

Impactos e Benefícios da Produtividade de Biogás em Aterro Sanitário

Rodrigo Malanconi

Engenheiro Ambiental pelas Faculdades Oswaldo Cruz, São Paulo.
Email: rodrigo.malanconi@hotmail.com

Rodrigo Chimenti Cabral

Engenheiro Civil e Gerente da Lara Energia

Resumo

No presente ensaio serão apresentados conceitos básicos de geração de biogás a partir da decomposição da matéria orgânica proveniente de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários. O biogás produzido em aterros sanitários apresenta em sua composição dióxido de carbono e gás metano, um gás inflamável de alto poder calorífico e 2º gás de Efeito Estufa em ordem de importância. Com tamanho poder energético o biogás é utilizado para geração de energia elétrica como verificado no aterro sanitário Bandeirantes, o primeiro aterro sanitário brasileiro que utiliza biogás para acionar moto-geradores. A queima do metano acarreta ganhos ambientais na transformação do gás metano em água e gás carbônico, reduzindo o potencial de aquecimento global, gerando certificados de emissões reduzidas ou créditos de carbono em países em desenvolvimento como o Brasil.

Palavras-chave: Aterro Sanitário. Produção de Biogás.

Abstrac

In the present assay basic concepts of biogas production generation from the decomposition of the organic matter from urban solid residues in sanitary landfills will be presented. Biogás produced in sanitary landfills presents in its composition carbon dioxide and methane, an inflammable gas with high calorific power and 2º in importance promoting Greenhouse Effect. Biogás is used for generation of electric energy as verified in the Bandeirantes Landfill, the first Brazilian landfill that uses biogas to set in motion motor-generators. The methane burning brings environmental profits, since the transformation of the gas methane in water and carbonic gas reduces the potential of global heating and generates carbon reduction emissions certifications (carbon credits) in developing countries such as Brazil.

Key words: Landfills. Biogas Production.

Introdução

No presente ensaio serão discutidos conceitos básicos de geração de biogás à partir da decomposição da matéria orgânica de resíduos sólidos urbanos. Após dispostos nos aterros sanitários, o resíduo sólido urbano, que contém significativa parcela de matéria orgânica biodegradável, passa por um processo de digestão anaeróbia por meio de micro-organismos que transformam a matéria orgânica em um gás conhecido no Brasil como Biogás. (IBAM, Instituto Brasileiro de Administração municipal, 2009). O Biogás gerado nos aterros sanitários é composto por dióxido de carbono (35%) e hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, amônia, oxido sulfídrico, aminas voláteis e monóxido de carbono, perfazendo (5%) e gás metano (60%); gás este apresenta grande responsabilidade pelo fenômeno conhecido como efeito estufa (NUNES MAIA, 1997).

O resíduo sólido urbano é composto por material, substância objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede nos estados sólidos ou semissólidos. Bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isto soluções técnicas e economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (Biogás Congress 2011, ABRELPE).

São várias as maneiras de se classificar os resíduos sólidos. As mais comuns são quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente e quanto à natureza ou origem (Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos, 2001).

Quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente, de acordo com a NBR 10.004/2004 da ABNT, os resíduos sólidos podem ser classificados em:

1. Classe 1 ou perigoso: São aqueles que, em função de suas características intrínsecas de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, apresentam riscos à saúde pública através do aumento da mortalidade ou da morbidade, ou ainda provocam efeitos adversos ao meio ambiente quando manuseados ou dispostos de forma inadequada. (NBR 10.004/2004 da ABNT).
2. Classe 2A, não inerte: São os resíduos que podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, com possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente, não se enquadrando nas classificações de resíduos Classe I – Perigosos – ou Classe 2B – Inertes. (NBR 10.004/2004 da ABNT).
3. Classe 2B, inerte: São aqueles que, por suas características intrínsecas, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente, e que, quando amostrados de forma representativa, segundo a norma NBR 10.007, e submetidos a um

contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, a temperatura ambiente, conforme teste de solubilização segundo a norma NBR 10.006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de portabilidade da água, conforme listagem nº 8 (Anexo H da NBR 10.004/2004), excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor. (NBR 10.004/2004 da ABNT).

Quanto à origem, os diferentes tipos de lixo podem ser agrupados em cinco classes, a saber: Lixo doméstico ou residencial, comercial, público, domiciliar especial e de fontes especiais. Os resíduos sólidos de origem urbana (RSU) compreendem aqueles produzidos pelas inúmeras atividades desenvolvidas em áreas com aglomerações humanas do município, abrangendo resíduos de várias origens, como residencial, comercial, de estabelecimentos de saúde, industriais, da limpeza pública (varrição, capina, poda e outros), da construção civil e, finalmente, os agrícolas (PROSAB - Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos, 2003). Na figura 1a segue gráfico de geração de RSU total no Brasil e na figura 1b segue o incremento de 7% no volume de resíduos de 2009 para 2010, sendo que no mesmo período a população cresceu 1%.

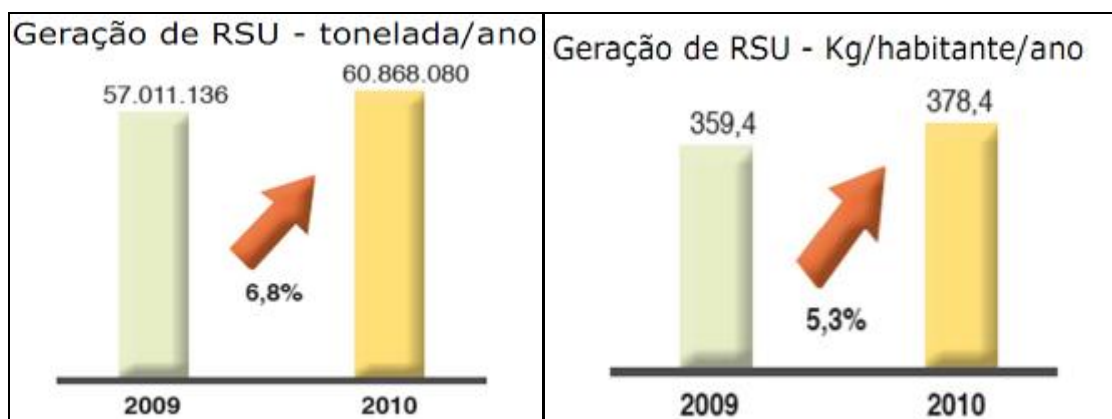


Figura 1a: Geração de RSU tonelada/ano.
Fonte: Biogás Congress 2011, ABRELPE)

Figura 1b: Geração de RSU kg/hab/ano.

As características do lixo podem variar em função de aspectos sociais, econômicos, culturais, geográficos e climáticos, ou seja, os mesmos fatores que também diferenciam as comunidades entre si e as próprias cidades. A tabela abaixo expressa a variação das composições do lixo em alguns países, deduzindo-se que a participação da matéria orgânica tende a se reduzir nos países mais desenvolvidos ou industrializados, provavelmente em razão da grande incidência de alimentos semipreparados disponíveis no mercado consumidor (Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos, 2001).

Tabela1: Composição gravimétrica do lixo de alguns países (%).Fonte: Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos, 2001.

Composição gravimétrica do lixo de alguns países (%)				
Mat. orgânica	65,00	61,20	50,30	35,60
Vidro	3,00	10,40	14,50	8,20
Metal	4,00	3,80	6,70	8,70
Plástico	3,00	5,80	6,00	6,50
Papel	25,00	18,80	22,50	41,00

Aproximadamente 20% dos resíduos sólidos urbanos de São Paulo, constituído por plástico, vidro, jornal e papelão, poderiam ser reciclados, mas somente 1% é reciclado e o restante apresenta uma correta destinação final, como aterros sanitários. (Revista da Folha, 28 de fevereiro, 2010). A figura 2 ilustra as características dos Resíduos Sólidos Urbanos da cidade de São Paulo.

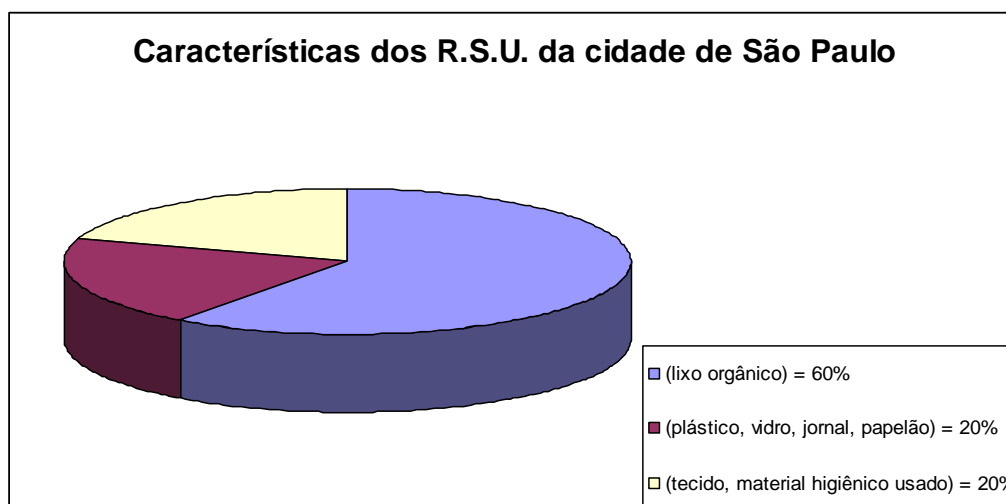


Figura 2: Características dos RSU da cidade de São Paulo. Fonte: Revista da Folha, 28 de fevereiro de 2010.

Com o crescimento das cidades, o desafio da limpeza urbana não consiste apenas em remover o lixo de logradouros e edificações, mas, principalmente, em dar um destino final adequado aos resíduos coletados. Essa questão merece atenção porque, ao realizar a coleta de lixo de forma ineficiente, a prefeitura é pressionada pela população para melhorar a qualidade do serviço, pois se trata de uma operação totalmente visível aos olhos da população. Contudo, ao se dar uma destinação final inadequada aos resíduos, poucas pessoas serão diretamente incomodadas, fato este que não gerará pressão por parte da população (Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos, 2001).

Ainda cerca de 7% do RSU gerado não é coletado, pois em 2010 foi estimado que fossem geradas 60.868.080 toneladas de RSU e que fossem coletadas 54.157.896 toneladas (Biogás Congress 2011, ABRELPE). É comum observar nos municípios de menor porte a presença de "lixões", ou seja, locais onde o lixo coletado é lançado diretamente sobre o solo sem qualquer controle e sem quaisquer cuidados ambientais, poluindo tanto o solo, quanto o ar e as águas subterrâneas e superficiais das vizinhanças. Os lixões, além dos problemas sanitários com a proliferação de vetores de doenças, também se constituem em sério problema social, porque acaba atraindo os "catadores", indivíduos que fazem da catação do lixo um meio de sobrevivência, muitas vezes permanecendo na área do aterro, em abrigos e casebres, criando famílias e até mesmo formando comunidades (Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos, 2001).

Diante desse quadro, a única forma de se dar destino final adequado aos resíduos sólidos é através de aterros, sejam eles sanitários, controlados, com lixo triturado ou com lixo compactado. Todos os demais processos ditos como de destinação final (usinas de reciclagem, de compostagem e de incineração) são, na realidade, processos de tratamento ou beneficiamento do lixo, e não prescindem de um aterro para a disposição de seus rejeitos. O processo recomendado para a disposição adequada para o lixo domiciliar é o aterro, existindo dois tipos: os aterros sanitários e os aterros controlados (Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos, 2001). Abaixo segue um panorama da destinação final de RSU coletados no Brasil (figura 3).

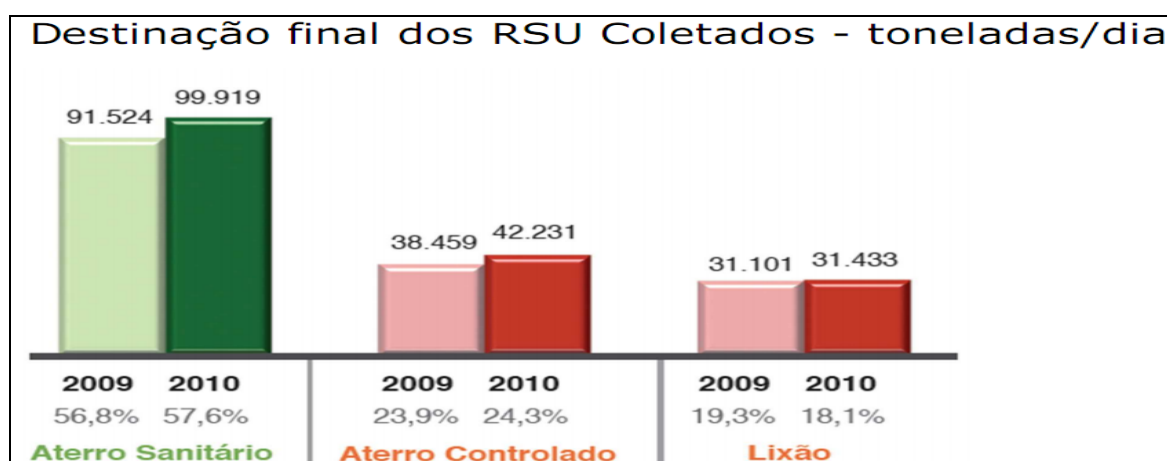


Figura 3: Destinação final dos RSU. Fonte: (Biogás Congress 2011, ABRELPE)

A diferença básica entre um aterro sanitário e um aterro controlado é que este último prescinde da coleta e tratamento do chorume, assim como da drenagem e queima do biogás. Um enfoque mais detido será dado ao aterro sanitário, já que esta solução é a tecnicamente mais indicada para a disposição

final dos resíduos sólidos (Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos, 2001).

DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM ATERRO SANITARIO

É o processo utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo, particularmente, lixo domiciliar que fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permite a confinação segura em termos de controle de poluição ambiental, proteção à saúde pública; ou, forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, através de confinamento em camadas cobertas com material inerte, geralmente, solo, de acordo com normas operacionais específicas, e de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais (D' ALMEIDA & VILHENA, 2000).

Antes de se projetar o aterro, são feitos estudos geológico e topográfico para selecionar a área a ser destinada para sua instalação de modo que não comprometa o meio ambiente. É feita, inicialmente, impermeabilização do solo através de combinação de argila e lona plástica para evitar infiltração dos líquidos percolados. Os líquidos percolados são captados (drenados) através de tubulações e escoados para lagoa de tratamento. Para evitar o excesso de águas de chuva, são colocados tubos ao redor do aterro, que permitem desvio dessas águas, do aterro (AMBIENTEBRASIL, 2008).

A quantidade de lixo depositado é controlada na entrada do aterro através de balança. Os gases liberados durante a decomposição são captados e podem ser queimados com sistema de purificação de ar ou ainda utilizados como fonte de energia (aterros energéticos) (AMBIENTEBRASIL, 2008). Segundo a Norma Técnica NBR 8419 (ABNT, 1984), o aterro sanitário não deve ser construído em áreas sujeitas à inundação. Entre a superfície inferior do aterro e o mais alto nível do lençol freático deve haver uma camada de espessura mínima de 1,5 m de solo insaturado. O nível do solo deve ser medido durante a época de maior precipitação pluviométrica da região. O solo deve ser de baixa permeabilidade (argiloso) (ABNT, 1984). O aterro deve ser localizado a uma distância mínima de 200 metros de qualquer curso d água. Deve ser de fácil acesso. A arborização deve ser adequada nas redondezas para evitar erosões, espalhamento da poeira e retenção dos odores (AMBIENTEBRASIL, 2008). Abaixo segue uma ilustração com os setores típicos de um Aterro Sanitário (figura 4).

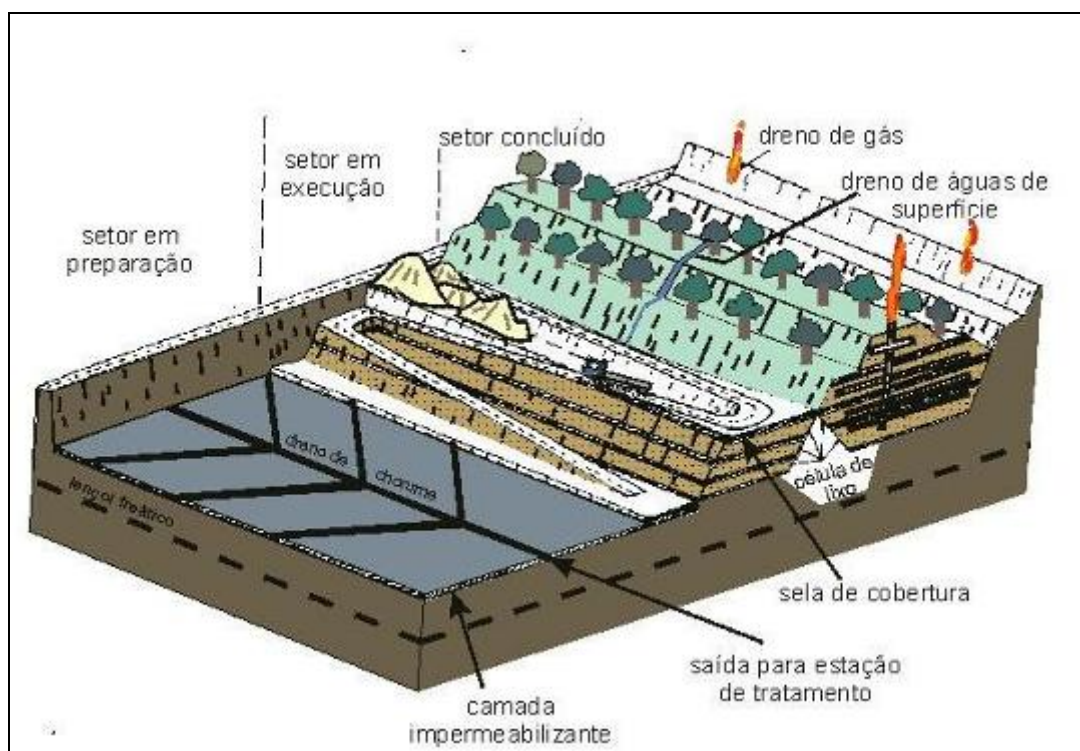


Figura 4: Esquema de aterro sanitário fase a fase. Fonte: CABRAL, R. C. 2009.

PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS ORGÂNICOS

A digestão anaeróbia é um processo fermentativo em que matéria orgânica complexa é degradada a compostos mais simples. A degradação ocorre através da ação de diversos grupos de micro-organismos que interagem simultaneamente, até a formação dos produtos finais, gás metano e gás carbônico. Na ausência de oxigênio ou de agentes oxidantes fortes como o sulfato, nitrato e enxofre, a degradação anaeróbia da matéria orgânica até a formação de metano, envolve três etapas: hidrólise, acetogênese e metanogênese.

Na primeira etapa, a matéria orgânica complexa como polícarboidratos, proteínas e lipídeos é hidrolisada e fermentada por bactérias hidrolíticas fermentativas a compostos orgânicos simples como aminoácidos, açúcares, ácidos graxos e alcoóis. Na segunda etapa, os produtos metabólicos do primeiro grupo são então convertidos a acetado e hidrogênio pelas bactérias acetogênicas sintróficas associadas às bactérias utilizadoras de hidrogênio. Na terceira etapa, bactérias metanogênicas convertem acetato, formiato, hidrogênio, etc., a metano e dióxido de carbono.

O passo limitante, do processo é a metanogênese, pois as bactérias responsáveis, por essa etapa são as mais lentas e mais sensíveis às variações do meio. O bom desempenho do processo depende da manutenção do equilíbrio entre as populações microbianas envolvidas.

BIOGÁS PRODUZIDO EM ATERROS SANITÁRIOS

Após dispostos nos aterros sanitários, os resíduos sólidos urbanos, que contém significativa parcela de matéria orgânica biodegradável, passam por um processo de digestão anaeróbia, segundo o Instituto Brasileiro de Administração Municipal - IBAM. O processo de digestão anaeróbia dos resíduos ocorre pela ação de micro-organismos que transformam a matéria orgânica em um gás conhecido no Brasil como Biogás (IBAM, Instituto Brasileiro de Administração Municipal, 2009).

O Biogás gerado nos aterros sanitários é composto basicamente pelos seguintes gases: metano (CH₄); Dióxido de Carbono (CO₂); Nitrogênio (N₂), Hidrogênio (H₂); Oxigênio (O₂) e gás sulfídrico (H₂S). (IBAM, Instituto Brasileiro de Administração Municipal, 2009). Pela característica dos resíduos sólidos no Brasil, o biogás gerado na maioria dos aterros sanitários apresenta elevada concentração de metano, acima de 55%, e de dióxido de carbono acima de 30%. (IBAM, Instituto Brasileiro de Administração Municipal, 2009).

Tchobanoglous et al (1997), descrevem a geração de gás em aterros de resíduos em cinco fases, ou quatro se for desconsiderada a segunda, por ser uma fase de transição. Estas fases são ilustradas abaixo (Figura 5) e serão descritas a seguir (BORBA, 2006).

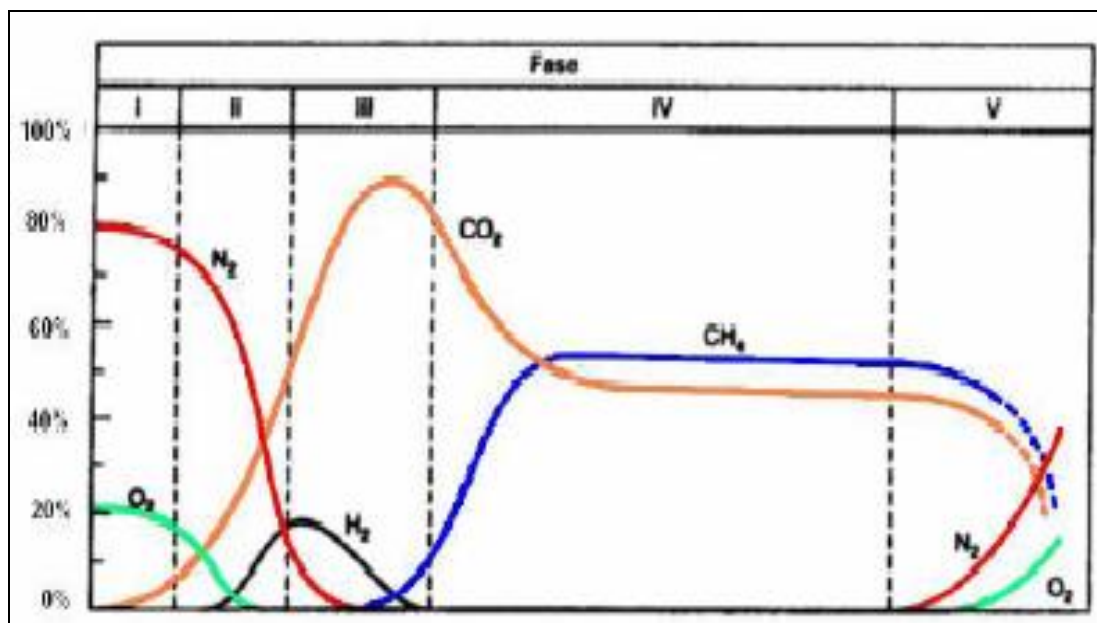


Figura 5. Fases de geração de biogás em aterros de resíduos sólidos. Fonte: BORBA, 2006.

Fase I: Ajuste inicial. Fase em que os resíduos são depositados no aterro e sua fração biodegradável sofre a decomposição biológica em condições aeróbias. A fonte principal de micro-organismos aeróbios e anaeróbios, responsável pela decomposição dos resíduos, é o solo empregado na cobertura diária e final. Outras fontes de micro-organismos podem ser o lodo de estações de tratamento, depositado em alguns aterros, e a recirculação do chorume. Esta fase, em que a decomposição é aeróbia, se estende por um período de poucos dias após a execução da camada de cobertura, diminuindo a presença de oxigênio.

Fase II: Transição. Fase em que decrescem os níveis de oxigênio e começa a fase anaeróbia. Enquanto o aterro é convertido em anaeróbio, o nitrato e o sulfato, que podem servir como receptores de elétrons em reações de conversão biológica, frequentemente são reduzidos a gás nitrogênio e sulfuro de hidrogênio. O início das condições anaeróbias pode ser verificado através do potencial de oxidação e redução que possui o resíduo. Com a queda do potencial de oxidação e redução os micro-organismos responsáveis pela conversão da matéria orgânica em metano e dióxido de carbono iniciam a conversão do material orgânico complexo em ácidos orgânicos e outros produtos intermediários. Nesta fase o pH do chorume começa a cair devido à presença de ácidos orgânicos e pelo efeito das elevadas concentrações de CO_2 dentro do aterro.

Fase III: Ácida. Fase que antecede a formação de metano, em que as reações iniciadas na fase de transição são aceleradas com a produção de

quantidades significativas de ácidos orgânicos e pequenas quantidades de gás hidrogênio. A acidogênese envolve a conversão microbiológica dos compostos resultantes da primeira etapa em compostos intermediários com baixa massa molecular, como o ácido acético (CH_3COOH) e pequenas concentrações de outros ácidos mais complexos. O dióxido de carbono é o principal gás gerado durante a fase III. Também serão produzidas quantidades menores de hidrogênio. Os microorganismos envolvidos nesta conversão, descritos como não metanogênicos, são constituídos por bactérias anaeróbias e facultativas. As demandas bioquímica (DBO) e química de oxigênio (DQO) e a condutividade do chorume aumentam significativamente durante esta fase devido à dissolução de ácidos orgânicos no chorume. O pH do chorume, se este é formado, é muito baixo (4 – 5), devido à presença de ácidos orgânicos e pelas elevadas concentrações de CO_2 dentro do aterro. Também devido ao baixo pH, constituintes inorgânicos como os metais pesados serão solubilizados.

Fase IV: Metanogênica: Nesta fase de fermentação do metano predominam microrganismos estritamente anaeróbios, denominados metanogênicos, que convertem ácido acético e gás hidrogênio em CH_4 e CO_2 . A formação do metano e dos ácidos prossegue simultaneamente, embora a taxa de formação dos ácidos seja reduzida consideravelmente. O pH do chorume nesta fase ascenderá a valores na faixa de 6,8 a 8,0. A seguir o pH continuará subindo e serão reduzidas as concentrações de DBO₅, DQO e o valor da condutividade do chorume. Com valores mais elevados de pH, menos constituintes inorgânicos permanecerão dissolvidos, tendo como consequência a redução da concentração de metais pesados no chorume.

Fase V: Maturação. Esta fase ocorre após grande quantidade do material ter sido biodegradado e convertido em CH_4 e CO_2 durante a fase metanogênica. Como a umidade continua migrando pela massa de lixo, porções de material biodegradável até então não disponíveis acabam reagindo. A taxa de geração do gás diminui consideravelmente, pois a maioria dos nutrientes disponíveis foi consumida nas fases anteriores e os substratos que restam no aterro são de degradação lenta. Dependendo das medidas no fechamento do aterro, pequenas quantidades de nitrogênio e oxigênio podem ser encontradas no gás do aterro.

A duração de cada fase de geração de gás variará conforme a distribuição dos componentes orgânicos no aterro, a disponibilidade de nutrientes, a umidade dos resíduos, a passagem de umidade pelo aterro e o grau de compactação inicial. Em condições normais, a velocidade de decomposição, medida através da produção de gás, chega a um máximo nos dois primeiros anos e logo decresce lentamente por 25 anos ou mais. Porém, as fases de um aterro não podem ser claramente definidas, já que novos resíduos são dispostos diariamente. Desta forma, enquanto alguns locais com resíduos novos estão passando pela fase

aeróbia, outros locais com resíduos mais antigos estão passando por fases de geração de metano (BORBA 2006).

IMPACTOS GERADOS PELO BIOGÁS DE ATERROS SANITÁRIOS

O biogás é um gás inflamável produzido por micro-organismos, quando matérias orgânicas são fermentadas dentro de determinados limites de temperatura, teor de umidade e acidez, em um ambiente impermeável ao ar (BRITO FILHO, 2005). Os gases produzidos nos aterros sanitários, quando não capturados e conduzidos para combustão em queimadores (Flares) para geração de energia elétrica ou mesmo para aquecimento de caldeiras causam impactos sociais relativos ao odor, e ambientais, relativos ao efeito estufa (CABRAL, 2009).

O odor é um subproduto resultante da decomposição incompleta da matéria orgânica. Quando as células morrem, elas atraem as bactérias, as quais "quebram" as células do tecido morto, de modo que este possa, então, ser reciclado por um processo natural conhecido como decomposição, produzindo gases, como H₂S, com odor desagradável ou irritante aos seres humanos (GLOTEC, 2008). O metano, principal componente do biogás, não tem cheiro, cor ou sabor, mas os outros gases presentes conferem-lhe um ligeiro odor de alho ou de ovo podre. Esta característica olfativa é uma problemática pelo incomodo à sociedade vizinha de um aterro sanitário (CABRAL 2009).

O Efeito Estufa consiste, basicamente, na ação do dióxido de carbono e outros gases sobre os raios infravermelhos refletidos pela superfície da terra, reenviando-os para ela, mantendo assim uma temperatura estável no planeta. Ao irradiarem a Terra, partes dos raios luminosos oriundos do Sol são absorvidos e transformados em calor, outros são refletidos para o espaço, mas só parte destes chega a deixar a Terra, em consequência da ação refletora que os chamados "Gases de Efeito Estufa", GEE, (dióxido de carbono, metano, clorofluorcarbonetos – CFCs - e óxidos de azoto) têm sobre tal radiação reenviando-a para a superfície terrestre na forma de raios infravermelhos (SCHIEL, 2008) (Figura 6).

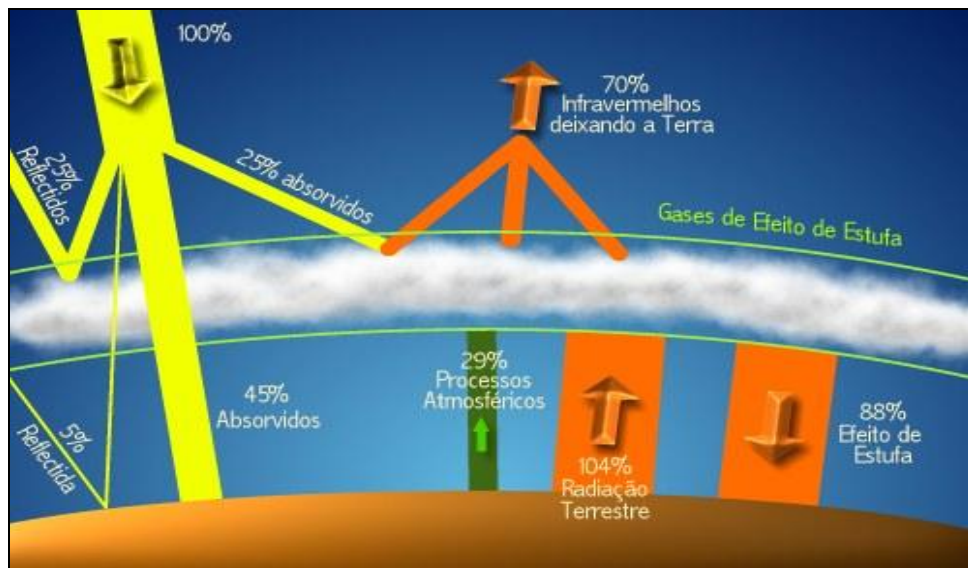


Figura 6: Mecanismo do Efeito Estufa. Fonte: Schiel, 2008.

O aquecimento global é o aumento da temperatura terrestre (não só numa zona específica, mas em todo o planeta) e tem preocupado a comunidade científica cada vez mais. Acredita-se que seja devido ao uso de combustíveis fósseis e outros processos em nível industrial, que levam à acumulação na atmosfera de gases propícios ao Efeito Estufa, tais como o Dióxido de Carbono, o Metano, o Óxido de Azoto e os CFCs. (Revista Época). O Gráfico da figura 7 nos mostra o aumento dos gases de efeito estufa emitido pelo homem nos últimos 2000 anos.



Figura 7: Aumento dos gases de efeito estufa. Fonte: Revista Época.

Desde 1850 temos assistido a um aumento gradual da temperatura global, algo que pode também ser causado pela flutuação natural desta grandeza. Tais flutuações têm ocorrido naturalmente durante várias dezenas de milhões de

anos ou, por vezes, mais bruscamente, em décadas. Estes fenômenos naturais bastante complexos e imprevisíveis podem ser a explicação para as alterações climáticas que a Terra tem sofrido, mas também é possível e mais provável que estas mudanças estejam sendo provocadas pelo aumento de emissões de gases de Efeito Estufa, devido basicamente à atividade humana. De acordo com a NASA a temperatura média da terra sofreu um aumento e 2º graus Celsius em alguns lugares nos últimos 120 anos (Figura 8).

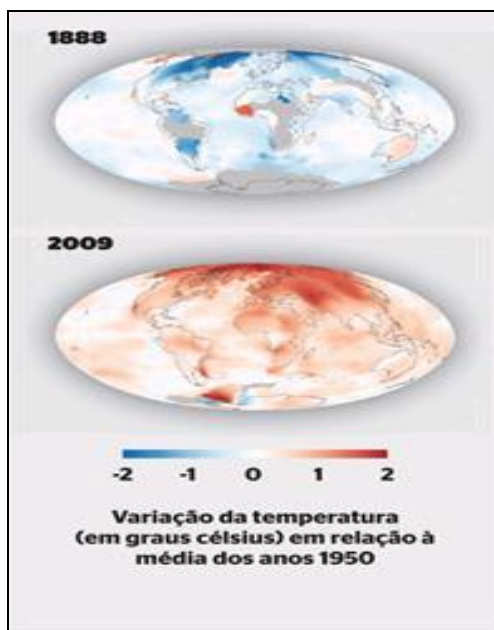


Figura 8: Variação de temperatura global. Fonte: Revista

Época.

Abaixo segue uma tabela com os gases de efeito estufa com o seu potencial de aquecimento global em 20, 100 e 500 anos (Tabela 2).

Tabela 2: gases de efeito estufa com o seu potencial de aquecimento global em 20, 100 e 500 anos. Fonte: CABRAL, R. C. 2009.

Espécie	Fórmula Química	Tempo de Vida (anos)	Potencial de aquecimento global (horizontal de tempo)		
			20 anos	100 anos	500 anos
Dióxido de Carbono	CO ₂	Variável	1	1	
Metano	CH ₄	12+/-3	56	21	6.5
Óxido Nitroso	N ₂ O	120	280	310	170
Ozônio	O ₃	0.1-0.3	n.d.	n.d.	n.d.
HFC-23	CHF ₃	264	9	11700	9800

MALANCONI, Rodrigo; CABRAL, Rodrigo Chimenti. Impactos e Benefícios da Produtividade de Biogás em Aterro Sanitário. *RevInter Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade*, v. 5, n. 2, p. 135-158, jun. 2012.

HFC-32	CH ₂ F ₂	5.6	2	650	200
HFC-41	CH ₃ F	3.7	490	150	45
HFC-23-10mee	C ₅ H ₂ F ₁₀	17.1	3000	1300	400
HFC-125	C ₂ H ₂ F ₅	32.6	4600	2800	920
HFC-134	C ₂ H ₂ F ₄	10.6	2900	1000	310
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	14.6	3400	1300	420
HFC-152a	C ₂ H ₄ F ₂	1.5	460	140	42
HFC-143	C ₂ H ₃ F ₃	3.8	1000	300	94
HFC-143a	C ₂ H ₃ F ₃	48.3	5000	3800	1400
HFC-227ea	C ₃ H ₂ F ₇	36.5	4300	2900	950
HFC-236fa	C ₃ H ₂ F ₆	209	5100	6300	4700
HFC-145ca	C ₃ H ₃ F ₅	6.6	1800	560	170
Hexafluorido de Enxofre	SF ₆	3200	16300	23900	34900
Perfluorometano	CF ₄	50000	4400	6500	10000
Perfluoroetano	C ₂ F ₆	10000	6200	9200	14000
Perfluoropropano	C ₃ F ₈	2600	4800	7000	10100
Perfluorociclobutano	c-C ₄ F ₈	3200	6000	0.87	12700
Perfluoropentano	C ₅ F ₁₂	4100	5100	7500	11000
Perfluorohexano	C ₆ F ₁₄	3200	5000	7400	10700

Durante a decomposição anaeróbia da matéria orgânica nos aterros sanitários é liberado o gás metano que é um potente gás de efeito estufa, com potencial de aquecimento global 21 vezes superior ao CO₂ num período de 100 anos. Seu ciclo de vida na atmosfera é de aproximadamente 12 anos, sendo o 2º gás de Efeito Estufa em ordem de importância, pois responde por aproximadamente 18% de toda a pressão sobre o clima como é indicado em gráfico abaixo (CABRAL 2009) (Figura 9).

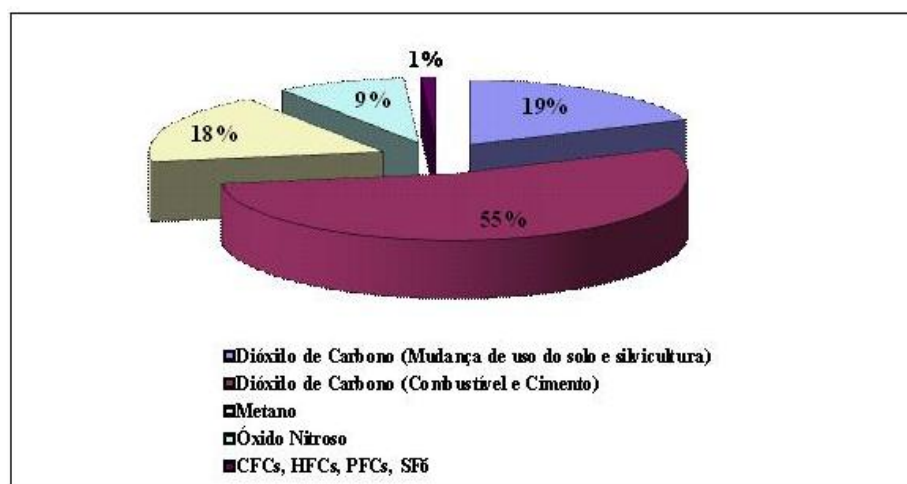


Figura 9. Disseminação de gás – Efeito Estufa. Fonte: CABRAL, R. C.2009.

Emissões de CH₄ resultam de diversas atividades, incluindo aterros sanitários, tratamento de esgoto, sistemas de produção e processamento de petróleo e gás natural, atividades agrícolas, mineração de carvão, queima de combustíveis fósseis, conversão de florestas para outros usos e alguns processos industriais.

Os Aterros Sanitários são a 3º maior fonte mundial de emissões antrópicas de Gases do Efeito Estufa respondendo por cerca de 13% desta como é indicado no gráfico abaixo (USEPA, 2008) (Figura 10).

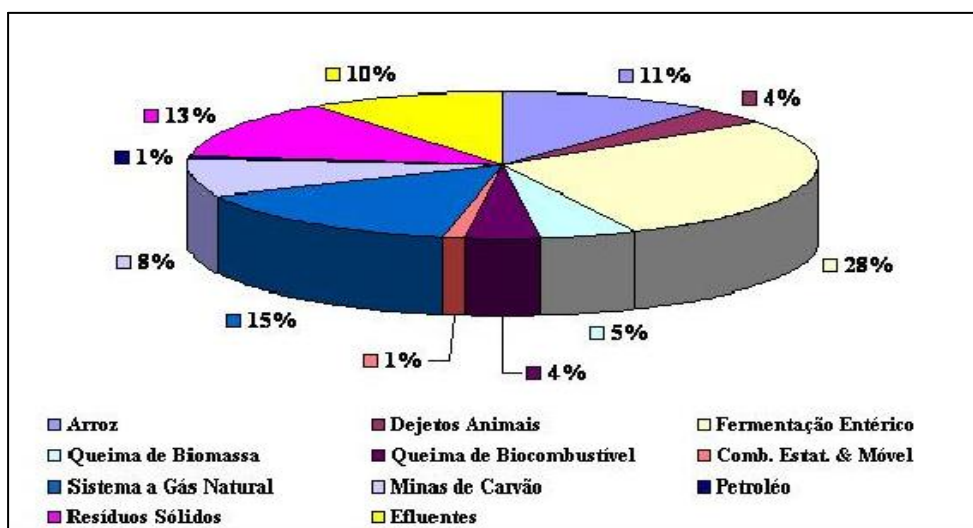


Figura 10. Emissões de Metano. Fonte: CABRAL, R. C. 2009.

Abaixo, segue um panorama mundial de emissões de gás metano de aterros sanitários e um panorama brasileiro de emissões de gases de efeito estufa (Figura 11).

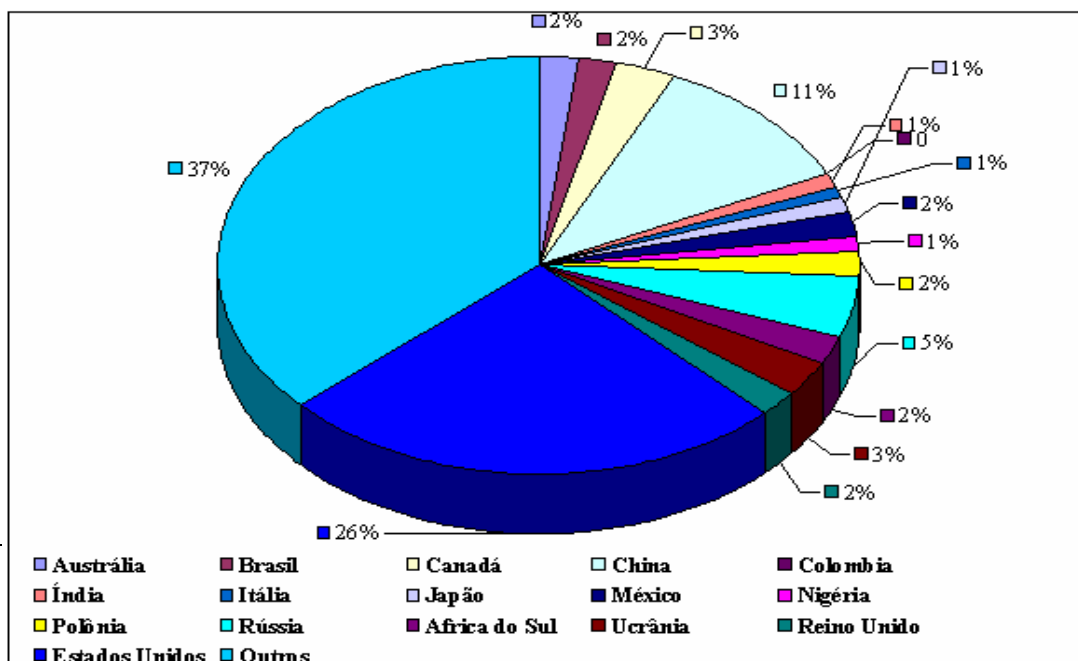


Figura 11: Panorama mundial de emissões de gás metano de Aterros Sanitários. Fonte: CABRAL, R. C. 2009.

O maior gerador de Metano de aterros sanitários é os Estados Unidos representando 26% de toda emissão, estando a China em 2º lugar representando 11% de toda Emissão e o Brasil representando 2 % de toda Emissão (USEPA, 2008). No Brasil, o setor Agropecuário é o maior responsável pelas emissões de CH₄ (77% em 1994), sendo a principal emissão decorrente da fermentação entérica (eructação) do rebanho de ruminantes, quase toda referente ao gado bovino, o segundo maior rebanho do mundo. As emissões anuais de metano associadas à fermentação entérica foram estimadas em 9,4 Tg, 92% do total das emissões de metano do setor agropecuário. Os 8% restantes resultam do manejo de dejetos animais, da cultura de arroz irrigado e da queima de resíduos agrícolas (Figura 12). As emissões do setor aumentaram 7% no período de 1990 a 1994, devido, predominantemente, ao aumento do rebanho de gado de corte (Comunicação Inicial do Brasil, 2004).

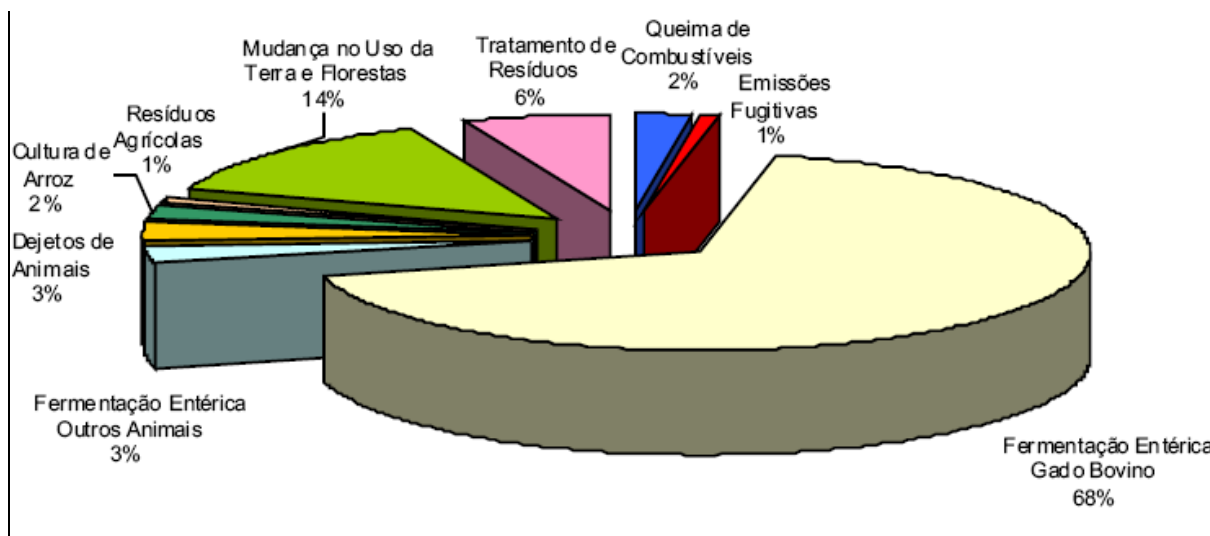


Figura 12: Emissões de metano por setor brasileiro em 1994. Fonte: Comunicação Inicial do Brasil, 2004.

O setor de mudanças no Uso da Terra e Floresta, as emissões ocorrem pela queima da biomassa nas áreas de desflorestamento representando 14% do total das emissões de metano apresentando a segunda maior fonte de emissão de metano em 1994. As emissões do setor de Tratamento de Resíduos representaram 6% do total das emissões de metano em 1994, sendo a disposição de resíduos sólidos responsável por 84% desse valor. No período de 1990 a 1994, as emissões de metano do setor de Tratamento de Resíduos aumentaram 9% apresentando a terceira maior fonte de emissão de metano (Comunicação Inicial do Brasil, 2004).

PROTOCOLO DE KYOTO

Esse Protocolo tem como objetivo firmar acordos e discussões internacionais para conjuntamente estabelecer metas de redução na emissão de gases-estufa na atmosfera, principalmente por parte dos países industrializados, além de criar formas de desenvolvimento de maneira menos impactante àqueles países em pleno desenvolvimento. Diante da efetivação do Protocolo de Kyoto, metas de redução de gases foram implantadas, algo em torno de 5,2% entre os anos de 2008 e 2012. O Protocolo de Kyoto foi implantado de forma efetiva em 1997, na cidade japonesa de Kyoto, nome que deu origem ao protocolo.

Na reunião, oitenta e quatro países se dispuseram a aderir ao protocolo e o assinaram, dessa forma, comprometeram-se a implantar medidas com intuito de diminuir a emissão de gases. As metas de redução de gases não são homogêneas a todos os países, colocando níveis diferenciados de redução para os

38 países que mais emitem gases, o protocolo prevê ainda a diminuição da emissão de gases dos países que compõe a União Europeia em 8%, já os Estados Unidos em 7% e Japão em 6%. Países em franco desenvolvimento como Brasil, México, Argentina, Índia e, principalmente, China, não receberam metas de redução, pelo menos momentaneamente.

O Protocolo de Kyoto não apenas discute e implanta medidas de redução de gases, mas também incentiva e estabelece medidas com intuito de substituir produtos oriundos do petróleo por outros que provocam menos impacto. Diante das metas estabelecidas, o maior emissor de gases do mundo, Estados Unidos, desligou-se em 2001 do protocolo, alegando que a redução iria comprometer o desenvolvimento econômico do país.

O ano que marcou o início efetivo do Protocolo de Kyoto foi 2005, vigorando a partir do mês de fevereiro. Com a entrada em vigor do Protocolo de Kyoto, cresceu a possibilidade do carbono se tornar moeda de troca. O mercado de créditos de carbono pode aumentar muito, pois países que assinaram o Protocolo podem comprar e vender créditos de carbono, baixo panorama mundial de transações de credito de carbono.

Abaixo segue um gráfico onde ilustra os países que compram créditos de carbono com suas devidas participações nas compras (Figura 13).

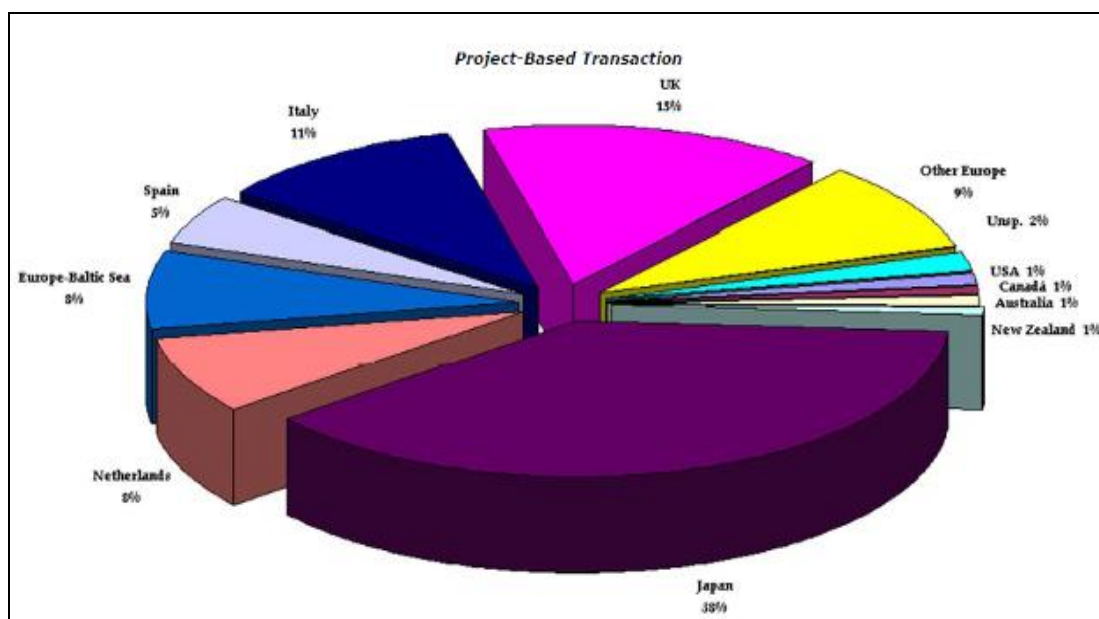


Figura 13: Panorama mundial de transações de credito de carbono. Fonte: Planck-e.

Abaixo segue uma planilha com os países que vendem créditos de carbono e suas devidas participações em volume de créditos de carbono (Tabela 3).

Tabela 3: Venda de crédito de carbono.

Fonte: International Emissions Trading Association.

VOLUME DE CRÉDITOS GERADOS (1)	
Índia	41,0%
China	13,9%
México	13,9%
Brasil	5,1%
Outros	26,0%

Brasil foi o primeiro país a aprovar um projeto no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Apesar disso, vem perdendo posições no ranking internacional do mercado de créditos de carbono. Uma das razões pelas quais o Brasil perdeu a liderança na comercialização é a burocracia do governo para cancelar os projetos cadastrados que, após essa etapa precisam ser aprovados pelo MDL. Segundo levantamento da Associação Internacional de Comércio de Emissões (IETA), o país tem o prazo mais lento entre os emergentes analisados. Enquanto um empreendimento no México leva em média 45 dias para obter a aprovação, no Brasil o prazo vai de dois a seis meses. Países como China e Índia já superam o país em número de projetos aprovados.

É importante mencionar, que os preços dos certificados, diferem-se de acordo com o mercado que participam, constatando-se que mercados Kyoto-compliance apresentam preços dos certificados mais elevados. Para verificar as diferenças em relação aos preços segue duas tabelas abaixo com os valores observados e estimados. Observa-se que há uma tendência de crescimento desses preços que têm variado entre de U\$ 2 à U\$ 7 desde 2003 até meados de 2005, e em 2006 já atingiu patamares de US\$ 24 (Tabelas 4 e 5).

Tabela 4: Preço médio dos créditos de carbono Kyoto-compliance (US\$/tCO₂e)

Fonte: Banco Mundial (2005); Kossoy (2004); World Bank (2005a).

Preço	2003	2004	2005	2006	2007
Observado	2-10 1	3-7 2	3-7 4	6-24 4	12-25 4
Estimado p/ 2010	50-100 3	5-15 3	5-11 3	-	-

Tabela 5: Preço médio dos créditos de carbono Chicago Climate Exchange – CCX (US\$/tCO₂e).

Fonte: CCX (2008).

Ano	2005	2006	2007	Agosto 2008
Preço	1,50 - 2,50	3,6 - 4,25	2 - 3,70	2 - 4,85

O primeiro leilão de créditos de carbono no Brasil ocorreu em 26/09/2007, na BM&F; O lote de 808.000 toneladas de CO₂ equivalente, ofertado pela prefeitura de São Paulo, foi arrematado pelo grupo belga-holandês Fortis. O Valor pago por RCE gerados pela queima de biogás no aterro sanitário bandeirantes foi de € 16,20/TCO₂ totalizando €13 milhões.

BENEFÍCIOS ENERGÉTICOS COM O USO DO BIOGÁS

Face ao elevado poder calorífico do Biogás em muitos aterros sanitários no mundo, além da sua simples queima estão sendo implantadas unidades de geração de energia elétrica. O biogás pode ser utilizado também em sistemas de calefação ou como combustível veicular, sendo que nesta última alternativa haverá a necessidade de instalação de uma unidade de beneficiamento para aumentar o teor de metano no biogás (IBAM Instituto Brasileiro de Administração Municipal 2009).

De acordo com Cabral (2009), o poder calorífico do gás metano é de 11 Kw/m³CH₄ e o biogás por conter aproximadamente 55%v/v em sua composição resulta em um poder calorífico de aproximadamente 6 Kw/m³ de biogás.

Para cada tonelada de resíduo disposto em um aterro sanitário, são gerados em média 200 Nm³ de biogás. A geração de biogás em um aterro sanitário é iniciada alguns meses após o início do aterramento dos resíduos e continua até cerca de 15 anos após o encerramento da operação da unidade (IBAM Instituto Brasileiro de Administração Municipal 2009).

Um exemplo de benefício energético pelo biogás de aterro sanitário no Brasil é o do Bandeirantes, recebeu cerca de 7.000 toneladas diárias do lixo de São Paulo, 50% do total produzido. Sua utilização foi iniciada há 33 anos e quando concluída, em 2006, armazena um total de 30 milhões de toneladas de lixo. O gás do aterro Bandeirantes encontra-se e é produzido nas camadas do aterro e sua coleta se dá através dos mesmos drenos verticais utilizados para sua queima e pode ser utilizado para produção de energia elétrica, dentre outras utilizações. As atividades consistem no encaminhamento aos moto-geradores de até 12.000 m³/h de biogás, com um conteúdo mínimo de 50% de metano, durante 24h/dia em 365 dias/ano. Essa quantidade é suficiente para a instalação de uma potência elétrica de 20 MW, que resultará na produção de até 170.000 MWh de energia elétrica, suficiente para abastecer uma cidade de 400.000 habitantes,

durante 10 anos. É a maior utilização de biogás para a produção de energia elétrica no mundo (LOGOS ARCADIS).

CONCLUSÕES

O biogás produzido em aterros sanitários apresenta em sua composição dióxido de carbono e gás metano, um gás inflamável que apresenta poder calorífico de aproximadamente 11 Kw/m³ e é o 2º gás de Efeito Estufa em ordem de importância, sendo que o produzido por resíduos sólidos representa 3º maior fonte mundial de emissões de metano.

Com tamanho poder energético o biogás, que apresenta aproximadamente 6,0 Kw/m³ é utilizado para geração de energia elétrica como verificado no aterro sanitário Bandeirantes, o primeiro aterro sanitário brasileiro que utiliza biogás para acionar 24 conjuntos moto-geradores de 925 KW/conjunto, correspondendo a uma potência líquida de 20.000 KW beneficiando aproximadamente 400 mil habitantes.

Apenas a queima do metano, gás que apresenta potencial de aquecimento global 21 vezes maior que o dióxido de carbono, acarreta ganhos ambientais na transformação do gás metano em água e gás carbônico, reduzindo o potencial de aquecimento global, gerando certificados de emissões reduzidas ou créditos de carbono em países em desenvolvimento como o Brasil.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8.419 - **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos urbanos - Procedimento**. 1984.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.004/2004 - **Resíduos Sólidos - Classificação**. 2004.

AMBIENTEBRASIL. Portal. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br>. Acesso em 10 jun de 2011.

ARCADIS LOGOS ENERGIA. Disponível em: <http://www.logoseng.com.br/logosenergia/>. Acesso em 07 dez., 2010.

BIOGÁS CONGRESS 2011, trabalho apresentado pela ABRELPE.

BIOGÁS CONGRESS 2011, trabalho apresentado pela PLANCK-E.

BORBA, S. M. **Análises de modelos de geração de gases em aterros sanitários: estudos de caso Rio de Janeiro**. Dissertação de Mestrado . Rio de Janeiro: COOPE/UFRJ, 2006.

BRASIL ESCOLA, **Protocolo de Kyoto, disponível em:**
<<http://www.brasilecola.com/geografia/protocolo-kyoto.htm>>. Acesso em 02/07/2011.

CABRAL, R. C. **Aproveitamento do biogás em aterros sanitários: especificações construtivas beneficiando aspectos ambientais e energéticos**. 2009. 129 p.

COMUNICAÇÃO INICIAL DO BRASIL 2004.

D' ALMEIDA, M. O., & VILHENA, A. **Manual de gerenciamento integrado**. São Paulo: IPT / CEMPRE, 2000.

EDUCAR.SC.USP. **Aquecimento Global, disponível em:**
<<http://educar.sc.usp.br/licenciatura/2003/ee/Aquecimento01.html>>. Acesso em 02/07/2011.

GLOTEC. Disponível em:
<<http://www.glotec.com.br>> Acesso em 12 de jul de 2008.

IBAM. **Instituto Brasileiro de Administração Municipal. Disponível em:**
< <http://www.iban.org.br/publique/media/boletim2a.pdf>> Acesso em 01 de jan de 2009.

ICLEI, **Manual para Aproveitamento de Biogás - Volume 1 - Aterros Sanitários**.

INMET. Disponível em:
<http://www.inmet.gov.br/sim/abre_Graficos.php?data=06/2009>. Acessado em 05/08/2011.

LARA. **Central de Tratamento de Resíduos LTDA**. Disponível em
<http://www.lara.com.br>. Acesso em 02 de jan de 2008.

MANUAL DE GERENCIAMENTO INTEGRADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2001.

NUNESMAIA, M. **Lixo: soluções alternativas**. Feira de Santana: UEFS, 1997. Jornal O Estado de São Paulo, Vida, 27 de outubro de 2010.

pecora, V et al. **Biogás : estudo de caso em São Paulo**. Encontro brasileiro-britânico: energias renováveis para uma vida sustentável. São Paulo: IEE USP. 2008

PROSAB, Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, 2003, pg 23.

REVISTA DA FOLHA, 28 de fevereiro, 2010.

SCHIEL, 2008

TSCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H. & VINIL, S. **Integrated solid waste management**.

Engineering principles and management issues. Irwin MacGraw - Hill. 1993. 978p.

UNFCCC United Nations Framework Convention on Climate Change