

Portfólio Bibliográfico sobre os diferente tipos biodigestores para a produção de energia

Cristine Brandt da Silva (UTFPR) cristinecbs@hotmail.com
Vanessa Alueth Caillot (UTFPR) vanessacaillot@hotmail.com
Antonio Carlos de Francisco (UTFPR) acfrancisco@utfpr.edu.br
João Luiz Kovaleski (UTFPR) kovaleski@utfpr.edu.br

Resumo:

Preocupações no cenário energético com crises hídricas, segurança no fornecimento de energia e redução da dependência da importação de combustíveis, impulsionam comunidades científicas a pesquisar e desenvolver alternativas para a geração de bioenergia. As fontes não convencionais, como os biodigestores, acabam ganhando mais espaços na matriz energética brasileira, tendo a necessidade de completar o desenvolvimento tecnológico brasileiro. Nesse contexto, este trabalho tem por objetivo fazer um levantamento bibliográfico sobre os diferente tipos de biodigestores para a produção de energia. A base metodológica empregada neste estudo apresenta o processo de seleção do portfólio bibliográfico, processo de análise bibliométrica e análise sistêmica acerca do tema. Foram levantadas publicações em periódicos indexados pelas seguintes bases: *Web of Science*, *ScienceDirect*, *Scielo* e *Scopus*. Os resultados permitem verificar que ainda são poucas as publicações relacionadas a biodigestores e bioenergia, existindo assim uma lacuna relacionada a estudos prescritivos, com foco em investigações aprofundadas sobre o tema abordado, sendo este tipo de estudo relevante para que a área atinja maturidade.

Palavras-chave: bioenergia, biodigestor, bibliometria.

Library portfolio on the different types digesters for energy production

Abstract

Concerns the energy scene with water crises, security of energy supply and reducing dependence on imported fuels, boost scientific communities to research and develop alternatives for the generation of bioenergy. Unconventional sources such as digesters, end up gaining more spaces in the Brazilian energy matrix, and the need to complete the Brazilian technological development. In this context, this paper aims to review the literature about the different types of digesters to produce energy. The methodological basis used in this study presents the bibliographic portfolio selection process, bibliometric analysis process and systemic analysis on the subject. Periodic publications were raised indexed by the following databases: *Web of Science*, *ScienceDirect*, *Scopus* and *Scielo*. The results, show that there are few publications related to digesters and bioenergy as well and there is a gap related to prescriptive studies, focusing on in-depth about the topic of research, and this type of study relevant to the area reaches maturity.

Key-words: bioenergy, digester, bibliometrics.

1. Introdução

Desde a década de 1970, com as crises do petróleo, a busca por adoção de energias alternativas tem se intensificado, diversos países procuraram a segurança no fornecimento de energia e a redução da dependência da importação de combustíveis (FERREIRA JUNIOR e RODRIGUES, 2015). Muitos estudiosos concordam que a era dos combustíveis fósseis e

petróleo barato está chegando ao fim, com essa falta de recursos e aumento de preços, a tendência é uma forte mudança na política nacional de energia, enfatizando a importância de aumentar a geração de energia renovável, e aproveitar o território brasileiro que tem quase todos os tipos possíveis de fontes primárias de geração de energia elétrica (GUERRA et al., 2015). Outra preocupação é a possibilidade do Brasil passar por uma crise hídrica, tendo o nível abaixo da normalidade dos reservatórios e a necessidade de economia de água que é o combustível das hidrelétricas, as autoridades e a agência reguladora de energia elétrica ANEEL, repensam sobre a microgeração e formas de incentivo para a geração de energia descentralizada (MARTINS, 2015).

Área	R\$ bilhões 2013-23	%
Hidroelétricas	85,6	38,4
Térmicas	21,2	9,5
Nuclear	2,6	1,2
Gás Natural	18,3	8,2
Carvão	0,0	0,0
Óleo Combustível/Diesel	0,3	0,1
PCH + Biomassa + Eólica + Solar	116,3	52,1
TOTAL	223,1	100,0

Fonte: EPE, 2014.

Tabela 1- Investimentos na Geração de Eletricidade

O estudo produzido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), de acordo com o ciclo do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), nos próximos dez anos, a demanda total de energia do país deverá crescer em mais de 60%. Em 2020, $\frac{2}{3}$ do consumo total virão dos setores industrial e de transportes (EPE, 2011). É estimado um crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) de 4,3% a.a., requerendo a adição de 77 GW de capacidade instalada de geração total, 70 mil km de linhas de transmissão e 163 GVA, em subestações. Para cumprir com este planejamento, serão necessários investimentos de cerca de R\$ 301 bilhões, sendo R\$ 223 bilhões na geração e R\$ 78 bilhões na transmissão (EPE, 2014). É cômodo para o Brasil gerar eletricidade por meios hídricos que são renováveis, com tudo, é preocupante a diminuição da disponibilidade de locais para grandes obras hidroelétricas, as distâncias cada vez maiores até os centros de consumo, a degradação do meio ambiente por inundações e linhas de transmissão, e os custos cada vez maiores para a sociedade (FERREIRA JUNIOR e RODRIGUES, 2015).

Neste cenário energético, as fontes não convencionais, como os biodigestores, acabam ganhando mais espaços na matriz energética brasileira, tendo a necessidade de completar o desenvolvimento tecnológico brasileiro, em termos de geração e uso das energias renováveis, adequando-os para a geração em escala efetiva, segura e competitiva, impulsionando comunidades científicas a pesquisar e desenvolver alternativas para a geração de bioenergia, o que implica na construção de novos conhecimentos acerca do tema. Dentro deste contexto, o objetivo geral é fazer uma revisão de literatura sobre os diferentes tipos de biodigestores para a produção de energia. Para atingir este objetivo, definem-se os seguintes objetivos específicos: (i) selecionar um Portfólio Bibliográfico relevante; (ii) realizar a análise bibliométrica das publicações do Portfólio Bibliográfico e (iii) efetuar a análise sistêmica com as publicações do Portfólio Bibliográfico sob a ótica de biodigestores e bioenergia.

2. Referencial Teórico

A fundamentação teórica discute temas centrais como: conceitos e definições de Bioenergia e Biodigestor, bem como, enfatiza a importância de conhecer os diferentes tipos de biodigestores que oferecem novos investimentos em participações de energia elétrica produzida com base em fontes de biomassa, promovendo a diversificação da matriz energética. Os elementos teóricos que alicerçam tais conceitos serão em seguida detalhados.

2.1 Bioenergia

A grande escassez do petróleo, as mudanças climáticas geradas pela queima de combustíveis fósseis, somado às características da economia brasileira, pressiona o século XXI a aumentar a produção de energia a partir da biomassa. O aproveitamento de resíduos da produção de biomassa para a geração de eletricidade, calor e biocombustíveis, estão entre as melhores práticas para a geração de energia com sustentabilidade, desde que não inviabilizem outros usos importantes dos resíduos agrícolas. A recuperação do metano para a geração de energia gerado pela decomposição de resíduos urbanos (em aterros sanitários) ou agropecuários (dejetos de suínos e aves, por exemplo) dependendo da forma de gestão prévia destes resíduos, pode ser também uma alternativa que contribui para a sustentabilidade (MORET et al., 2006).

A Agenda Elétrica Sustentável 2020, divulgado pela WWF-Brasil (2006), demonstra o potencial de aumento da eficiência do setor elétrico e a possibilidade de dobrar a participação de fontes renováveis (biomassa, energia eólica, pequenas centrais hidrelétricas e solar térmica e fotovoltaica). A diversidade de tecnologias em energia renovável cria a modalidade conhecida como geração distribuída, onde produz energia para sistemas isolados ou junto a Unidade consumidora. A possibilidade de criação de fontes de suprimento descentralizadas e em pequena escala é fundamental para o desenvolvimento sustentável.

A partir da assinatura do Protocolo de Quioto, em 1997, a preocupação com a redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e as mudanças climáticas, também ganharam forças para a busca de alternativas mais limpas de produção de energia, suprimindo as necessidades econômicas e gerando menos impacto ambiental (FERREIRA JUNIOR e RODRIGUES, 2015). Como parte do Protocolo de Quioto, a geração de biogás ganha atenção devido às possibilidades decorrentes do mercado de carbono e as possibilidades de se gerar, utilizar e vender energia excedente (RIBEIRO e RAIHER, 2013).

2.2 Biomassa e biogás

A biomassa pode ser classificada como qualquer matéria orgânica passível de ser transformada em energia elétrica, mecânica ou térmica. Podendo ser de resíduos agrícolas, florestais e também de rejeitos urbanos e industriais, e o potencial energético varia de acordo com a matéria-prima e da tecnologia de processamento utilizada (ANEEL, 2008). Uma forma de aproveitamento da biomassa é o biogás. A utilização do biogás para a produção de energia não é uma novidade, é algo muito antigo e difundido mundialmente, há centenas de anos estudiosos pesquisam o grande potencial de gás gerado a partir de resíduos.

BIOGÁS NO MUNDO	
10 a. C.	Os primeiros relatos do biogás datam do século 10 a.C., da região da Assíria, quando o gás era usado para aquecer banhos.

1200	No século 13, o explorador Marco Polo conta que os chineses cobrem os tanques de esgoto, a fim de gerar energia, o que já era descrito na literatura do país oriental há muitos anos.
1600	Durante o século 17, o médico e químico belga Jan Baptista van Helmont prova que gases inflamáveis podem ser originados a partir de decomposição de matéria orgânica.
1700	Em 1776, o físico italiano Alessandro Volta conclui que existe uma relação direta entre a quantidade de material decomposto e a quantidade de gás inflamável produzido.
1800	1808: ano em que o químico inglês sir Humphry Davy anuncia que o metano está presente nos gases obtidos a partir da digestão anaeróbica do esterco bovino.
	A partir do século 19, surge uma fase mais tecnológica do biogás. O primeiro equipamento biodigestor foi criado em Mumbai, Índia.
	Em 1884, o cientista francês Louis Pasteur introduz na Academia de Ciências a ideia de que um gás pode ser usado para fins de aquecimento e iluminação.
	O sistema chega à Inglaterra em 1895, quando o biogás é produzido a partir do tratamento de uma estação de esgoto e usado para abastecer lâmpadas de uma rua da cidade de Exeter.
1900	Na Dinamarca, em 1920, o gás resultante do tratamento de águas residuais é usado, inicialmente, para aquecer um tanque digestor.
	A evolução da microbiologia, principalmente na década de 1930, contribui para identificar e estudar as bactérias anaeróbicas e as condições que permitem a produção de metano.
	Em 1957 o inventor britânico Harold Bates consegue converter esterco de galinha em combustível gasoso. O processo é descrito no documentário Bate's Car: Sweet as a Nut (1974), de Tony Ianzelo.
	O uso do biogás alcança destaque na Índia, em 1960, quando ganha força nas comunidades, que usam até hoje o combustível para cozinhar.
	A China segue o mesmo caminho e, nos anos 1980, instala inúmeros equipamentos em cidades.
	Os programas orientais inspiram os europeus - principalmente os ingleses - a investir ainda mais a tecnologia na década de 1980. Uma das razões é a intensa oscilação do preço do petróleo. O mundo inteiro começa a procurar por novas alternativas.
2000	Hoje, cerca de 1.483 usinas utilizam resíduos para produção de energia. O Japão lidera o ranking com 800 usinas, seguido pela Europa (452), China (100) e Estados Unidos (86). Na América do Sul o destaque é o Brasil.

Fonte: adaptado de Bley Jr., 2015.

Quadro 1 - Biogás no mundo

No Brasil, em 2002, foi instituído o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), com o objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos concebidos com base em fontes eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH) no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN). Uma das maiores usinas de energia a partir de biogás do mundo se encontra no estado de São Paulo, a usina termelétrica UTE Aterro Bandeirantes. Em 2013, o Aterro Gramacho, na Baixada Fluminense, tornou-se o único fornecedor de biogás do mundo exclusivo para uma refinaria de petróleo. No mesmo ano, 22 aterros já utilizavam o biogás para abastecer os lares de 1,67 milhões de brasileiros, e no Parque Tecnológico Itaipu, é instalado o Centro Internacional de Energias Renováveis (BLEY Jr., 2015).

O biogás é obtido a partir de digestão anaeróbica de matéria orgânica, basicamente, acontece durante a decomposição da matéria viva por bactérias microscópicas, onde as bactérias retiram da biomassa parte das substâncias de que necessitam para continuarem vivas, e lançam na atmosfera o biogás, que são os gases e o calor gerado. É uma mistura composta principalmente de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) (ANEEL, 2008).

Um metro cúbico de BIOGÁS equivale a :	0,613 litro de gasolina
	0,579 litro de querosene
	0,553 litro de óleo diesel
	0,454 litro de gás de cozinha
	1,536 quilo de lenha
	0,790 litro de álcool hidratado
	1,428 kW de eletricidade

Fonte: adaptado de Rodrigues, 2006.

Tabela 2 - Equivalência do Biogás

A variação do poder calorífico do biogás (de 5.000 a 7.000 kcal/m³) depende da quantidade de metano presente no mesmo. Quanto maior a quantidade de metano, maior será a pureza do biogás e, assim, maior será o seu poder calorífico. O biogás altamente purificado pode alcançar até 12.000 kcal/m³ (RODRIGUES, 2006).

O aproveitamento do biogás para fins de aquecimento, geração de energia elétrica ou como combustível veicular, traz benefícios estratégicos contribuindo como fonte alternativa de energia, benefícios ambientais colaborando com a mitigação do metano, um dos principais gases responsável pelo efeito estufa, benefício socioeconômicos com uso de equipamentos e insumos nacionais desenvolvendo a tecnologia nacional e no emprego de mão de obra qualificada e não qualificada nas várias etapas do processo (PAVAN, 2010). Nas indústrias, o biogás pode ser produzido em aparelhos simples chamados biodigestores (RODRIGUES, 2006).

2.3 Biodigestores

Os biodigestores são estruturas projetadas para produzir a degradação da biomassa residual, proporcionando condições para que alguns tipos de bactérias altamente consumidoras, provoquem uma degradação mais acelerada na matéria. Os biodigestores recebem alguns efluentes líquidos criando um ambiente sem oxigênio ajudando na liberação de gases, e com a ação de micro-organismos degradando a matéria, resulta no biogás. Todo esse processo acontece sem que haja qualquer tipo de contato com o ar, pois o biogás é canalizado e pode ser utilizado em processos de aquecimento, resfriamento ou geração de energia elétrica (COLATTO e LANGER, 2011).

As características dos resíduos, as necessidades de depuração, as disponibilidades de mão de obra e as condições de ordem econômica, interferem diretamente na escolha de um biodigestor. Um tipo de biodigestor que possui um sistema bastante simples e de pequena exigência operacional é o biodigestor descontínuo, no qual, é abastecido com os substratos de uma só vez, e, é mantido fechado por um período conveniente para fermentar a matéria orgânica e na sequência ser descarregada. Dependendo da demanda de biogás, da disponibilidade e da qualidade da matéria prima utilizada, o processo pode ser em um ou mais tanques anaeróbicos. Outro tipo, é o biodigestor contínuo, sendo este mais comum no Brasil, nos modelos clássicos da Índia e da China, bastante utilizados em comunidades rurais de

pequeno e médio porte. São biodigestores que necessitam de carregamento periódico, geralmente diário, para o uso de diversos resíduos orgânicos, de animais e vegetais (OLIVEIRA, 2012). O biodigestor modelo Chinês, funciona com abastecimento periódico e esvaziamento não-periódico, por ser feito dentro da terra, isola naturalmente a temperatura, mantendo-a constante, a parte superior deve ser protegida com materiais impermeáveis e não-porosos. Já o biodigestor modelo indiano tem abastecimento e esvaziamento periódicos, é mais difícil o isolamento por isso tem perdas de calor pela câmara de gás metálica, não sendo muito indicado para regiões de climas mais frios, geralmente é mais caro por depender do custo da campânula (GASPAR, 2003). Outro modelo igualmente utilizado que também ganhou espaço é o Canadense, modelo este construído de forma horizontal, ao contrário dos modelos Chinês e Indiano que são verticais. Os modelos canadenses possuem uma câmara de digestão unida a um gasômetro e são de largura e dimensões maiores que a profundidade, recebendo assim, maiores incidências de raios solares, favorecendo a degradação da matéria orgânica e o processo de geração do biogás (BONFANTE, 2010; MARTELLI, 2011).

As implantações de biodigestores nas propriedades rurais e indústrias em geral, podem variar em função do tamanho de cada propriedade e também em função da quantidade de animais e a capacidade de geração de resíduos. Com a escolha da melhor alternativa para a empresa, o investimento em biodigestores pode representar medidas muito eficazes no combate à poluição de rios, solos, lençóis freáticos, pode contribuir para destinação correta dos resíduos, diminuir a emissão dos gases de efeito estufa, ganhar inserção no mercado de carbono, e cada vez mais, tornar-se uma alternativa viável para a produção de energia (SANTOS e NARDI JUNIOR, 2013).

3 Metodologia

Quanto à classificação desta pesquisa, do ponto de vista dos objetivos, se caracteriza como exploratória, pois constitui primeiramente um levantamento bibliográfico proporcionando maior familiaridade com um tema, e descritiva, pois apresenta os procedimentos seguidos e resultados obtidos. Quanto à abordagem do problema, é quantitativa, em relação à análise bibliométrica do conjunto de artigos obtidos, e qualitativa, em relação a análise sistêmica do portfólio bibliográfico. Utiliza-se como procedimento técnico a pesquisa bibliográfica, uma vez que o portfólio bibliográfico se constitui de materiais (artigos) já publicados. Para a manipulação, remoção de artigos duplicados e tratamento dos mesmos utiliza-se do EndNote. No que diz respeito à amostra, considera-se os artigos científicos publicados nos principais periódicos disponíveis para acesso gratuito no Portal da Capes, entre o ano de 2011 e 2015 e a coleta de dados foi realizada em agosto de 2015.

4 Resultados e Discussão

Por meio do portal da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) foram consultadas as seguintes bases de dados: *ISI Web of Science*, *ScienceDirect*, *Scielo* e *Scopus*. Na consulta dos periódicos, primeiramente como palavra chave na língua inglesa buscou-se o termo "biodigester", na sequência realizou-se uma nova busca também na língua inglesa o termo "bioenergy". A seguir definiu-se como palavras chaves a combinação dos dois termos na língua inglesa: "biodigester" and "bioenergy". Na sequência foram aplicados dois filtros de seleção. O primeiro foi relacionado ao tipo de documento, no qual foi selecionado o tipo "article" ou "journals", uma vez que somente esses passam por processos de avaliação por pares na sua versão completa. Não foram considerados livros, dissertações e teses, pelo fato de o portal da CAPES divulgar um número relativamente limitado desses tipos

de publicação. O segundo filtro considerou todos os artigos publicados nos últimos cinco anos (2011-2015), porém foram analisados os artigos publicados até julho de 2015, pois o período de busca e análise ocorreu em agosto de 2015.

Na primeira etapa de seleção dos artigos foram encontrados 331 artigos brutos com reconhecimento científico para o termo "biodigester" (Tabela 1).

Base de dados	Artigos (n)
ISI Web of Science	47
ScienceDirect	191
Scielo	9
Scopus	84
Total	331

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 3: Banco de artigos nas bases de dados para o termo "biodigester"

Na segunda etapa foram encontrados 22.003 artigos brutos com reconhecimento científico para o termo "bioenergy" (Tabela 2).

Base de dados	Artigos (n)
ISI Web of Science	5.611
ScienceDirect	10.476
Scielo	51
Scopus	5.865
Total	22.003

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 4: Banco de artigos nas bases de dados para o termo "bioenergy"

Finalizando a busca com a combinação dos dois termos "biodigester" and "bioenergy", foram encontrados apenas 57 estudos (Tabela 3).

Base de dados	Artigos (n)
ISI Web of Science	3
ScienceDirect	51
Scielo	0
Scopus	3
Total	57

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 5: Banco de artigos nas bases de dados para a combinação dos termos "biodigester" and "bioenergy"

Utilizou-se do EndNote para a manipulação, remoção de artigos duplicados e tratamento dos mesmos. Ao retirar as publicações duplicadas e as publicações não disponíveis com acesso livre, resultaram em 52 artigos. Após a leitura de todos os artigos, chegou-se a um montante de 7 artigos que referiam-se ao mesmo tempo os temas biodigestores e bioenergia. Na etapa do levantamento do Portfólio Bibliográfico pode-se analisar que é grande o número de publicações com relação ao tema de bioenergia, não tão vasto o número de publicações referente a biodigestores e pode-se inferir que a combinação dos dois temas ainda foi pouco estudado.

Portfólio bibliográfico	
1	ARTHUR, R. et al. Biogas generation from sewage in four public universities in Ghana: A solution to potential health risk. <i>Biomass and Bioenergy</i> , v.35, n.7 , p.3086-3093, 2011.
2	FLESCH, T. K. et al. Fugitive methane emissions from an agricultural biodigester. <i>Biomass and Bioenergy</i> , v.35, n.9 , p.3927-3935, 2011.
3	WALTER BORGES DE OLIVEIRA, S. V. et al. Generation of bioenergy and biofertilizer on a sustainable rural property. <i>Biomass and Bioenergy</i> , v.35, n.7 , p.2608-2618, 2011.
4	OKELLO, C. et al. Development of bioenergy technologies in Uganda: A review of progress. <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i> , v.18, p.55-63, 2013.
5	RIBEIRO, M. F. S. e RAIHER, A. P. Potentialities of energy generation from waste and feedstock produced by the agricultural sector in Brazil: The case of the State of Paraná. <i>Energy Policy</i> , v.60, p. 208-216, 2013.
6	CHENG, S. et al. Development and application of prefabricated biogas digesters in developing countries. <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i> , v.34, p. 387-400, 2014.
7	SOVACOL, B. K. et al. Scaling and commercializing mobile biogas systems in Kenya: A qualitative pilot study. <i>Renewable Energy</i> , v.76, p. 115-125, 2015.

Fonte: Dados da pesquisa.

Quadro 2 - Portfólio final de artigos

A etapa da Análise Bibliométrica do Portfólio Bibliográfico foi realizada por meio da descrição dos seguintes parâmetros: publicações, periódicos, bases de dados e JCR.

Nº	Publicações	Periódicos	Bases	JCR
1	Biogas generation from sewage in four public universities in Ghana: A solution to potential health risk	Biomass and Bioenergy	ScienceDirect	3,394
2	Fugitive methane emissions from an agricultural biodigester	Biomass and Bioenergy	ScienceDirect	3,394
3	Generation of bioenergy and biofertilizer on a sustainable rural property	Biomass and Bioenergy	ISI Web of Science	3,394
4	Development of bioenergy technologies in Uganda: A review of progress	Renewable and Sustainable Energy Reviews	ScienceDirect	5,901
5	Potentialities of energy generation from waste and feedstock produced by the agricultural sector in Brazil: The case of the State of Paraná	Energy Policy	ScienceDirect	2,575
6	Development and application of prefabricated biogas digesters in developing countries	Renewable and Sustainable Energy Reviews	ScienceDirect	5,901
7	Scaling and commercializing mobile biogas systems in Kenya: A qualitative pilot study	Renewable Energy	ScienceDirect	3,476

Fonte: Dados da pesquisa.

Quadro 3: Análise Bibliométrica do Portfólio bibliográfico (agosto/2015)

Referente à base de dados destaca-se a ScienceDirect por disponibilizar 6 dos 7 artigos selecionados para este estudo, o periódico Biomass and Bioenergy foi o que mais apresentou artigos com relação ao tema, e todos os periódicos selecionados são classificados pelo JCR.

O critério de inclusão adotado na etapa da análise sistêmica compreendeu abordar uma descrição sobre tipos de Biodigestores. O Quadro 4 mostra as publicações que contribuíram para a temática, descrevendo os diferentes tipos, materiais e tecnologias dos biodigestores utilizados para a produção de energia elétrica em diversos países.

Nº	AUTORES	PAÍS	DESCRIÇÃO DO BIODIGESTOR
1	ARTHUR, R. et al. (2011)	Gana	Digestor concreto: O estômago (digestor) da planta é construído por vazamento de betão (1: 3: 3 mistura de cimento, pedra esmagada, e areia) com a ajuda de um molde de aço. O volume do digestor varia de acordo com a estrutura; os dois tamanhos básicos são 6 e 10 metros cúbicos. Pescoço e cobre: A parte redonda acima do digestor é conhecido como o pescoço. Isto também é feito com a ajuda de uma estrutura de aço. O pescoço é essencial para a fixação do gasômetro. O nível de água acima da gasholder no pescoço determina a pressão do gás. O pescoço é coberto com cinco tampas de concreto (lajes). Gasômetro: Ou gasholder é feito de fibra de vidro reforçada que é 100% de ar e impermeável à água. O diâmetro do suporte de gás é 1,6 m; o volume varia em função da altura.
2	FLESCH, T. K. et al. (2011)	Canadá	A utilização Sistema Integrado de estrume (IMUS) um biodigestor desenvolvido por Highmark Renewables Inc. eo Conselho de Pesquisa Alberta. Opera ao lado de um confinamento de gado de corte (capacidade de 36.000 cabeças) e usa digestão anaeróbia para a produção de biogás a partir de estrume de gado, bem como outras matérias-primas orgânica. Formado por: tanques de digestor negros; funil de matéria-prima que entra na instalação de matéria-prima; tenda fertilizante em que os sólidos são separados a partir do digerido; lagoa escoamento; alargamento do gás; anemômetro sônico leste da instalação; e refletor a laser do metano.
3	WALTER BORGES DE OLIVEIRA, S. V. et al. (2011)	Brasil	Três biodigestores chamados "minibiodigesters", cuja construção é simples e rápido. Consiste em cavar uma trincheira com uma terra máquina de escavação, que reveste o fundo e os lados da trincheira com uma lona plástica para evitar a percolação do líquido no chão e cobrindo este "tanque" com outra lona, que infla quando o biogás é produzido. Após os dias de degradação, o resíduo dos biodigestores é transferido para uma vala aberta, também alinhada com a lona, ao lado dos biodigestores, onde o fertilizante organomineral é recolhido. Para reduzir o poder de corrosão do biogás, um purificador sob a forma de uma bobina foi construído alguns metros de profundidade, por meio do qual o biogás passa. Além dos purificadores enterrados, existem mais dois filtros anteriores ao compressor.
4	OKELLO, C. et al. (2013)	Uganda	Biodigestor usado é o projeto de cúpula-fixa que foi modificado a partir do projeto do chinês pelo Centro de Mecanização Agrícola e Tecnologia Rural (CAMARTEC) na Tanzânia. O design CAMARTEC biodigestor geralmente é construído abaixo da superfície. Os volumes de digestores variam de 8 m ³ para 16 m ³ .
5	RIBEIRO, M. F. S. e RAIHER, A. P. (2013)	Brasil	A tecnologia de digestão anaeróbia começou com os modelos chineses e indianos. Atualmente são produzidos numa base comercial: o gasômetro em PVC; o digestor tubular; o reator anaeróbio e o reator anaeróbio de manta de lodo.

6	CHENG, S. et al. (2014)	Bolívia, Cuba, Peru, Equador, Colômbia, América Central e México.	Uma estrutura tubular selado, constituído por um longo cilindro feito de cloreto de polivinilo (PVC), polietileno (PE), ou lama vermelha de plástico. No modelo de tubo PE low-cost ou saco digestor, ambas as extremidades de um filme PE tubular com duas camadas de 300 mm são dobrados em torno de um cano de PVC de 6 polegadas. Este filme é então enrolada com uma pulseira de borracha de pneus reciclados de tubos para produzir um sistema isolado hermética.
		Bangladesh, Camboja, Nepal e Vietnam	O digestor FRP é composto de duas partes (ou seja, o hemisfério superior e o hemisfério inferior), cada um dos quais pode ser dividido em oito partes. Este digestor pode ser desmontado em 16 peças de tamanho igual que podem ser empilhadas para o transporte fácil. As matérias-primas de digestores FRP compreendem poliéster insaturado, resina revestidos com gel, tapete de fibra picada, e de alta qualidade pano de fibra de vidro. A superfície interior do digestor FRP é pintado com uma resina revestido por gel para assegurar a vedação.
		Índia	A forma do reservatório é tipicamente cilíndrico, e as plantas são pré-fabricadas com menos de 6 m ³ . O gasômetro de ferro-cimento de cúpula-fixa requer medidas especiais de vedação; a confiabilidade é comprovada por folha de cimento-on-alumínio. As unidades de biogás de Ferro-cimento são recomendados apenas nos casos em ferro-cimento especial está disponível. Cimento de bambu pode ser usado como uma alternativa para o ferro-cimento. Khadi Aldeia Indústrias Comissão (KVIC) na Índia tentaram inicialmente usar bambu na construção do digestor; no entanto, esta experiência falhou porque os bambus foram atacadas por ratos.
		Não informado	Este digestor tem várias características de engenharia construídas para obter a máxima eficiência do processo em termos de redução sólido, alta taxa de carregamento, e baixo tempo de retenção hidráulica e para evitar problemas operacionais. Este novo e compacto digestor de alta velocidade pode ser pré-fabricados utilizando diferentes materiais de construção, tais como folha de metal, FRP (plástico reforçado com fibra), HDPE (polietileno de alta densidade), PP (polipropileno), ou RCC (concreto cimento reforçado).
		Índia	A unidade de biogás compacta ARTI é um biodigestor de cúpula flutuante feito de dois tanques de água PEAD cut-down, que são tipicamente de 0,75 m ³ e 1 m ³ de volume; as funções do tanque menor é a retenção de gás na parte superior e o tanque maior serve como o digestor na parte inferior. Este modelo ganhou o Ashden Award 2006 para a Energia Sustentável na categoria Segurança Alimentar
		Suécia	Um digestor portátil foi construído a partir de tecidos fornecidos pelo FOV Tecidos AB, Suécia. A forma do digestor se assemelha a uma pirâmide com um volume de trabalho de 100 L.
		Malásia	Digestor típico portátil formado por: 1- tubo de gás; 2-Parte superior; 3-Selo; 4-Parte inferior; 5- Anel de vedação; 6-Flange; 7- Tubo conectando; 8- cotovelo 90°; 9 portão-butterfly; 10 placa-cego; 11- Anel de vedação; 12 Entrada; 13 - Capa; 14- Saída; 15 Escória.
		África do Sul	Modelo biodigestor é enterrado no chão como um tanque séptico. É mais adequado para aplicações rurais muitas vezes substituindo fossas sépticas, e em ambientes formais de esgoto onde a aplicação está abaixo do solo com a profundidade de entrada de esgoto de 330 mm.
7	SOVACOO L, B. K. et al. (2015)	Quênia	O sistema flexi-biogás (FBS), utiliza um balão (ou tubo) digestores feitas de um polietileno ou PVC saco. O típico de FBS inclui quatro partes principais: tubos de entrada e de saída de um saco de plástico, plástico reforçado digestor, tubos de plástico para o transporte de biogás para a casa ou o armazenamento, e uma cobertura estufa de plástico.

Fonte: Dados da pesquisa.

Quadro 4: Análise Sistêmica do Portfólio bibliográfico

Considerando os resultados apresentados pelos 7 artigos, a análise permite inferir que existe uma variedade de biodigestores, sendo em diferentes tecnologias, materiais para a construção, tamanho, modelo fixo ou para transporte, etc., podendo influenciar diretamente nos custos e rendimentos com a construção de um biodigestor para a produção de energia elétrica.

5 Conclusão

O objetivo deste trabalho de apresentar um levantamento bibliográfico dos temas biodigestor e bioenergia foi atingido. A interpretação da análise bibliométrica e sistêmica dos artigos recuperados, permite deduzir que a combinação dos dois temas biodigestor e bioenergia precisa amadurecer, tendo em vista a pouca quantidade de publicações de forma mais específica e aprofundada dos diferentes tipos de biodigestores que atuam na produção de energia, existindo assim uma lacuna relacionada a estudos prescritivos.

O desenvolvimento de estudos cuja finalidade tenha foco em investigações mais aprofundadas nos diferentes tipos de biodigestores, contribui com a academia e com o aumento da maturidade das pesquisas relacionadas ao tema, auxiliando os gestores na escolha da tecnologia ideal para o seu ramo de atividade, representando medidas muito eficazes na destinação correta dos resíduos, diminuindo a emissão dos gases de efeito estufa, ganhando inserção no mercado de carbono, e principalmente tornando-se uma alternativa viável para a produção de energia.

Referências

ANEEL. *Agência Nacional de Energia Elétrica. Atlas de energia elétrica do Brasil.* 3 ed. – Brasília: Aneel, 2008.

BLEY Jr., C. *Biogás: a energia invisível.* 2º ed. – São Paulo: CIBiogás; Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2015.

BONFANTE, T. M. *Análise da viabilidade econômica de projetos que visam à instalação de biodigestores para o tratamento de resíduos da suinocultura sob as óticas do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e da geração de energia.* 2010. 175 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Administração de Organizações da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo. Ribeirão Preto, 2010.

COLATTO, L. LANGER, M. *Biodigestor: resíduo sólido pecuário para produção de energia.* Unoesc & Ciência, Joaçaba, v. 2, n. 2, p. 119-128, jul./dez. 2011.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. *PDE 2020 – Plano Decenal de Expansão de Energia.* Rio de Janeiro, junho de 2011.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. *PDE 2023 – Plano Decenal de Expansão de Energia.* Rio de Janeiro, outubro de 2014.

FERREIRA JUNIOR, J. C. G., RODRIGUES, M. G. *Um estudo sobre a energia eólica no Brasil.* Ciência Atual, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 02-13, 2015.

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. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

GUERRA, J. B. S. O. A., et. al. *Future scenarios and trends in energy generation in brazil: supply and demand and mitigation forecasts.* Journal of Cleaner Production. v. 103, n.15, p. 197–210, set. 2015.

MARTINS, V. A. *Análise do potencial de políticas públicas na viabilidade de geração distribuída no Brasil.* 2015. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015.

MORET, A., et. al. *Critérios e indicadores de sustentabilidade para bioenergia. In: Fórum Brasileiro de Ong's e Movimentos Sociais para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento.* Brasília/DF, 2006. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/meio1_000ga8tx91902wx5ok047vs6le5iqpfd.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2015.

OLIVEIRA, A. J. *Estudo da viabilidade econômica do uso do biogás, extraído da suinocultura, como fonte de energia elétrica renovável.* 2012. 50 f. Dissertação (Mestrado Ecologia e Produção Sustentável) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás. GIOÂNIA, 2012.

PAVAN, M. C. O. *Geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos: avaliação e diretrizes para tecnologias potencialmente aplicáveis no Brasil.* 2010. 186 f. Tese (Doutorado em Energia) - Programa de Pós Graduação em Energia. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

RIBEIRO, M. F. S.; RAIHER, A. P. *Potentialities of energy generation from waste and feedstock produced by the agricultural sector in Brazil: The case of the State of Paraná.* Energy Policy, v. 60, p. 208-216, set. 2013.

RODRIGUES, P. H. F., et. al. *Avaliação de empresas start-up por Opções Reais: o caso do setor de biotecnologia.* Gestão & Produção, São Carlos, v. 20, n. 3, p. 511-523, 2013.

SANTOS, E. L. B., NARDI JUNIOR, G. *Produção de biogás a partir de dejetos de origem animal.* Tekhne e Logos, Botucatu, v. 4, n. 2, ago., 2013.

WWF-Brasil. *Agenda elétrica sustentável 2020: estudo de cenários para um setor elétrico brasileiro eficiente, seguro e competitivo / WWF-Brasil — Brasília, 2006.*