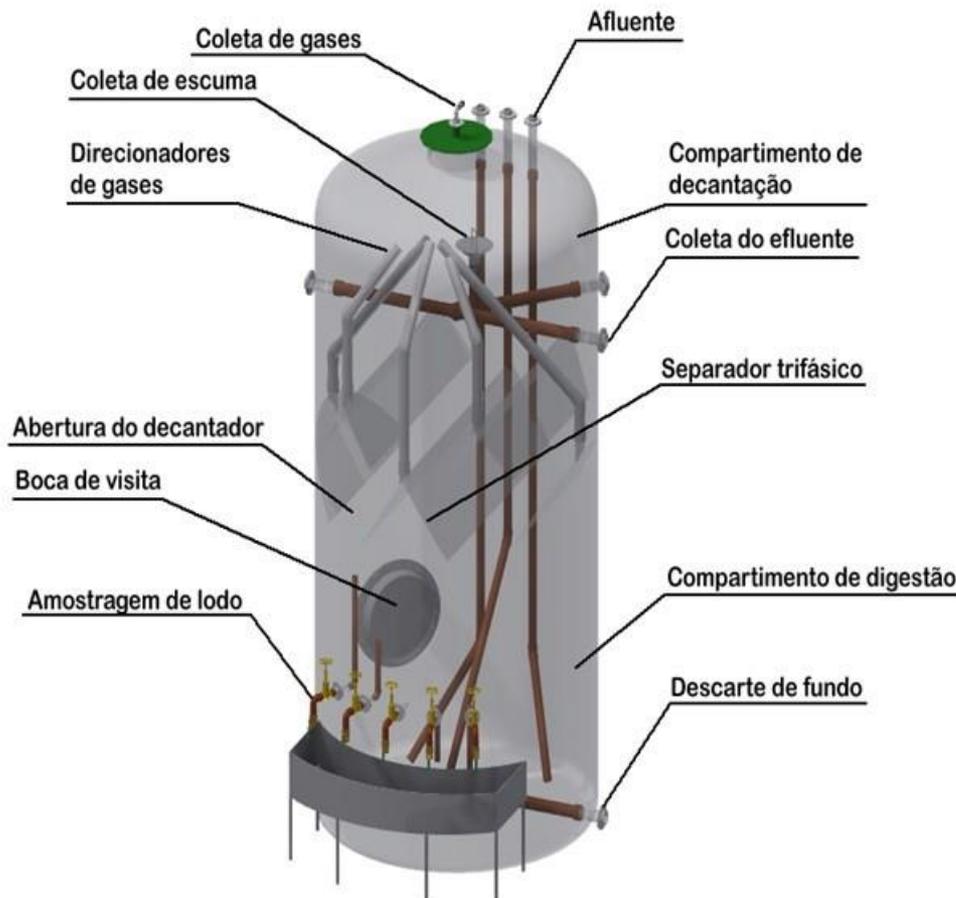
Reator CSTR com dupla membrana para acumulação de biogás e agitador de pá lateral.
Fonte:MCIDADES 3, 2015.



- ✓ Indicados para tratamento de substratos mais densos
- ✓ Teor de sólidos totais (ST) de até 20%.
- ✓ Indicado para tratamento de resíduos
 - ✓ agropecuária com boa degradabilidade
 - ✓ agroindústria com boa degradabilidade
 - ✓ tratamento de lodos de ETEs
- ✓ Pode ser necessário distintos **processos de pré-tratamento do substrato**, (triagem, trituração e diluição para ajuste do teor de sólidos)
- ✓ O objetivo do pré-tratamento é homogeneizar o substrato e o tamanho médio das partículas, **evitando assim a formação de zonas com diferentes concentrações de matéria orgânica no interior do reator**
- ✓ Para **maior eficiência** o material em digestão deve ser mantido nas faixas de temperatura mesofílica (35 a 37°C)

Tecnologias Aplicadas à Produção de Biogás

Biodigestor Modelo RAFA (Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente)



É o mais difundido para o tratamento de esgoto sanitário e também pode ser usado para o tratamento de matéria orgânica presente em resíduos urbanos e rurais.

Eficiência de tratamento: ~ 80%

GERAÇÃO DE BIOGÁS EM ETEs

$$Q = \frac{\Phi_{\text{efl}} \times \text{DBO}_{\text{efl}} \times \eta \times 0,25}{0,72}$$

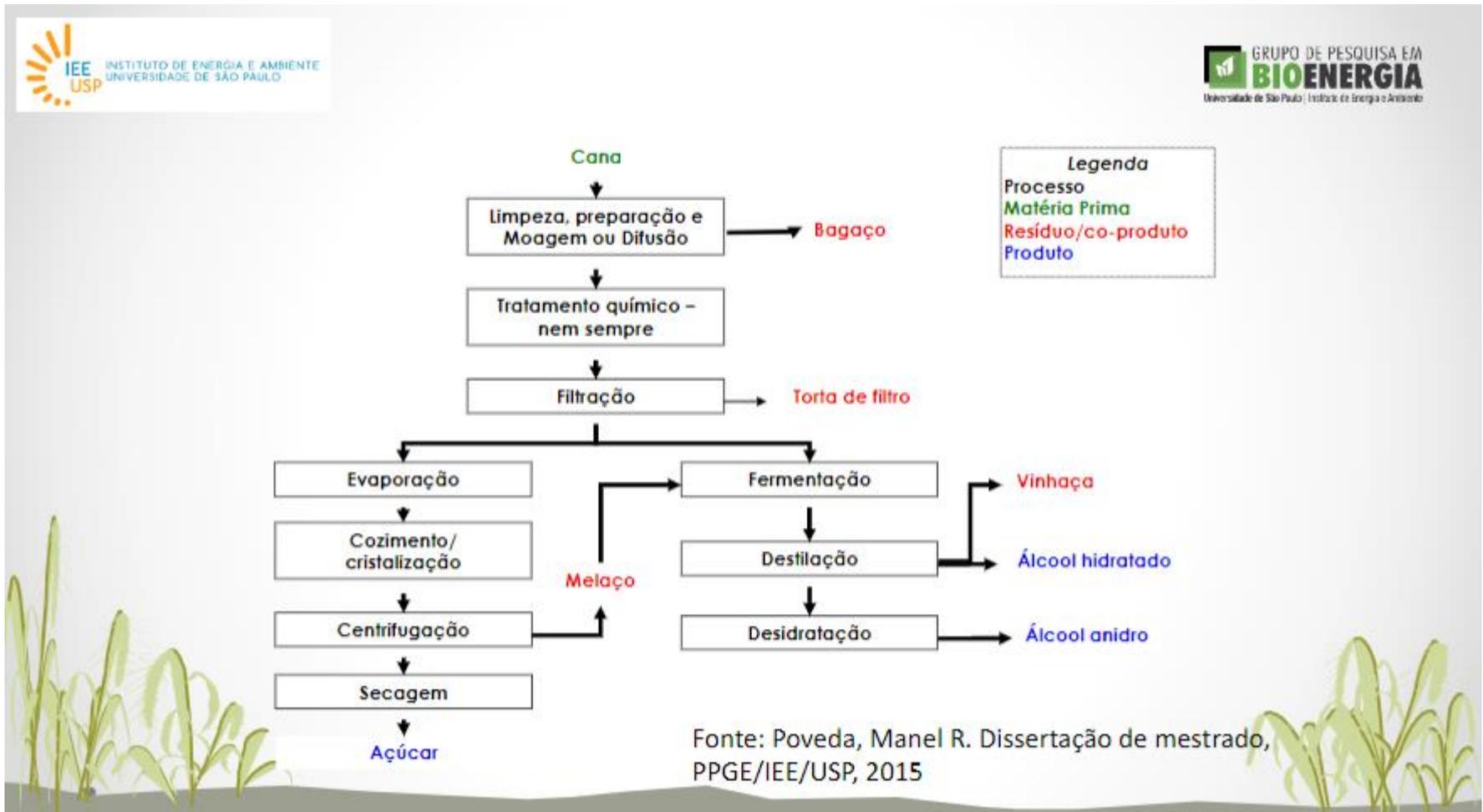
Em que:

- Q = metano gerado pelo tratamento anaeróbio (m^3/h);
- Φ_{efl} = vazão de efluente ($\text{m}^3_{\text{efl}}/\text{h}$);
- DBO_{efl} = demanda bioquímica de entrada do efluente ($\text{kg}_{\text{DBO}}/\text{m}^3_{\text{efl}}$) (0,3 $\text{kg}_{\text{DBO}}/\text{m}^3_{\text{efl}}$ (média do esgoto urbano));
- η = eficiência do tratamento (%);
- 0,25 = potencial de geração de metano ($\text{kg}_{\text{metano}}/\text{kg}_{\text{DBO removida}}$);
- 0,72 = densidade do metano ($\text{kg}_{\text{metano}}/\text{m}^3_{\text{metano}}$)

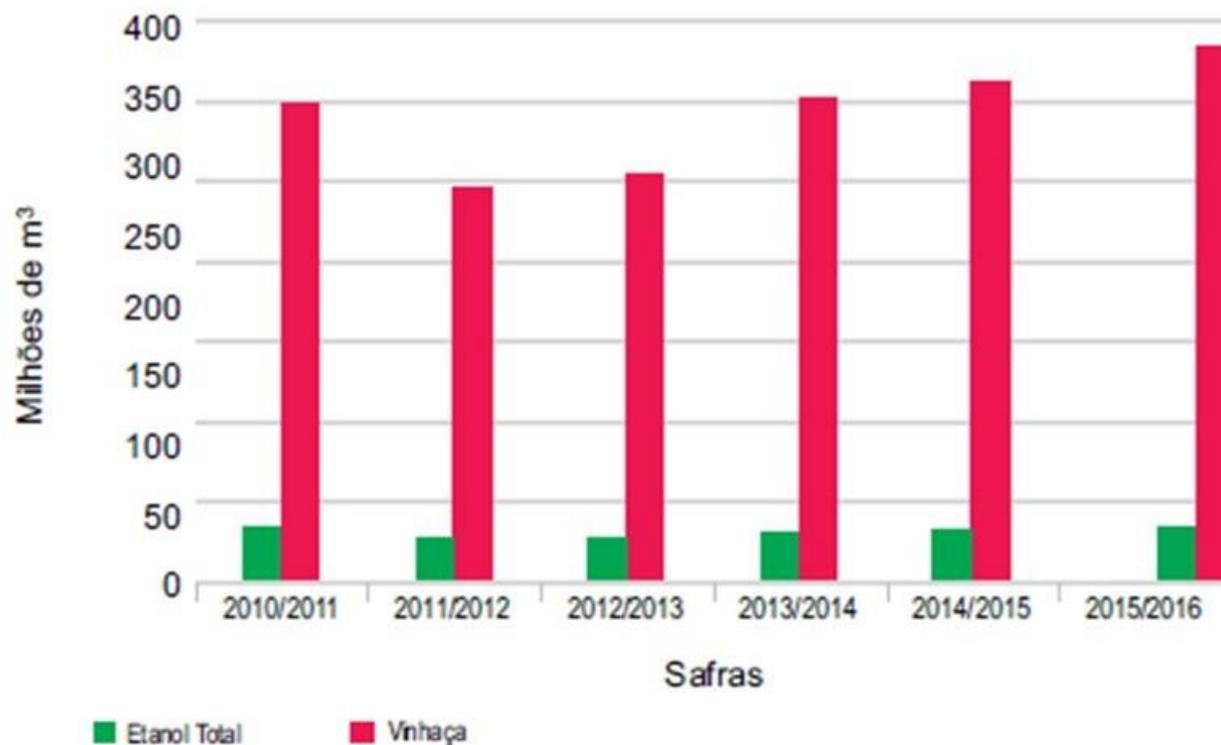
Tratamento de Vinhaça / Produção de Biogás



O que é vinhaça?



O problema:



Nota: para a estimativa de produção de vinhaça considerou-se 12 litros de vinhaça por litro de etanol produzido

Produção estimada de vinhaça no Brasil nas últimas safras.

A solução atual: FERTIRRIGAÇÃO



<http://irrigaservice.com/> 2012



<http://moscadoestabulo.blogspot.com.br> 2012



Della Coletta Bioenergia S/A 2009



<http://www.jureia.com.br/> 2012

Vinhaça - Fertirrigação

O uso da vinhaça para fertirrigar a cultura canavieira tem sido a solução empregada pelas usinas para destinar o enorme volume produzido diariamente. A aplicação sem critérios adequados de dosagem da vinhaça ao solo pode causar um desequilíbrio de nutrientes e gerar resultados diferentes dos esperados

No Estado de São Paulo, por exemplo, a CETESB recomenda desde 2006 que a vinhaça seja aplicada no solo conforme a Norma P4.231. Esta Norma apresenta uma metodologia para que o volume de vinhaça aplicado ao solo seja determinado conforme as características físico-químicas deste resíduo e conforme as características do solo, em particular o conteúdo de potássio

A continuidade do seu uso para fertirrigação requer estudos detalhados sobre os impactos ambientais e sobre a melhor forma de disposição. Neste contexto o processo de digestão anaeróbia pode ser uma opção interessante.



**VINHAÇA – CRITÉRIOS E PROCEDIMENTOS
PARA APLICAÇÃO NO SOLO AGRÍCOLA**

P4.231
Dez/2006

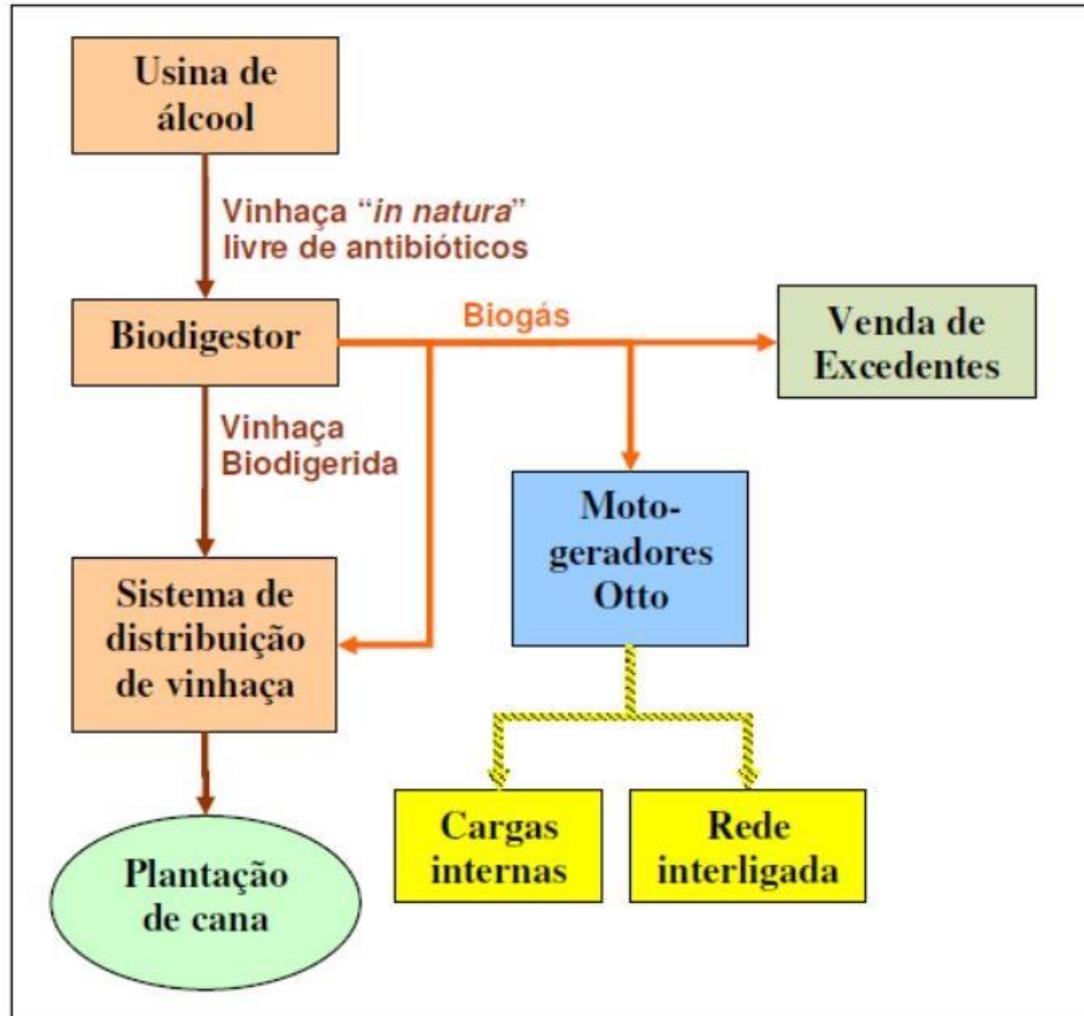
- Proibição de áreas de sacrifício
- Impermeabilização de canais e lagoas
- Monitoramento do lençol freático
- Controle da dose de vinhaça através da concentração do potássio

CUSTO



Fonte: Poveda, Manel R. Dissertação de mestrado, PPGE/IEE/USP, 2015

Biodigestão anaeróbia da Vinhaça



Biodigestão anaeróbia da Vinhaça

Itens	Valor
Produção diária de álcool (média das Usinas instaladas no país)	500 m ³ /dia
Vazão Diária de vinhaça	5.000 m ³ /dia
Produção diária de biogás	73.125 Nm ³ /dia
Capacidade instalada	5,2 MW
Composição e características do biogás	
CH ₄	60 %
CO ₂	40 %
H ₂ S	>1 %
PCI	21.320 kJ/Nm ³
Densidade do biogás	0,784 kg/Nm ³

Vantagens

- Diminuição considerável da carga orgânica, que está associada ao grande potencial poluente das águas superficiais
- Produção de biogás
- Redução de odor
- Melhora as características fertilizantes da vinhaça mantendo o teor de potássio

Desvantagens e barreiras

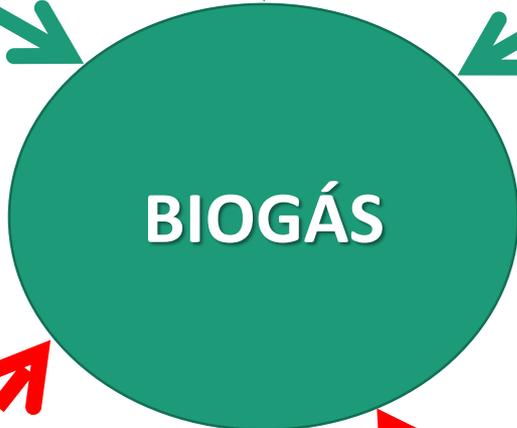
- Não diminui o volume de efluente tratado, o que significa que os custos operacionais e o consumo de combustível na fertirrigação continuam sendo os mesmos
- Tamanho dos biodigestores (grande investimento inicial)
- Instabilidade do processo biológico
 - Parada entressafra
 - Diferente composição da vinhaça durante a safra e entre usinas
 - Estabilização do processo – estudos recentes indicam que a torta de filtro ajuda a estabilizar o processo de biodigestão da vinhaça

Tratamento de resíduos na Zona Rural / Produção de Biogás





Produção
Agropecuária
- Dejetos
Animais



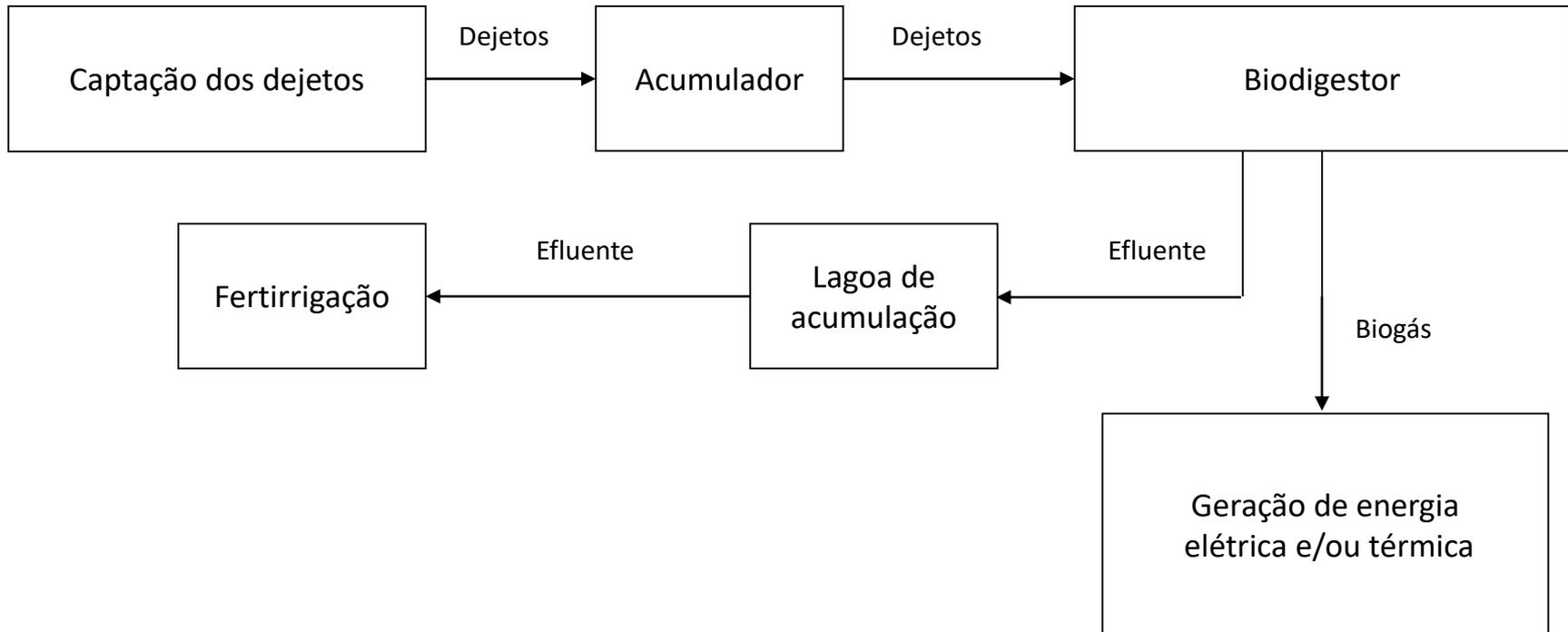
Resíduos
Agroindustriais de
origem Animal -
Abatedouros

Dejetos Animais

Fezes, urina, higienização



Fluxograma - Tratamento



Dejetos Animais

Os dejetos produzidos são coletados e conduzidos para um tanque de captação central por meio de tubulação, ou então diretamente para o sistema de tratamento.



Tratamento Anaeróbico



Biodigestores mais utilizados na área rural - biodigestor modelo canadense, também conhecido como biodigestor rural ou lagoa coberta.

Câmara de fermentação escavada no solo, de base quadrangular, revestida com lona impermeável, geralmente de PVC, a fim de proteger o solo e o lençol freático de qualquer contaminação.

É coberto com uma manta, geralmente de PEAD ou PVC, que funciona como gasômetro



Lagoa de acumulação / Fertirrigação



Dejetos Animais - Produção

Quantidade de dejetos gerados pelas principais criações animais – Brasil e grandes regiões

	Frangos de corte (t/ano)	Postura (t/ano)	Vacas ordenhadas (t/ano)	Bovinos de corte – bois e vacas (t/ano)	Bovinos de corte – novilhos e novilhas (t/ano)	Bovinos de corte – vitelo (t/ano)	Suínos (t/ano)	Total de dejetos gerados (t/ano)
Brasil	16.243.286	11.782.568	316.909.675	1.247.968.583	90.164.515	325.611	20.379.732	1.703.773.970
Norte	310.331	511.881	37.597.956	298.584.303	579.700	0	871.972	338.456.143
Nordeste	682.522	2.278.200	67.721.023	154.763.674	14.103.156	0	3.369.354	242.917.929
Sudeste	4.920.132	4.329.543	106.168.600	208.079.676	14.903.166	169.595	3.584.870	342.155.582
Sul	7.530.163	3.368.258	54.801.360	159.751.303	13.719.270	0	9.876.639	249.046.993
Centro-Oeste	2.800.139	1.294.687	50.620.735	476.532.826	24.850.807	0	2.676.897	558.776.091

Fonte: IPEA, 2012 - Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas

Dejetos Animais - Produção

Geração total de dejetos animais e de dejetos aproveitáveis para biodigestão – Brasil e grandes regiões

Total de dejetos gerados (t/ano)	Dejetos aproveitáveis para biodigestão	
	(t/ano)	(t/ano.km ²)
1.703.773.970	365.315.261	43,0
338.456.143	39.292.140	10,2
242.917.929	74.051.099	47,6
342.155.582	119.003.145	128,7
249.046.993	75.576.420	134,0
558.776.091	57.392.458	35,7

Fonte: IPEA, 2012 - Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas

Desconsiderando a quantidade de dejetos gerados pela criação de gado de corte, por este ser criado principalmente de maneira extensiva, o que inviabiliza o aproveitamento da maior parte dos resíduos, o cenário modificou-se, reduzindo-se expressivamente a quantidade de dejetos aproveitáveis para a biodigestão.

Geração de metano – Dejetos animais

$$Q_{\text{CH}_4} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de dias por mês} \times \text{n}^\circ \text{ de cabeças} \times \text{Et} \times \text{Pb} \times \text{Conc. CH}_4}{\text{ME}}$$

Onde:

- Q_{CH_4} = Vazão de metano por mês ($\text{m}^3_{\text{CH}_4}/\text{mês}$)
- n° de dias por mês: número de dias de tratamento do efluente (dias/mês)
- n° de cabeças: quantidade de unidade geradora (unidade geradora)
- Et: Esterco total [$\text{kg}_{\text{esterco}}/(\text{dia} \cdot \text{unidade geradora})$].
- Pb: Produção de biogás [$\text{kg}_{\text{biogás}}/\text{kg}_{\text{esterco}}$];
- Conc. CH_4 : Concentração de metano no biogás [%];
- ME: Massa específica do metano, sendo igual a $0,67 \text{ kg}_{\text{CH}_4} / \text{m}^3_{\text{CH}_4}$

Geração de metano – Dejetos animais

Valores de conversão energética para diferentes tipos de efluentes

Origem do Material	[kg esterco/(dia.unid. geradora)]	(kg biogás/kg esterco)	Concentração de Metano
Suínos	2,25	0,062	66%
Bovinos	10	0,037	60%
Eqüinos	12	0,048	60%
Aves	0,18	0,055	60%

Fonte: MOTTA, 1986.

Geração de metano – Dejetos animais

Para o potencial dos dejetos provenientes da criação de avicultura de corte deve ser inserido no cálculo o resíduo denominado cama de frango, pois é nesse resíduo que ficam retidos os dejetos das aves.

Assim para o cálculo do potencial de metano ($\text{m}^3/\text{h ano}$) utiliza-se a seguinte equação:

$$Q_{\text{CH}_4} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de cabeças} \times 0,2295 \times 0,60 \times 1,37}{8760}$$

Onde:

- Q_{CH_4} = vazão de metano ($\text{m}^3/\text{h ano}$)
- 0,2295 = média da geração de metano ($\text{m}^3/\text{kg ST}$);
- 0,60 = concentração de metano no biogás;
- 1,37 = quantidade de resíduo gerado de cama de frango (kg de MS/ave);
- 8760 = tempo (h)

Geração de metano – Dejetos animais

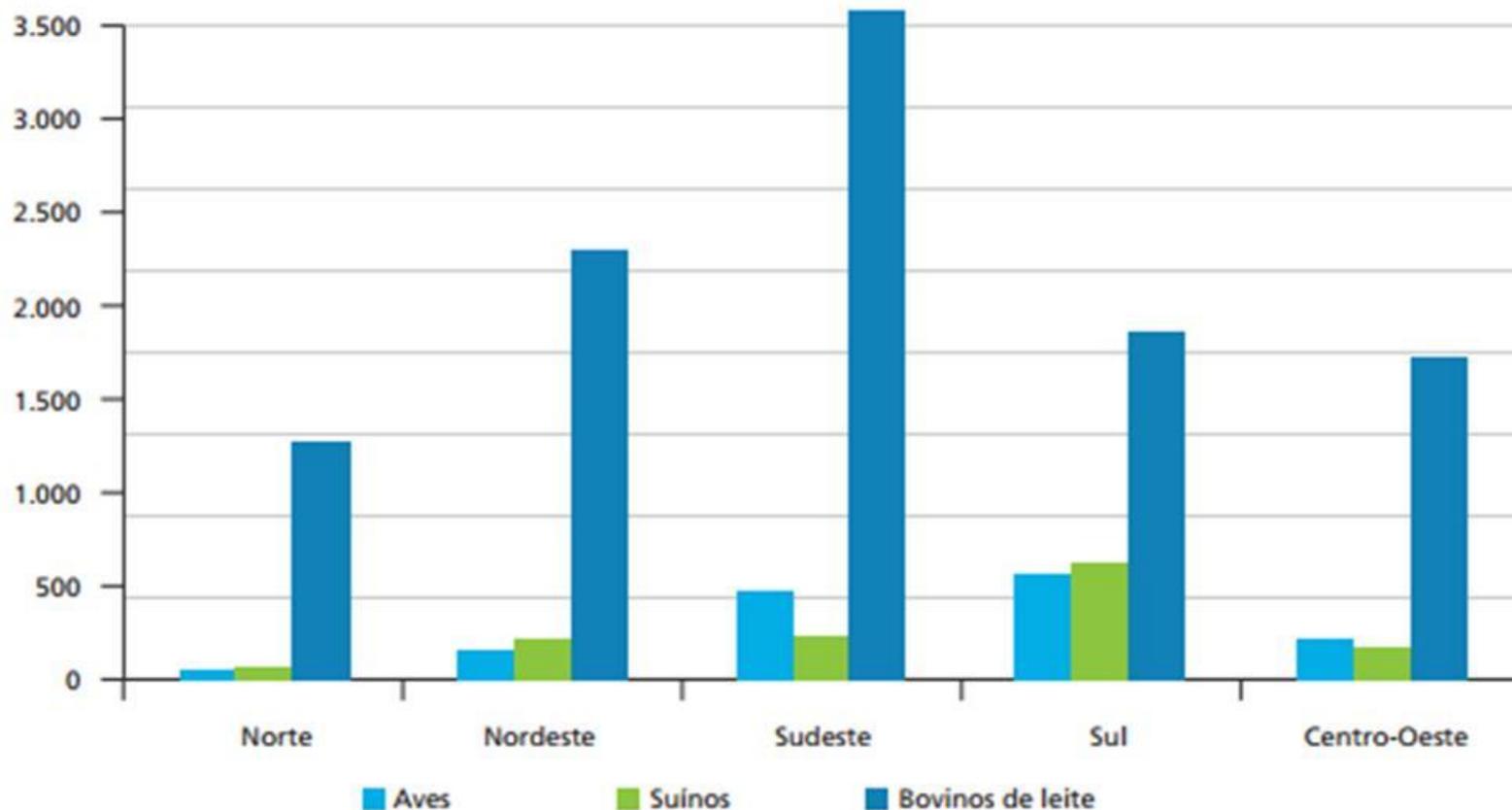
Estimativa do potencial de geração de metano a partir dos dejetos de aves, suínos e bovinos

	Geração de dejetos (kg/ano)	Geração de metano (m ³ /ano)
Aves de postura e de corte	28.025.854.457	1.291.694.409
Suínos	20.379.732.253	1.164.718.776
Bovinos de leite	316.909.674.770	9.825.970.363

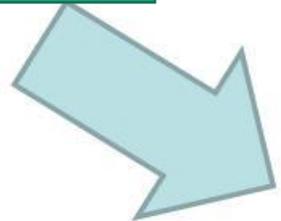
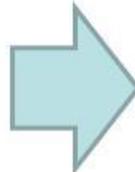
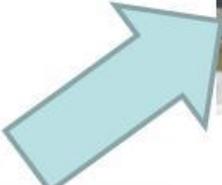
Fonte: IPEA, 2012 - Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas

Geração de metano – Dejetos animais

Síntese do potencial de geração de metano a partir dos dejetos das principais criações de animais confinados nas 5 regiões brasileiras (em milhões de m³/ano)



Resíduos agroindustriais
de origem animal -
abatedouros



Geração de Resíduos Sólidos

Total de resíduos sólidos gerados no Brasil e regiões pelas indústrias primárias ligadas ao setor pecuário, potencialmente aproveitáveis para geração de energia

	Abatedouros de aves		Abatedouros de suínos		Abatedouro de bovinos		Total de resíduos sólidos (kg)
	Resíduos de cama de aviário (kg)	Borra do flotorador (kg)	Esterco (kg)	Conteúdo estomacal e intestinal (média – kg)	Esterco (kg)	Conteúdo estomacal e intestinal (média – kg)	
Brasil	28.931.158	260.380.424	49.492.528	83.518.641	216.670.348	1.083.351.740	1.722.344.838
Norte	382.742	3.444.675	29.106	49.116	43.049.138	215.245.688	262.200.463
Nordeste	841.778	7.575.999	714.757	1.206.152	21.804.036	109.020.182	141.162.904
Sudeste	6.533.653	58.802.879	8.572.374	14.465.882	49.440.879	247.204.395	385.020.063
Sul	17.398.688	156.588.192	33.304.390	56.201.159	21.189.943	105.949.715	390.632.087
Centro-Oeste	3.774.298	33.968.679	6.871.901	11.596.333	75.424.017	377.120.084	508.755.311

Fonte: IPEA, 2012 - Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas

Geração de Efluentes Líquidos

Total de efluentes gerados pelas indústrias primárias ligadas ao setor pecuário (em 1 mil L)

	Abatedouros de aves	Abatedouros de suínos	Abatedouros de bovinos	Graxarias	Laticínios	Total de efluentes gerados
Brasil	69.434.780	12.373.132	19.643.882	6.844.808	13.244.345	121.540.947
Norte	918.580	7.276	3.796.161	869.460	2.332.810	7.924.288
Nordeste	2.020.266	178.689	2.155.502	494.644	1.325.073	6.174.175
Sudeste	15.680.768	2.143.094	4.562.393	1.529.039	3.045.716	26.961.010
Sul	41.756.851	8.326.098	2.188.032	2.020.192	2.104.112	56.395.284
Centro-Oeste	9.058.314	1.717.975	6.941.794	1.818.855	4.380.324	23.917.263

Fonte: IPEA, 2012 - Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas

Resíduos Agroindustriais – Geração de Metano

$$\text{Emissão de } CH_4 = \sum_i [(TOW_i - S_i)EF_i - R_i]$$

IPCC, 2006

Onde:

Emissão de CH₄ = Emissão de CH₄ no ano, kg CH₄/ano.

TOW_i = Total de material orgânico degradável em efluentes industriais no ano, kg DQO/ano.

i = setor industrial

S_i = Componente orgânico removido como lodo no ano, kg DQO/ano.

EF_i = Fator de emissão do setor industrial, kg CH₄/ kg DQO.

R_i = montante de CH₄ recuperado no ano, kg CH₄/ano.

Para S_i foi utilizado o valor médio de 0,35 kg DQO/ano para cada m³ de efluentes gerados

Resíduos Agroindustriais – Geração de Metano

$$TOW = W \times DQO$$

IPCC, 2006

Onde:

TOW = Total de material orgânico degradável em efluentes industriais no ano, kg DQO/ano;

W = Efluentes gerados, m³/ano;

DQO_i = Demanda Química de Oxigênio, kg DQO/m³.

DQO - IPCC (2006).

Setor leiteiro: 2,7 kg/m³

Setor de carne, aves e graxarias: 4,1 kg/m³

Resíduos Agroindustriais – Geração de Metano

$$EF = B_0 \times MCF$$

IPCC, 2006

Onde:

EF = fator de emissão de CH₄ para cada tratamento - kg CH₄/ kg DQO;

B₀ = capacidade máxima de produção de CH₄ - kg CH₄/ kg DQO;

MCF = fator de correção de metano.

Capacidade de CH₄ considerada: valor padrão de 0,25 kg CH₄ / kg DQO

Fator de correção de metano: 0,8 – reator anaeróbio

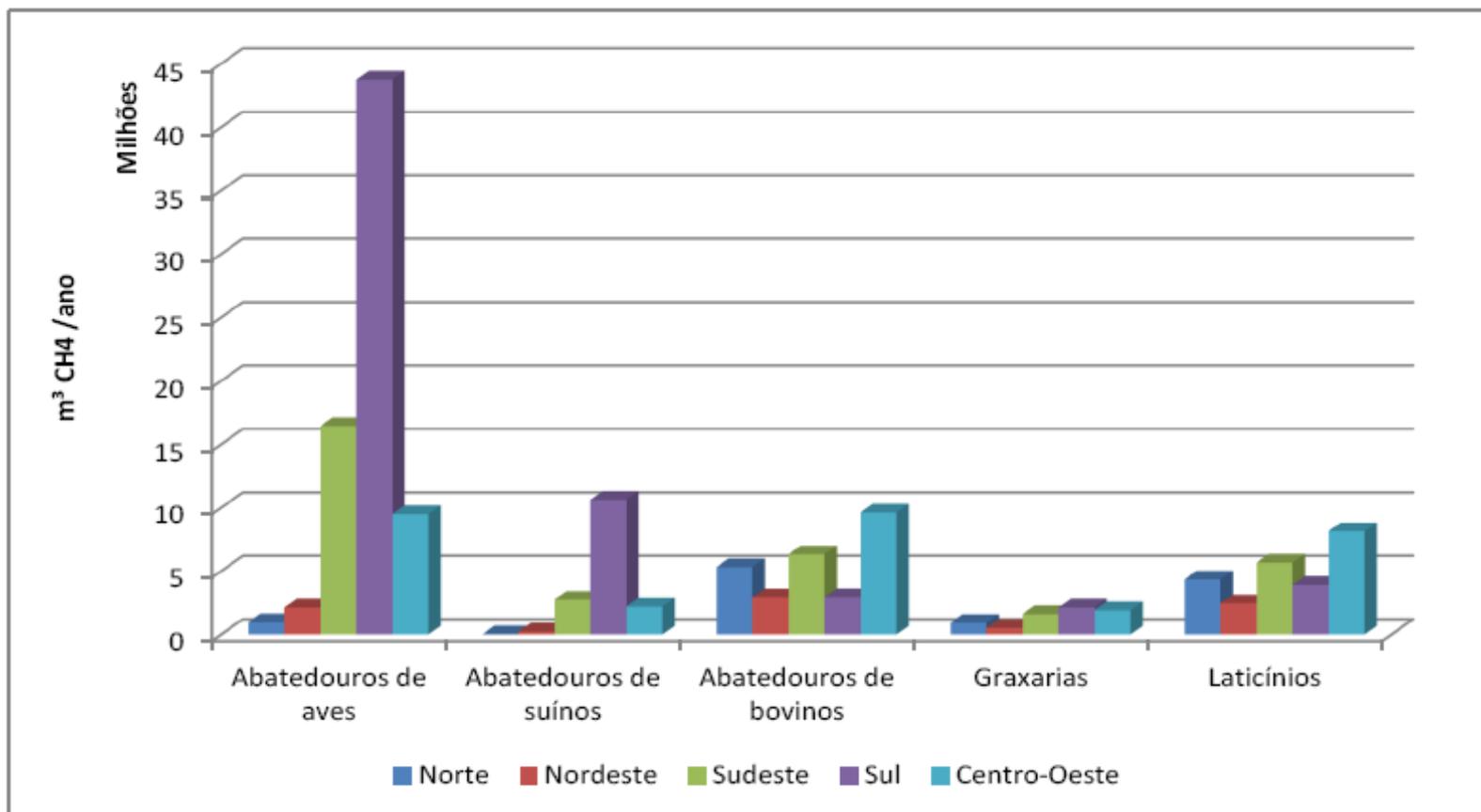
Resíduos Agroindustriais – Geração de Metano

Estimativa do potencial de geração de metano a partir dos efluentes (sólidos e líquidos) gerados nas agroindústrias primárias associadas à criação animal (em m³/ano)

Abatedouro	Geração de metano (m ³ /ano)
Abatedouros de aves	72.731.962
Abatedouros de suínos	12.960.683
Abatedouros de bovinos	20.576.692

Resíduos Agroindustriais – Geração de Metano

Síntese do potencial de geração de metano a partir dos efluentes (sólidos e líquidos) gerados nas agroindústrias primárias associadas à criação animal (em milhões de m³/ano)



Emissões

A agropecuária certamente é o setor mais relevante, uma vez que contribui com mais de 35% das emissões de gases de efeito estufa (GEE) do país, ocupando o primeiro lugar entre os setores envolvidos

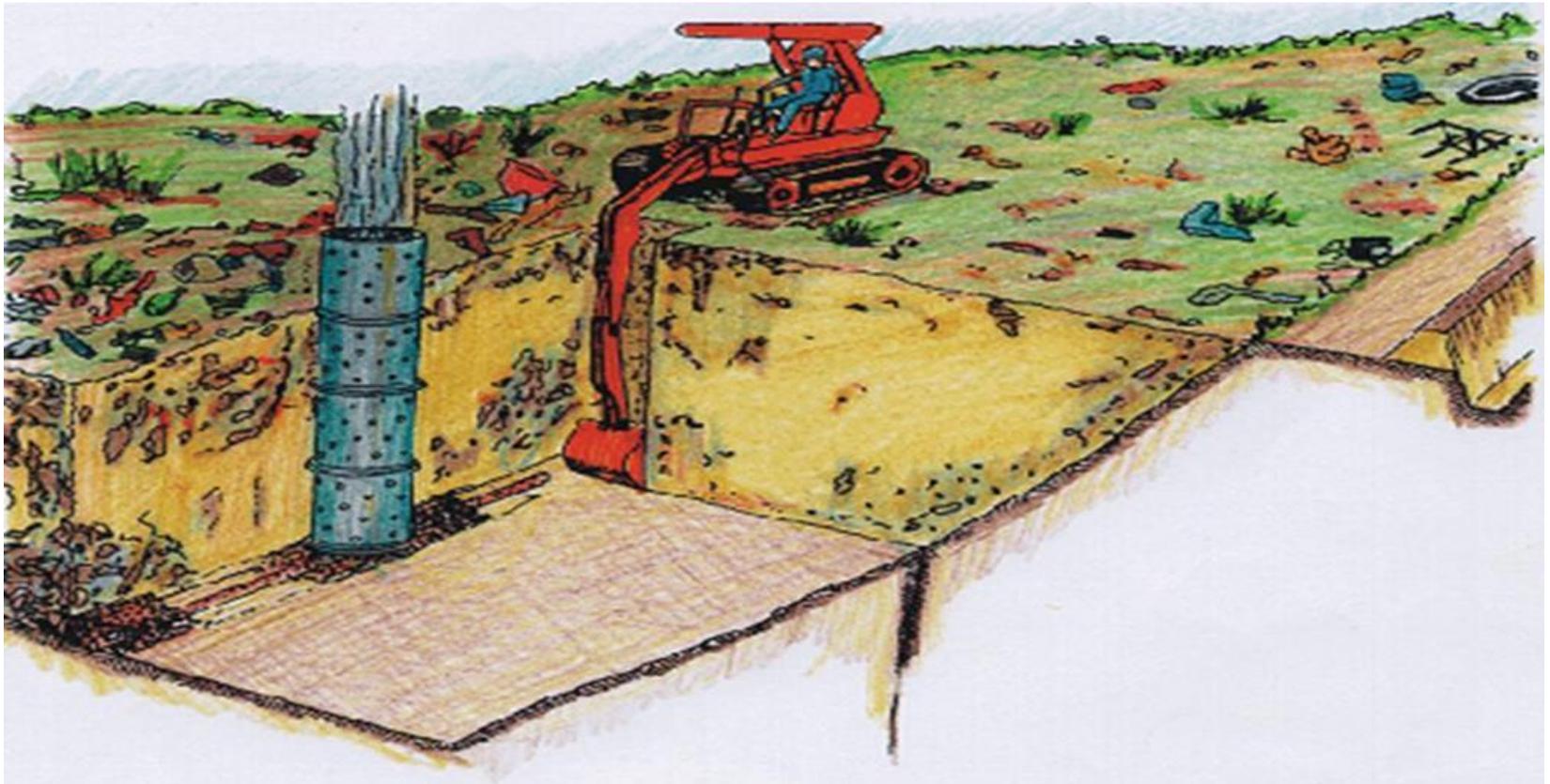
Emissões brasileiras de gases de efeito estufa
em termos de setores

Setores	1990	1995	2000	2005	2010	Variação	
	Gg ¹ CO ₂ eq					1995 - 2005	2005 - 2010
Energia	191.543	232.430	301.096	328.808	399.302	41,5%	21,4%
Processos Industriais	52.536	63.065	71.673	77.943	82.048	23,6%	5,3%
Agropecuária	303.772	335.775	347.878	415.713	437.226	23,8%	5,2%
Florestas	815.965	1.950.084	1.324.371	1.167.917	279.163	-40,1%	-76,1%
Resíduos	28.939	33.808	38.550	41.880	48.737	23,9%	16,4%
TOTAL	1.392.756	2.615.162	2.083.570	2.083.260	1.246.477	-22,3%	-38,7%

Fonte: MCTI, 2013.

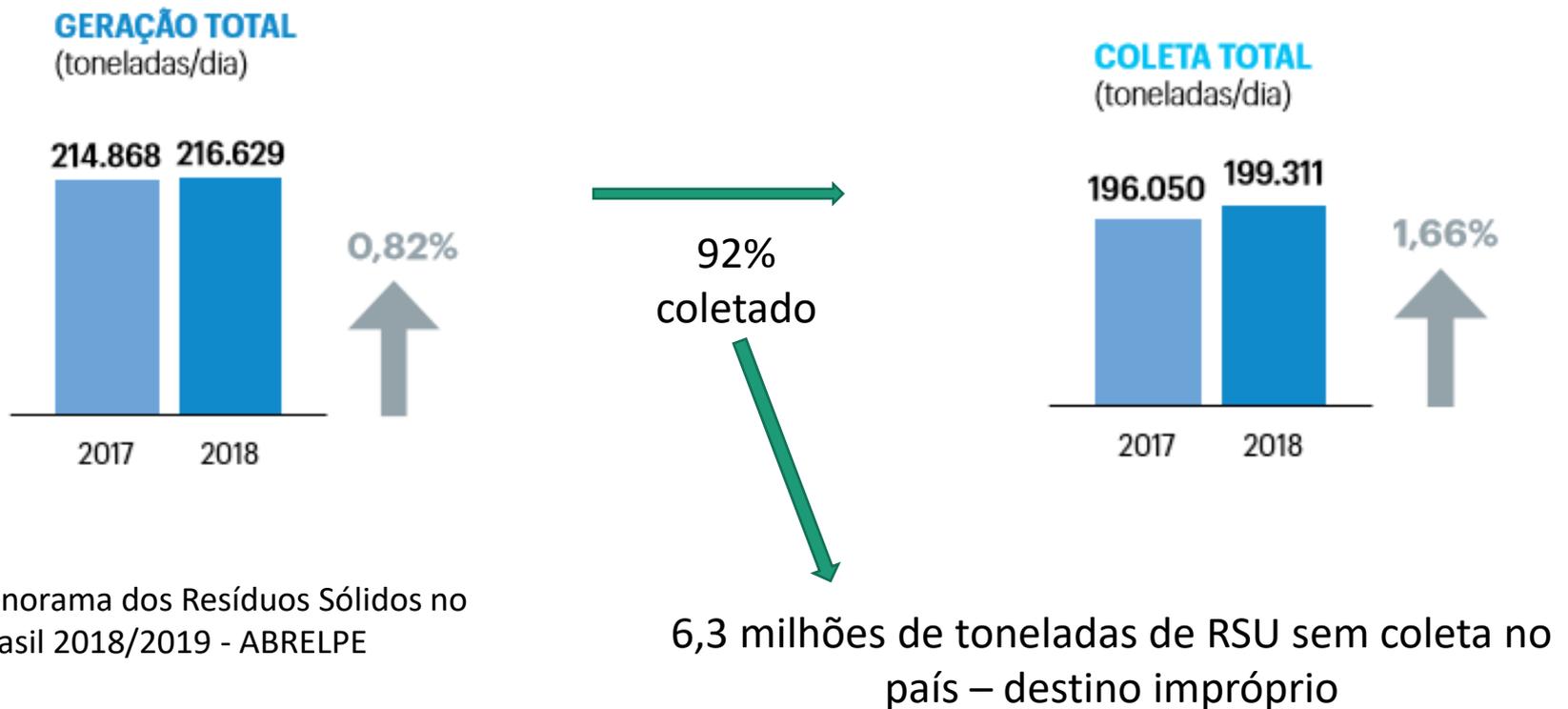
A pecuária no Brasil é importante contribuinte para as emissões de GEE, tanto devido às emissões de metano dos animais, quanto em virtude da expansão agropecuária gerando o desmatamento. No mundo os ruminantes são responsáveis por 25% do metano produzido na agropecuária enquanto no Brasil esta contribuição chega a 70%, principalmente em função do tamanho do rebanho nacional.

Resíduos Sólidos Urbanos em Aterro Sanitário - Produção de Biogás



Resíduos Sólidos Urbanos

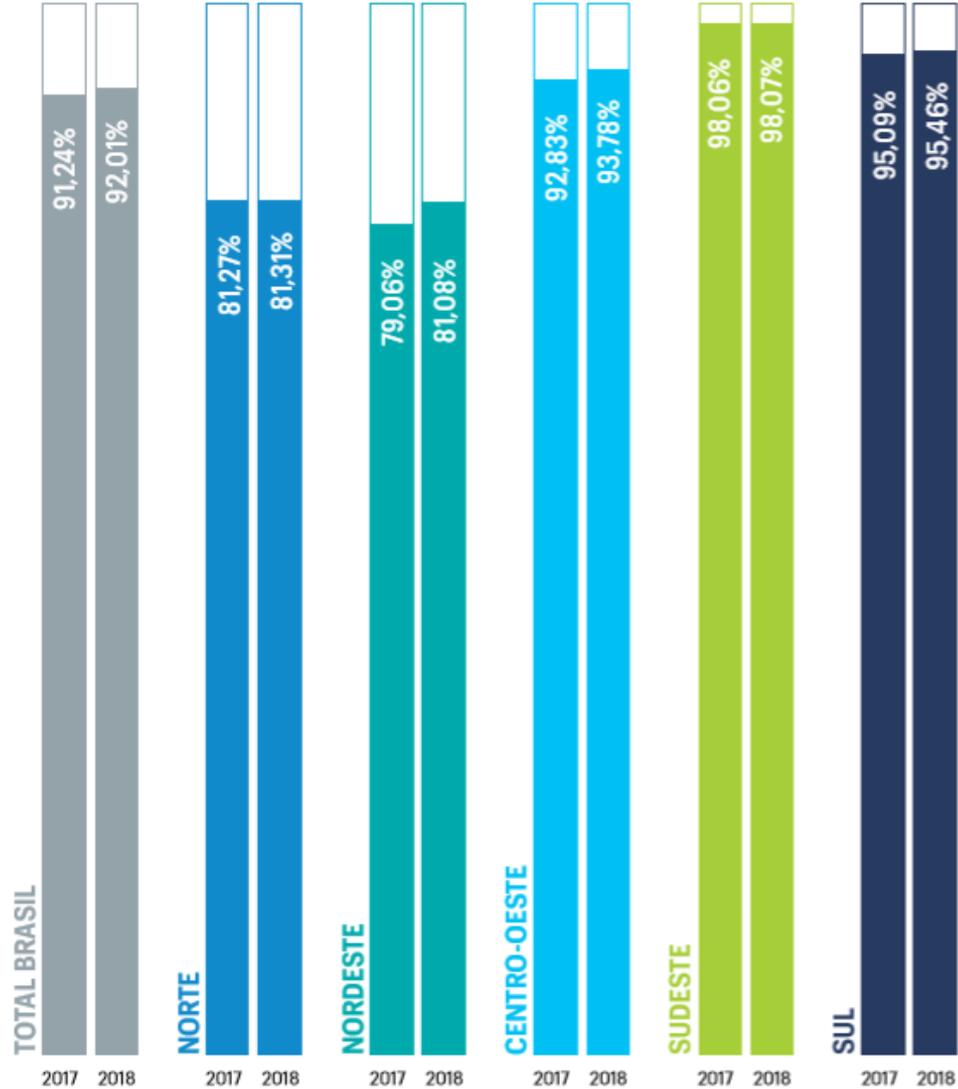
Geração e Coleta de RSU no Brasil



Fonte: Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019 - ABRELPE

Resíduos Sólidos Urbanos

Índice de cobertura da coleta de RSU (%)



Fonte: Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019 - ABRELPE

Resíduos Sólidos Urbanos

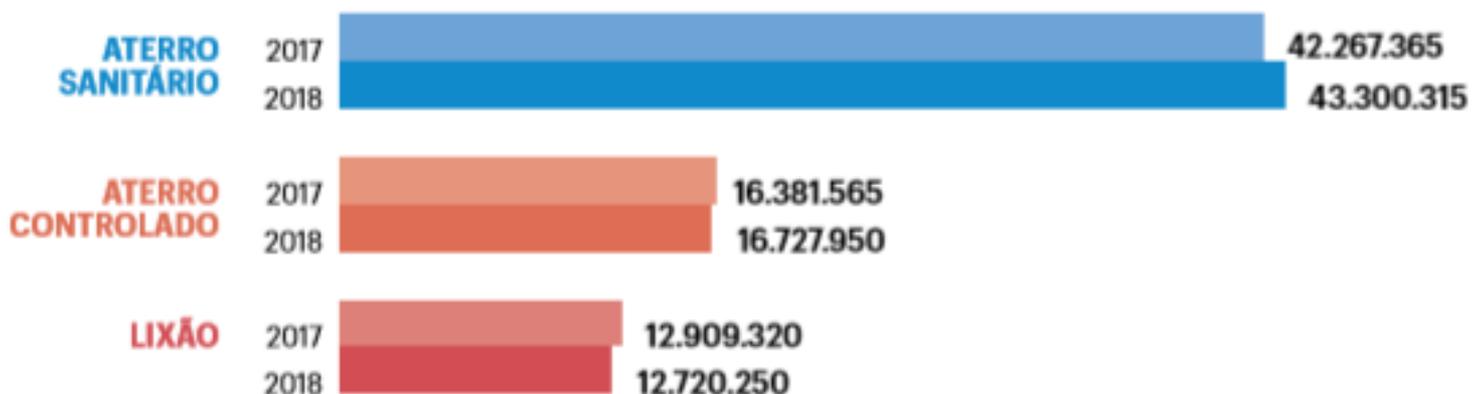
Destinação de RSU no Brasil

2018: de todo os RSU coletado no país, apenas 59,5% (ou 43,3 milhões de toneladas) foram destinados a **aterros sanitários**.

Por outro lado, 29,5 milhões de toneladas de resíduos tiveram destinação inadequada, sendo dispostas em lixões ou aterros controlados, que não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessários para proteção do meio ambiente contra danos e degradações.

Resíduos Sólidos Urbanos

Disposição Final de RSU no Brasil por tipo de destinação (t/ano)



Lixão a Céu Aberto

Definição: forma inadequada de disposição final de resíduos sólidos, que se caracteriza pela simples descarga do lixo sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. O mesmo que descarga de resíduos a céu aberto.

Principais impactos: No Lixão não existe nenhum controle quanto aos tipos de resíduos depositados nem ao local de disposição dos mesmos.

Nesses casos, resíduos domiciliares e comerciais de baixa periculosidade são depositados juntamente com os industriais e hospitalares, de alto poder poluidor.

Nos lixões pode haver outros problemas associados, como: presença de animais, presença de catadores (que na maioria dos casos residem no local), contaminação do lençol freático e água subterrânea, além de riscos de incêndios causados pelos gases gerados pela decomposição dos resíduos e de escorregamentos, quando da formação de pilhas muito íngremes, sem critérios técnicos.



Aterro Controlado

Definição: geralmente são antigos lixões que passaram por um processo de remediação da área do aterro, ou seja, isolamento do entorno para minimizar os efeitos do chorume gerado, canalização do chorume para tratamento adequado e remoção dos gases produzidos em diferentes profundidades do aterro.

Principais impactos: O aterro controlado é a forma de disposição de resíduos sólidos inadequado sob o ponto de vista ambiental, pois não pratica medidas para combate à poluição, uma vez que não recebe camada impermeabilizante ideal antes da deposição de lixo, causando poluição do solo e do lençol freático.



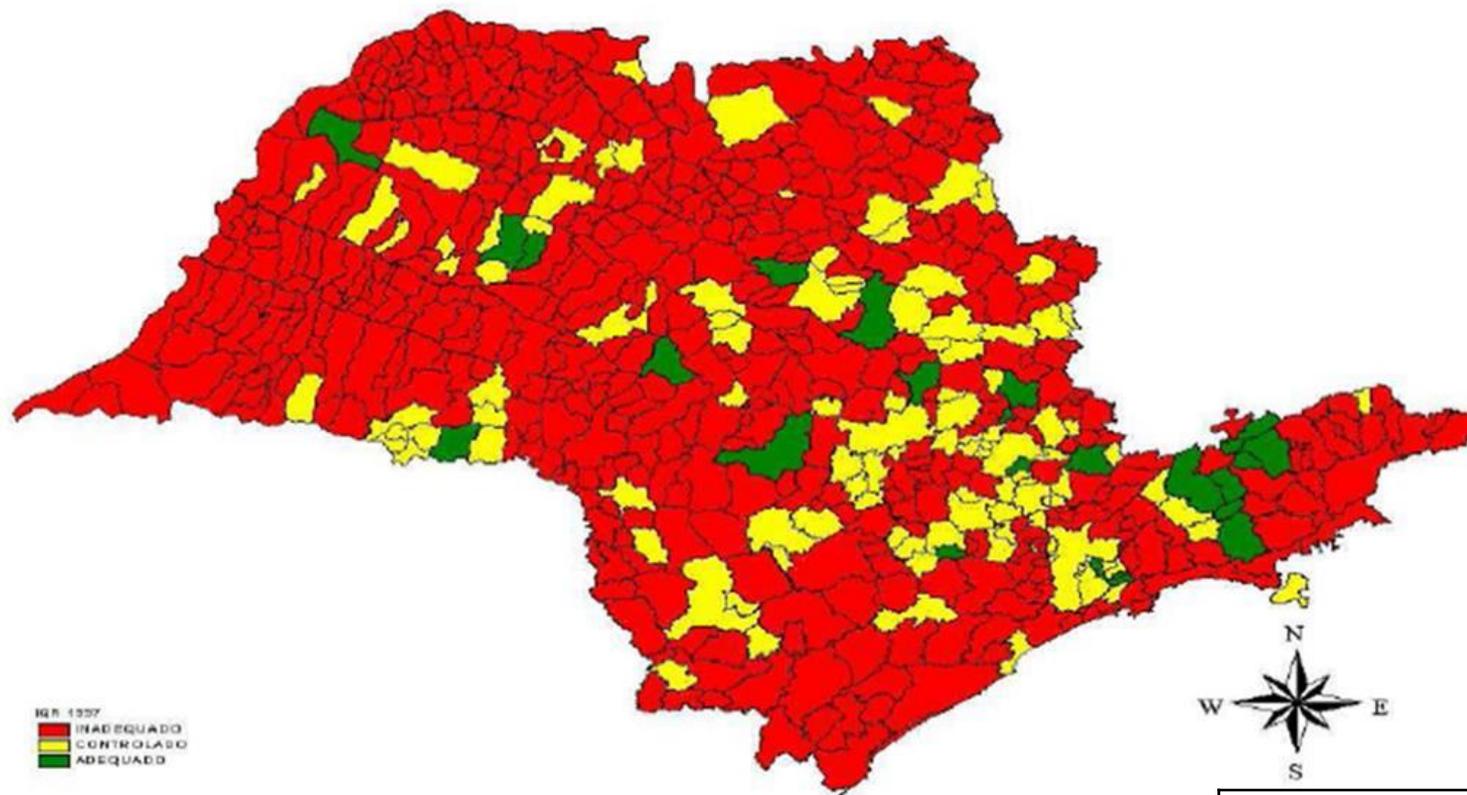
Aterro Sanitário

Definição: forma de disposição final dos resíduos sólidos urbanos que consiste na disposição na terra de lixo coletado e se utiliza métodos de engenharia para confinar os resíduos na área menor possível, reduzi-los a um menor volume e cobri-los com uma camada de terra, diariamente, ao final da jornada ou um período mais freqüente. Deve atender normas ambientais e operacionais específicas, de modo a evitar danos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos negativos.

Principais impactos: No aterro sanitário deve haver a impermeabilização do solo por meio de camadas de argila e geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD) para evitar a infiltração de chorume no solo. Deve haver, também, sistema de extração do biogás e de chorume do interior do aterro. O chorume é escoado para tanques de armazenamento e/ou sistema de tratamento.



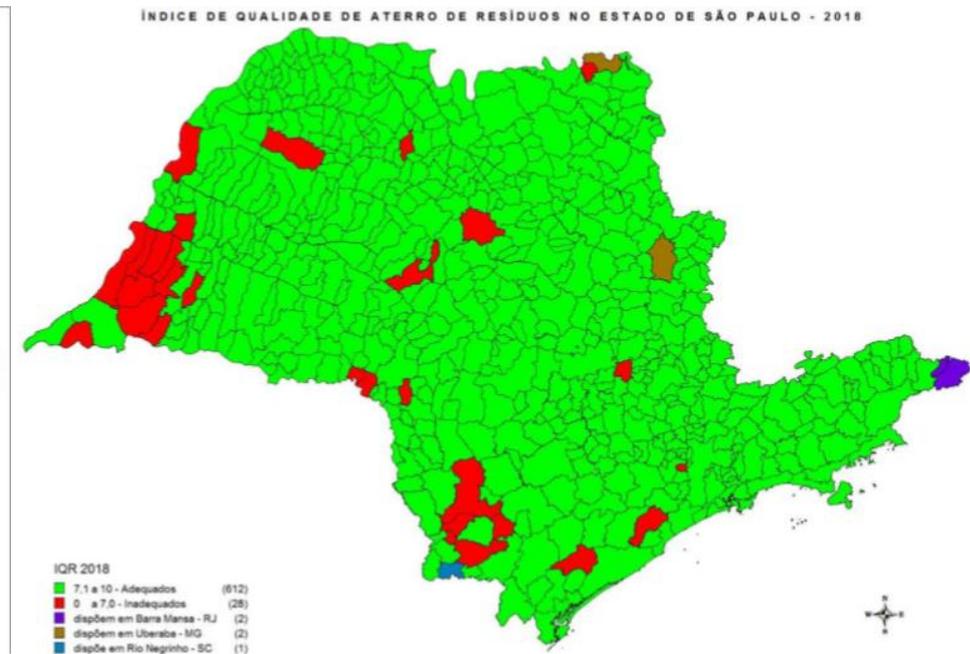
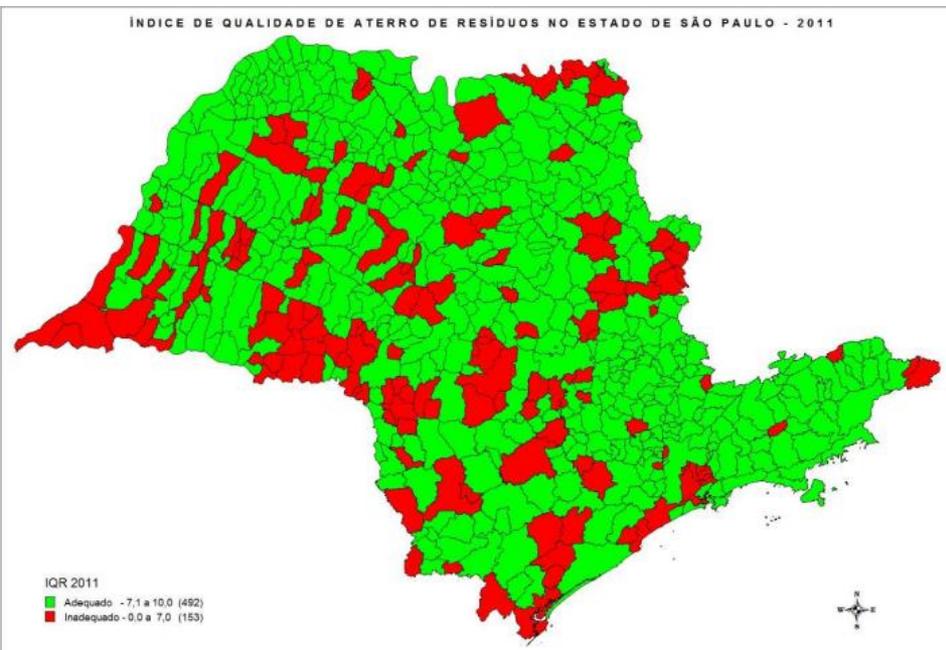
ÍNDICE DE QUALIDADE DE ATERRO DE RESÍDUOS NO ESTADO DE SÃO PAULO - IQR - 1997



Fonte: Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos, 2018 - CETESB

IQR	Enquadramento
0,0 a 6,0	Condições Inadequadas (I)
6,1 a 8,0	Condições Controladas (C)
8,1 a 10,0	Condições Adequadas (A)

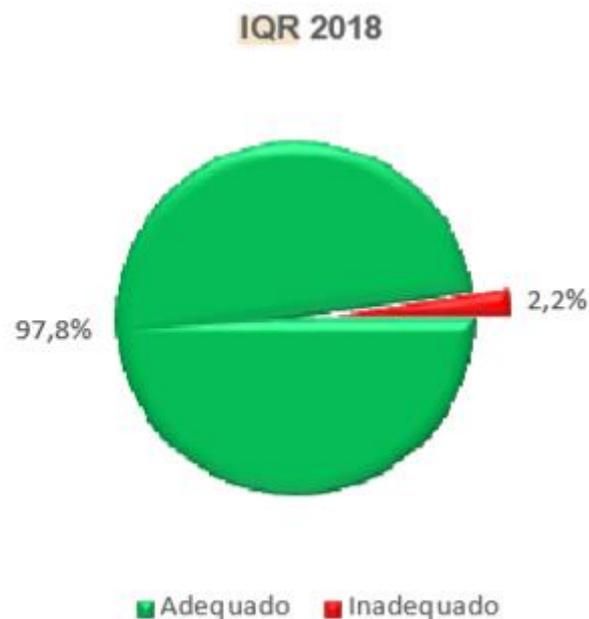
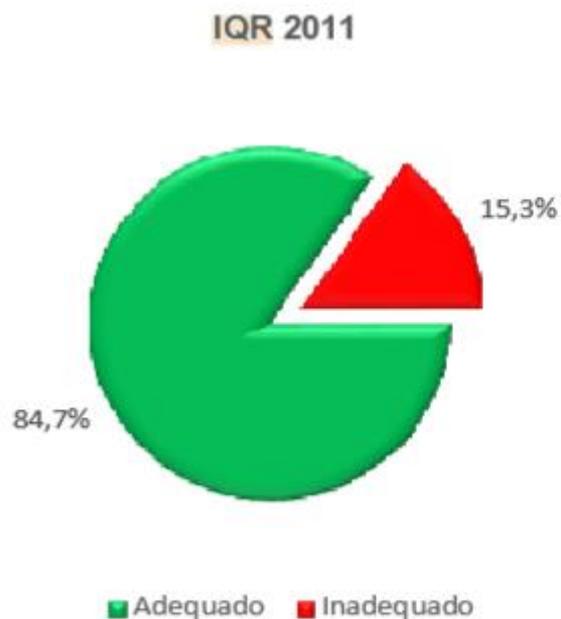
IQR de 2011 e 2018



IQR	Enquadramento
0,0 a 7,0	Condições Inadequadas (I)
7,1 a 10,0	Condições Adequadas (A)

Fonte: Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos, 2018 - CETESB

Situação geral do Estado de SP, quanto às quantidades de RSU gerados e à faixa de enquadramento do IQR



Fonte: Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos, 2018 - CETESB

Aterro Sanitário



Estrutura



Captação de chorume



Impermeabilização do solo



Aterro Sanitário

Captação de água da chuva



Captação e transporte de biogás



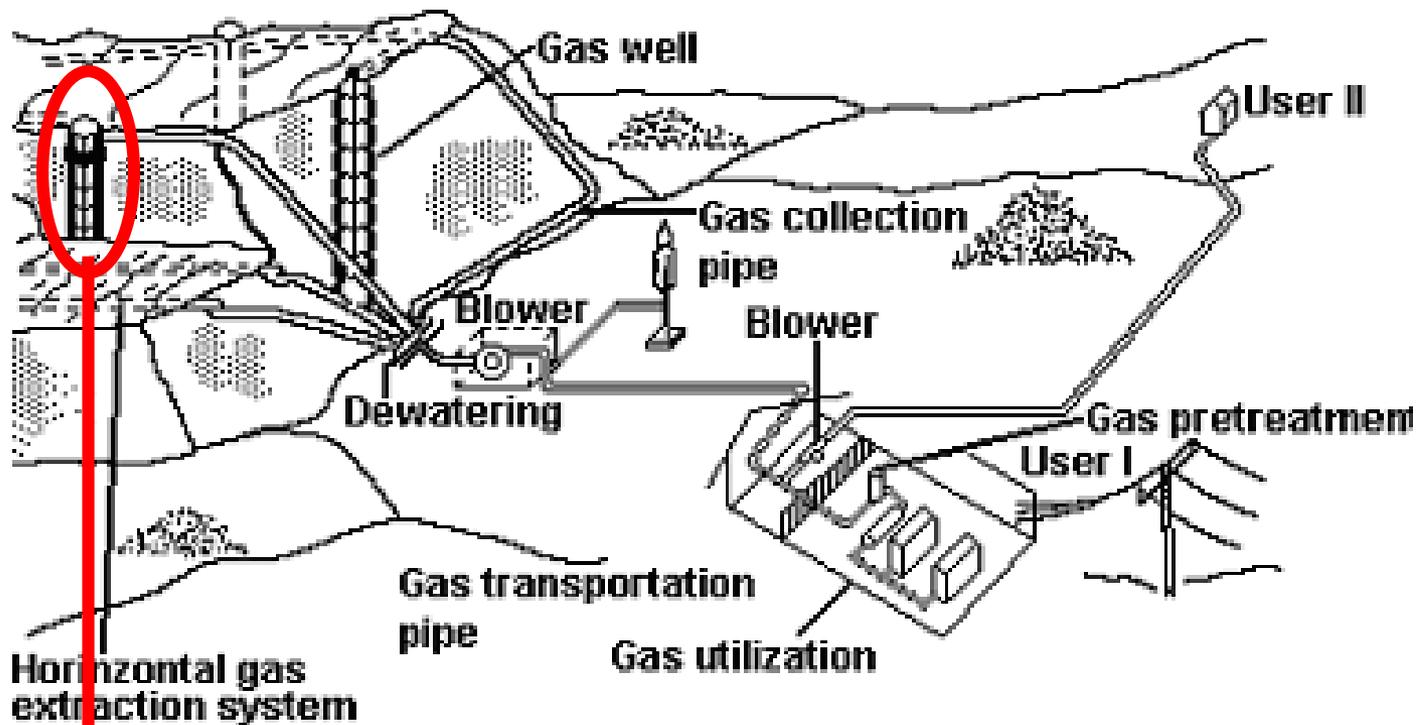
Queima em *flare*



Interior do *flare*



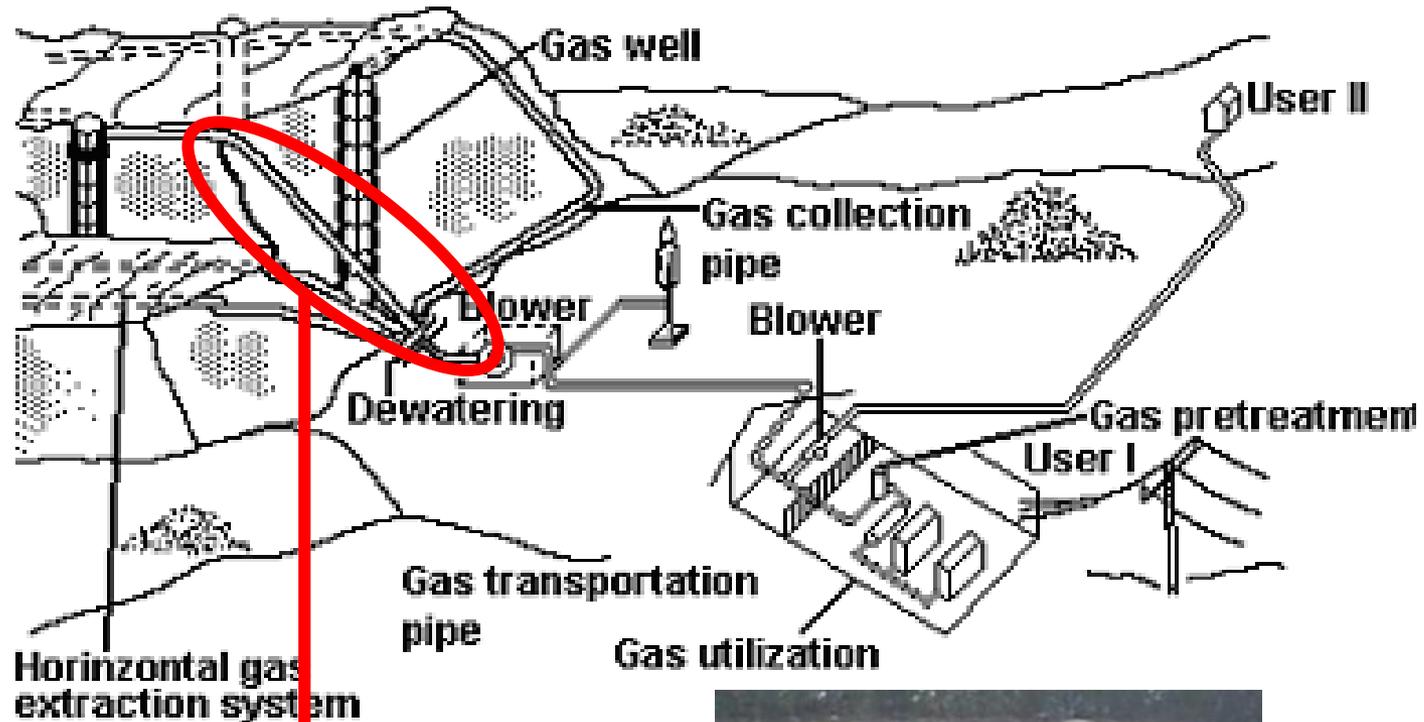
Recuperação do Biogás



Sistema de coleta



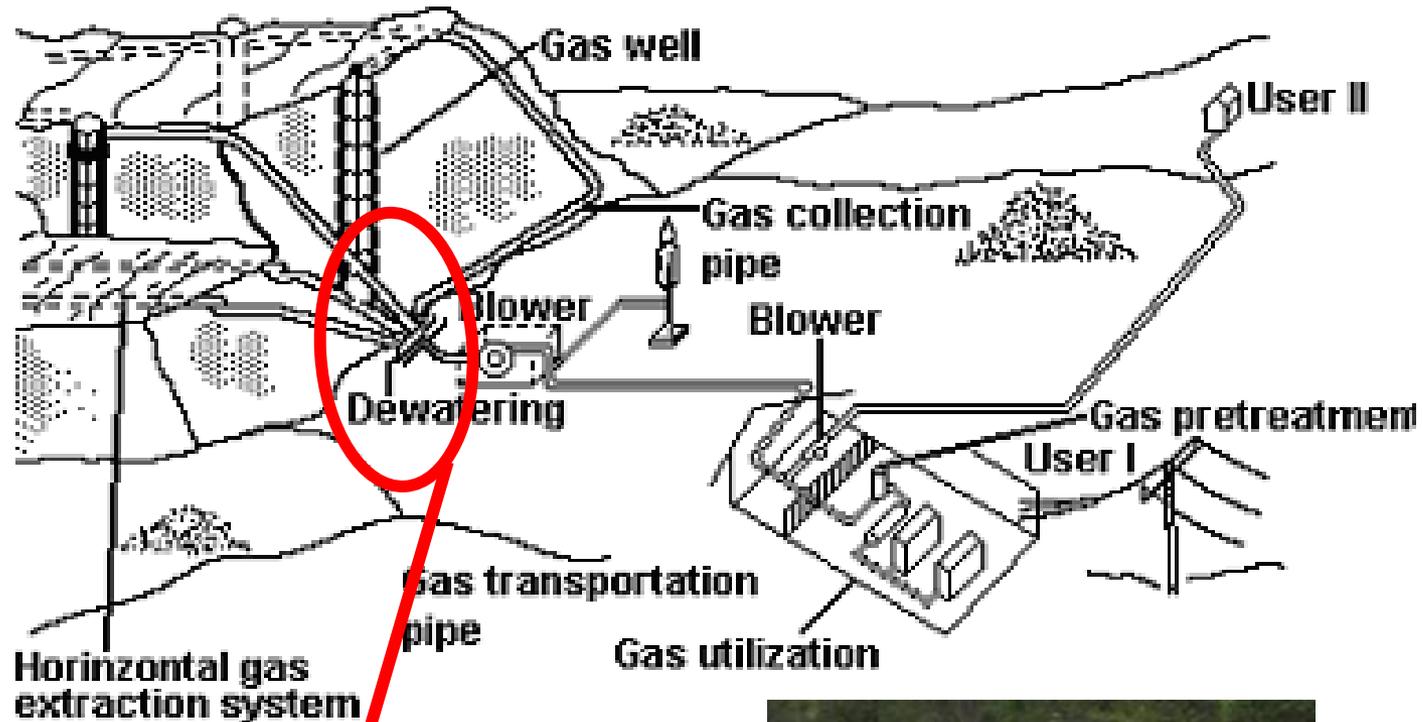
Recuperação do Biogás



Sistema de transporte



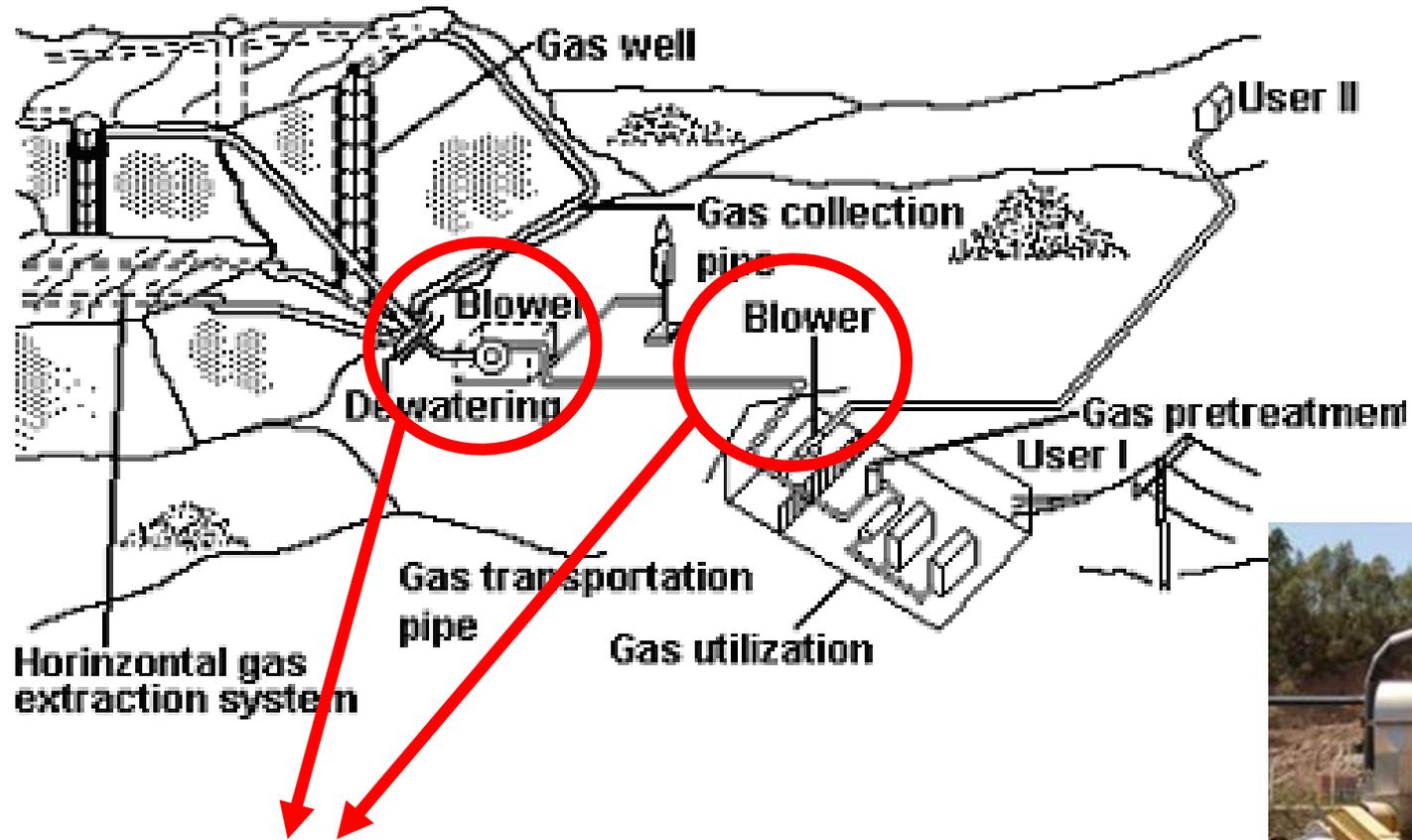
Recuperação do Biogás



Sistemas de pré-tratamento



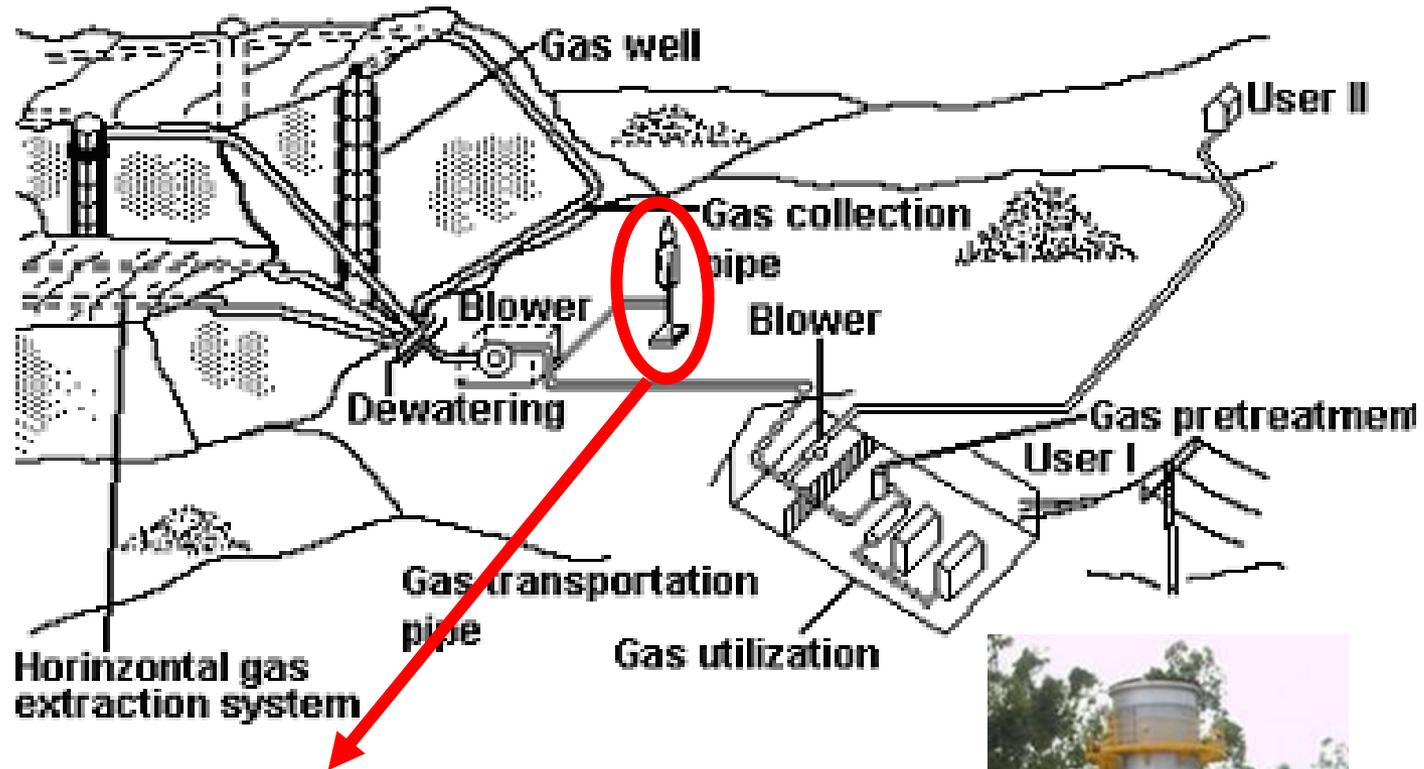
Recuperação do Biogás



Sopradores



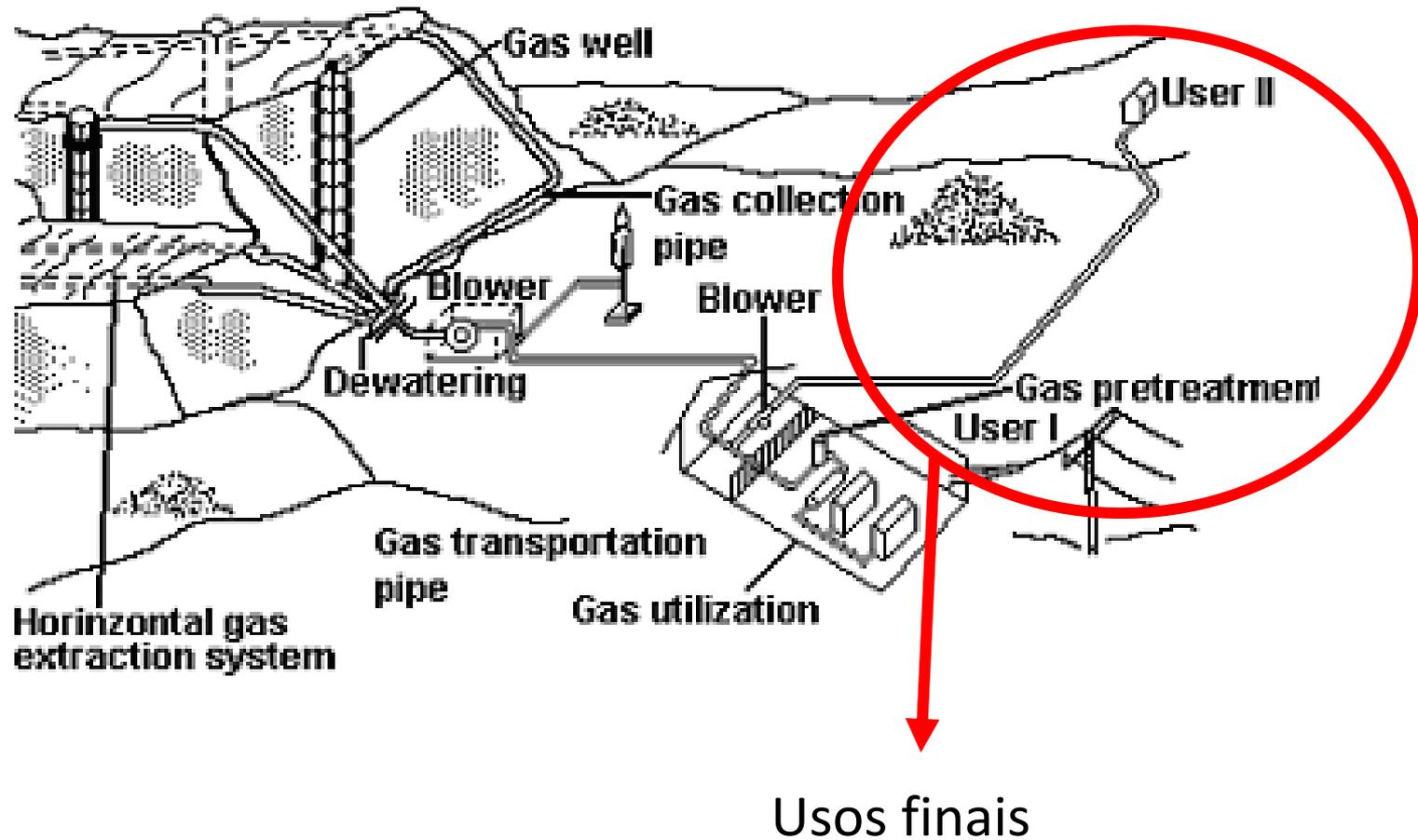
Recuperação do Biogás



Queima em "Flare"



Recuperação do Biogás



Geração de biogás em aterros sanitários

$$L_0 = MCF \times DOC \times DOC_F \times F \times \frac{16}{12}$$

Onde:

L_0 = potencial de geração de metano do resíduo (m^3 metano/tRSU) – o resultado de L_0 é em $\text{t CH}_4 / \text{t}$ resíduo. Portanto, deve-se dividir o resultado pela densidade do metano ($0,0007168 \text{ t/m}^3$)

MCF = fator de correção de metano = 1 (aterro bem gerenciado)

DOC = fração de carbono orgânico degradável no lixo ($\sum (\text{DOC}_i \times W_i)$) – calculado de acordo com a composição dos resíduos e a fração de carbono orgânico para cada tipo de resíduos (IPCC, 2006)

DOC_f = fração do DOC que pode se decompor = 0,50 (recomendação do IPCC 2006)

F = 50 % (quantidade adotada de CH_4 presente no biogás no aterro sanitário)

16/12 : conversão de carbono (C) para metano (CH_4)

Geração de biogás em aterros sanitários

$$LFG = k \times Rx \times L_0 \times e^{-k(x-T)}$$

Onde:

LFG: emissão metano ($\text{m}^3\text{CH}_4/\text{ano}$)

k = constante de decaimento (segundo o IPCC, 2006, cada tipo de resíduos possui um valor de k diferente. Portanto, deve-se fazer uma média ponderada dos valores de k dos diferentes resíduos)

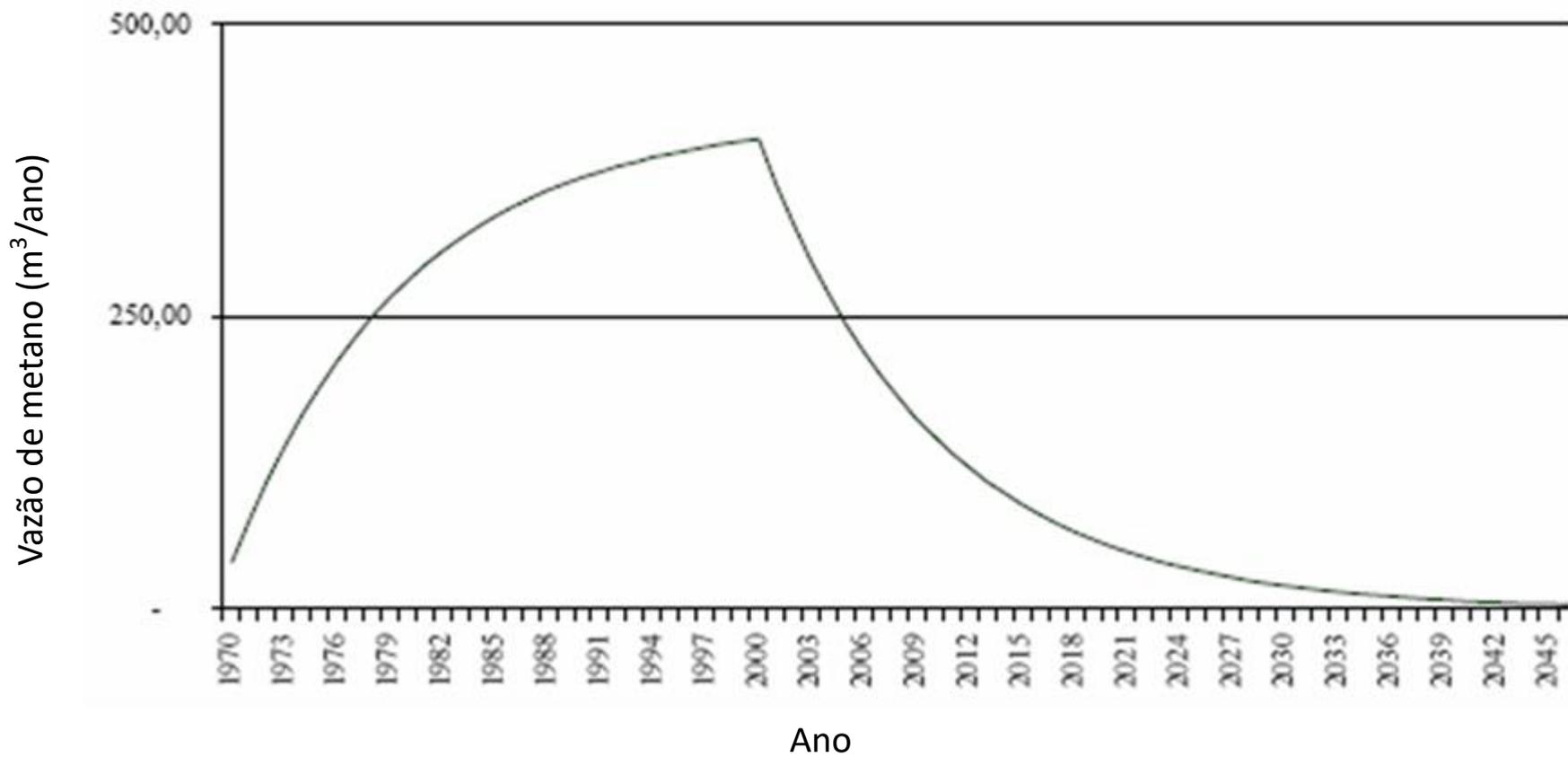
R_x = fluxo de resíduo no ano (tRSD)

L_0 = potencial de geração de metano ($\text{m}^3\text{metano}/\text{tRSD}$)

x = ano atual;

T = ano de deposição do resíduo no aterro (início de operação)

Geração de biogás em aterros sanitários



CÁLCULO DA POTÊNCIA

$$\text{Pot} = \frac{Q \times \text{PCI} \times \eta}{860}$$

Onde:

P = potência disponível (kW)

Q = vazão de biogás (m³/h)

PCI(biogás) = Poder Calorífico Inferior do biogás = 5.500 kcal/Nm³CH₄ (considerando 50% de metano presente no biogás)

η = eficiência de motores ciclo Otto operando a biogás (valor conservador - 28% = 0,28)

860 = fator de conversão de kcal/h para kW

CÁLCULO DA ENERGIA

$$E = P \times FC \times \text{Tempo de Operação}$$

Onde:

E = energia disponível (kWh/dia)

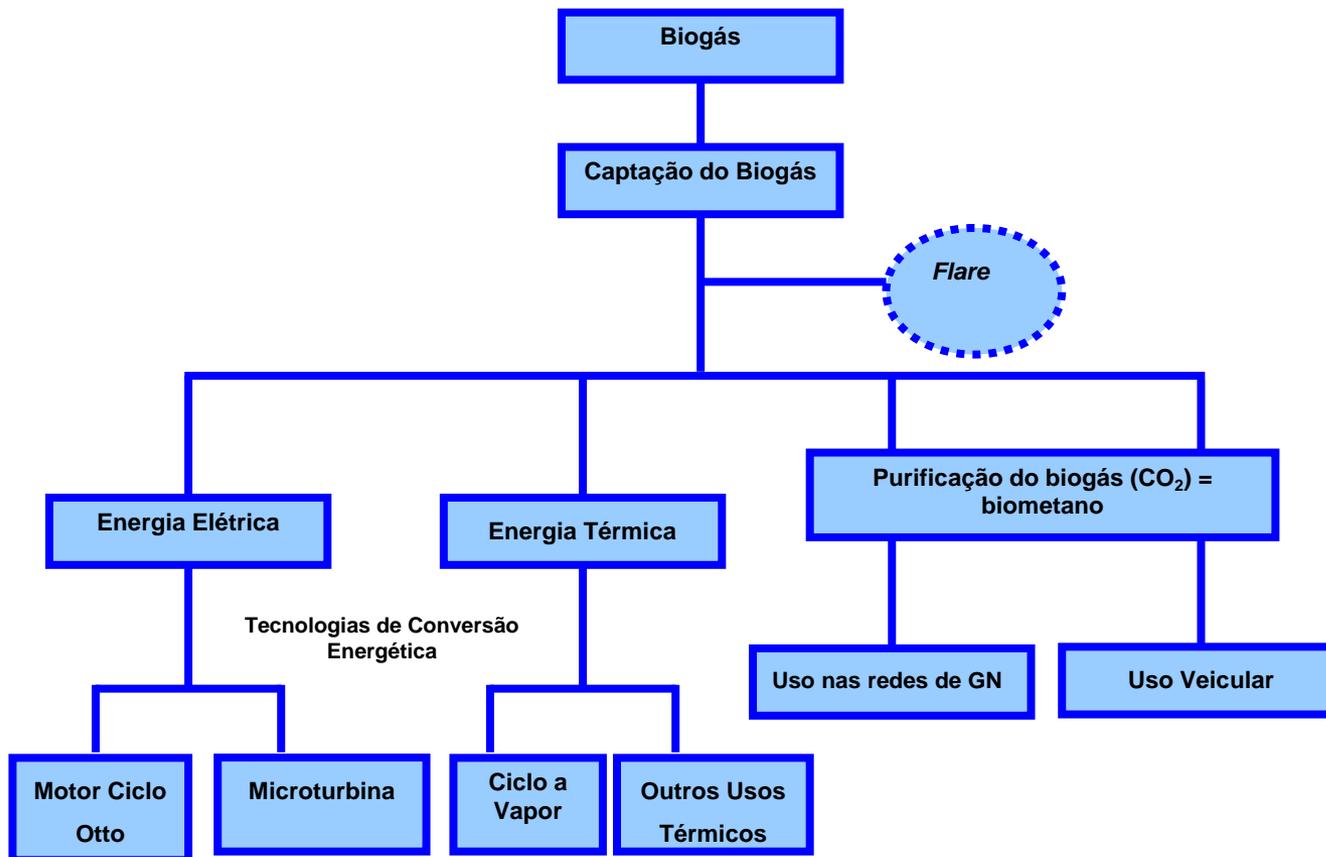
P = potência disponível (kW)

FC = fator de carga - motores operando a plena carga = 87% = 0,87

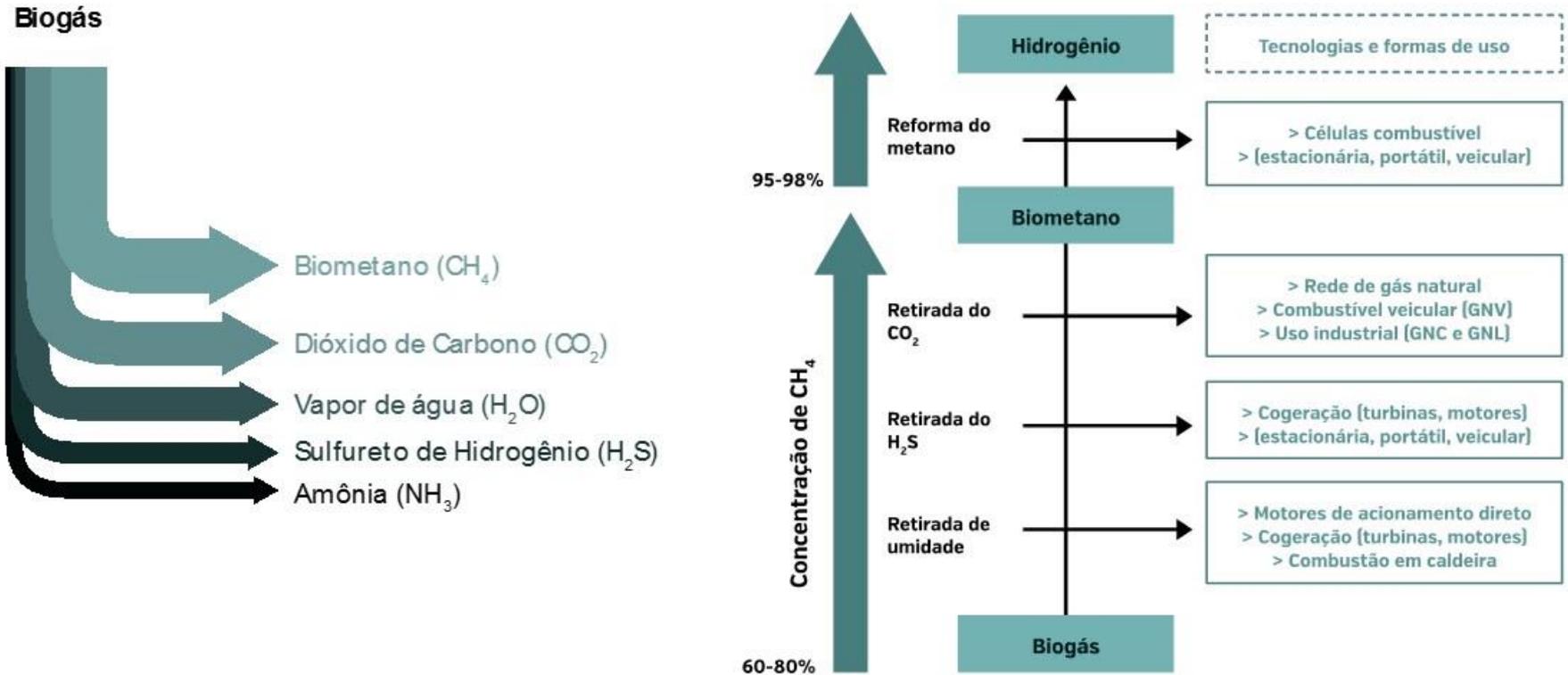
Tempo de operação do motor = h/dia

Biogás: Usos e Purificação

Possíveis utilizações do biogás/biometano



Biogás: Usos e Purificação



Dependendo das características do biogás e das exigências tecnológicas de aproveitamento energético, são determinados os tipos de tratamento necessários e as combinações entre eles

Tecnologias Aplicadas à Conversão em Energia Elétrica

Motores Ciclo Otto – Tecnologia mais utilizada

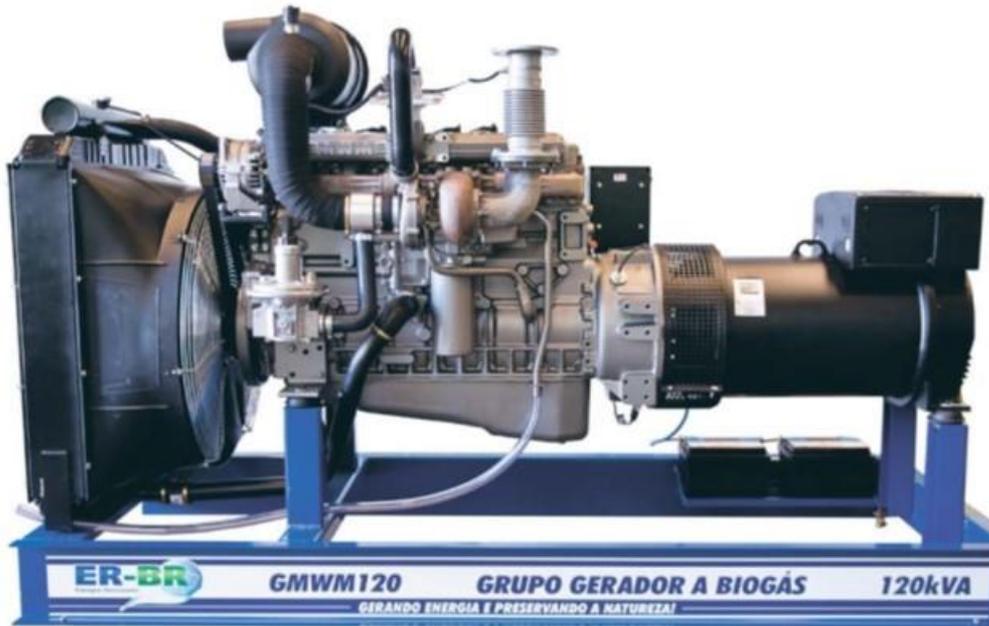
Vantagens

- Geração de energia elétrica para o próprio consumo do aterro
- Economia de R\$ em relação à energia proveniente da concessionária
- Possibilidade de obtenção de receita adicional pela venda de excedente de energia

Desvantagens

- Motores de grande porte são importados. Isso faz com que o investimento inicial seja elevado. As potências hoje disponíveis no mercado nacional variam de 4 kW a ~ 500 kW. Os motores importados chegam a 1,6 MW.
- Baixo rendimento: aproximadamente 28%
- Altos valores de emissão de NOx (gás de grande impacto ambiental). Dependendo do porte do motor, a emissão de NOx varia entre 250 e 3.000 ppm (parte por milhão)

Motores Ciclo Otto



Tecnologias Aplicadas à Conversão em Energia Elétrica

Microturbinas a gás

Vantagens

Além das vantagens apresentadas nos motores ciclo Otto, as microturbinas apresentam os seguintes benefícios:

- Baixos níveis de ruídos e vibrações
- Flexibilidade de combustível, dentre eles o biogás
- Dimensões reduzidas e simplicidade de instalação, podendo ser instalada em locais cobertos ou ao ar livre
- Emissões de NOx são menores que 9 ppm nas microturbinas de baixa potência (30 a 100 kW) e podem chegar a 100 ppm nas de maior potência.

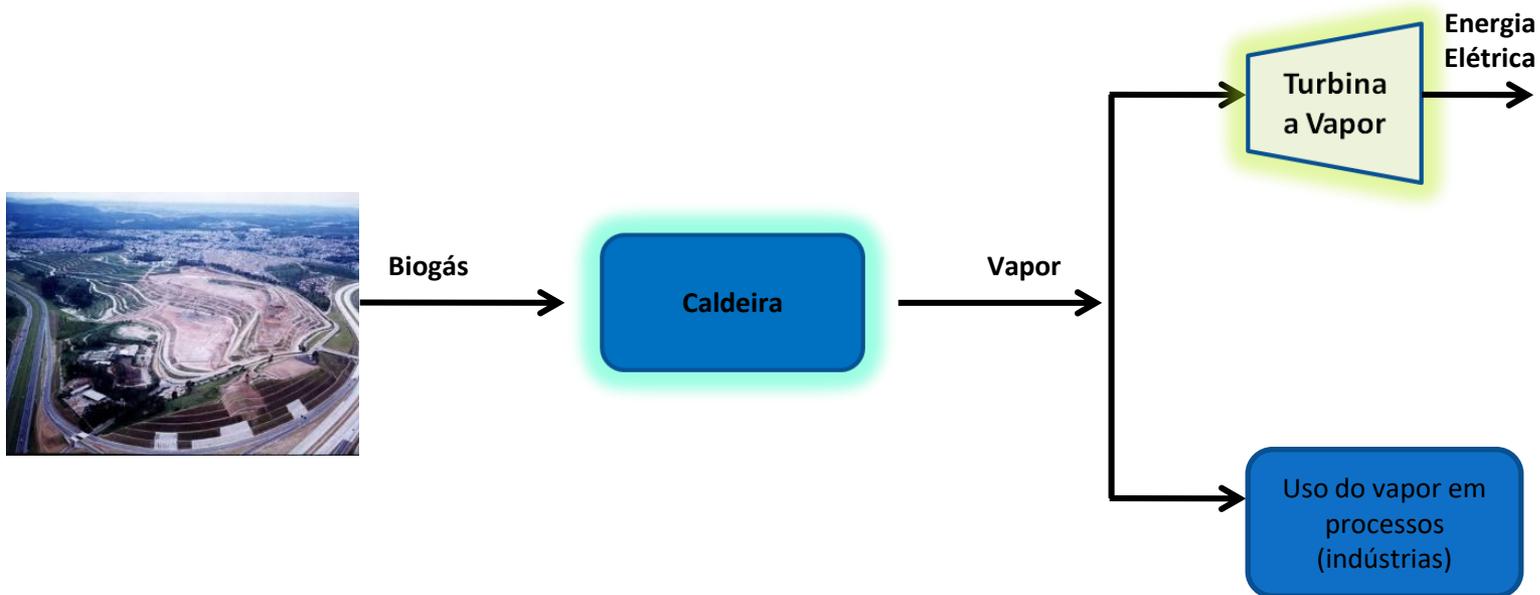
Desvantagens

- Equipamentos importados: investimento inicial elevado. As potências hoje disponíveis no mercado variam de 30 kW a 1,0 MW
- Baixo rendimento: aproximadamente 28%. Porém, quando utilizadas em instalações de cogeração, sua eficiência pode chegar a mais de 80%
- Alto custo de instalação
- Necessidade de um rígido sistema de limpeza do biogás e remodelação da microturbina para sua queima, já que o biogás possui baixo poder calorífico

Microturbinas a gás



Tecnologias Aplicadas à Conversão em Energia Térmica



Uso Veicular e Injeção na Rede de GN

Sistema de purificação do biogás: retirada de umidade, H_2S e CO_2 (biometano)

Retirada de CO_2 até que a porcentagem de metano fique próxima à do gás natural (composição compatível com a Resolução da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP nº 16, de 17 de junho de 2008)

Porcentagem mínima de metano no gás natural para uso veicular deve ser de 86% e máxima de CO_2 de 5%

Combustível Veicular



✿ Dióxido de Carbono - CO_2

Gás inerte que causa empobrecimento do poder calorífico do biogás.

✿ Gás Sulfídrico - H_2S

Provoca o efeito da corrosão diminuindo tanto o rendimento, quanto à vida útil dos equipamentos.

✿ Umidade - H_2O

Compromete o bom funcionamento das partes internas de equipamentos, além de provocar o empobrecimento do poder calorífico do biogás.

Exemplos de Processos de Limpeza do Biogás

Remoção de umidade: geralmente a retirada de umidade é feita por adsorção, utilizando gel de sílica ou carvão ativado. Outros métodos também podem ser utilizados, como:

Dessulfurização (remoção de H₂S): geralmente o processo de dessulfurização ocorre por adsorção em carvão ativado - proporciona um bom grau de pureza ao gás tratado, chegando a valores inferiores a 1 ppm. O processo se dá por meio da oxidação catalítica na estrutura porosa do carvão, onde o H₂S é convertido em enxofre elementar e é adsorvido nos microporos do carvão.

Exemplos de Processos de Purificação (ou *Upgrading*)

Remoção de CO₂:

- **Adsorção com modulação de pressão (PSA):** A tecnologia PSA se baseia na alternância entre adsorção e dessorção física mediante mudança da pressão no substrato, que ocasiona a aderência dos contaminantes do biogás, principalmente o CO₂, na superfície dos sólidos adsorbentes, como carvão ativado, zeólitos e peneira molecular de carbono;
- **Lavagem com água pressurizada (DWW):** Nesse processo, a eliminação do CO₂ ocorre por absorção através da inserção de água ao biogás. O CO₂, e outros como ácidos (H₂S) e básicos (NH₃), liga-se à água por meio de ligações físicas (fisissorção) ocasionadas pelo aumento de pressão, sendo eliminado do gás;
- **Método de membrana:** Esse método utiliza-se da diferença de permeabilidade entre as membranas de polímero para separar o gás de interesse (CH₄) de suas impurezas. O processo ocorre com aumento da pressão que permite maior efusão dos gases pela membrana.

- Existem equipamentos importados que garantam eficiência elevada, mas podem necessitar de adaptações para as características do biogás nacional

Políticas Existentes

Políticas Existentes	Detalhes
Decreto 58.659 de 4 de dezembro de 2012	Criação do "Programa Paulista de Biogás"
Nota Técnica ANP 157/2014 / SBQ / RJ - setembro 2014	Introdução de padrões de biometano de origem nacional para comercialização dentro do país – biometano derivado de resíduos agrossilvopastoris – impede o uso de biometano proveniente de aterro sanitário e ETE devido a presença de siloxanos (composto de sílica presente em cosméticos – formação de grãos de sílica – areia no interior dos equipamentos)
Resolução ANP Nº 8 de 30 de janeiro de 2015	Estabelecimento de padrões de biometano
Resolução ANP Nº 685, de 29 de junho de 2017	Estabelecimento de regras para controle de qualidade e padrões do biometano proveniente de aterros sanitários e ETE's para uso em transporte, além de uso residencial, industrial e comercial em todo o país
Deliberação ARSESP Nº 744 de 26 de julho de 2017	Dispõe sobre as condições de distribuição de biometano na rede de gás canalizado no âmbito do Estado de São Paulo

EXEMPLOS / ESTUDOS DE CASO / PROJETOS DESENVOLVIDOS

APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS PROVENIENTE DO TRATAMENTO DE ESGOTO



CENTRO NACIONAL
DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA



**“Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás
de Tratamento de Esgoto da ETE da SABESP
em Barueri”**

ETE DA SABESP DE BARUERI

- Dados Técnicos (2005):
 - Quantidade de Esgoto Tratado = 7,0 m³/s
 - Produção Média de Biogás = 24.000 m³/dia
 - Demanda energética da ETE = 9 MW
 - Consumo de Energia Elétrica = 5.584 MWh/mês (2005)
 - Projeto FINEP - Testes comparativos das tecnologias
 - adaptações dos sistemas de limpeza do gás
 - levantamento dos dados técnicos
 - levantamento de custos operacionais e de manutenção
 - Equipamentos instalados (projeto)
 - Microturbina: 30 kW
 - Motor ciclo Otto: 30 kW



**MONTAGEM DA PLANTA PILOTO NA ESTAÇÃO
DE BARUERI
MICROTURBINA CAPSTONE (30 kW)**





Grupo Gerador (Motor Ciclo Otto) para comparação

2005 3 1

**GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS
PROVENIENTE DO TRATAMENTO DE ESGOTO DO CONJUNTO
RESIDENCIAL DA USP**

**PROJETO PUREFA – PROGRAMA DE USO RACIONAL DE ENERGIA E
FONTES ALTERNATIVAS**

TRATAMENTO DO ESGOTO DO CRUSP

- Dados Técnicos:
 - Quantidade de Esgoto Tratado = 3,0 m³/h
 - Volume Útil do Biodigestor = 25 m³
 - Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) = 8 h
 - Produção Média de Biogás = 4 m³/dia

SISTEMA DE PRÉ-TRATAMENTO DO ESGOTO DO CRUSP



Biodigestor modelo RAFA: Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente



Gasômetro:
armazenador de
biogás



Grupo gerador e Painel de teste

Geração de energia com biogás de tratamento de efluentes



Estação de Tratamento de Esgoto Ouro Verde da SANEPAR

Foz do Iguaçu – Paraná / Brasil

Planta Piloto



Capacidade de produção de energia: 1.350 kWh/mês

Geração de energia com biogás de tratamento de efluentes



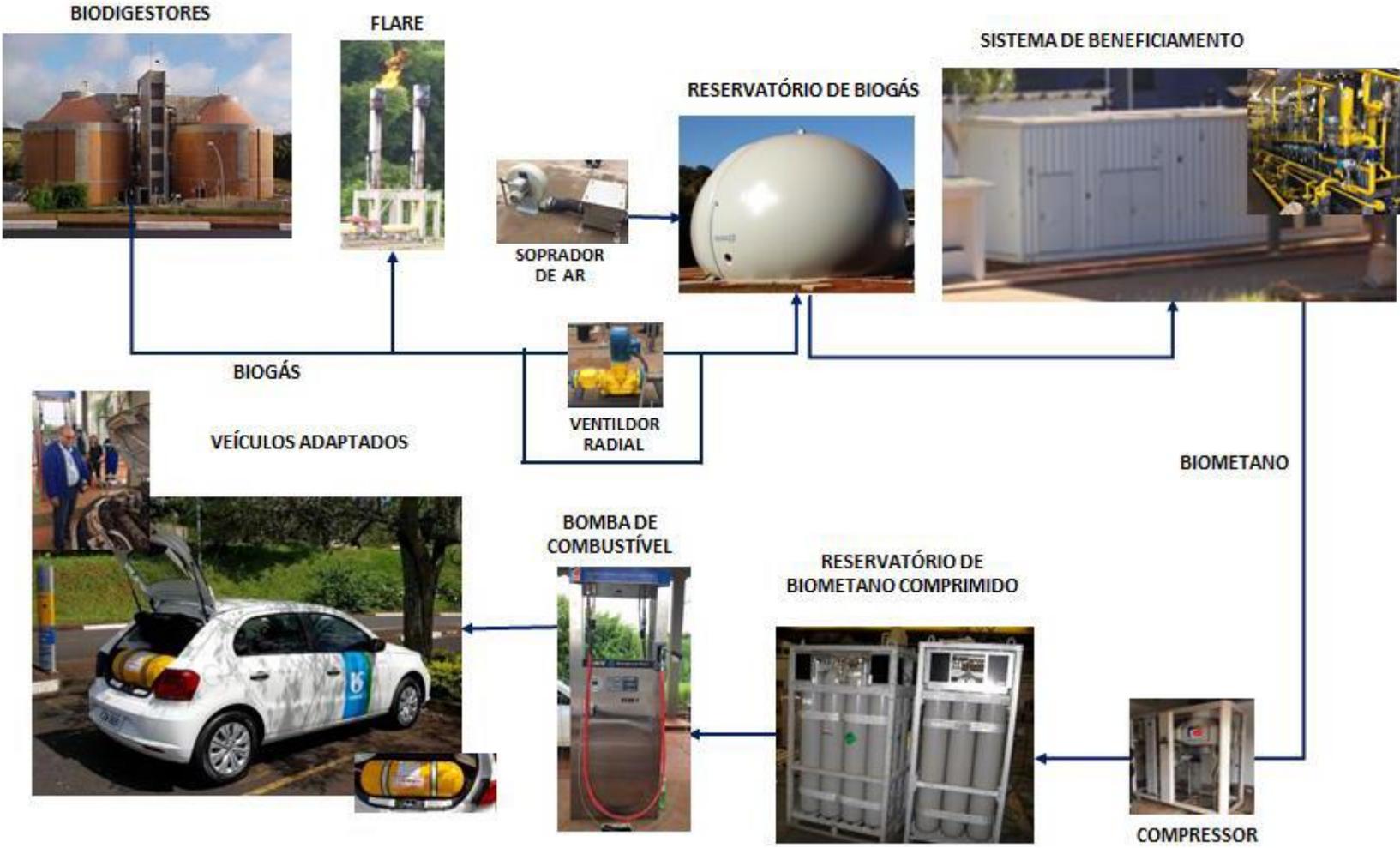
Estação de Tratamento de Esgoto
Arrudas - COPASA

Minas Gerais / Brasil

Potencial instalado: 2.4 MW (12 microturbinas de 200 kW) - supre cerca de 90% da
necessidade da ETE

Gases de exaustão – energia térmica para aquecimento dos biodigestores

PROJETO SABESP – ETE Franca/SP



PROJETO SABESP – ETE Franca/SP

- ETE recebe 84% do esgoto de Franca (o restante vai para outras estações da cidade). Todo o esgoto de Franca é coletado e tratado;
- Biogás: produção de 3.500 m³/dia;
- Biometano: capacidade de produção de 2.900 m³/dia (ou 120 m³/h);
- Abastecimento de 38 veículos da frota

PROJETO SABESP – ETE Franca/SP

UNIDADE DE BENEFICIAMENTO DO BIOGÁS



PROJETO SABESP – ETE Franca/SP

ARMAZENAMENTO DO BIOMETANO



PROJETO SABESP – ETE Franca/SP



Vista geral do sistema de produção de biometano

Sistema de beneficiamento do gás e posto de abastecimento



APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS PROVENIENTE DA VINHAÇA

São Martinho – Usina Iracema

Planta piloto de biogás de vinhaça



- Produção de biogás: 25 m³/dia – em adaptações
- Biogás queimando em flare

Projeto piloto 1MWe na Usina Ester



- Produz: 600 m³/h
de vinhaça

- Capacidade de
tratamento de 15%
do volume de
vinhaça produzida
(90 m³/h).

Projeto
descontinuado –
Plantação de cana
no lugar do projeto....

Usina Geo Energética

- Localização: Paraná
- Planta em escala industrial – codigestão: vinhaça, torta de filtro e palha
- Geração de 4 MW (com expansão para 16 MW) – energia comercializada no mercado livre
- produção e comercialização de fertilizantes (sólido e líquido, podendo ser enriquecidos com NPK) a serem aplicados no campo, formando um circuito fechado de nutrientes na propriedade rural, sem perdas para o solo e com ganhos ambientais.



Projeto Usina Cocal – Gas Brasileiro – Biogás e biometano



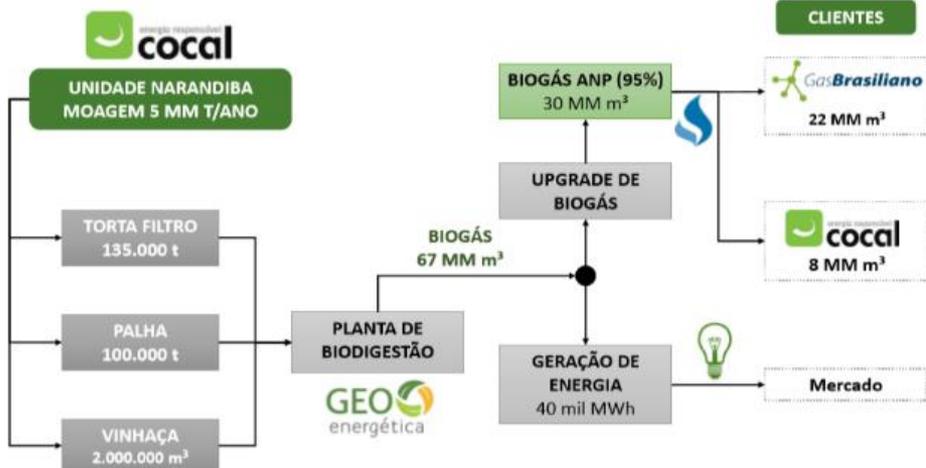
Unidade Narandiba/SP (~ 590 km de SP)



SÃO PAULO
GOVERNO DO ESTADO

arsesp
agência reguladora de saneamento e energia
do estado de São Paulo

Gas Brasileiro



USINA BONFIM – Geração de eletricidade com biogás de vinhaça

20 MW – R\$250/MWh

UNIDADE BONFIM

Raízen Energia S/A (Este grupo possui 24 usinas)
Guariba - SP



Foto ilustrativa-ABiogás

PELA PRIMEIRA VEZ UM PROJETO DE BIOGÁS VENCEU UM LEILÃO DE ENERGIA

<http://www.canalbioenergia.com.br/pela-primeira-vez-um-projeto-de-biogás-venceu-um-leilão-de-energia/>

PLANTA INAUGURADA EM OUTUBRO DE 2020

APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS PROVENIENTE DE DEJETOS ANIMAIS

Aproveitamento de resíduos rurais

Granja Columbari – São Miguel do Iguaçu –
Paraná

Produção diária: 750 m³/dia de biogás

Resíduos de 5000 suínos – geração de 1000
kWh/dia - autossuficiente



Fotos CENBIO, 2011

Aproveitamento de resíduos rurais

Unidade Produtora de Leitões Serranópolis –
localizada em Serranópolis do Iguaçu/PR

Produção diária: 1000 m³/dia de biogás

Geração de 1400 kWh/dia



Aproveitamento de resíduos rurais

Unidade Produtora de Leitões (UPL) Itaipulândia,
em Itaipulândia/PR

Produção diária: 1450 m³/dia de biogás

Geração de 1800 kWh/dia



Aproveitamento de resíduos rurais

Unidade Industrial de Aves da Cooperativa Agroindustrial Lar, localizada em Metelândia/PR

Produção diária: 1700 m³/dia de biogás

Em primeiro momento, o biogás foi utilizado para geração de energia elétrica (cerca de 140 kWh/dia); porém, nos dias de hoje, o biogás substitui a lenha das caldeiras e é utilizado para gerar energia térmica.



Aproveitamento de resíduos rurais

Granja Haacke - Santa Helena/PR

Produção diária: 1000 m³/dia de biogás

Produção de biometano e Geração de energia elétrica em grupo motogerador de 112 kVA



Aproveitamento de resíduos rurais

Fazenda Iguazu Starmilk, localizada em Céu Azul/PR

Pecuária leiteira e reflorestamento

Produção diária: 1400 m³/dia de biogás

Geração de 1500 kWh/dia



Aproveitamento de resíduos rurais

Fazenda Ponte Alta – Itararé / SP

-Geração de energia elétrica (200 kW)
– utilização nas granjas (iluminação,
ventilação, bombas, etc)

- Geração de energia elétrica (100 kW)
para a fábrica de ração

- Aquecimento de ambiente,
aquecimento do chão da maternidade,
secagem de grãos



Fazenda Ponte Alta – Itararé / SP

Geração de energia elétrica



Grupo gerador

Outros Usos Finais

Cocção



Aquecimento do ambiente
(leitões)



Sistema de aquecimento no tanque



Secagem de
grãos



Biogás de dejetos de suínos

Condomínio Ajuricaba - Agroenergia para a
Família - Estado do Paraná



- 33 agricultores locais (suinocultura e bovinocultura);
- Média de fluxo diário efluente: 48 m³
- Produção média biogás diária: 821 m³;
- Utilização térmica do biogás para cozinha;
- Média diária de geração de energia 350 kWh/dia

O PROJETO

Metodologia de estimativa de reduções de GEE provenientes da biodigestão de resíduos animais

- **Parceiros:** CENBIO, Winrock e UsinaAzul
- **Financiador:** REEEP
- **Objetivos :**

Desenvolver tecnologia capaz de:

- ✓ Dimensionar sistema de tratamento de dejetos animais (bovinos e suínos) para pequenas e médias propriedades do Brasil
- ✓ Dimensionar sistema de geração de energia
- ✓ Estimar redução de carbono
- ✓ Realizar cálculos financeiros da implementação de projetos

A tecnologia realiza os cálculos com base nas informações cedidas pelos proprietários



renewable
energy
& energy
efficiency
partnership



WINROCK
INTERNATIONAL



PROGRAMA PARA DIMENSIONAMENTO DE BIODIGESTORES PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS, ELETRICIDADE E REDUÇÃO DE EMISSÃO DE CARBONO PARA PEQUENO E MÉDIO CRIADORES DE ANIMAIS NO BRASIL

I. DADOS DO USUÁRIO

Nome da Fazenda	
Nome do Proprietário	
Endereço da Fazenda	
Data de entrada dos dados (dd/mm/aaaa)	

Notação Descrição da Informação Dados de Entrada do Usuário Unidade

II. Informação dos Animais

Número médio de Gado Bovino Leiteiro na fazenda	200	No.
Número médio de Gado Bovino de Corte na fazenda		No.
Número médio de Suínos para Mercado na fazenda		No.
Número médio de Suínas Reprodutoras na fazenda		No.
Crescimento anual esperado de tamanho da fazenda		
Gado Bovino Leiteiro	3%	%
Gado Bovino de Corte		%
Suínos para Mercado		%
Suínas Reprodutoras		%
Genética/Raça do animal		
Gado Bovino Leiteiro	Oceania	
Gado Bovino de Corte		
Suínos para Mercado		
Suínas Reprodutoras		

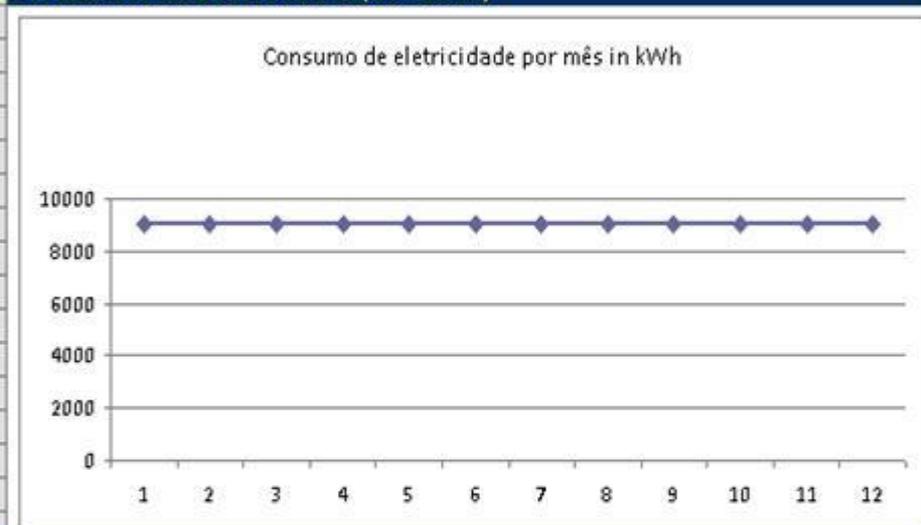
III. Produção e Uso do Esterco

Peso médio de Gado Bovino Leiteiro	450	Kg
Peso médio de Gado Bovino de Corte		Kg
Peso médio de Suínos para Mercado		Kg
Peso médio de Suínas Reprodutoras		Kg

I. Informações Básicas da Fazenda

Tipo de Animal	Número Médio de Animais		Raça	Gerenciamento de Dejetos de Referência	Melhoria para o Manejo dos Animais	de Crescimento Anual	Porcentagem de Dejetos Coletados
Gado Leiteiro	200	450	Oceania	Lagoa	Closed Lagoon Biodigester	3%	80%
Gado Bovino de	-	-	-	-	-	-	-
Suínos (mercado)	-	-	-	-	-	-	-
Suínas (reprodução)	-	-	-	-	-	-	-

II. Padrão de Consumo de Eletricidade (Ano Passado)



III. Design Técnico

A vida útil do projeto é de 21 anos para corresponder ao período máximo de creditamento de carbono.

Biogás Disponível para Geração de Energia Elétrica	68221 m ³
Demanda por Eletricidade na Fazenda no Ano 1	108000 kWh
Eletricidade Adicional requisitada da rede	0 kWh
Biogás Disponível para Queima	3179 m ³
Tamanho do Gasômetro do Biodigester - Calculado	515 m ³
Tamanho do Gasômetro do Biodigester - Recomendado	616 m ³
Potência do gerador baseada em demanda energética	38 kW
Pico de demanda por energia	12 kW
Potência do gerador - Recomendado	40 kW
Tamanho do flare para queima do biogás - Calculado	0 m ³ /h
Tamanho do flare para queima do biogás - Recomendado	0 m ³ /h

IV. Demanda de Carga por Hora na fazenda



V. Redução de Carbono

Os cálculos para redução de carbono são baseados nas metodologias de pequena escala do IPCC

Período de Crédito	1	2	3	Total
Emissões de Referência	3237	3980	4896	12113 tCO ₂ e
Redução de Emissões				
Apenas Geração de Energia Elétrica	257	232	286	776 tCO ₂ e
Apenas Queima em Flare	2407	2959	3641	9007 tCO ₂ e
elétrica máxima/queima de excesso	3060	3678	4525	11263 tCO ₂ e

VI. Análise Financeira

Todos os valores estão em Reais (R\$)

Investimento Total do Projeto (Ano 0)	183960	100%	
Capital Investido	36792	20%	
Dívida (Empréstimo Bancário)	147168	80%	
Taxa de Juros de Empréstimo Bancário	8%	Período do P	21 anos
Período de Empréstimo Bancário	10 anos	Taxa de Descontagem	10%

Indicadores Financeiros	em Receita de Créditos de Carbono	em Receita de Créditos de Carbono
Taxa Interna de Retorno Financeira (%)	16%	7%
Valor Presente Líquido (VPL)	58.145	(44.118)
Relação Custo Benefício (RCB)	1,16	0,92
Período Simples de Retorno	10,55	15,46
Período Descontado de Retorno	14,63	-



renewable
energy
& energy
efficiency
partnership



Programa para dimensionamento de biodigestores para produção de biogás, eletricidade e redução de emissão de carbono para pequenos e médios criadores de animais no Brasil

MANUAL DO USUÁRIO

APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS PROVENIENTE DE ATERRO SANITÁRIO

Aterro Bandeirantes (SP)

Potência instalada: 22 MW - Suficiente para abastecer uma cidade com 440.000hab

Aterro encerrado em maio de 2007

Previsão de geração de biogás: + 25 anos após o encerramento das atividades



Aterro São João (SP)

Potência instalada: 20 MW - Suficiente para abastecer uma cidade com 400.000hab

Aterro encerrado em Outubro de 2007

Previsão de geração de biogás: + 15 anos após o encerramento das atividades



Aterro da Essencis – CTR Caieiras (São Paulo)

An aerial photograph of a large-scale construction site for a landfill. The central area is a vast, flat expanse of reddish-brown earth, likely cleared for the landfill's base. This central area is surrounded by steep, terraced hillsides. Some of these hillsides are covered in dense green forest, while others show signs of recent excavation or clearing, with exposed red soil. A network of dirt roads and paths crisscrosses the site. In the lower center, a winding road or canal cuts through the landscape. The overall scene depicts a significant land reclamation project in a hilly, forested region.

Área total do aterro: 3,5 milhões m²

Área destinada ao aterramento de lixo: 1,5 milhões m²

Sistema de Geração de Energia Elétrica



- ❑ Motor ciclo Otto adaptado para biogás
- ❑ Opera com concentrações de metano de 30% a 80%
- ❑ Potência: 200 kW
- ❑ A energia gerada alimenta 1 soprador

Sistema de Iluminação

- ❑ Sete postes de iluminação
- ❑ Implementados na planta de biogás do aterro
- ❑ Sistema interligado com o sistema de geração de energia



GERAÇÃO DE ENERGIA À BIOGÁS

solvi

Valorização
Energética

Termoverde Salvador (em operação)

- ✓ Operação Comercial desde 2011;
- ✓ Localizado no aterro da Battre/ Revita (2.800 ton/dia) em Salvador – BA,
- ✓ Geração Atual de 15 MWm com Outorga de 20 MW;





Vista interna com vários moto-geradores

UTE CAIEIRAS - SP

➤ Dados Estimados do Projeto

- ✓ A Termoelétrica será Localizada no aterro de Caieiras - SP (8.000 ton/dia):



- ✓ Tempo de operação previsto: 20 anos.
- ✓ Início da Operação: Previsto - Agosto de 2015.

➤ Dados Estimados do Projeto

- ✓ A UTE será composta basicamente de:
 - Unidade de tratamento de biogás
 - Unidade com motores e geradores em containers
 - Subestação elevatória e linha de transmissão de energia
- ✓ Potência Instalada Inicial: 30 MW, com 21 Motores instalados em containers



Exemplo de Motores Geradores GE em Container

PLANTA INAUGURADA EM 16 DE SETEMBRO DE 2016



Aterro sanitário de Guatapará/SP

Primeira usina de geração de energia a partir de biogás da empresa Estre

Em operação desde maio de 2014

Usina de bioenergia de 4,2 MW



Aterro sanitário de Minas do Leão

Primeira usina de geração de energia a partir do gás de aterro sanitário do Rio Grande do Sul, aterro sanitário de Minas do Leão da Companhia Riograndense de Valorização de Resíduos (CRVR)

Em operação desde maio de 2015

Usina denominada Biotérmica Energia (Figura 9) tem potência instalada de 8,55 MW e, a pleno funcionamento, chegará a 15 MW



GNR Caucaia - Ceará

Maior planta de biometano do país
Vendido à CEGAS (COMPANHIA DE GAS DO CEARÁ)
R\$ 1.2/Nm³ – 30% acima do preço de GN (2018)
Produção: 85.000 Nm³/d de biometano
Visita Pessoal (S.Coelho)



Aterro de Caucaia Fortaleza – Ceará

<http://www.semace.ce.gov.br/wp-content/uploads/2014/01/RESILU%C3%87%C3%83O-COEMA-N%C2%BA-05-DE-10-DE-ABRIL-DE-2014.pdf>

<https://www.panoramaoffshore.com.br/inaugurado-gasoduto-pioneiro-em-biometano-no-ceara/>

Projeto 27 do RCGI - As perspectivas de contribuição do biometano para aumentar a oferta de GN

Escopo

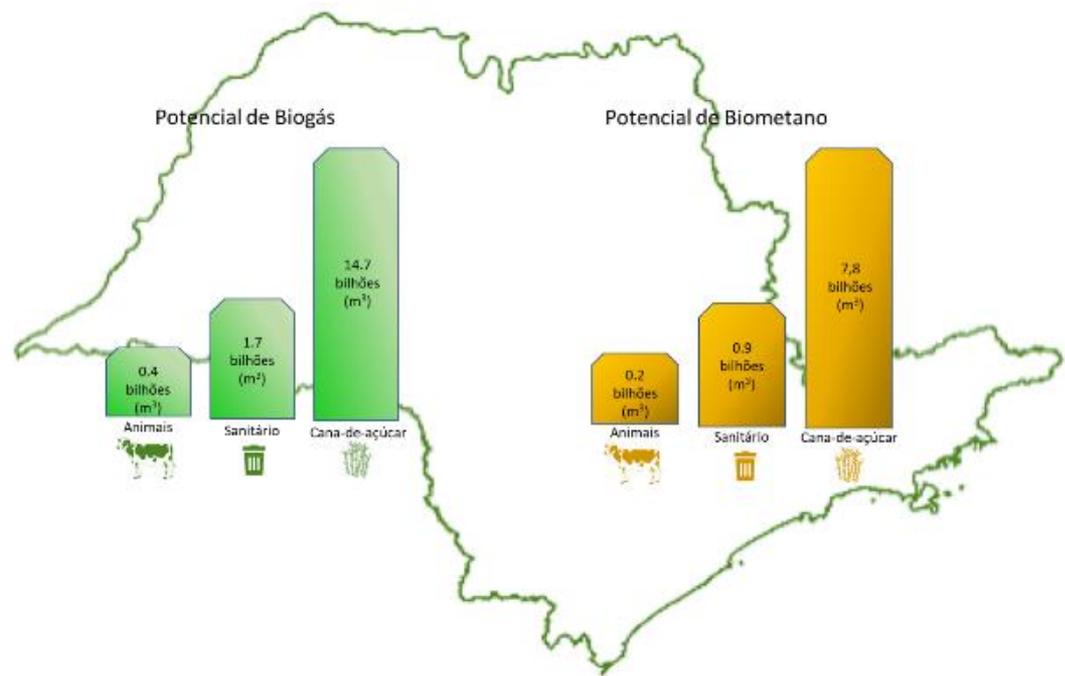
Analisar as perspectivas, os correspondentes benefícios e as barreiras potenciais, bem como propor políticas adequadas para soluções integradas usando biometano como um contribuinte para aumentar a oferta de gás natural (GN) (mapeamento georreferenciado de São Paulo).

Principais Atividades:

- (1) Mapeamento de potenciais produtores de biogás no estado de São Paulo
- (2) Potencial de produção de biogás e biometano no estado de São Paulo
- (3) Análise ambiental, social e econômica das diferentes opções de produção e uso de biogás/biometano no Estado de São Paulo
- (4) Proposição de políticas para a implantação de biometano no estado de São Paulo

Potencial de biogás e biometano – Mapas interativos – RCGI/FAPESP/SHELL – GBIO/IEE/USP

- O potencial anual de biometano poderia exceder em 3,87 bilhões de Nm³ o volume anual de gás natural comercializado; ou
- O volume anual de biometano produzido poderia substituir 72,4% do diesel comercializado;
- O potencial de energia elétrica gerada anualmente a partir de biogás, de 36.197 GWh, corresponde a 93% do consumo residencial no estado.

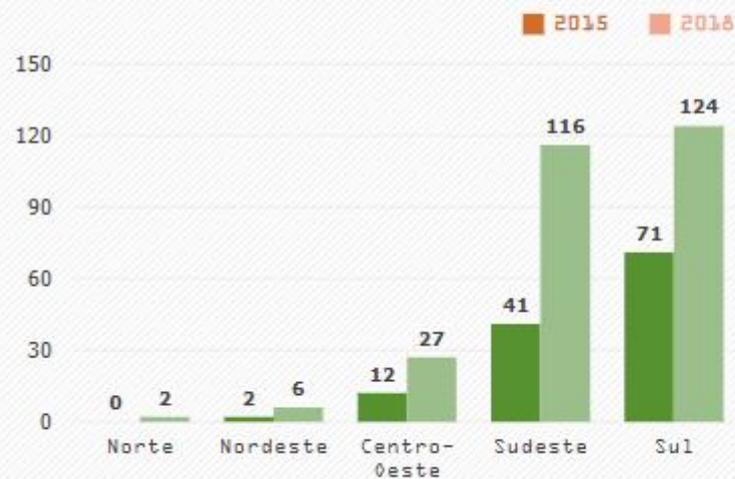


BIOGÁS NA MATRIZ BRASILEIRA

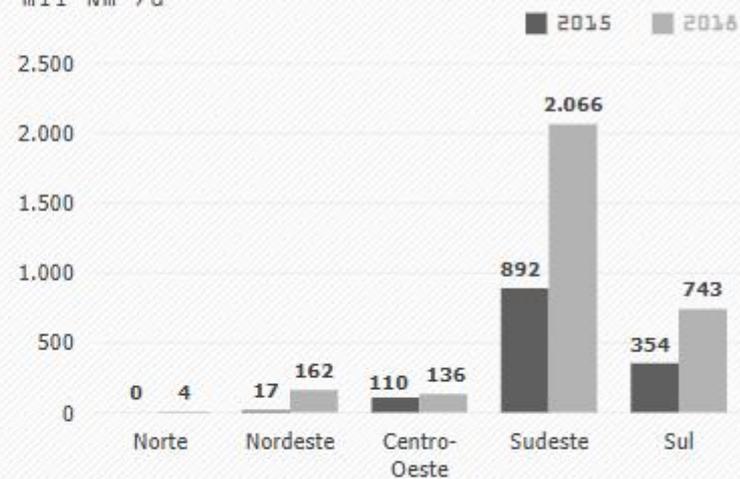
ABiogás

PARTICIPAÇÃO DO BIOGÁS

Plantas de Biogás



Produção de Biogás
mil Nm³/d



Projeto em andamento – GBIO/IEE/USP

Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)/Companhia Energética de São Paulo (CESP)

Projeto: Atlas de Bioenergia do Estado de São Paulo – Conclusão Prevista: março de 2020

Objetivo:

Levantar e apresentar espacialmente, por meio de mapas georreferenciados, o potencial de geração de eletricidade, biogás e biometano a partir de resíduos de biomassa nos municípios do Estado de São Paulo. O Mapa de Bioenergia do Estado de São Paulo será uma ferramenta interessante a ser utilizada para a identificação das potenciais biomassas locais, permitindo direcionar investimentos de infraestrutura para que a matriz energética do Estado se torne cada vez mais limpa, diminuindo a emissão de gases de efeito estufa, gerando renda e trabalho, fortalecendo a geração distribuída e diminuindo a pressão e a dependência no Sistema Interligado Nacional (SIN).

Tipos de biomassas – Atlas de Bioenergia do Estado de São Paulo

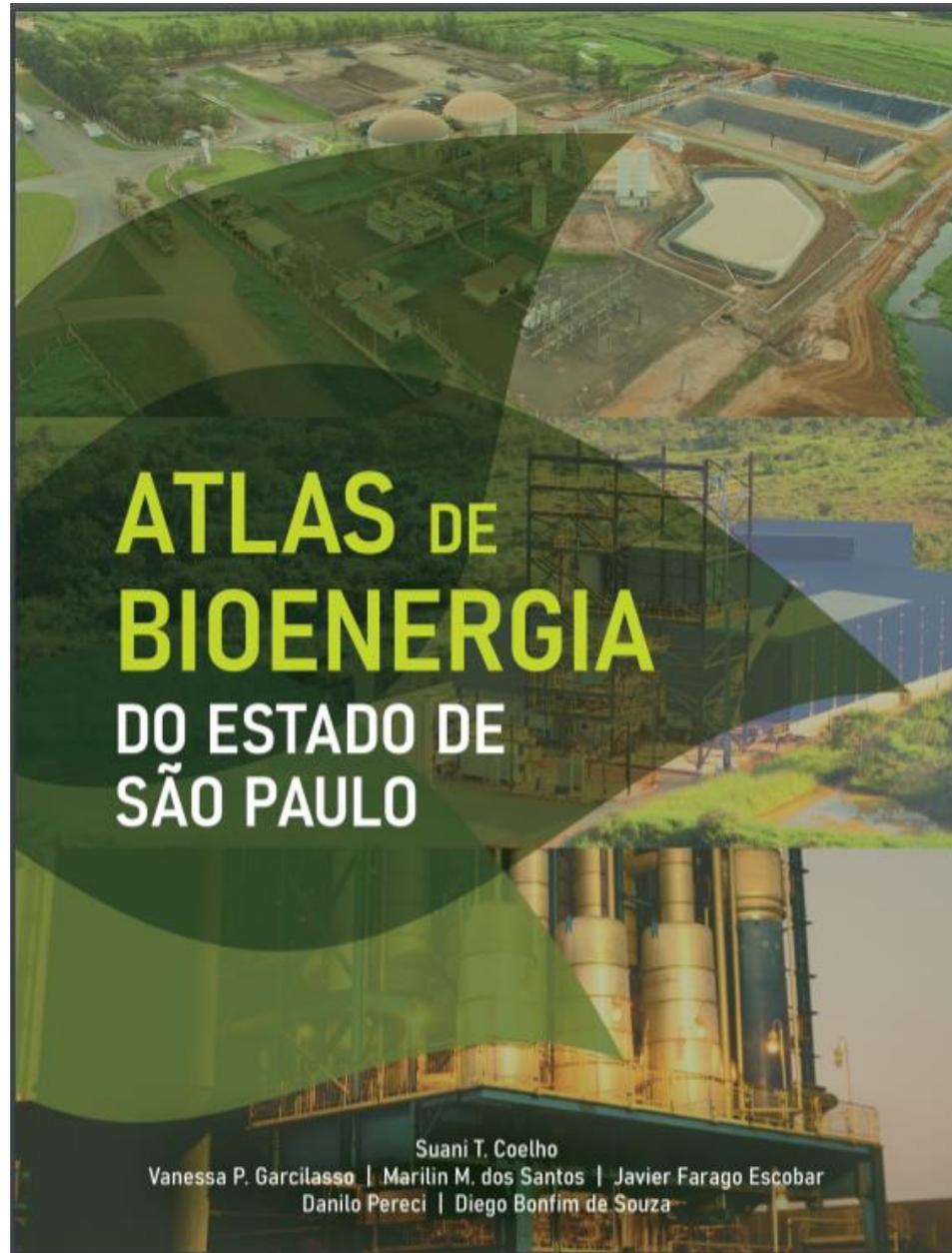
Geração de Biogás, Bioemetano e Energia:

- Resíduos das usinas de cana-de-açúcar (palha/pontas, torta de filtro e vinhaça);
- RSU: aterro sanitário e tratamento biológico da fração orgânica do lixo;
- Esgoto doméstico;
- Resíduos de criação e abate de animais (bovinos, suínos e aves);
- Resíduos da indústria cervejeira

Geração de Energia:

- Resíduos das usinas de cana-de-açúcar (cogeração com bagaço de cana)
- Resíduos agrícolas (milho, laranja, soja, feijão e trigo);
- Resíduos do Beneficiamento de Produtos Agrícolas (amendoim, café e milho)
- RSU: incineração e gaseificação;
- Resíduos de silvicultura (processamento de madeira e resíduos florestais)
- Resíduos da indústria de papel e celulose

Atlas de Bioenergia do Estado de São Paulo



Viabilidade da Utilização de Biogás

- Geração de parte da energia consumida nos processos (diminuição da energia comprada da concessionária local)
- Além da geração de energia elétrica, o biogás pode ser utilizado para a geração de energia térmica e o calor gerado pode ser utilizado no aquecimento dos próprios biodigestores (cogeração)
- Utilização de biometano como substituto do gás natural
- Venda de excedente de energia – viabilidade depende da tarifa e do preço de venda à concessionária
- Viável Economicamente para o Brasil desde que se tenha escala e ou desde que se aumente o valor da energia a ser paga ou ainda desde que se consiga mais benefícios, isenções e/ou diferimento de tributos.

Sinergias com o saneamento básico

- Evita o descarte inadequado dos resíduos
- **Biogás**, biometano ou a eletricidade gerada: receita adicional para o empreendimento
- Outras vantagens



AS POTENCIALIDADES DO BIOGÁS

ABiogás

- Redução de **GEEs**
- Fonte **armazenável**
- Flexível: **energia elétrica e combustível**
- Energia renovável **NÃO intermitente**
- Geração descentralizada** regional
- Interiorização** do metano
- Biometano: corrigido pelo **IPCA**

Biogás - Dificuldades

❑ Falta de uma cadeia produtiva de bens e serviços madura no Brasil:

- Falta de equipamentos nacionais desenvolvidos para este fim e de mão-de-obra especializada para operação e manutenção destes sistemas de médio e grande porte;
- custos de transporte, peças de reposição não disponíveis no Brasil (afetando o custo de manutenção);
- impostos e tarifas alfandegárias que elevam o preço dos equipamentos (caso de microturbinas para biogás);
- variação da taxa cambial inviabiliza o planejamento da operação e manutenção no longo prazo;
- prazos envolvidos na importação dos equipamentos são alto e dificuldades com alfândega pode levar a atrasos nos empreendimentos;
- falta de suporte local, falta de esclarecimentos técnicos, o que dificulta o processo de preparar especificações e mesmo de desenvolvimento do projeto;

Biogás - Dificuldades

❑ **Dificuldades técnicas que ainda devem ser superadas :**

- Exemplo: operação de biodigestores em ETE: Perda de metano dissolvido no efluente; Perda por vazamentos: seja pelos coletores de gás seja por tubos ou conexões; Problemas com a Escuma nas campânulas de gás (entupimento das saídas de gás)

❑ **Falta de investimentos nesta área**

- Falta de um mercado consolidado de aproveitamento energético do biogás, que demande equipamentos e serviços especializados, que certamente abriria espaço para opções de financiamento interessantes, que poderiam viabilizar os projetos

❑ **O preço de venda da eletricidade gerada também pode inviabilizar o investimento - Relação incerta entre o custo de projeto e seu benefício comercial**

Biogás - Dificuldades

❑ **Inexistência de políticas específicas para o biogás**

- Baixo aproveitamento energético do biogás no Brasil é um conjunto de barreiras que desestimulam o investimento por empresas que poderiam produzir e aproveitar o biogás. Entre as diversas barreiras, destaca-se a inexistência de políticas específicas relacionadas ao biogás.

❑ **Deficiência na gestão de empresas de saneamento**

- Impossibilidade de financiar a expansão ou modernização da própria infraestrutura, condição necessária para a melhoria dos serviços oferecidos.

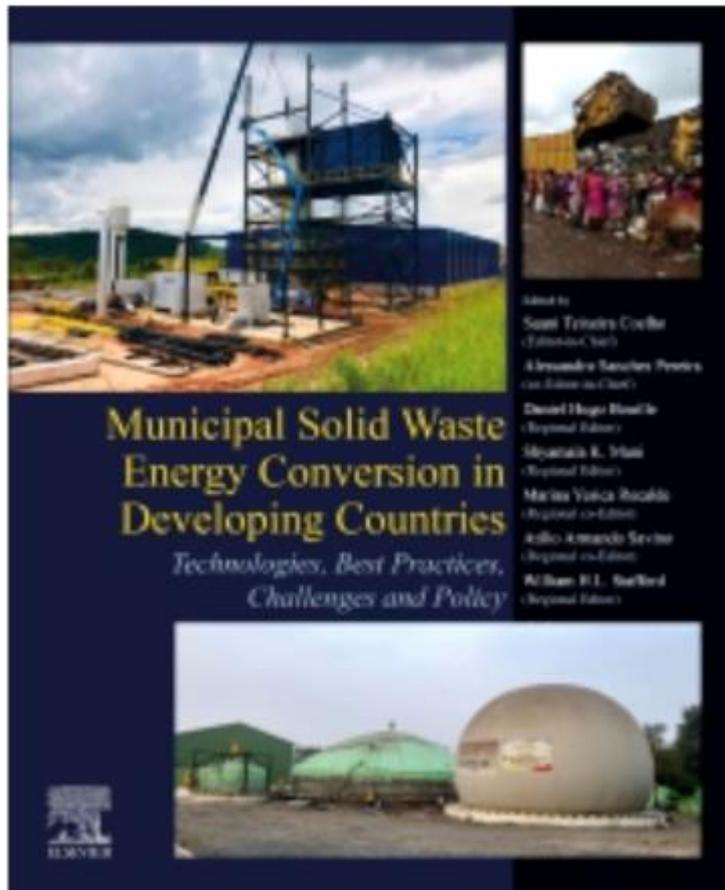
Biogás – Propostas de Políticas

- Além dos Decretos e Leis de incentivo ao uso do biogás (São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo e Rio Grande do Sul), é necessário estabelecer regulamentação específica para compra, venda e transporte de energia elétrica gerada a partir do biogás;
- Adequar as políticas governamentais de tarifa, de preços mínimos, de incentivos fiscais, de tecnologia e de subsídios visando promover o desenvolvimento do biogás como fonte de energia;
- Estimular a produção de biogás, por meio de legislação específica, incentivos em financiamento e garantia de compra da energia gerada;
- Adequar políticas para promover o desenvolvimento tecnológico e industrial do biogás, estimulando a produção de materiais, equipamentos e componentes no país;

Biogás – Propostas de Políticas

- Propor programas específicos para biogás, por meio de projetos visando o desenvolvimento social / capacitação de pessoal (desde viabilidade técnica, projeto básico, Segurança, Operação, etc;
- Dificuldade de acesso a informações - Estimular a realização de projetos, visando a demonstração da viabilidade, técnica, econômica e sócio-ambiental, da utilização do biogás
- Estimular as instituições de pesquisa e desenvolvimento a realizar programas cooperativos com as indústrias, direcionando as atividades para tecnologias economicamente viáveis num mercado competitivo

PUBLICAÇÕES



<https://www.elsevier.com/books/municipal-solid-waste-energy-conversion-in-developing-countries/coelho/978-0-12-813419-1>



<http://gbio.webhostusp.sti.usp.br/?q=pt-br/noticia/e-book-tecnologias-de-produ%C3%A7%C3%A3o-e-uso-de-biog%C3%A1s-e-biometano>

Obrigada!

Vanessa Pecora Garcilasso

vpgarcilasso@hotmail.com

