


## O USO DE BIOGÁS DE ATERRO COMO COMBUSTÍVEL RENOVÁVEL PARA FROTA DE CAMINHÕES

 <https://doi.org/10.56238/sevened2024.031-037>

**Wiliam Michel de Moura Romanholi**

Mestre em Engenharia Urbana pelo Programa de Engenharia Urbana/UFRJ  
Tutor do curso de Engenharia de Produção pelo CONSÓRCIO CECIERJ/CEDERJ/CEFET-RJ Rio de Janeiro, RJ. Brasil  
E-mail: romanholi@poli.ufrj.br

**Giovani Manso Ávila**

Doutor em Engenharia de Transportes pela COPPE/UFRJ  
Professor Associado no PEU/POLI/UFRJ  
Rio de Janeiro, RJ. Brasil  
E-mail: giovani@poli.ufrj.br

---

### RESUMO

O gerenciamento de resíduos sólidos contribui significativamente para as emissões de gases de efeito estufa (GEE) devido ao biogás não controlado em aterros sanitários e ao uso de combustíveis fósseis em caminhões de coleta e compactação. Este estudo avalia a viabilidade de utilizar o biogás gerado em aterros sanitários como combustível renovável para esses caminhões, considerando seu alto valor calorífico e seu potencial para reduzir tanto os custos de combustível quanto os impactos ambientais. Foi realizada uma análise qualitativa dos benefícios e uma avaliação quantitativa do potencial de produção de biogás no aterro sanitário do Jardim Gramacho, no Rio de Janeiro. Os resultados indicam que apenas 5% do biogás gerado diariamente poderia abastecer toda a frota de caminhões de coleta, demonstrando a viabilidade dessa abordagem.

**Palavras-chave:** Biocombustível. Biogás. Resíduos sólidos urbanos. Recuperação de recursos.

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização das Nações Unidas (1), a população mundial passará de 7 bilhões para 9 bilhões até 2050, e no mesmo período a população residente nas cidades saltará dos 3,5 bilhões atuais para quase 6,3 bilhões. A população brasileira aumentou 12% nos últimos dez anos e a produção de resíduos, no mesmo período, 90%. Nos grandes centros, o aumento da geração de resíduos é bastante superior ao crescimento da população; milhares de toneladas de lixo são despejadas diariamente em lixões ou aterros sanitários, exigindo investimentos maiores e proporcionais (2).

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) incluem tipicamente resíduos alimentares e de cozinha de residências e restaurantes, resíduos de fábricas de processamento de alimentos e resíduos biodegradáveis de jardins e parques (3). Dentre as possibilidades de destinação final dos RSU, a utilização de aterros sanitários apresenta-se como uma das alternativas mais econômicas sendo a forma de tratamento mais usada ainda no Brasil em razão dos menores custos operacionais, da facilidade de execução e da grande capacidade de absorção de resíduos, quando comparada às outras formas de destinação final (ou tratamento), como a incineração, a compostagem e a reciclagem (4).

No Brasil, os RSU dispostos nos aterros contêm uma parcela de matéria orgânica estimada em 51,4% (5) que são degradados pela ação de microrganismos, transformando-o em um gás conhecido como biogás. Na maioria dos aterros sanitários brasileiros o biogás gerado apresenta uma concentração de 30% de CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono) e de 50-55% de CH<sub>4</sub> (Metano), um gás de alto poder calorífico e passível de ser utilizado como fonte renovável de energia. O biogás pode ser purificado a biometano e utilizado diferentes aplicações, entre elas a geração de eletricidade e como combustível para veículos (GNV) (6).

Existe um grande interesse na utilização de biometano no setor de transporte, devido aos potenciais benefícios relacionados à diversificação do fornecimento de combustíveis para transporte e à redução de emissões de gases do efeito estufa (GEE) e outros poluentes na atmosfera (7).

## 2 OBJETIVO E METODOLOGIA

O objetivo deste artigo é avaliar a viabilidade da adoção do biogás gerado em aterros como combustível renovável para a frota de caminhões compactadores coletores de resíduo urbano, elencando as principais vantagens desta substituição no que se refere a redução nas emissões de gases poluentes resultantes tanto devido a coleta e quanto pela decomposição dos resíduos sólidos urbanos nos aterros sanitários.

Para a obtenção dos resultados que possibilitaram as análises e proposições, foi utilizado um método analítico exploratório baseado na revisão da bibliografia, na obtenção de dados e informações, disponíveis na prefeitura municipal e em fontes referenciadas na Internet, onde foram definidas e

qualificadas as variáveis do sistema analisado, seguido da aplicação do método quantitativo onde foram obtidos os resultados que possibilitaram a indicação das ações e o potencial para futuras pesquisas.

### **3 A LIMPEZA URBANA: CLASSIFICAÇÃO, CUSTOS E TRANSPORTE DOS RSU**

#### **3.1 COLETA E TRANSPORTE DE RSU**

Os serviços de coleta de resíduos podem ser classificados como regular, especial ou particular. Os serviços regulares são aqueles executados em determinados intervalos regulares, não devendo exceder uma semana, de modo a evitar proliferação de vetores (8). A modalidade especial atende aos resíduos não contemplados na coleta regular, tais como entulhos de pequenos geradores, animais mortos e podas de jardins. A coleta particular está normalmente condicionada ao tipo de resíduo ou a quantidade gerada, sendo de responsabilidade do gerador prover seu encaminhamento. Grandes geradores como supermercados, construtoras e empreiteiras, assim como hospitais, ambulatórios, centros de saúde e farmácias exemplificam serviços de coleta particular.

A coleta requer o uso de veículos e um conjunto de empregados, respeitando as restrições existentes e deve ser feita reduzindo-se os custos. O consumo de combustível é a parcela de maior peso no custo operacional da coleta, variando principalmente em função da velocidade de deslocamento do veículo (velocidade de coleta, trânsito urbano e em rodovias) e da sua carga (cheio, vazio e carregando) (7).

Os custos da limpeza urbana estão divididos entre coleta, varrição, tratamento e disposição final dos RSU. Em muitas cidades brasileiras, a coleta de resíduos sólidos consome um percentual bastante significativo do orçamento municipal (4). Em estudo de 1996, Bhat avalia que os custos relacionados exclusivamente com as etapas de coleta e transporte de resíduos sólidos são responsáveis por 75 a 80% do orçamento disponibilizado para o gerenciamento dos resíduos (9).

#### **3.2 ATERROS SANITÁRIOS: DEFINIÇÕES E CARACTERÍSTICAS**

O Aterro Sanitário tem como função prover a destinação adequada aos resíduos não aproveitados para reciclagem, resulta do aprimoramento de antigas técnicas de aterramento (10) sendo executado a partir da compactação de camadas intercaladas de resíduos e solos. Entretanto a crescente urbanização limita as áreas disponíveis para a disposição final dos resíduos de tal modo que grandes cidades, muitas vezes, se veem obrigadas a exportar resíduos para áreas de municípios vizinhos (6), elevando ainda mais os custos com transporte e as emissões de gases e ele associadas.

Um aterro sanitário deve operar de modo a fornecer proteção ao meio ambiente, evitando a contaminação das águas subterrâneas pelo chorume, e o acúmulo do biogás resultante da decomposição anaeróbia do lixo no interior do aterro, que pode sair descontroladamente do interior do aterro de forma podendo causar explosões (6).

Visando atenuar estes problemas são implementados sistemas de drenos para o gás compostos por uma rede tubulações ramificadas e conectadas uma linha principal que conduz o biogás para os sistemas de queima ou reaproveitamento energético. O biogás é queimado a altas temperaturas (em torno de 1000°C) para que ocorra a total destruição das moléculas de metano (7).

Um aterro de resíduos sólidos pode ser considerado como um grande reator biológico, em vez de funcionar apenas como um local de deposição, onde as principais entradas são os resíduos e a água e as principais saídas são os gases e o chorume (11).

## **4 EMISSÕES DE GASES**

### **4.1 POLUIÇÃO DO AR ASSOCIADA AOS TRANSPORTES DE RSU**

Os setores que mais emitem GEE no Estado do Rio de Janeiro são transportes e resíduos, sendo que o transporte rodoviário participa com 80% deste total (4.391 GgCO<sub>2</sub>) subdivididos entre veículos leves (68%), e veículos pesados (32%) (7).

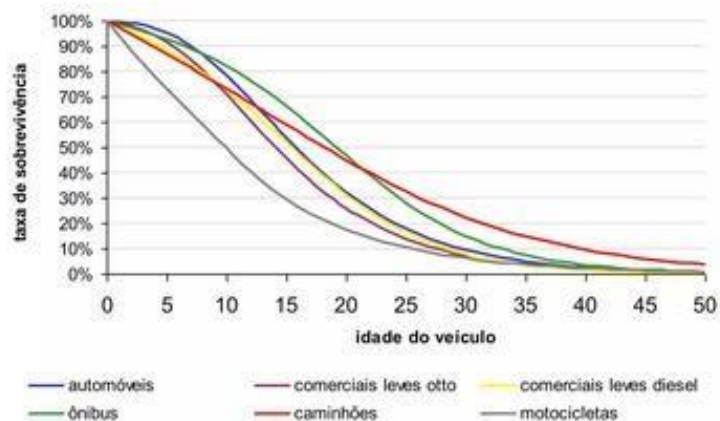
Um estudo realizado com 15,7 mil veículos em todo o Brasil constatou que o transporte de resíduos é o que mais emite Dióxido de carbono por quilômetro rodado. De acordo com o levantamento feito pela empresa Ecofrotas os caminhões de coleta de lixo emitem cerca de 1,24 kg de CO<sub>2</sub> por quilômetro rodado. Em segundo lugar, estão os usados no setor químico, que emitem em média 1,11 kg do gás por Km, e em terceiro lugar as máquinas agrícolas pesadas com 1,02 kg de CO<sub>2</sub> por Km (12).

A alta emissão de CO<sub>2</sub> dos caminhões de lixo está mais relacionada com a característica da operação e do uso de diesel do que com a gestão de manutenção dos veículos. Segundo Meyer (13), as características do tráfego influenciam as emissões principalmente no que diz respeito ao modo de operação do veículo, pois as emissões são usualmente maiores em tráfegos lentos e congestionados e menores em velocidades intermediárias. Deste modo, o deslocamento intermitente dos caminhões coletores, imposto pela necessidade da coleta de resíduos em diversos pontos, termina por gerar um consumo elevado (12).

### **4.2 CICLO DE VIDA DE UM CAMINHÃO PESADO**

No Brasil, a frota de caminhões é, na sua maior parte, formada por veículos pesados movidos por combustíveis fósseis altamente poluidores. Como pode ser observado na figura 1, a idade média dos caminhões no Brasil é aproximadamente de 20 anos. Com relação à coleta de lixo, ainda existem vários municípios com frotas de caminhões, alguns com 15 anos de uso ou mais, que consomem mais combustíveis e geram maior volume de poluição dos que os modelos atuais.

Figura 1 - Curva de sucateamento de veículos no Brasil.



Fonte: MMA (2009).

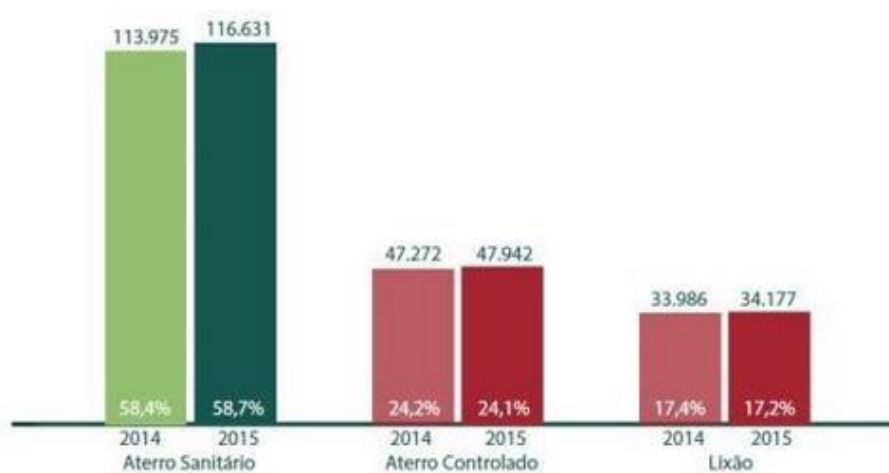
#### 4.3 EMISSÃO DEVIDO À DISPOSIÇÃO

Além da poluição emitida pelos transportes de RSU as estimativas das emissões globais de metano, provenientes dos aterros chegam a 70 Tg/ano, enquanto o total estimado das emissões pelas fontes antropogênicas equivale a 360 Tg/ano (21), indicando que os aterros podem produzir cerca de 20% do total de metano. Vale ressaltar que ao se considerar um período de 100 anos, 1 grama de Metano contribui 21 vezes mais para a formação do efeito estufa do que 1 grama de Dióxido de carbono (14).

#### 4.4 DESTINAÇÃO DE RSU SEM PREPARAÇÃO ADEQUADA

De acordo com dados da Abrelpe (15), e apresentados na figura 2, constata-se que os lixões a céu aberto, os aterros controlados e aterros sanitários, ainda são formas de disposição de resíduos no solo significativas no Brasil.

Figura 2 - Disposição final de RSU no Brasil por tipo de destinação (t/dia).



Fonte: Abrelpe (2015).

A maioria dos aterros utiliza o sistema de drenos abertos, onde há uma chama para queima do biogás drenado naturalmente.

Esse sistema apresenta uma baixa eficiência e estima-se que apenas 20% do biogás drenado seja efetivamente queimado (7).

## 5 ENERGIA RENOVÁVEL: O BIOGÁS DE ATERROS E SEU APROVEITAMENTO

De acordo com Borba (16) o potencial de geração de metano depende unicamente do tipo de resíduos e varia entre 5 e 310m<sup>3</sup>.CH<sub>4</sub> / tres (metro cúbico de metano por tonelada de resíduo), variando em função da umidade, disponibilidade de nutrientes, pH e temperatura (7).

O biogás originado nos aterros sanitários tem sua composição discriminada na tabela 1, a seguir:

Tabela 1: Composição de Biogás de aterro.

Composição	Porcentagem
Metano	45 - 60
Dióxido de Carbono	40 - 60
Nitrogênio	2-5
Enxofre	0,1 – 1,0
Amônia	0 – 0,1
Hidrogênio	0 – 0,2
Monóxido de Carbono	0 – 0,2
Outros	0,01 – 0,6

Fonte: Borba (2006).

O biogás pode ser utilizado como gás natural, entretanto para uso veicular há necessidade de remoção de alguns de seus componentes, tais como gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), além de umidade e eventuais particulados. Segundo a ANP (17) na através da resolução N° 8, de 30 de janeiro de 2015 estabelece a porcentagem mínima de metano no gás natural para uso veicular deve ser de 90% e máxima de CO<sub>2</sub> de 3%.

O Estudo de Deganutti (18) estabelece uma relação comparativa de equivalência de 1m<sup>3</sup> de biogás com os combustíveis usuais:

- 0,61 litros de gasolina
- 0,55 litros de óleo diesel
- 0,45 kg de gás liquefeito
- 0,79 litros de álcool combustível
- 1,428 kWh de energia elétrica

## 5.1 COMPARAÇÃO DE EMISSÕES ENTRE VEÍCULOS PESADOS MOVIDOS COM DIESEL, DIESEL-GÁS E GNV

Uma das melhores possibilidades de aproveitamento do biogás é com a conversão de caminhões de coleta mais antigos para transitarem através da tecnologia diesel-gás, baseada na utilização do motor original do ciclo diesel e na queima combinada do gás natural com o óleo diesel. Este processo é implementado por meio da instalação de um kit de adaptação do motor original sem modificações estruturais, mantendo-se um ciclo de funcionamento mais eficiente (19).

As emissões de origem veicular são resultado da queima do combustível tendo como poluentes primários dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), Monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), Dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), Óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e materiais particulados. A avaliação dos níveis de emissão de poluentes dos motores a diesel, gás natural comprimido (GNC) e GNC-diesel apurou diferença expressiva nas quantidades emitidas.

A tabela 2 mostram que o diesel apresentou os maiores níveis de emissões gerais na comparação entre os três tipos de motores testados (7).

Tabela 2: Emissões de GEE por veículos pesados e por combustível.

	<b>MP</b> <b>g/km</b>	<b>NOX</b> <b>g/km</b>	<b>HC</b> <b>g/km</b>	<b>CO</b> <b>g/km</b>
Diesel	1,15	14,60	1,35	10,35
GNC- Diesel	0,19	9,47	6,10	2,65
GNC	0,01	10,13	8,35	1,55

Fonte: Comlurb Rio de Janeiro, RJ, 2014.

Segundo Araújo (7) as principais vantagens da utilização GNV/GNC são:

- A média mundial indica que o consumo de GNV é 66% mais barato do que a gasolina e 33% mais econômico do que o diesel.
- Motores movidos por GNV/GNC produzem menos 25% de dióxido de carbono dos que os que são alimentados por gasolina e 35% menos do que os que usam diesel.
- GNV/GNC não contém enxofre (há motores a diesel em que ocorre a liberação de 18,4g / partículas, chumbo ou traços de metais pesados).
- O gás natural não é tóxico ou corrosivo e não contamina as águas subterrâneas.
- A queima da mistura entre GNC/GNV e ar é perfeita a qualquer temperatura ambiente gerando uma combustão sem resíduos, favorecendo a manutenção da limpeza das velas e dos cilindros do motor o que resulta em lubrificação melhor e mais eficaz.
- O veículo pode tornar-se bicombustível. A conversão para o GNV não elimina a possibilidade de utilizar o combustível original.

## 6 A CAPACIDADE DE FORNECIMENTO DO BIOGÁS EM RELAÇÃO AO NÚMERO DE CAMINHÕES ATENDIDOS

Uma vez apresentados os benefícios qualitativos da utilização do biogás de aterro, apresenta-se a seguir uma avaliação quantitativa do potencial de geração de biogás no aterro de Jardim Gramacho frente a demanda por combustível da frota de caminhões coletores e transportadores da Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro.

### 6.1 ATERRO JARDIM GRAMACHO, RIO DE JANEIRO, RJ

O aterro de Jardim Gramacho operou durante 34 anos, desde 1978 até o dia 03 de junho de 2012, durante esse tempo foi o maior aterro da América Latina e o principal da área metropolitana do Rio de Janeiro, acumulando 80 milhões de toneladas de lixo. (20). Deste modo, apresenta uma produção de 480.000 m<sup>3</sup> de biogás por dia com teor de 50% de metano e poder calorífico de aproximadamente 5.000 kcal/Nm<sup>3</sup> (7).

Para executar a limpeza no município do Rio de Janeiro a companhia dispõe de uma frota de 296 caminhões coletores compactadores.

A quantidade de resíduo recolhida em dezembro de 2014 foi de 184.500t e a quilometragem média percorrida por cada veículo foi de 4.160 Km apresentando uma variação média de 15% do total percorrido.

O consumo médio dos veículos foi de 1,9Km/litro (7).

A tabela 3 sumariza os dados de entrada da coleta de RSU pelos veículos movidos a diesel.

Tabela 3: Parâmetro de entrada da coleta.

Número de caminhões	296
Consumo médio	1,9 km/L
Distância média por turno de 8h	80 km
Capacidade de combustível	126 m <sup>3</sup>
Produção diária de biogás no aterro	480.000 m <sup>3</sup>
Poder Calorífico do metano puro	9274 kcal/Nm <sup>3</sup>
Poder Calorífico do biogás de aterro	5000 kcal/Nm <sup>3</sup>

Fonte: Comlurb Rio de Janeiro, RJ, 2014.

### 6.2 ESTIMATIVAS DE PRODUÇÃO DO GNV

A disponibilidade energética diária do aterro pode ser expressa por:

$$\begin{aligned}
 & 480000 \text{ m}^3 \cdot 5000 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} \cdot 4.1868 \frac{\text{kJ}}{\text{kcal}} \\
 & = 10048320000 \text{ kJ} \\
 & = \frac{10048320000}{3600} \text{ kW} = 2791200 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$





Onde:

$$1\text{kcal} = 4.1868 \text{ kJ}$$

A energia contida em 1 m<sup>3</sup> de biogás combustível para uso veicular composto de 100% de metano pode ser expressa por:

$$\begin{aligned} 9274 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} &= 9274 \cdot 4.1868 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} = \frac{9274 \cdot 4.1868}{3600} \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} = \\ &= 10,786 \text{ kWh/m}^3 \end{aligned}$$

Onde:

$$9274 \text{ kcal/m}^3 = \text{Poder Calorífico do metano}$$

Assim cada m<sup>3</sup> de biogás possui 10,786 kWh de energia. Supondo-se a eficiência do motor da ordem 0,34 para conversão da energia da combustão em energia mecânica tem-se a seguinte energia efetiva por m<sup>3</sup>:

$$0,34 \cdot 10,786 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} = 3,667 \text{ kWh/m}^3$$

Assumindo uma frota composta de 296 veículos e que cada caminhão tenha capacidade de abastecimento de 126 m<sup>3</sup> de gás, sendo que 1 m<sup>3</sup> de gás equivalente a 3,667 kWh pode-se avaliar o gasto total necessário para abastecer toda a frota:

$$\begin{aligned} 3,667 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \cdot 126 \frac{\text{m}^3}{\text{veiculo}} \cdot 296 \text{ veiculos} \\ = 136763 \text{ kWh} \end{aligned}$$

A cada turno de 8 horas cada caminhão percorre cerca de 80 Km perfazendo um total de 240 km diários. Assumindo-se que cada caminhão tenha capacidade de abastecimento de 126 m<sup>3</sup> de gás e que o consumo médio dos veículos é de 1,9 km/m<sup>3</sup> tem-se autonomia de 239,4 Km.

$$126 \frac{\text{m}^3}{\text{veiculo}} \cdot 1,9 \frac{\text{km}}{\text{m}^3} = 239,4 \frac{\text{km}}{\text{veiculo}}$$



Observa-se que valores da autonomia e total diário percorrido são praticamente idênticos, indicando que cada veículo da frota necessita ser abastecido em média uma vez ao dia, fazendo com que o consumo total por dia seja de 136763 kWh

Logo:

$$\frac{\text{Demanda frota de 136763 kWh}}{\text{Capacidade aterro de 2791200 kWh}} = 0,05$$

Os resultados demonstraram que apenas 5% do total do gás produzido diariamente pelo aterro de Gramacho seriam suficientes para o abastecimento da frota de veículos coletores compactadores, ainda restando 95% para ser comercializado.

## 7 CONCLUSÕES

O custo do transporte público está subestimado, pois desconsidera-se o passivo ambiental decorrente de poluição. Assim, a transição do diesel ou gasolina para o gás natural representa um benefício, pois a adaptação dos motores para biogás é viável do ponto de vista mecânico, gerando impactos benéficos sobre os custos operacionais de resíduos por reduzir despesas com combustíveis.

Caso existam excedentes na produção de gás natural o mesmo pode ser comercializado ou transformado em energia elétrica, indicando estudos de viabilidade da conversão das potenciais emissões de GEE provenientes dos aterros sanitários em energia elétrica, podendo gerar cotas no mercado internacional de carbono.

Os cálculos preliminares apresentados indicam que recuperação de biogás a partir do Aterro Jardim Gramacho, no Rio de Janeiro, mostrou-se com potencial para o abastecimento total da frota de caminhões coletores, sendo a hipótese possivelmente verificável em outros municípios brasileiros evitando assim o emprego de combustível fóssil reduzindo as emissões de GEE.

Um avanço significativo na pesquisa de produção de biometano veicular via biodigestão de resíduos sólidos urbanos foi apresentado por Romanholi (25).

O resultado desta pesquisa demonstrou o potencial dos ganhos ambientais, sociais e de governança (ESG) (24), possibilitados através do desenvolvimento de modelos de negócios (22), que provem a viabilidade para novos investidores de diferentes setores, para o uso e a comercialização da energia excedente, o que pode ser tema para pesquisas futuras.

Conclui-se que é viável a adoção do biogás gerado em aterros como combustível renovável para a frota de caminhões compactadores coletores de resíduo urbano, reduzindo as emissões de GEE resultantes tanto devido a coleta e quanto pela decomposição dos resíduos sólidos urbanos nos aterros sanitários e ainda a geração de novos modelos de negócios, ficando em conformidade com os objetivos



de desenvolvimento sustentáveis da ONU (ODS), principalmente com a ODS 7 – Energia Limpa e Acessível (23).



## REFERÊNCIAS

(ONU) Organização das Nações Unidas. A ONU e a população mundial [Internet]. [citado 26 de maio de 2018]. Recuperado de: <https://nacoesunidas.org/acao/populacaomundial/>

BRASIL – (IBGE) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Atlas de saneamento. 2011.

(ISWA) International Solid Waste Association. Circular Economy: Carbon, nutrients and soil. Circular Economy: Carbon, nutrients and soil. 48 p. 2015.

Gollo R. et al. Guia de orientação para adequação dos Municípios à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). PwC; 1-138 p. 2010.

BRASIL - (IPEA) Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Plano Nacional de Resíduos Sólidos: diagnóstico dos resíduos urbanos, agrosilvopastoris e a questão dos catadores. Vol. 145. 2012.

Ensinas A.V. Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas-SP. Unicamp; 2003.

Araujo L de A. O Biogás de Aterro e seu Aproveitamento Energético nos Caminhões de Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos. 2014. Dissertação de Mestrado. PPG Engenharia Urbana e Ambiental da PUCRio.

Monteiro JHP, Santos CF dos, Figueiredo CEM, Magalhães AF, Vanzan AA, Gilson MAF de MJCX de BTPF de A. Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos. 2001.

Bhat VN. A model for the optimal allocation of trucks for solid waste management. Waste Manag Res. 14(1):87–96. 1996.

BRASIL - (MCTI) Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação. Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. 2013.

BRASIL - (MMA) Ministério de Meio Ambiente. Aproveitamento Energético do Biogás de Aterro Sanitário [Internet]. [citado 26 de maio de 2018]. Recuperado de: <http://www.mma.gov.br/cidadessustentaveis/residuos-solidos/politica-nacionalde-residuossolidos/aproveitamento-energeticodo-biogas-de-aterro-sanitario>

Ziegle MF. Caminhões de lixo são os que mais emitem dióxido de carbono [Internet]. [citado 26 de maio de 2018]. Recuperado de: <http://noticias.ambientebrasil.com.br/clipping/2011/10/24/75973caminhoes-de-lixo-sao-os-quemais-emitem-dioxido-de-carbono.html>

Meyer CR. Implicações Energético-Ambientais de Esquemas de Sucateamento de Automóveis no Brasil. Vol. 1. UFRJ; 2001.

Intergovernmental Panel on Climate Change - (IPCC) Climate Change 1995 The Science of Climate Change. 1996. 558 p.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - (ABRRELPE). Panorama dos Resíduos no Brasil. 186p. 2011.

Borba SMP. Análise de Modelos de Geração de Gases em Aterros Sanitários: Estudo De Caso. UFRJ, Brasil. 2006;(1):149.



(ANP) - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. RESOLUÇÃO ANP No 8. Brasil; 2015. p. 10.

Deganutti R, Palhaci MDCJ, Rossi M, Tavares R, Santos C Dos. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. An. 4. Enc. Energ. Meio Rural 2002;4(Campinas):1–5.

Machado GB, Melo TCC de, Lastres LFM. Ônibus urbano a GNV: cenário brasileiro Natural. Bol Técnico da Petrobras. 2006; v.49, 1/:9–20.

Victor P, Pegurier E. Apesar de fechado, Gramacho é uma história inacabada [Internet]. 2018 [citado 26 de maio de 2018]. p. 1–6. Recuperado de: <http://www.oeco.org.br/reportagens/26063apesar-de-fechadogramacho-e-uma-historiainacabada/>

BRASIL – (MMA) Ministério do Meio Ambiente. Aproveitamento Energético do Biogás de Aterro Sanitário. [Internet]. Acesso em 07 de outubro de 2024. <https://antigo.mma.gov.br/cidadessustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/aproveitamento-energetico-dobiogas-de-aterro-sanitario.html>

Ávila, GM., Gil, ML. Estudo comparativo dos meios de transporte utilizados na coleta seletiva. <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJB/index>. DOI: <https://doi.org/10.34140/bjbv6n3038>. 2024.

United Nations – (ONU) Department of Economic and Social Affairs Sustainable Development - The Sustainable Development Goals Report 2023. P. 26-27. 2023.

ABNT, PR2030 – Ambiental, social e governança (ESG) —Conceitos, diretrizes e modelo de avaliação e direcionamento para organizações. Prática Recomendada. 2023.

Romanholi, WMM. Produção de Biometano Veicular Via Biodigestão de Resíduos Sólidos Urbanos: Revisão Sistemática. 2023. Dissertação de Mestrado. PEU/POLI/UFRJ.