

BIODEGRADABILIDADE PARA A PRODUÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL*

BIODEGRADABILITY FOR THE PRODUCTION OF RENEWABLE ENERGY

Mariana Lino de Souza¹
Diego Antônio França de Freitas²
Carla Saraiva Gonçalves³

Resumo

A crescente preocupação mundial em se desenvolver de maneira sustentável incentiva a busca por alternativas na produção de energia. Esse cenário proporciona a busca de diferentes tecnologias adequadas para transformar os resíduos em produtos novamente utilizáveis e, assim, evitem futuros problemas ecológicos e econômicos. Diante deste panorama, esse trabalho tem por objetivo apresentar como alguns tipos de resíduos gerados a partir de atividades desenvolvidas pelo homem podem ser reutilizados de diferentes maneiras. Esses resíduos poderão ser convertidos em uma fonte de energia alternativa ou serem utilizados como fertilizante natural, transformando-se em um material de alto valor agregado. A reutilização de resíduos contribuirá para a diminuição de problemas ambientais como o aquecimento global. Desta forma, para se obter um desenvolvimento sustentável é necessário a reutilização de resíduos e trabalhos de conscientização.

Palavras-chave: Biodigestores; Energia alternativa; Sustentabilidade.

Abstract

The growing global concern to develop sustainably encourages the search for alternative ways of producing energy. This scenario provides the search for different suitable technologies to transform waste into usable products and thus avoid future ecological and economic problems. In this panorama, this work aims to present some types of waste that are generated from activities developed by man and how they can be reused in different ways. These residues could be converted into an alternative energy source or used as natural fertilizer to become a high added value material. The reuse of waste will contribute to the reduction of environmental problems such as global warming. In this way, to achieve sustainable development, it is necessary to reuse waste and raise awareness.

Keywords: Biodigesters; Alternative energy; Sustainability.

Artigo de Revisão: Recebido em 05/12/2016 – Aprovado em 20/09/2017

¹ Doutora e Mestre, em Microbiologia Agrícola, pelo PPGMA/UFLA; Especialista em Educação Ambiental com Ênfase em Espaços Educadores Sustentáveis, pelo CEAD/UFLA e Bióloga (Licenciatura e Bacharelado) pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), e-mail: linomariana@yahoo.com.br (autor correspondente).

² Professor Adjunto da Universidade Federal de Viçosa /UFV- campus Florestal; Doutor, Mestre e Engenheiro Agrônomo em Ciências do Solo pela Universidade Federal de Lavras(UFLA), e-mail: diegofranca@ufv.br

³ Doutora, Mestre e Engenheira de Alimentos em Ciências dos Alimentos pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). e-mail: carla_ufla@yahoo.com.br

* Apoio financeiro: CEAD/UFLA.

1 Introdução

Os sistemas para a recuperação e utilização dos resíduos estão adquirindo um lugar destacado na comunidade mundial. Atualmente, emerge uma nova consciência ambiental que chama a atenção dos responsáveis políticos e do público em geral visando um modo de vida e desenvolvimento que seja sustentável.

O desenvolvimento sustentável caracteriza-se não como um estado fixo de harmonia, mas sim como um processo que envolve diversas mudanças; assim ocorre simultaneamente: à exploração de recursos, o gerenciamento de investimento tecnológico e as mudanças institucionais com o presente e o futuro. No entanto é necessário gerar o autodesenvolvimento por meio do desenvolvimento local para que essas práticas sustentáveis sejam introduzidas na cultura da humanidade (FASOLIN et al., 2014).

Visando a questão da sustentabilidade e na busca de se garantir um mínimo de impacto ambiental, é imprescindível que ocorra a adequação de efluentes líquidos aos padrões de qualidade aceitáveis e um tratamento de resíduos, o que acaba por assinalar um grande desafio a múltiplos setores produtivos (POPPE, 2008).

Na atualidade, a humanidade se confronta com um dos mais graves problemas, que são as mudanças climáticas. Essas alterações devem-se à grande quantidade de gases que são lançados na atmosfera intensificando o efeito estufa. A geração de gases de efeito estufa (GEE), principalmente de gás metano, pode decorrer do tratamento anaeróbio ou na destinação final em aterros sanitários, próprios ou de terceiros, dos resíduos com alta carga orgânica (POPPE, 2008).

Para se resolver tanto problemas ecológicos como econômicos, uma alternativa seria o uso da digestão anaeróbica em um sistema de recuperação integrada dos recursos onde existe uma grande produção de resíduos (ONUDI, 2014). Pela digestão anaeróbica ocorre a produção de biogás, como no tratamento de dejetos de animais. Esse tipo de resíduo deve receber atenção especial, pois se for mal manejado acaba por ser prejudicial ao meio ambiente, causando a produção do gás metano que pode impactar de forma negativa na qualidade do ar atmosférico e, poderia ter outro destino que seria

infiltrar-se no solo causando problemas caso atinja o lençol freático (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008).

Ainda, tratando-se do biogás, esse pode ser considerado um tipo de energia renovável, podendo ser uma arrebadora oportunidade para a sustentabilidade, tanto no campo que irá abranger a indústria agropecuária quanto para os pequenos agricultores. Dessa forma esses resíduos orgânicos, com a utilização de tecnologias adequadas, podem ser tratados e utilizados de diferentes maneiras, seja na produção de energia térmica e/ou elétrica e na produção de fertilizante natural, amenizando os problemas ambientais (ONUDI, 2014).

Essa revisão objetiva tratar sobre o biogás, revelando suas diversas aplicações atuais, benefícios ambientais e energéticos que podem ser obtidos com uma adequada gestão dos resíduos biodegradáveis visando o desenvolvimento sustentável. Alguns dos objetivos deste trabalho foram abordar conceitos como sustentabilidade, desenvolvimento sustentável, biomassa, resíduos, entre outros, além de destacar os benefícios ambientais e vantagens da digestão anaeróbica, compreendendo as diferentes maneiras com que o biogás pode ser utilizado como fonte de energia.

2 Desenvolvimento

2.1 Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável

O conceito de sustentabilidade surgiu por meio do Relatório Brundtland conhecido como “Nosso Futuro Comum” (*Our Common Future*), formulado no decorrer da Comissão Mundial das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED) e publicado em 1987. Assim, pode-se dizer que o termo sustentabilidade consiste em “aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades” (WCED, 1987).

Quando trata-se do desenvolvimento sustentável algumas dimensões são consideradas visando defini-lo, medi-lo e propor pautas políticas de atuação. Essas dimensões já foram relatadas por autores como Sachs (1993), Bossel (1999), Machado e Fenzl (2001) e Bellen (2002). Sachs (1993) propõe uma

dimensionalidade da sustentabilidade fundamentada em cinco fatores: social, econômica, ecológica, espacial ou geográfica e cultural. Já Bossel (1999) amplia as dimensões formando o conjunto - material, ambiental, social, ecológica, econômica, legal, cultural, política e psicológica. Os autores Machado e Fenzl (2001) propõem as dimensões física, material, ecológica, social, psicológica, cultural e ética. Bellen (2002) sugere que, para assegurar o desenvolvimento sustentável, os fatores relevantes são o social, o ecológico e o econômico; não incluindo o fator institucional.

Segundo Fasolin et al. (2014), o conceito de sustentabilidade está sendo abordado mais vezes, tanto no âmbito acadêmico quanto no empresarial. Isto se deve às imposições atuais que estão sendo feitas pela sociedade e exigem atitudes mais transparentes na prestação de informações dos aspectos social e ambiental. Dessa forma as empresas estão se preocupando mais com seu papel sustentável.

O desenvolvimento sustentável se caracteriza como um processo que envolve diversas mudanças. Assim, a exploração de recursos, o gerenciamento de investimento tecnológico e as mudanças institucionais com o presente e o futuro ocorrem simultaneamente. No entanto, é necessário gerar o autodesenvolvimento por meio do desenvolvimento local para que essas práticas sustentáveis sejam introduzidas na cultura da humanidade (FASOLIN et al., 2014).

No tempo das civilizações humanas a sustentabilidade vai depender da sua capacidade de submeter aos preceitos de prudência ecológica e de fazer um apropriado uso da natureza, visando o desenvolvimento sustentável. A adjetivação deveria ser desdobrada em socialmente incluyente, ambientalmente sustentável e economicamente sustentado no tempo (SACHS, 2004).

Em relação aos recursos disponíveis na natureza, o homem utiliza esses e gera uma grande quantidade de resíduos, dentre eles a biomassa a qual pode ser transformada e tornar-se um produto de valor agregado. Assim a humanidade pode utilizar os recursos do planeta de maneira sustentável.

2.2 Biomassa

A biomassa é considerada a matéria orgânica, viva ou morta, existente nos organismos animais ou vegetais de uma determinada comunidade. Essa biomassa pode ser recuperada por meio dos resíduos florestais, agrícolas, pecuários e urbanos, podendo ser-lhes dadas alguns empregos úteis, entre os quais a fertilização dos solos para agricultura ou a produção de energia primária (PEREIRA, M. S. et al., 2015).

Biomassa consiste em toda matéria orgânica não fóssil, seja de origem animal ou vegetal, que pode ser empregada na produção de calor, podendo ser utilizada tanto para uso térmico industrial, quanto na geração de eletricidade e/ou ser transformada em outras formas de energias sólidas (carvão vegetal, briquetes), líquidas (etanol, biodiesel) e gasosas (biogás de lixo). Assim, a biomassa pode ser considerada como uma alternativa viável para a diversificação da matriz energética dos países em substituição aos combustíveis fósseis como o petróleo e o carvão (BRASIL, 2011).

2.3 Resíduos

De acordo com a Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, encontra-se, no Capítulo II, Art. 3º, a definição de resíduos sólidos como sendo:

"Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, propõe-se a proceder ou se está obrigado a proceder, 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 isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível" (BRASIL, 2010).

De acordo com o disposto na Norma Brasileira NBR 10.004 (ABNT, 2004), os resíduos são enquadrados, em relação aos seus riscos potenciais de contaminação, adotando as seguintes classificações:

Resíduos Classe I - são aqueles considerados como perigosos. Apresentam características de inflamabilidade, corrosividade, toxicidade, reatividade, ou

patogenicidade. Resíduos Classe I apresentam risco à saúde pública (provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices) e ao meio ambiente (quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada).

Resíduos Classe II - são aqueles considerados como não perigosos. Podem ser subdivididos em duas classes: classe II A - aqueles que são considerados como não inertes; e classe II B - os considerados como inertes. Os resíduos classe II apresentam propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água, com potencial em riscos à saúde humana ou ao meio ambiente. Para caracterizar os resíduos classe II B nenhum de seus constituintes, solubilizados em água deionizada sob a temperatura ambiente, deve ser capaz de exceder as concentrações padrões de potabilidade da água, aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2014) relata que os resíduos sólidos podem ser classificados segundo sua origem em: urbanos, que são aqueles provenientes de residências, atividades comerciais, varrição de ruas, podas de árvores e similares; industriais aqueles que são gerados pelos processos de transformação; agrícolas os que são decorrentes da atividade produtiva do setor primário.

2.3.1 resíduos biodegradáveis

O termo biodegradabilidade consiste na capacidade de algumas substâncias e produtos se descomporem em elementos químicos naturais, durante um período de tempo relativamente curto e pela atuação de organismos vivos, como os microrganismos e macrorganismos que os utilizam para produzir energia e criar outras substâncias como aminoácidos e novos tecidos. Essa biodegradação pode ocorrer de maneira aeróbica (presença de oxigênio) ou anaeróbica (ausência de oxigênio no meio). Durante os processos anaeróbicos pode se ocorrer à produção de um combustível gasoso, o biogás, de origem biológica e facilmente aproveitável (ONUDI, 2014).

Resíduos biodegradáveis são constituídos por subprodutos e resíduos orgânicos, em fase sólida

e/ou líquida, os quais são suscetíveis de ser submetidos a processos biológicos de tratamento por via de biometanização. Ainda, consideram-se resíduos biodegradáveis potenciais aqueles que são suscetíveis de ser tratados pelo processo de digestão anaeróbica, sendo capazes e possibilitando a geração de energia, como o biogás. Esse gás pode ser gerado utilizando os seguintes tipos de resíduos: resíduos de explorações pecuárias como o esterco, resíduos de agroindústrias, como aqueles que são gerados em usinas de álcool e açúcar, na indústria do café, fábricas de queijo, matadouros, entre outros diversos; a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (RSU) e os lodos anaeróbicos das estações depuradoras de águas residuais (ETAR's) (ONUDI, 2014).

A América Latina e o Caribe têm uma grande produção de resíduos biodegradáveis como demonstra o fato de ser a maior região exportadora de alimentos do Planeta e a primeira exportadora mundial de carne bovina (ONUDI, 2014). Diante disso, é importante que esses resíduos sejam convertidos em outros recursos de valor agregado. Um desses meios pode ser realizado pelo processo de digestão anaeróbica que ocorre em biodigestores. A partir desse processo, no final, há outros produtos, como biogás, biofertilizantes e adubos orgânicos, os quais constituem produtos de valores agregados e não mais apenas um resíduo que seria descartado no meio ambiente.

2.4 Biodigestor, Processo biológico anaeróbico e Biofertilizante

O biodigestor consiste em uma câmara fechada onde a biomassa é fermentada anaerobicamente (sem a presença do oxigênio) produzindo biogás e biofertilizante. Deve-se levar em consideração que apenas o biodigestor não produz o biogás, mas cria condições para que as bactérias metanogênicas (capazes de degradarem a matéria orgânica e produzir o gás metano) atuem sobre os materiais orgânicos na produção deste combustível (GASPAR, 2003). Assim, os biodigestores permitem que determinadas bactérias decomponham os dejetos orgânicos, produzindo como produto final adubo orgânico, biofertilizantes e biogás (MARQUES et al., 2014).

De acordo com Cassini (2003, p. 15):

"A digestão anaeróbia [...] é um processo de estabilização biológica complexo no qual um consórcio de diferentes tipos de microrganismos, na ausência de oxigênio molecular, promove a transformação de compostos orgânicos complexos em produtos mais simples como metano e gás carbônico."

Segundo Biscaro e Florentino (2008), as transformações de materiais orgânicos para metano e dióxido de carbono, por meio de atividades microbiológicas, ocorrem por um processo biológico complexo. Esse processo pode ocorrer em até seis etapas sendo que, ao final do processo, obtenha-se o biogás. Essas etapas seriam: hidrólise de polímeros, fermentação de aminoácidos e açúcares, oxidação dos produtos gerados na fase anterior (ácido e álcoois), oxidação de produtos intermediários (ácidos voláteis), conversão de acetato para metano e conversão de hidrogênio para metano.

Segundo a EPE (2014, p. 17), a geração do gás em um aterro sanitário ocorre por intermédio de quatro fases características da vida útil desse aterro:

Fase aeróbica (1ª fase): é produzido o gás carbônico (CO_2), porém o conteúdo de nitrogênio (N_2) é alto, esse último composto irá sofrer um declínio nas passagens para as 2ª e 3ª fases.

Esgotamento de O_2 (2º fase): resulta em um ambiente anaeróbico com grandes quantidades de CO_2 e um pouco de hidrogênio (H_2) é produzido.

Fase anaeróbica (3º fase): começa a produção de metano (CH_4), com redução na quantidade de CO_2 produzido.

Fase final: produção quase estável de CH_4 , CO_2 e N_2 .

Dentre alguns dos benefícios promovidos pela utilização de biodigestores, obtém-se a produção de biogás, descontaminação biológica e química dos dejetos animais e a geração de biofertilizante por meio de processo anaeróbico (RIBEIRO, 2011).

Esse processo de biodigestão anaeróbia pode ser considerado como uma alternativa para o tratamento de resíduos. Por meio dele é possível a redução do potencial poluidor e dos riscos sanitários dos dejetos ao mínimo. Além disso, promove a geração do biogás que pode ser utilizado como fonte de energia alternativa e, também, possibilita a reciclagem do efluente, podendo ser utilizado como biofertilizante (AMARAL et al., 2004). O Efluente gerado a partir

da biodigestão também apresenta aplicação por possuir alto poder fertilizante e pode ser usado na agricultura em substituição aos adubos convencionais. Desta forma, os biofertilizantes possibilitam aos agricultores a redução de custos de produção, além de diminuir a extração de reservas naturais de nutrientes do planeta e melhor equacionar os problemas ligados à sanidade e salinização dos solos, contribuindo para a prática do saneamento ambiental e da sustentabilidade da propriedade agrícola (FACTOR; JAIRO; VILELLA JÚNIOR, 2008).

Do ponto de vista dos países desenvolvidos e em desenvolvimento, a biotecnologia anaeróbica contribui com três necessidades básicas que são: melhorar as condições sanitárias mediante o controle da contaminação; geração de energias renováveis para atividades domésticas; fornecer materiais estabilizados (digestores ou bio) como um biofertilizante para os cultivos. Assim, esse processo biológico anaeróbico tem um importante papel no controle da contaminação e para a obtenção de valiosos recursos como: energia e produtos com valor agregado (ONUDI, 2014).

2.4.1 vantagens e desvantagens do processo de digestão anaeróbica

O tratamento por digestão anaeróbica ou biometanização permite reduzir a carga orgânica de contaminante dos resíduos. Quando esse processo é comparado com os processos aeróbicos, os tratamentos anaeróbicos apresentam algumas vantagens como não necessitar de arejamento, além de gerar biogás que pode ser recuperado e utilizado com fins energéticos, permitindo, em muitos casos, a autonomia ou autossuficiência das plantas de tratamento. Outro aspecto a ser considerado é a redução da geração de lodos, reduzindo-se, portanto, os custos (ONUDI, 2014).

O processo de biodigestão anaeróbia é eficiente para a redução da matéria orgânica e produção simultânea de energia. É utilizado para o tratamento de resíduos sólidos urbanos e águas de tratamentos residuais (RAMÍREZ-SAENZ et al., 2009).

No entanto uma das desvantagens a se considerar é que a digestão anaeróbica é um processo complexo, assim demanda controle para assegurar

seu correto funcionamento. Um exemplo disto é a sensibilidade às sobrecargas orgânicas que podem produzir a desestabilização do processo. Outro ponto é a velocidade de degradação que é considerada menor quando comparada com os tratamentos aeróbicos, logo são necessários tempos de retenção elevados e, conseqüentemente, digestores maiores (ONUDI, 2014).

Segundo a ONUDI (2014, p. 24), algumas das vantagens do processo de digestão anaeróbico são:

"A umidade dos resíduos não é um problema.

Pode realizar o processo de codigestão: vários resíduos podem ser tratados de maneira conjunta.

O consumo energético dos processos anaeróbicos é muito inferior ao dos processos aeróbicos.

Nesse processo produz-se um gás combustível que pode ser facilmente aproveitado.

Podem-se conseguir ingressos adicionais pela gestão de resíduos.

São sistemas simples e fáceis de administrar. Há uma ampla gama de tecnologias. As mais simples para o meio rural de países em desenvolvimento têm baixo custo.

No âmbito rural, melhora-se a economia família ao produzir energia e o investimento é baixo. É um investimento, realizado em longo prazo, e a manutenção é barata. As reparações do biodigestor são simples. Quando se tem um conhecimento mínimo de como manejá-lo, é possível realizá-las sem problemas. O biogás é muito mais rápido para cozinhar. Tem uma chama azul com alta concentração de calor, o que facilita o cozimento."

O uso do biodigestor também traz benefícios econômicos e ambientais, pois reduz os custos de consumo de gás, eletricidade, combustíveis fósseis e reduz a dependência de fertilizantes inorgânicos (RIBEIRO, 2011).

Assim, quando se faz o uso do processo de digestão anaeróbico são gerados alguns possíveis benefícios ambientais, dentre esses, encontram-se (ONUDI, 2014, p. 23):

"Reduz o potencial contaminante dos resíduos orgânicos. Estes resíduos constituem um dos elementos mais contaminantes do meio ambiente.

Reduz a contaminação de solos e água.

Reduz as emissões de gases de efeito estufa.

Tem benefícios adicionais ao cumprir com os objetivos do Protocolo de Kyoto.

Menor potencial de contaminação dos lodos obtidos no processo.

Os nutrientes dos lodos obtidos são mais suscetíveis de ser absorvidos pelas plantas e, assim, evitar a lixiviação do solo.

Reduz os odores dos lodos agrícolas.

Permite a gestão adequada dos resíduos.

Evita a proliferação de insetos.

Em regiões rurais, evita a derrubada de árvores para serem utilizadas como combustível. Os biodigestores são uma das grandes possibilidades para evitar a derrubada desmedida, já que se pode obter a energia do biogás."

2.5 Biogás

Biogás é definido como uma mistura gasosa leve, de fraca densidade e combustível, resultante da fermentação anaeróbica da matéria orgânica. Inicialmente o termo biogás estava associado aos diversos nomes atribuídos a ele, como: gás dos pântanos, gás de aterro, gás de digestor e gás da fermentação, entre outros. Atualmente o termo refere-se de forma geral ao gás formado a partir da degradação anaeróbica da matéria orgânica (CETESB, 2018).

Biogás é o termo genérico dos gases produzidos pela degradação anaeróbica, conhecido como biometanização dos resíduos orgânicos, independentemente da matéria prima e da técnica utilizada. Aquele que é produzido tendo como origem matéria orgânica dos resíduos urbanos nos aterros é conhecido na bibliografia como gás de aterro (ONUDI, 2014).

O biogás consiste em um produto resultante de reações de biomassa e compõe um combustível gasoso em temperatura ambiente, apresenta um conteúdo energético elevado podendo até mesmo ser comparado aos combustíveis de origem fósseis, pois é semelhante ao gás natural. Assim, diante desse alto poder energético pode ser empregado para geração de energia elétrica, térmica ou mecânica diminuindo os custos de produção (PEREIRA, V. et al., 2015).

A composição do biogás inclui, além do metano e do dióxido de carbono, alguns gases inertes e compostos sulfurosos. A composição típica do biogás é dada na Tabela 1. Essa composição do biogás varia de acordo com a composição da matéria prima e com as condições em que se dá o processo de biodigestão anaeróbica (AL SEADI et al., 2008).

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO TÍPICA DO BIOGÁS

Composto	Símbolo químico	Conteúdo (% por volume)
Metano	CH ₄	50 – 75
Dióxido de Carbono	CO ₂	25 – 45
Vapores d'água	H ₂ O	2 (20°C) – 7 (40°C)
Oxigênio	O ₂	< 2
Nitrogênio	N ₂	< 2
Amônia	NH ₃	< 1
Hidrogênio	H ₂	< 1
Sulfeto de Hidrogênio	H ₂ S	< 1

Fonte: AL SEADI et al. (2008).

O biogás pode, ainda, ser considerado como uma forma de energia favorável ao meio ambiente, pois com a sua utilização é possível que ocorra a contribuição para a redução dos gases causadores do efeito estufa e redução da contaminação do solo e dos lençóis freáticos. A sua produção a partir de dejetos urbanos, industriais e agropecuários permite o seu uso para produção de calor e pode ser diretamente utilizado em residências e em atividades industriais e agropecuárias, assim como utilizado na geração de energia elétrica (BRASIL, 2011).

2.5.1 Tecnologias para a conversão do biogás em energia

Segundo Coelho et al. (2006) e Pereira, M. S. et al. (2015), o modo de conversão energética do biogás pode ser feito pela utilização de algumas tecnologias, sendo que essa conversão energética consiste em transformar um tipo de energia em outra energia. Assim, a energia química contida nas moléculas do biogás é convertida em energia mecânica por uma combustão controlada. Essa energia mecânica ativa um gerador que, por sua vez, converte em energia elétrica. Outra maneira de utilizar o biogás é por meio da sua queima direta em caldeiras para cogeração. Tecnologias como célula combustível, turbina a gás e motores de combustão

interna do tipo “ciclo Otto” são, também, utilizadas para a conversão energética.

De acordo com Pereira M. S. et al. (2015), além da economia, existem outras vantagens ligadas ao desenvolvimento da tecnologia, a qual utiliza biodigestores para a produção do biogás, como exemplo tem-se o uso de dejetos de animais no biodigestor, que evita que estes resíduos sejam jogados diretamente no meio ambiente sem nenhum tipo de tratamento, podendo levar a alguns problemas como a contaminação de nascentes e lençóis freáticos. Com essa tecnologia da utilização de biodigestores os agricultores podem aproveitar os dejetos dos animais para a produção do biogás e o biofertilizante, beneficiando, assim, o meio ambiente em geral.

Algumas das aplicações do biogás na atualidade são: obtenção de calor por combustão direta; motores para a geração de eletricidade com e sem recuperação de calor, conhecido como cogeração; integração à rede de gás natural e combustível para veículos motorizados. Mas deve-se levar em consideração que há uma importância crescente por outros tipos alternativos como a aplicação de combustível de automação e sua integração na rede de gás natural. Na Figura 1 é possível observar que para cada modo como o biogás será utilizado, existe um grau de refinamento que deverá ser aplicado (ONUUDI, 2014).

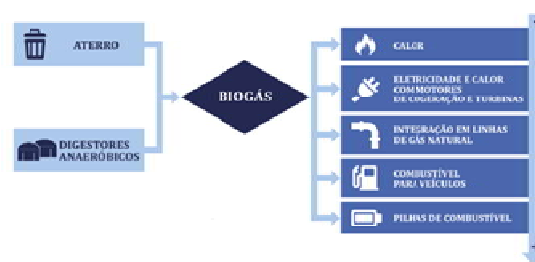


FIGURA 1 - APLICAÇÕES ATUAIS DO BIOGÁS DE MAIOR INTERESSE E GRAU DE REFINAMENTO NECESSÁRIO

Fonte: ONUUDI (2014).

Cada aplicação exige requerimentos de pureza, sendo o menos restritivo o uso para combustão direta. Em motores de cogeração, devem-se controlar, principalmente, os níveis de ácido sulfídrico, por problemas de corrosão e abrasão, respectivamente. Para seu uso em veículos a motor e para injetá-lo na rede é necessário limpá-lo para

conseguir as características do gás natural (ONU, 2014).

Um sistema padrão de coleta de GDL - gás de lixo - possui, pelo menos, três componentes centrais: poços de coleta e tubos condutores, um sistema de tratamento, e um compressor. O biogás excedente é queimado em *flare* ("queimadores") de maneira controlada, para evitar explosões e minimizar a emissão de metano para a atmosfera, mitigando-se um maior impacto ambiental sobre as mudanças climáticas (EPE, 2014).

O aproveitamento do GDL tem algumas vantagens como: a redução dos gases de efeito estufa; receita adicional para aterros existentes que concilia a produção de energia com a obtenção de créditos de carbono; esse GDL pode ser utilizado para geração de energia ou como combustível; além disso, pode ocorrer uma redução da possibilidade (remota) de ocorrência de autoignição e/ou explosão pelas altas concentrações de metano (CH₄). Mas esse sistema em aterros para a obtenção do GDL possui algumas desvantagens: a recuperação do gás, em alguns aterros, pode ser apenas parcial, principalmente, naqueles cuja construção não foi projetada para este fim, em que a recuperação máxima, muitas vezes, limita-se a 50%; pode ocorrer um alto custo da planta de aproveitamento do gás, decorrente do tratamento necessário; além disso, pode ocorrer o decaimento da disponibilidade de combustível ao longo da vida útil do projeto (EPE, 2014).

O biogás pode ser utilizado não apenas para a geração de energia elétrica ou calor, como também na forma de biocombustível automotivo, mas, nesta última, deve-se atender a certas condições, em sua especificação, após as quais passa a ser denominado de biometano (EPE, 2014). Essas condições são justamente a purificação, ou seja, o grau de limpeza do combustível.

2.5.2 Projetos de biogás

Alguns projetos brasileiros que existem já foram publicados na *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) e no Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Esses foram implementados de acordo com as regras do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

(MDL) do Protocolo de Quioto e tem como objetivo a recuperação acompanhada da destruição ou aproveitamento da energia do biogás. Nestes projetos o biogás é gerado pela degradação anaeróbia dos resíduos sólidos urbanos em aterros e pelo tratamento anaeróbio de esgotos, efluentes líquidos ou resíduos rurais (CETESB, 2014).

Além desses projetos de captura e queima do metano dos aterros, das estações de tratamento anaeróbio de esgotos, efluentes e resíduos rurais, quantidades de resíduos sólidos orgânicos são segregadas e empregadas como combustível em unidades de geração de energia elétrica com caldeiras a vapor. A combustão desse resíduo orgânico, que seria depositado em um aterro, evita a geração e emissão do metano contido no biogás (CETESB, 2014), contribuindo, assim, com a redução da emissão de gases que pode agravar o efeito estufa.

De acordo com a CETESB (2014), a maior parte dos projetos de redução de emissão de metano escolheu-se pela simples queima desse gás de efeito estufa.

De acordo com o Portal do Ministério do Meio Ambiente:

"[...] O objetivo do projeto de aproveitamento energético do biogás produzido pela degradação dos resíduos é convertê-lo em uma forma de energia útil tais como: eletricidade, vapor, combustível para caldeiras ou fogões, combustível veicular ou para abastecer gasodutos com gás de qualidade. Independente do uso final do biogás, produzido no aterro, deve-se projetar um sistema padrão de coleta, tratamento e queima do biogás: poços de coleta, sistema de condução, tratamento (inclusive para desumidificar o gás), compressor e flare com queima controlada para a garantia de maior eficiência de queima do metano. Existem diversos projetos de aproveitamento energético no Brasil, como nos aterros Bandeirantes e São João, no município de São Paulo, que já produzem energia elétrica." (BRASIL, 2013).

2.6 Produção de Energia e benefícios socioeconômicos e ambientais

A biomassa é uma das fontes para a produção de energia em usinas termoelétricas. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL

(BRASIL, 2015) no Brasil existe um total de 506 usinas que utilizam biomassa, com capacidade de produzir 12.414.543 kW (Figura 2).

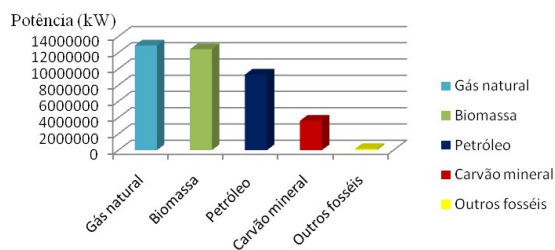


FIGURA 2 - POTÊNCIA PRODUZIDA A PARTIR DE DIFERENTES FONTES E RECURSOS

Fonte: Adaptado ANEEL (BRASIL, 2015).

O biogás utilizado para aproveitamento energético pode ter diferentes origens: advindo de

aterros sanitários (resíduos sólidos); de rejeitos, como efluentes urbanos (esgoto); dejetos de animais e/ou vegetais em biodigestores; vinhoto ou da indústria de celulose; pode ser utilizado na sua forma bruta, gerando energia por “queimadores” (*flare*) ou em substituição ao gás de cozinha, e ainda, ser melhorado mediante tecnologia específica (enriquecendo o gás resultante de 55% de CH₄ para 92% de CH₄), para substituir o gás natural utilizado seja em indústrias seja em veículos (IPEA, 2012).

Na quadro 1 está representada a obtenção de energia em usinas termoeletricas a partir da biomassa ou fóssil. Observa-se que, em relação à produção de biogás uma quantidade de 1.500 kW é proveniente do Biogás da Agroindústria; 2.081 kW do Biogás de Resíduos Animais (RA) e 62.317 kW originam do Biogás produzido utilizando Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).

QUADRO 1 - USINAS TERMELÉTRICAS POR TIPO

Tipo		Usinas Termoeletricas ^{1/}		
		Quantidade	Potência instalada (kW) ^{2/}	%
Biomassa				
Agroindustriais	Bagaço de Cana -de - Açúcar	387	9.933.550	25,9
	Biogás – AGR	2	1.500	0,0
	Capim Elefante	3	65.700	0,2
	Casca de arroz	11	39.533	0,1
Biocombustíveis Líquidos	Óleos vegetais	2	4.350	0,0
Florestas	Carvão vegetal	7	51.397	0,1
	Gás de alto forno-biomassa	8	109.865	0,3
	Licor Negro	17	1.785.102	4,7
	Resíduos de madeira	47	358.925	0,9
Resíduos Animais	Biogás - RA	12	2.081	0,0
Resíduos Sólidos Urbanos	Biogás-RSU	10	62.317	0,2
Fóssil				
Carvão Mineral	Calor de Processo - CM	1	24.400	0,1
	Carvão Mineral	13	3.389.465	8,8
	Gás de Alto Forno - CM	9	200.290	0,5
Gás natural	Calor de Processo - GN	1	40.000	0,1
	Gás natural	135	12.852.650	33,5
Outros fósseis	Calor de Processo- OF	1	147.300	0,4
Petróleo	Gás de refinaria	7	339.960	0,9
	Óleo Combustível	39	3.935.151	10,3
	Óleo diesel	1.563	937.928	2,4
	Outros Energéticos do Petróleo	16	4.090.553	10,7
Total		2291	38.372.017	100,0

Fonte: Adaptado ANEEL (BRASIL, 2015).

1/ Usinas em operação outorgadas e com outorgas a serem regularizadas. 2/ Sujeitas à fiscalização da ANEE.

A utilização de biomassa de resíduos para a produção de energia oferece benefícios socioambientais que podem reduzir as emissões de gases que causam efeitos estufas (GEE) (OLIVEIRA; HENRIQUES; PEREIRA JUNIOR, 2010).

O gás de aterro pode ser aproveitado na produção de energia, pois apresenta algumas vantagens como ser uma maneira de realizar a descentralização de energia elétrica e reduzir o potencial de efeito estufa dos gases emitidos na conversão do metano (CH_4) em gás carbônico (CO_2). Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC, o metano tem alto potencial de aquecimento global (GWP, da sigla em inglês para *global warming potencial*), já o gás carbônico apresenta-se com GWP mais de vinte vezes menor que o CH_4 . Essa forma de produção de energia pode substituir fontes fósseis de geração de energia da matriz por uma fonte renovável (IPEA, 2012).

2.6.1 Energia proveniente de resíduo sólido

O resíduo sólido pode ser considerado como uma parte integrante das estratégias do setor energético, sendo uma proposta viável e que poderá ajudar o setor a evitar a necessidade de construção de novas plantas, trazendo benefícios socioambientais e financeiros para a sociedade. Assim, um dos benefícios da reciclagem de resíduos consiste justamente em poupar energia (OLIVEIRA; MAHLER; ROSA, 2012), como por exemplo, realizar processos de reciclagem como de embalagens, que são um dos tipos de resíduos.

São considerados como resíduos restos de comida, materiais eletroeletrônicos, embalagens, roupas, restos de animais, papel, papelão, couro, restos de materiais de construção, contaminante e material inerte. As disposições desses materiais, em aterros, podem contribuir para as emissões de gases responsáveis pelo efeito de estufa, além de outros problemas como a produção de chorume, perda de área em que poderiam ser realizadas outras atividades e, também, uma tendência à desvalorização imobiliária na região. Quando a eliminação é em lixões, os danos são relativamente piores em termos imobiliários e de tráfego na região, além de muitos danos ambientais para o solo, águas

e ar naquela vizinhança. Deve-se levar em conta que pode acarretar uma variedade de perigos para as áreas da saúde e para as sociedades que ocupam as regiões circunvizinhas e no próprio local de eliminação de resíduos (OLIVEIRA; MAHLER; ROSA, 2012).

Segundo os dados obtidos pelo IPEA (2012), em um levantamento realizado em 93 municípios, observa-se que 51,4% dos resíduos gerados são provenientes do teor de matéria orgânica. Nesses estudos de composição gravimétrica, de forma geral, a sua maior parte apresentava a classificação em: metais, papel/papelão/tetrapak, plástico, vidro, matéria orgânica e outros (Figura 3).

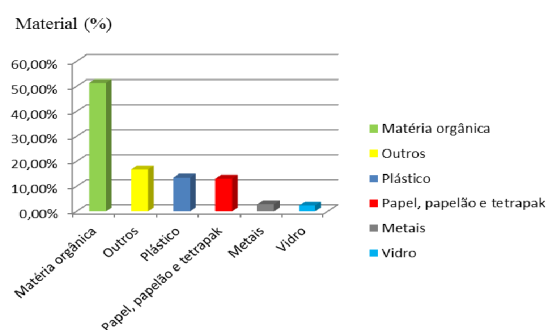


FIGURA 3 - COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA MÉDIA BRASIL EM 2008.

Fonte: adaptado IPEA (2012).

A produção de energia, a partir de resíduos sólidos urbanos, como o biogás obtido pelo lixo, seria um potencial para a geração de uma energia alternativa (renovável e não convencional) o que possibilitaria a redução das emissões de gases que intensificam o efeito estufa, criando benefícios socioeconômicos e ambientais e permitiria alcançar uma expansão sustentável do setor da energia, além da oportunidade de favorecer a obtenção de receitas por meio de créditos de carbono (MAIER; OLIVEIRA, 2014).

Mamede (2013) relata sobre diferentes maneiras de aproveitamento energético, gerados a partir da utilização de resíduos sólidos urbanos, para atender a demanda crescente de energia. Através da figura 4 é possível observar a separação do lixo em seus componentes mais brutos: lixo orgânico, reciclável e rejeitos em geral, o que possibilita destinos diferentes de realizar o aproveitamento das diferentes frações como adigestão anaeróbica, para os resíduos orgânicos, a produção de “combustíveis derivados de resíduos”, para aqueles resíduos

possíveis de serem digeridos, além da incineração de rejeitos orgânicos e não orgânicos.

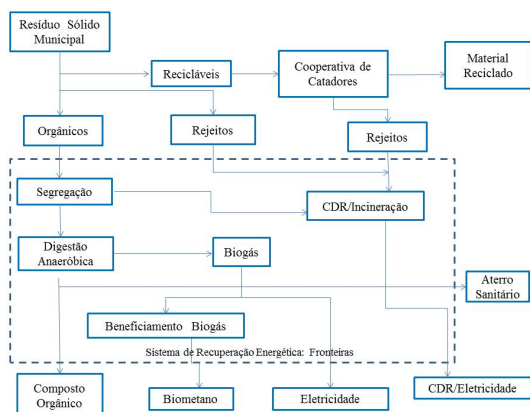


FIGURA 4 - REAPROVEITAMENTO DO RESÍDUO SÓLIDO URBANO

Fonte: Mamede (2013).

Linha pontilhada representa a fronteira do sistema, com suas entradas e saídas

A tecnologia de aproveitamento do gás de lixo (GDL), ou biogás, produzido nos aterros (*landfillgas*) é o uso energético mais simples dos resíduos sólidos urbanos. É uma opção que pode ser empregada, em curto e médio prazo, em relação aos gases que são gerados na maior parte dos aterros já existentes. Essa tecnologia tem como finalidade a recuperação do biogás, oriundo da decomposição anaeróbica da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, pela ação de microrganismos capazes de transformar os resíduos em substâncias que são mais estáveis, dióxido de carbono (CO₂), água, gás metano (CH₄), gás sulfídrico (H₂S) e outros componentes minerais (EPE, 2014).

3 Considerações finais

Diferentes tipos de resíduos podem ser convertidos em uma fonte de energia alternativa ou até mesmo em fertilizante natural, ou seja, um tipo de material de valor agregado capaz de evitar alguns problemas ambientais, dentre eles o aquecimento global. Esses resíduos que são gerados pelo homem podem ser aproveitados, evitando e diminuindo o consumo de reservas naturais, visando a um modo de vida sustentável.

O modo de vida sustentável é importante para os habitantes atuais do planeta e para as futuras gerações, pois mantendo esse modo de produção e

consumo garantimos que as próximas gerações possam desfrutar dos mesmos recursos que hoje temos disponíveis.

Projetos que visam à sustentabilidade devem ser implantados, mantidos e passados adiante entre as populações locais e de outros países, visando à difusão de ideias sobre o uso de biodigestores e seus benefícios aos produtores e ao meio ambiente.

As fontes de biomassa e de resíduos poderiam ter maior participação na matriz energética, trocando os combustíveis fósseis na ativação das termelétricas e assim ampliando a participação das fontes de energia renovável.

Referências

- AL SEADI, T.; RUTZ, D.; PRASSL, H.; KÖTTNER, M.; FINSTERWALDER, T.; VOLK, S.; JANSSEN, R. **Biogas Handbook**. 2008. Disponível em: <<http://www.lemvigbiogas.com/BiogasHandbook.pdf>>
- AMARAL, C. M. C.; SILVA, L. V.; CRUVINEL, D. A.; LEITE, D. G. Biodigestão anaeróbica de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1897-1902, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- BISCARO, A. F. V.; FLORENTINO, H. O. Modelagem matemática para determinação da eficiência da redução de ST e SV na biodigestão anaeróbica. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 23, n. 3, p. 1-15, 2008.
- BOSSSEL, H. **Indicators for sustainable development: theory, method, applications: a reporter to the Balaton Group**, International Institute for Sustainable Development. Canada, 1999.
- BRASIL. **Infraestrutura**: Brasil é destaque global no uso de biomassa. 2011. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2011/12/brasil-e-destaque-global-no-uso-de-biomassa>>
- BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Política nacional de resíduos sólidos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>
- BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Informações gerenciais**. Brasília, 2015. Disponível em:

<http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Z_IG_Mar_2015-170615.pdf>

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Aproveitamento energético do Biogás de aterro sanitário**. 2013. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/aproveitamento-energetico-do-biogas-de-aterro-sanitario>>

BELLEN, H. M. V. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. 2002. 235 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

CASSINI, S. T. **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do Biogás**. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

COELHO, S. T.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; MARTINS, O. S.; ABREU, F. C. A conversão da fonte renovável biogás em energia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 5., 2006, Brasília. **Anais...** Brasília: CBPE, 2006.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Biogás: definição**. 2018. Disponível em: <<http://biogas.cetesb.sp.gov.br/biogas>>

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Projetos de biogás no MDL**. 2. ed. São Paulo: CETESB, 2014.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from waste and renewable resources**. Weinheim: Wiley-VCH, 2008.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Inventário energético dos resíduos sólidos urbanos**. 2014. 49 p. Série recursos Energéticos - Nota Técnica DEA 18/14.

FACTOR, T. L.; JAIRO, A. C. A.; VILELLA JÚNIOR, V. E. Produção de pimentão em substratos e fertirrigação com efluente de biodigestor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 143–149, 2008.

FASOLIN, L. B.; KAVESKI, I. D. S.; CHIARELLO, T. C.; MARASSI, R. B.; HEINN, N. Relação entre o índice de sustentabilidade e os indicadores econômico-financeiros das empresas de energia brasileiras. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 18, n. 2, p. 955-981, 2014.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso**

na região de Toledo – PR. 2003. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. **Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos**. Brasília, 2012. 82 p. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf>

MACHADO, J. A. C.; FENZL, N. **A sustentabilidade do desenvolvimento e a demanda material da economia: o caso do Brasil comparado ao de países industrializados**. 2001. Disponível em: <www.ufpa.br/amazonia21/publicacoes/MFA-Brasil/Artigo-tese-Machado-MFA-Brasil.htm>

MAIER, S.; OLIVEIRA, L. B. Economic feasibility of energy recovery from solid waste in the light of Brazil's waste policy: the case of Rio de Janeiro. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, London, n. 35, p. 484-498, 2014.

MAMEDE, M. C. S. **“Avaliação econômica e ambiental do aproveitamento energético de resíduos sólidos no Brasil”**. 2013. 141 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

MARQUES, S. M. A. A.; SILVA JÚNIOR, F. J.; MONTEIRO, M. K. D.; VIEIRA, A. S.; VENTURA, A. F. A.; JÚNIOR, R. V. Produção de biofertilizante, adubo orgânico e biogás para agricultura familiar. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v.18, n. 3, p. 990-999, set./dez. 2014.

OLIVEIRA, L. B.; HENRIQUES, R. M.; PEREIRA JÚNIOR, A. O. Use of wastes as option for the mitigation of CO₂ emissions in the brazilian power sector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, London, n. 14, p. 3247-3251, 2010.

OLIVEIRA, L. B.; MAHLER, C. F.; ROSA, L. P. Waste to energy in Brazil. In: KARAGIANNIDIS, A. **Waste to energy: opportunities and challenges for developing and transition economies**. New York: Springer, 2012. p. 341-348.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ONUDI. Observatório de Energias renováveis para América Latina e o Caribe. **O Biogás**. Vienna, 2014. 157 p.

PEREIRA, M. S.; GODOY, T. P.; GODOY, L. P.; BUENO, W. P.; WENGER, R. S. Energias renováveis: biogás e energia elétrica provenientes de

resíduos de suinocultura e bovinocultura na UFSM. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 19, n. 3, p. 239-247, 2015.

PEREIRA, V.; FERREIRA JÚNIOR., J. M.; MARTINEZ, G. A. S.; TOMACHUK, C. R. Avaliação de sistema de colunas para remediação de biogás a partir de biomassa não digerida. **Holos**, Rio Claro, v. 8, p. 242-251, 2015.

POPPE, M. K. **Manual de capacitação: mudanças do clima e projetos de mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL)**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2008.

RAMÍREZ-SÁENZ, D.; ZARATE-SEGURA, P. B.; GUERRERO-BARAJAS, C.; GARCÍA-PEÑA, E. I. H₂S and volatile fatty acids elimination by biofiltration: Clean-up process for biogas potential

use. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 163, p. 1272–1281, 2009.

RIBEIRO, D. S. Determinação das dimensões de um biodigestor em função da proporção gás/fase líquida. **Holos**, Rio Claro, v. 1, p. 49, 2011.

SACHS, I. **Estratégias de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio-ambiente**. São Paulo: Nobel/Fundap, 1993.

SACHS, I. Desenvolvimento Sustentável – desafio do século XXI. **Ambiente & Sociedade**, v. 7, n. 2, p. 214-216, jul./dez. 2004.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT – WCED. **Our common future**. Oxford: Oxford University, 1987.