ESTUDO PROSPECTIVO DA CADEIA PRODUTIVA DO BIOGÁS

TECHNOLOGY FORESIGHT OF THE BIOGAS PRODUCTION CHAIN

Rafaela Lora Grando[1]
Adelaide Maria de Antunes[2]
Fabiana Valéria da Fonseca[3]

Resumo

As emissões antrópicas de metano são um problema recorrente na atualidade. Sabe-se que é possível sua minimização através do aproveitamento de resíduos, efluente e da biomassa. Uma tecnologia disponível para este uso consicente de resíduos é a tecnologia de digestão anaeróbia que produz biogás e energia. Neste estudo, utilizou-se uma análise bibliométrica de artigos científicos para elaboração de uma revisão sobre o assunto visando suscitar uma discussão e fornecer um panorama sobre a cadeia produtiva do biogás. Através da análise da cadeia produtiva do biogás, verificou-se que o elo de insumos é o mais pesquisado, seguindo do processo de biodigestão. O elo que apresenta os maiores desafios em termos tecnológicos foi o de purificação. Quanto aos países mais engajados no aproveitamento do biogás são a China, a Alemanha e os Estados Unidos. Ressaltasse que a tecnologia de digestão anaeróbia tem aumentado de forma continua em todo o mundo, verificado pelo acréscimo na quantidade de publicações cientificas. Ademais em função de ações estratégicas governamentais, pactos ambientais realizados a nível global e pelo vislumbre das indústrias em utilizar o processo de biodigestão anaeróbia como um tratamento eficiente de resíduos e efluentes esta tecnologia tem se destacado.
Palavras-chave: Biogas. Digestão Aneróbia. Prospecção tecnológica. Revisão da literatura.

Abstract

Methane anthropogenic emissions are a recurring problem nowaday. It is known that it is possible to minimize them through the use of waste, wastewater and biomass. Due the use of waste is anaerobic digestion technology it is possible to produce biogas and energy. In this study, we used a bibliometric analysis of scientific articles for a original review of the biogas chain. Analyzing the scientific literature of biogas and anaerobic digestion, it was found that the input link is the most studied, following the digestion process. The link that presents the greatest challenges in terms of technology was the purification. The most engagede country in biogas utilization are China, Germany and the United States. It is emphasized anaerobic digestion technology is raising continuously throughout the world, verified by the increased of scientific publications. Furthermore due to government strategic, environmental impacts at

[1] Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em processos químicos e bioquímicos, Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil; . Endereço eletrônico rafaelalg@hotmail.com Telefone de contato: (021) 997885967
[2]Professora Emérito da Universidade Federal do Rio de Janeiro; Especialista Sênior, Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI), Rio de Janeiro, Brasil;
[3]Professor da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

the global level and the glimpse of the industries using the process of anaerobic digestion as an efficient waste treatment and waste this technology has been highlighted.
Keywords: Biogas. Anaerobic Digestion. Technological Prospection. Literature overview.

1 Introdução

Os beneficios ambientais e sociais promovidos pelo aproveitamento da biomassa e utilização da tecnologia da digestão anaeróbia (DA) para produzir biogás são inúmeros, além de que esta cadeia produtiva tem movimentado montantes cada vez maiores. A geração, produção e transporte de biogás responderam por U$ 125,4 milhões em 2011 e há previsão de que este valor alcance U$ 442,4 milhões até o ano de 2018, com uma taxa de crescimento anual composta de 17,4%. (REPORTER LINKER, 2015). Por conseguinte, verifica-se a importância de se estudar os insumos (matérias-primas); o processo de biodigestão, as formas de purificação deste recurso energético e sua aplicação. Todas estas etapas que compõe a cadeia produtiva do biogás devem ser vistas em detalhes, a partir de um mapeamento ambrangente de todos os elos de uma cadeia, novas oportunidades podem ser vislumbradas. O objetivo deste estudo é proporcionar uma visão sistemica da cadeia produtiva do biogás. Uma abordagem ampla para se delimitar os elos integrantes da cadeia, o que está sendo estudados, quais são os países que mais se dedicam a pesquisas sobre biogás e como estes já fazem a aplicação comercial desde recurso energético será apresentado. Atráves de um estudo bibliométrico associado a uma profunda prospecção tecnológica espera-se monitorar o estado da arte da cadeia produtiva do biogás de forma ampla, visando à identificação dos *gaps* tecnológicos. Na literatura poucos são os estudos que oferecem um panorama sobre o biogás, e quando estes são realizados detem-se a pesquisas de prospecção tecnológica que basicamente descrevem estudos de caso, não retratando, portanto, a realidade global nem as os desafios que ainda precisam ser superados.

1.1 Biogás

O biogás é um produto versátil podendo ser transformado em calor, combustível, e produtos químicos. Estima-se que 1,6 trilhões de pés cúbicos de biogás bruto serão produzidos anualmente por biodigestores comerciais e captados de aterros sanitários em todo o mundo até 2022. Este aumento está associado, especialmente ao fato de que seu aproveitamentro representa um ganho para empresas: de coleta de resíduos (aterros), vinculadas a agricultura (resíduos agrícolas), de tratamento de efluentes (instalações de tratamento de águas residuais),

dentre outras. A maior parte do biogás é atualmente produzido e utilizado para geração de energia e de calor (LAWRENCE, 2012).

O biogás é produzido pela decomposição de resíduos com composição majoritariamente orgânica. É um gás com alto teor energético, sendo seu principal constituinte o gás metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2). Sua formação se dá pela ação microbiana na ausência de oxigênio. Entretanto sua composição é bastante variável, dependendo além da matéria orgânica usada no processo biodigestão, as condições nas quais o processo de fermentação é submetido (APPELS et al., 2011).

É importante notar que outros gases participam da composição do biogás em proporções menores. Muito embora a literatura aponte diferenças na composição do gás, como apresentado, independente da matéria prima utilizada sua composição é majoritariamente metano e gás carbônico. Contudo, de acordo com as composições centesimais destas matérias-primas a quantidades de biogás e metano produzidos varia. Sabe-se que o teor de carboidratos, gorduras e proteínas é o que mais influência nesta variação. Na Tabela 1 está apresentada a influência dos principais constituintes de matérias orgânicos, na composição final do biogás. Nesta observa-se que os carboidratos são os que propiciam os menores rendimentos finais de metano.

Tabela 1- Rendimento do biogás e proporção de metano variando com de com o substrato

Classe nutricional	Rendimento em Biogás (l/ Kg de sólidos voláteis)	Proporção de metano %
Gorduras	1.000 – 1250	70-75
Proteínas	600-700	68 - 77
Carboidratos	700-800	50 - 55

Fonte: (PETERSSON & WELLINGE, 2009).

A matéria-prima utilizada para a produção de biogás através de processo de fermentação deve atender a uma série de requisitos para que o processo tenha sua eficiência garantida. O mais importante é que um ecossistema favorável para o desenvolvimento e atividade metabólica dos micro-organismos envolvidos no processo seja criado, para tanto, de acordo com Dobre, Matei e Nicolae (2014), o meio de fermentação deve ter as seguintes características: Matéria orgânica biodegradável; uma faixa de pH entre 6,8-7,3; Relação C / N deve ser entre 15 e 25; Não deve conter substâncias inibidoras de micro-organismos como detergentes, antibióticos, anti-sépticos, anti-micóticos, entre outros agentes bactericidas e/ou bacteriostáticos.

A produção do biogás é feita basicamente através de duas técnicas: A primeira refere-se ao uso do gás de lixo gerado em aterros sanitários, sendo este biogás um subproduto

intrínseco desta atividade de deposição dos resíduos sólidos urbanos (RSU) nos aterros sanitários. A segunda forma de se obter biogás consiste no uso de digestores, equipamentos específicos que fazem a decomposição do resíduo, gerando biogás como produto de interesse (APPELS et al., 2011). Mesmo tendo natureza distinta estas técnicas, de captação ou geração - possuem grandes semelhanças, e utilizam o mesmo processo de digestão anaeróbia para obtenção do biogás. Ambos os processos servem apenas para o tratamento de resíduos que possuem uma natureza orgânica, ademais o custo de instalação e manutenção destes sistemas de tratamento é relativamente baixo quando se comparado ao custo benefício de outras técnicas, como a incineração, por exemplo (VALLEJO; MONTEIRO, 2013).

De acordo com Castanho e Arruda, (2008) biodigestores são constituídos de um misturador, onde a matéria prima e a água são uniformizadas; uma câmara, onde ocorre a fermentação anaeróbia; uma válvula, onde sai o biogás; e uma saída para que o biofertilizante seja retirado. Vale ressaltar que os equipamentos utilizados para produção de biogás usualmente estão divididos de acordo com sua finalidade, para uso agrícola e para uso sanitário.

Quanto a sua aplicação usualmente o biogás é convertido em energia elétrica. No caso da geração de eletricidade há a transformação da energia química da molécula de metano em energia mecânica por meio de uma reação de combustão controlada. Essa energia mecânica é então utilizada para movimentar um gerador que por fim a converte em energia eléctrica. Outras aplicações como o uso direito como combustível ou a co-geração são utilizadas, mais recentemente a o uso de tecnologias emergentes de células de combustível tem sido estudo para utilização do biogás (COSTA, 2011).

De acordo com a *Global Inteligence Alliance,* (2010), estão em alta os processos de purificação do biogás que permitam produzir calor e energia, melhorar a composição do biogás viabilizando sua substituição com o gás natural. Esses processos permitam extrair substâncias químicas, tais como CO_2 e processos para condensação de biogás em líquido permitindo sua estocagem.

2 Metodologia da Prospecção

Como descrito anteriormente esta pesquisa é uma análise prospectiva que aborda uma investigação empírica das publicações acadêmicas. Esta pesquisa se dividiu em várias etapas estas são resumidamente apresentadas na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**.

Tabela 2 - Etapas feitas para realização deste estudo prospectivo

	Etapa	Descrição
1	Seleção da base de dados para recuperação da informação	Foi utilizada a base de dados Web of Science, para recuperação de artigos. Consideraram-se somente textos científicos e publicados no idioma inglês de 2010 até o abril de 2015
2	Elaboração da estratégia e período de análise	Foram procuradas no título das publicações palavras como: biogas, landfill gas, biomethane e suas sinonímias. Operadores boleanos e aspas entre palavras foram utilizados, isso permite que somente o termo de interesse seja recuperado, evitando assim que documentos de assuntos correlatos sejam associados como resíduo na busca.
3A	Tratamento dos dados recuperados	Análise semi-qualitativa uso do *software Vantage Point*®. que consistiu na leitura de alguns artigos de forma randômica, bem como a categorização em grupos de interesse por palavras-chave no resumo das publicações. Estes elementos, identificados na literatura, serão a base das análises dos dados.
3B	Tratamento dos dados recuperados	Associação de palavras chave nos resumos das publicações para mapeamento dos elos da cadeia
4	Análise e transformação dos dados em informação	Identificação dos gargalos tecnológicos, soluções e oportunidades futuras

3 Resultados e Discussão

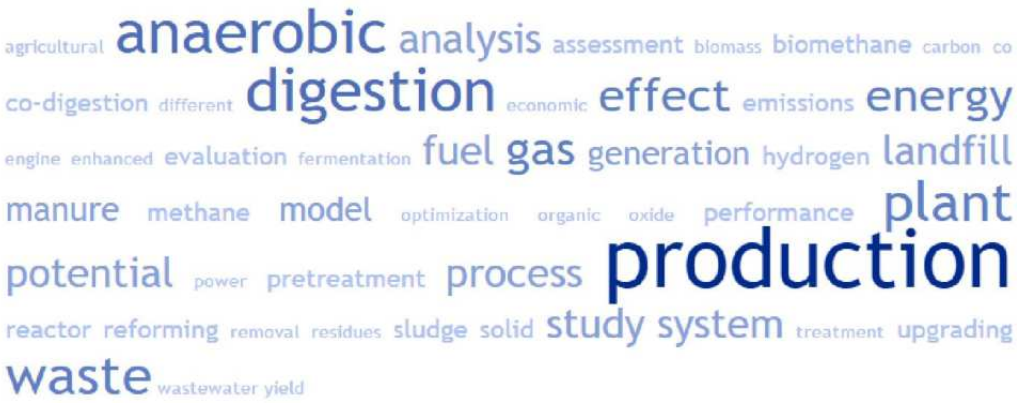
3.1 Visão geral e delineamento da cadeia produtiva

Para fornecer um panorama sobre o tema destas publicações, uma análise de relevância das palavras apresentadas no título das publicações é apresentada. Na nuvem de relevância de palavras, (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), é possível se extrair informações importantes sobre o foco que os estudos acadêmicos possuem dentro da tecnologia DA e a produção de biogás.

O termo repetido com maior frequência é “production”, deixando claro que a intenção das publicações é avaliar a produção do biogás ou ainda o “process”, “effect” ou “potencial“. Nota-se que a codigestão foi um tema recorrente, bem como o pre-tratamento.

Com a extensa revisão bibliográfica realizada, foi possível estruturar a cadeia produtiva do biogás, conforme Figura 2. Foram identificadas as etapas fundamentais para que o biogás seja produzido e utilizado comercialmente. Nesta análise também se identifica o grau de relevância que cada elo possui, ou seja, qual a intensidade dos estudos feitos em cada estágio da cadeia. É importante se mencionar que foram desconsiderados na nuvem de palavras os seguintes termos: biogás, anaerobic e digestion.

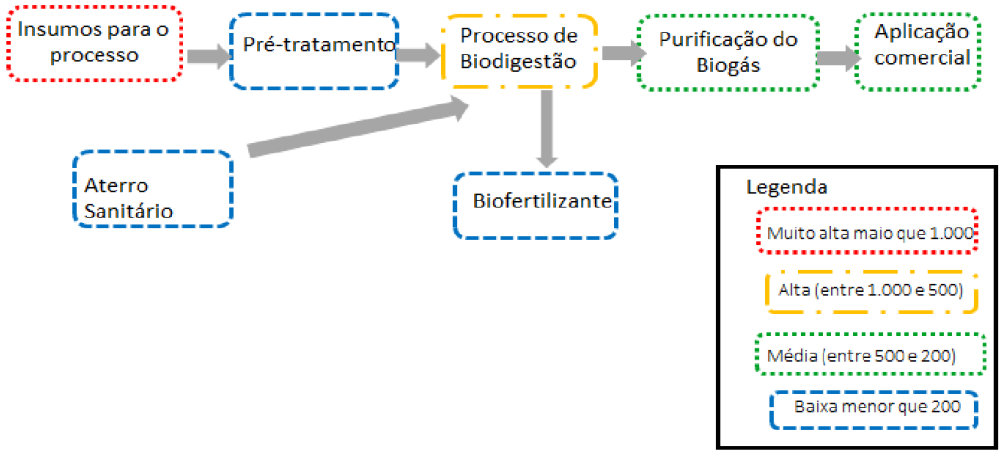
Figura 1 – Correlação de frequência entre as palavras presente nos títulos das pesquisas sobre biogás



Duas considerações devem ser feitas, o número total de ocorrências é maior do que a quantidade total de artigos recuperados, uma vez que um mesmo artigo às vezes está presente em mais de um elo da cadeia. Os artigos que tratam de processo estão em grande parte também no elo de insumos, por exemplo. Adicionalmente ressalta-se que 187 publicações recuperadas não foram enquadradas em nenhum dos elos da cadeia porque se tratavam de revisões comparativas do biogás com outras fontes de energias renováveis, estas foram utilizadas como base para revisão téorica do estudo.

Na cadeia produtiva - devido a sua complexidade - o aterro sanitário foi considerado uma fonte de biogás a parte. Este foi integrado a cadeia a partir do processo de biodigestão, uma vez que a partir desta etapa os elos seguintes são comuns a todas as fontes de matéria orgânica independete de sua origem. Foram poucas as publicações que mencionavam biogás oriundo de aterros sanitários no total, apenas 185 publicações tinham em seu resumo esta palavra.

Figura 2 - Elos da cadeia produtiva do biogásidentificados na prospecção tecnológica



Pela análise dos artigos, verificou-se que a grande maioria das pesquisas desenvolvidas ainda estão focadas no estudo de matérias-primas potenciais para o processo de biodigestão. Sendo que 1.335 publicações mencionam algum tipo de matéria-prima em seu resumo, deixando implícito o estudo de algum insumo no processo. Entretanto há uma grande associação destes artigos do elo de matéria-prima ao elo de processo, o que demonstra que as pesquisas tendem a analisar não somente um resíduo potencial, mas também de que forma este pode gerar biogás.

É relevante se mencionar que durante o período analisado, observou-se que estas publicações referentes aos insumos utilizados no processo seguiram um ritmo crescente nos anos analisados, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 e 2015, alcançando seu ápice em 2014 com 341 publicações. A etapa seguinte da cadeia produtiva, pré tratamento - é uma etapa considerada opcional para muitos autores sendo extritamente necessária para as matérias-primas lignocelulósicas e amiláceas. Esta pode ser desde uma simples diluição até um pré tratamento sofisticado para liberação de açúcares. O terceiro elo considerado neste estudo foi o processo em si, estão aqui publicações referentes a: (i) equipamentos, (ii) estudos que melhoram o processo ou rendimento, (iii) avaliam melhora nas condições, (iv) estudam micro-organismos potenciais para o processo de biodigestão. Neste elo da cadeia 928 artigos foram considerados.A quarta fase da cadeia é a etapa de purificação do biogás, esta é uma etapa crucial para que o conteúdo com valor energético, o metano, possa ser separado dos demais componentes da mistura neste elo foram quantificados 619 publicações. O último elo da cadeia produtiva se refere à aplicação do biogás este abarca 569 das ocorrências de publicações.

3.1.1 Insumos para o processo

Para que ocorra a produção de biogás é necessário que se tenha a presença de matéria orgânica, biomassa, em ausência de oxigênio, anaerobiose. De acordo com a *Global Intelligence Alliance,* (2010) o potencial de produção do biogás pode ser assim divido: 75% está contido em matérias primas provenientes da pecuária e da agricultura, 17% corresponde a resíduos sólidos urbanos, 8% do potencial está contido em lodos, lamas e águas residuais. O relatório ainda menciona que a fatia de 75% pode crescer para 85% quando forem considerados resíduos orgânicos de processos industriais (5%) e resíduos como restos alimentares (5%). Sendo assim é natural que o interesse da comunidade acadêmica esteja voltado para a busca e o aproveitamento de novas matérias-primas. Na figura 3 é possível se observar a origem dos resíduos mais recorretes nas publicações acadêmicas.

Estima-se que grande parte do teor orgânico presente nos RSU, está associada ao desperdício de alimentos, segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), um terço dos alimentos produzidos no mundo por ano é desperdiçado – o equivalente a 1,3 bilhão de toneladas (BOJANIC, 2014).

Encontrou-se neste estudo de prospecção que os resíduos da produção agrícola e agropecuária são os insumos mais utilizados. De acordo com o Zafar, (2014), a utilização mais expressiva destes resíduos está associada a facilidade do setor agrícola em realizar co-digestão deste material (resíduo agrícola + resíduo agropecuário).

Figura 3 - Possíveis fontes de geração de biogás (Fonte: Elaboração própria de acordo com dados da base web of Science).



Em acréscimo, Malaggi e Souza, (2014) reiteram que estes dejetos (agrícolas e agropecuários) possuem um alto teor de matéria orgânica e estão disponíveis para o aproveitamento energético. Uma das formas, tecnologicamente e economicamente viáveis é a utilização de biodigestores, para fermentação destes resíduos com geração de biogás e seu

consequente aproveitamento energético. Sendo assim o uso do processo de biodigestão no campo, onde há forte presença de resíduos agrícolas e agropecuários pode se tornar bastante rentável. Estas caracterterísticas tornar a produção de biogás uma opção factível para países como Brasil e outros países que pautam sua economia em agricultura e pecuária.

Verifica-se que ainda não há um consenso na literaruta sobre a melhor matéria-prima, os estudos estão em fase exploratória, são muitos estudos em andamento e a escolha do insumo adequando depende de diversos fatores. Estes fatores geralmente estão associados a: localização geográfica e o clima onde o biogás será produzido, os recursos disponíveis localmente os investimentos disponíveis. Além disso, os estímulos governamentais como o surgimento de politicas que visem fomentar o aproveitamento integral da biomassa proporcionam um aumento no surgimento destes estudos.

Por fim, é importante ressaltar que no caso dos artigos muitos foram os estudos que vinculavam matérias primas oriundas de processos agrícolas e agropecuários. Contudo quando avaliada a realidade de mercado observou-se que a resíduos agricolas são muito pouco pesquisados além das fronteiras das universidades. Sendo as matérias primas oriudas de plantas industriais e resíduos sólidos urbanos são os mais recorrentes insumos aplicados comercialmente.

A observação feita neste estudo também foi reportada por Huttunen, Manninen, Leskinen; (2014), os autores demosntram que uso de resíduos industriais, efluentes ou ainda de RSU, está associado à necessidade da inicitiva privada se manter rentável. Geralmente as empresas que fazem a utilização de resíduos o tratam porque precisam atender as legislações ambientais de descarte. Em acréscimo sabe-se que resíduos agrícolas estão sujeitos à sazonalidade o que dificulta a manutenção dos processos industriais.

De acordo com Zanette, (2009), o vislumbre da possibilidade de se usar efluentes industriais na geração de biogás está atrelado a alta concentração de matéria orgânica biodegradável usualmente presente nos efluentes, (alta demanda química de oxigênio), adicionalmente a possibilidade do setor industrial utilizar processos de biodigestão anaeróbia também facilita ainda mais a produção de biogás. Este mesmo pesquisador seleciona como os principais setores industriais com potencial de produção de biogás as indústrias de papel e celulose, de açúcar e álcool, abatedouros, laticínios, cervejas, e as demais indústrias de alimentos e bebidas, que precisam diminuir a carga orgânica de seus efluentes e adequa-los para descarte.

Dessa maneira, no segmento de insumos para o processo de biodigestão, percebe-se que as pesquisas acadêmicas possuem um cunho e exploratório e amplo. Por outro lado a realidade comercial segue as tendências de mercado, onde a adoção de tecnologias de

produção de biogás geralmente é fomentada com base em razões econômicas ou ainda forçada por legislações governamentais (HUTTUNEN, MANNINEN, LESKINEN; 2014).

3.1.2 Pré tratamento da material prima

Tendo em vista que o processo de biodigestão anaeróbia não apresenta grandes peculiaridades e é amplamente conhecido e apresentado na literatura. A etapa de pré-tratamento nada mais faz do que aperfeiçoar o processo. Usualmente apenas resíduos lignocelulósicos, amiláceos e algas são submetidos a esta etapa prévia, contudo devido a complexa natureza dos resíduos, cada vez mais pesquisas estão utilizando esta etapa prévia como forma de aumentar os rendimentos em biogás. O pré tratamento do tipo Químico (N-metilmorfolina-N-óxido), Tratamento enzimático e térmico, Físico (Comunuição), Químico (Steam explosion), Pré tratamento alcalino (8% (w/v) NaOH) e Hidrotermólise foram os mais recorrentes estudados.

A recalcitrância de materiais lignocelulósicos, também é outro fator que dificulta sua utilização como matéria prima para processos que envolvem tratamentos biológicos como é o caso da digestão anaeróbia, por isso também que a etapa de pré tratamento ainda vem sendo estudada processo (COELHO, 2001).

3.1.3 Processo de Biodigestão

Este elo da cadeia foi o segundo mais estudado em termos de publicações acadêmicas. De acordo com *Enviromental Protection Agency,* (2011), a tecnologia de biodigestão anaeróbia para produção de biogás é atualmente a forma mais sustentável de utilizar o conteúdo energético presentes nas biomassas e demais resíduos, ao mesmo tempo, aumentar a reciclagem de nutrientes e minimizar as emissões dos gases causadores do efeito estufa.

O processo de biodigestão anaerobia engloba algumas etapas básicas que são *sine qua non* para sua realização bem sucedida. São basicamente quatro fases, porém é importante se ressaltar que estas etapas não ocorrem de maneira ordenada nem sequencial. As transformações da matéria ocorrem basicamente devido à realização dos processos de síntese e decomposição de materiais orgânicos, feita por micro-organismos especialmente do gênero bacteriano. Não somente as fases do processo, mas especialmente o uso de micro-organimos também é alvo de estudos. Organimos geneticamente modificados são avaliados como no estudo de Kougias e colaborados (2014), neste os autores estudam as populações presentes em um reator através de da identificação molecular do o RNA 16S. Entender as populações microbianas presente pode ser muito útil para otimização do processo.

Obsevou-se que as soluções tecnológicas, no elo de processo, estão associadas ao

desenvolvimento de equipamentos para melhor o processo e as principais empresas engajadas nesta etapa são as que forncem soluções *tun key* de engenharia para implantação de plantas de biodigestão. Logo neste elo da cadeia ficou nítido que o biogás não é buscado como uma fonte de energia, mas sim como um ganho secundário obtido pela indústria no que concerne ao tratamento de seus efluentes e resíduos. Analogamente percebeu-se que geração de biogás, é uma consequência dos métodos de tratamento de resíduos que o utilizam o processo de biodigestão anaeróbia (LANTZ *et al*., 2007;NEGRO et al., 2007; LUBAEK *et a*l., 2012).

Franchetti (2013), afirma que o interesse pelo processo de biodigestão pode estar em parte associado ao seu custo insignificante quando comparado aos fertilizantes químicos. Este mesmo autor, demonstra em seu estudo que no que tange a gestão de resíduos, a digestão anaeróbia oferece um método energeticamente equilibrado que pode ser economicamente competitivo com a compostagem de resíduos e a incineração.

3.1.4 Separação e purificação do metano

No penúltimo elo da cadeia se encontra uma etapa crucial para que o uso do biogás como fonte energética se torne viável economicamente: a separação do metano do restante dos componentes presentes na mistura gasosa. Como mencionado, a produção do biogás pode ocorrer naturalmente por meio da ação de bactérias em materiais orgânicos (lixo doméstico orgânico, resíduos industriais de origem vegetal, esterco de animal, entre outros resíduos orgânicos). O biogás produzido em aterros sanitários também pode ser captado, purificado e aproveitado. Quanto a sua composição os componentes mais importantes presentes no biogás são o metano 45-70% (v/v), o dióxido de carbono 30-55% (v/v) e o ácido sulfídrico (H_2S) 0-1% (v/v) (COELHO *et a*l., 2006; MIYAWAKI, 2014).

De acordo com Ryckebosch, Drouillon e Vervaeren (2011) não são somentes outros gases que prejudicam o desempenho do biogás, mas também outros compostos. Estes foram sumarizados: **(i) Água**, que provoca corrosão em compressores, tanques de armazenamento e motores, devido à reação com H_2S, NH_3 e CO_2, formando ácidos. **(ii) Poeira** que ocasiona o entupimento devido ao depósito em motores e tanques de armazenamento; **(iii) H_2S** que favorece a corrosão em compressores, tanques de armazenamento e motores; **(iv) Ións Cl e F** que causam corrosão em motores de combustão **(v) NH_3** gás corrosivo quando dissolvido em água e (vi) **CO_2** Gás que afeta o poder calorífico inferior. Foram encontradas muitas soluções tecnológicas para o processo de purificação do biogás, contudo ainda percebe-se que há alguns desafios a serem superados.

3.1.5 Aplicação dos produtos da digestão anáerobia

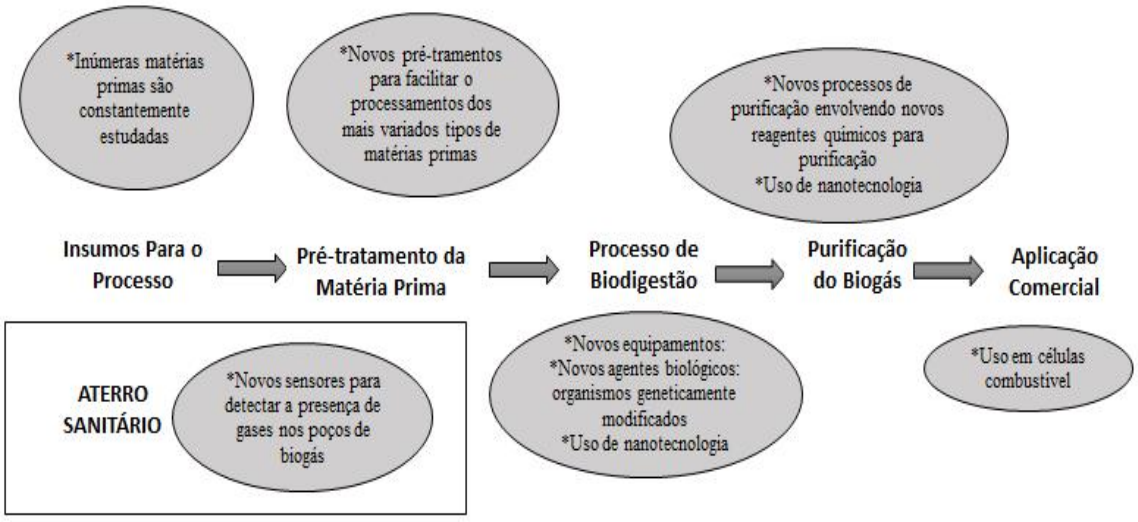
O biogás é o produto mais rentável oriundo do processo de biodigestão anaeróbia, contudo o digestato produzido e utilizado como fertilizante não pode ser desprezado. De acordo com Huttunen, Manninen, Leskinen; (2014), o biogás é um gás multipropósito, que serve para geração de eletricidade e geração de calor e pode ser utilizado para produção de biometano para uso combustível ou ainda pode ser injetado na rede de gás. Estima-se que o poder calorífico médio do biogás, com 50 a 80 % de metano é de cerca de 21-23,5 MJ / m³, sendo que que 1 m³ de biogás corresponde a 0,5-0,6 L de diesel (combustível) ou cerca de 6 kWh (FNR, 2009). São inúmeros os casos de sucesso onde o biogás já é utilizado como recurso energético. Isso foi verificado na literatura sobre biogás que geralmente está associada a algum estudo de caso. Muito embora iniciativas inovadoras para o uso do biogás sejam encontradas, o panorama atual ainda é do seu uso basicamente para geração de eletricidade. Contudo verifica-se uma dificuldade na conexão dessa eletricidade com o sistema elétrico local, essa energia produzida usualmente é para consumo próprio, sendo desse modo o principal desafio a integração do excedente a rede de energia.

3.2 Panorama da tecnologia

Como apresentada, a cadeia produtiva do biogás pode ser dividida em cinco elos principais. (1) Insumos para o processo, (2) Pré Tratamento (3) Processo de Biodigestão Anaeróbia, (4) Purificação do biogás e, (5) Aplicação comercial. Estes elos foram decritos em detalhes nas suas seções correspondendes e agora um *overview* quanto as suas inovações é apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Principais novidades encontradas nas publicações, de acordo com cada elo da cadeia.

Fonte: Elaboração própria de acordo com dados da base web of science



Percebe-se que são muitas as possibilidades de novidades na cadeia produtiva do biogás, apresentadas na literatura. Este fato é corroborado pela *Global intelligence Aliance* (2010), que demonstra em seu estudo as principais oportunidades o crescimento do mercado de biógas, sendo impulsionadas pela: (i) Volatilidade dos preços e questões relativas ao uso de combustíveis (ii) O apoio do governo para as energias renováveis na maioria dos países; (iii) Aumento dos esforços para gestão de resíduos nos países ocidentais e (iv) As mudanças climáticas e os esforços para reduzir gases de efeito estufa. No inicio da década de 1990 eram poucas as empresas que dedicavam suas atividades a algum elo da cadeia do biogás, contudo a partir dos anos 2000 este número vem crescendo exponencialmente, chegando hoje em 2015 há mais de 700 empresas sendo a maioria construtores e operadores de plantas em todo o mundo (MARTIN, 2014). Diante desta perspectivas, é esperado que os principais atores envolvidos na cadeia produtiva do biogás sejam cada vez mais diversos como empresas de produtos químicos, fabricantes de equipamentos, empresas de distribuição e companhias de gás (GLOBAL INTELLIGENCE ALIANCE 2010).

Tem-se que ressaltar nesse cenário a forte presença, nas publicações de países europeus e asíaticos, estes juntos representam mais 80% de todas as publicações (1.793). No continente europeu o destque é para a Alemanha, o país é um dos mais desenvolvidos e engajados no que concerne ao uso de resíduos e biomassa na geração de biogás. Este avanço nas pesquisas pode estar associado a intenção do governo da Alemanha de desligar todas suas usinas nucleares até o ano de 2022, o que fomenta a geração de energia a partir de fontes renováveis como a biomassa e indiretamenteo biogás.

Na Ásia a posição de destaque é da China, sem dúvida, está associada a sua longa tradição de uso do biogás para o abastecimento de energia de forma descentralizada. Já, há cerca de 42 milhões de biodigestores domésticos nas áreas rurais, número provavelmente ira duplicar até 2020 (MARTIN, 2014). Adicionalmente a estes fatores, guardadas as devidas proporções, para todos os países asiáticos, tem-se caracterisitcas similares que favorecem a geração de biogás: extensas áreas territoriais, forte produção agricola e agropecuária, biomassa abundante e são carentes em termos de infra-estrutura. Isso favorece o uso de pequenos biodigestores agrícolas para geração de energia descentralizada abastecendo pequenos locais.

A America do Norte não se mostra um continente tão expressivo em termos de estudos relacionados ao biogás, (apenas 7% das publicações). Os dois países de destaque em número de publicações foram os Estados Unidos e o Canadá. No que tange aos Estados Unidos, sabe-se que boa parte dos incentivos a produção de energia oriunda de fontes limpas vêm dos

incentivos fiscais, dos investimentos em pesquisas e das arrojadas metas do governo em reduzir as emissões de gases do efeito estufa. Além disso, foi observado neste estudo. que devido ao seu enorme potencial agrícola e agropecuário os Estados Unidos tem desprendido recursos para produção do biogás. Entretanto precebe-se um declínio nos estudos, uma queda ainda incipiente, mas já perceptível a perda de poisção no ranking dos países lideres da tecnologia de biodigestão anáerobia. Especula-se que esta queda pode estar associado as novas descobertas de reservas de *shale gas.*

Na América Central e do Sul o país de destaque é o Brasil, país que desenvolve muitos estudos em parceria com insituições Alemãs e Americanas. O país já tem comercialmente plantas que fazem a capatação de biogás de aterro sanitário e purificam este gás para uso como eletricidade.

4 Conclusões

A cadeia de biogás não pode ser vista como elos isolados, e nesta pesquisa provou-se que a indústria do biogás é dinâmica multidiscplinar e associada a diversos fatores. Além disso, a produção do biogás não está ligada somente a geração de energia, mas está sim intrinsecamente relacionada a fatores como o tratamento de efluentes e a redução dos gases do efeito estufa e diminuição no uso de recursos não renováveis.

Diversas matérias primas foram encontradas nas publicações acadêmicas com potencial para produção de biogás, entretanto, historicamente, as matérias-primas para a maioria dos sistemas de biogás utilizadas foram o estrume animal, lamas de águas residuais. Contudo uma tendência forte ao uso de resíduos lignocelulósicos foi observada. Ainda como resíduos emergentes tem-se uma crescente dos resíduos de produção de alimentos, ou seja, os subprodutos da cadeia de produção de alimentos e da e indústria de transformação.

Esta prospecção tecnológica mostra uma forte tendência ao crescimento nos estudos e pesquisas, em acréscimo espera-se uma maior participação dos governos com subsídios e finacimentos para novos projetos. Este estudo mostra ainda que o cenário atual é bastante dinâmico e que há uma tendência para que no curto e médio prazo mudanças positivas ocorram.

5 Referências

APPELS, Lise et al. Anaerobic digestion in global bio-energy production: Potential and research challenges. **Renewable And Sustainable Energy Reviews,** [s.l.], v. 15, n. 9, p.4295-

4301, dez. 2011. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.121.

BOJANIC, Alan. **Enquanto milhões passam fome, 1,3 bi de toneladas de comida é desperdiçado.** 2014. Disponível em: <http://noticias.uol.com.br/opiniao/coluna/2014/05/06/enquanto-milhoes-passam-fome-13-bi-de-toneladas-de-comida-e-desperdicado.htm>. Acesso em: 28 jan. 2015.

CASTANHO, Diego Solak; ARRUDA, Heder Jobbins de. Biodigestores. In: SEMANA DE TECNOLOGIA EM ALIMENTOS, 6., Ponta Grossa, 2008. 13 a 16 de maio de 2008, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR Campus Ponta Grossa - Paraná – Brasil. ISSN: 1981-366X. v. 02 n. 21, 2008. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/chines1_000g7gph0mm02wx5ok0wtedt3q5rn9mk.pdf. Acesso em 13 fev. 2015.

COELHO, S.T.; SILVA, O. C.; VARKULYA, A. Jr.; AVELLAR, L. H. N.; FERLING, F. F. **Estado da arte do biogás:** Relatório de acompanhamento. Centro Nacional de Referência em Biomassa. São Paulo, 2001

COSTA, Rita Joana Relva da. **Produção e Aplicação do Biogás.** 2011. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Instituo Politecnico de Coimbra, Portugal, 2011. Disponível em: <http://files.isec.pt/DOCUMENTOS/SERVICOS/BIBLIO/teses/Tese_Mest_Rita-Costa.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2015.

DOBRE, Paul; MATEI, Florentina; NICOLAE, Farcas. Main factors affecting biogas production - an overview. **Romanian Biotechnological Letters,** Romenia, v. 19, n. 3, p.9283-9296, mar. 2014. Disponível em: <http://www.rombio.eu/vol19nr3/lucr 1_Dobre Paul_Main factors affecting biogas production_revistaRBL_2014 _1_.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2015.

Estados Unidos. U.S. Department of Agriculture, U.S. Environmental Protection Agency, U.S. Department of Energy. **Biogas Opportunities Roadmap.** Washington: Pearson, 2014. 28 p. Disponível em: <http://www.epa.gov/climatechange/Downloads/Biogas-Roadmap.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2015.

FRANCHETTI, M. Economic and environmental analysis of four different configurations of anaerobic digestion for food waste to energy conversion using LCA for: a food service provider case study. **J. Environ. Manag**. 123, p. 42-48, 2013.

GLOBAL INTELLIGENCE ALLIANCE. How to Profit from Biogas Market Developments GIA Industries **White Paper**, Estados Unidos. 42 slides, color, 25x20cm.

HUTTUNEN, Suvi; MANNINEN, Kaisa; LESKINEN, Pekka. Combining biogas LCA reviews with stakeholder interviews to analyse life cycle impacts at a practical level. **Journal of Cleanead Production.** Finlândia, p. 5-16. 5 jun. 2014.

KOUGIAS, Panagiotis G et al. Microbial analysis in biogas reactors suffering by foaming incidents. **Bioresource Technology**, Dinamarca, v. 33, n. 167, p.24-32, set. 2014.

Lantz, M., Svensson, M., Bj €ornsson, L., B €orjesson, P. The prospects for an expansion of biogas systems in Sweden e incentives, barriers and potentials. **Energy Policy**, v. 35, p. 1830 e 1843, 2007.

LAWRENCE, Mackinnon. Renewable biogas: Next RFS darling or marginal fuel?. **Biofuel Digest,** United States, v.1, p. 1-3, set. 2012.

MALAGGI, M.; SOUZA, S. N. M. Estimativa do Potencial de Produção de Biogás e Energia na Indústria de Abate de Frangos no Brasil. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, p. 151-162, 2014.

MARTIN, Friederike. International Platform China's biomass energy development – a perception change from waste to resource. **Rural 21**, China, v.1 p 38-40, abril 2014.

MIYAWAKI, Bruno. **Purificação de biogás através de cultivo de microalgas em resíduos agroindustriais.** 2014. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paranpa, Curitiba, 2014.

PETERSSON, Anneli; WELLINGE, Arthur. **Biogas upgrading technologies:** developments and innovations. União Europeia: Iea Bioenergy, 2009. 20 p. Disponível em: <http://www.en.esbjerg.aau.dk/digitalAssets/80/80449_iea-biogas-upgrading-report-2009.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2014.

REPORTER, Linker (Org.). **Biogas Upgrading: Technologies and Global Markets.** Estados Unidos: Bcc Research, 2015. 331 p

VALLEJO, F. M. A.; MONTEIRO, L. P. C. **Avaliação das Demandas e Potenciais Associados à Gestão de Resíduos Sólidos em Cidades Emergentes**: O Caso do Município de Rio das Ostras, RJ. "Integrating Cleaner Production Into Sustainability Strategies". 4th International Workshop Advances in Cleaner Production – Academic Work. São

ZAFAR, Salman. **Biogas from Agricultural Wastes.** 2014. Disponível em: <http://www.bioenergyconsult.com/anaerobic-digestion-crop-residues/>. Acesso em: 15 maio 2015.