



GERAÇÃO E USO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: REVISÃO SOBRE OS DESAFIOS E OPORTUNIDADES DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

Nara Paula Schmeier¹ (naraschmeier@gmail.com), Luciana Paulo Gomes¹ (lugomes@unisinis.br), Maurício Mancio¹ (mancio@unisinis.br)
1 UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS

RESUMO

O aproveitamento energético disponível nos resíduos contribui para o enfrentamento da problemática mundial do acúmulo crescente dos resíduos sólidos urbanos (RSU) e suas formas de disposição final, além de favorecer a geração de energia de maneira sustentável. A fração orgânica dos RSU, por exemplo, pode ser degradada e estabilizada por meio de digestão anaeróbia, sob controle de temperatura, pH, alcalinidade, umidade e concentração de sólidos, produzindo biogás. No entanto, por ser uma temática relativamente recente no Brasil, apesar de diversas pesquisas já desenvolvidas e em desenvolvimento, ainda enfrenta inúmeros desafios. Dentre eles estão questões financeiras, técnicas, regulatórias e institucionais, uma melhor estimativa do potencial de geração de energia advinda dos resíduos, além da necessidade de maiores subsídios por parte do governo e investimento de políticas públicas para inserir efetivamente o biogás como fonte renovável de energia no quadro nacional.

Palavras-chave: Digestão anaeróbia; Resíduos sólidos urbanos, Biogás.

GENERATION AND USE OF BIOGAS FROM MUNICIPAL SOLID WASTE: REVIEW ON THE CHALLENGES AND OPPORTUNITIES FOR RESEARCH AND DEVELOPMENT

ABSTRACT

Biomass energy available in waste contributes to combat the global problem of growing accumulation of municipal solid waste (MSW) and its forms of disposal, in addition to promoting the generation of energy in a sustainable way. The organic fraction of municipal solid waste, for example, can be degraded and stabilized by means of anaerobic digestion under controlled temperature, pH, alkalinity, solids concentration, and humidity, producing biogas. However, being a relatively recent issue in Brazil, although several studies have been developed or are under development, the technology still faces many challenges. Among them are financial, technical, regulatory and institutional issues, a better estimate of power generation potential from waste products, and the need for higher subsidies from the government and investment policies to effectively include biogas as a renewable energy source in the national framework.

Keywords: anaerobic digestion; municipal solid waste; biogas.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico, crescimento populacional, urbanização e revolução tecnológica vêm acompanhados por alterações no estilo de vida e nos modos de produção e consumo da população, ocasionando um dos maiores desafios com que se defronta a sociedade moderna: acúmulo crescente e, por consequência, disposição final inadequada dos resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados (JACOBI; BESEN, 2011; GOUVEIA, 2012), além da necessidade energética cada vez mais elevada para atender às demandas da população. A gestão e a disposição inadequada dos RSU causam significativos impactos à saúde e elevada degradação ambiental. No entanto, é possível amenizar os resultados negativos desses resíduos através da



geração de energia na forma de biogás (BESEN, 2011; FIGUEIREDO, 2011; KARLSSON et al., 2014; GALIZA; CAMPOS, 2015; VIERA, et al., 2015).

A energia por meio do biogás, a partir da degradação anaeróbica dos RSU, em especial dos orgânicos, permite a geração de uma energia renovável e limpa, visto que reduz a emissão de gases que causam o efeito estufa, além de favorecer a obtenção de receitas por meio de créditos de carbono (JACOBI; BESEN, 2011; GALIZA; CAMPOS, 2015). Além disso, o aproveitamento da energia a partir da biomassa de resíduos e outras fontes renováveis também pode diminuir o consumo de combustíveis fósseis, minimizar os impactos causados pela sua queima e possibilitar ainda mais a diversificação da matriz energética brasileira (ZANETTE, 2009; KARLSSON et al., 2014; VIERA, et al., 2015).

O modelo de sucesso da geração de biogás, pela via anaeróbica de materiais orgânicos, vem da Alemanha, que hoje soma mais de 8.000 usinas de biogás, gerando energia de forma constante (BERNS et al., 2015). Destaca-se que a utilização deste processo já atingiu um elevado grau de maturidade na União Europeia e possui papel expressivo não somente nas metas relacionadas à gestão de resíduos nos países membros como também na consolidação da matriz energética renovável do continente. A maturidade atribuída ao mercado europeu se baseia na existência de uma cadeia de produção voltada ao setor, com fornecedores de tecnologias e suprimentos em geral, adequados aos diferentes tipos de resíduos e efluentes, incluindo, mais recentemente, os resíduos sólidos urbanos (COLTURATO et al., 2015).

Essa tecnologia está sendo difundida para outros países, inclusive no Brasil, onde o mercado de biogás está evoluindo com o aumento do interesse na geração energética através da utilização de resíduos. Com o fomento da tecnologia no Brasil, algumas dificuldades vêm sendo observadas em relação a Europa, como diferença e diversidade da biomassa, materiais utilizados, mão de obra qualificada, recursos tecnológicos e equipamentos nacionais, fatores climáticos, entre outros. No entanto, essa deficiência tende a ser reduzida com a evolução e estímulo ao uso da tecnologia no Brasil (BERNS et al., 2015).

1.1 Processo de geração do biogás

A fração orgânica dos RSU é uma fonte de energia renovável que pode ser explorada sob condições controladas a fim de se reduzir o impacto ambiental desse tipo de resíduo (SHAHRIARI et al., 2012). De acordo com Silva (2009), os processos de tratamento mais utilizados para fração orgânica dos resíduos sólidos são a compostagem e a digestão anaeróbia. A digestão anaeróbia, devido ao fato dos RSU produzidos em nível nacional serem compostos por um percentual médio de 50% de matéria orgânica degradável e serem passíveis de fermentação, vem tornando-a uma tecnologia bastante atrativa (COLTURATO et al., 2015).

Na digestão anaeróbia algumas espécies de bactérias que atuam na ausência de oxigênio, atacam a estrutura de materiais orgânicos complexos para produzir compostos simples: CH₄, CO₂, N₂, NH₃, H₂S, nova biomassa, dentre outros, extraindo simultaneamente a energia e os compostos necessários para o seu próprio crescimento. A transformação da matéria orgânica em diversas substâncias químicas, no decurso da fermentação anaeróbia, processa-se através de uma cadeia de degradações sucessivas (hidrólise, acidogênese e metanogênese), devido aos diferentes tipos de bactérias envolvidas no processo de degradação (VIERA, et al., 2015).

As proporções dos compostos são variáveis, sendo o CH₄ e CO₂ os constituintes com maiores concentrações. Dependendo do tipo do resíduo, do tratamento e, de acordo com a eficiência do processo, o biogás chega a conter entre 40 e 80% de CH₄ (FIGUEIREDO, 2011). O CH₄ é o componente de maior importância, pois representa a parte combustível do biogás e, portanto, seu teor influencia diretamente no poder calorífico. O rendimento potencial de metano é determinado principalmente pela composição do substrato utilizado, ou seja, pelos seus teores de gorduras, proteínas e carboidratos (FIGUEIREDO, 2011).

A tipologia do substrato fornecido ao processo de geração de biogás afeta a estabilidade e a eficiência do mesmo. A composição do substrato é importante para a quantificação e a qualidade



do biogás, o que está diretamente associado à quantidade de nutrientes e contaminantes potenciais (metais, patógenos e contaminantes orgânicos contidos na matéria orgânica). A escolha do material adequado influencia no resultado do processo, na maximização da produção de energia e na boa qualidade do biogás gerado (KARLSSON et al., 2014).

Por se tratar de um processo biológico, as condições do meio devem ser ideais para que ocorram as reações de conversão da matéria orgânica. Dentre os fatores operacionais existentes, os que podem intervir de forma mais significativa são: temperatura, carga orgânica, pH, alcalinidade, umidade e concentração de sólidos (BARCELOS, 2009).

2. OBJETIVO

O objetivo do trabalho consistiu na realização de uma revisão bibliográfica, a fim de identificar e abordar os desafios e oportunidades de pesquisa relacionadas à temática da geração e uso do biogás oriundo dos RSU no Brasil.

3. METODOLOGIA

Dentro do instrumental metodológico, a abordagem desta pesquisa foi qualitativa, através de levantamento bibliográfico em revistas, dissertações, teses e artigos que discutem o tema investigado. As referências bibliográficas foram levantadas, no período de 21/03/2016 a 10/04/2016, na base de dados SciELO.org, no Portal de Periódicos CAPES/MEC e na Biblioteca da Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

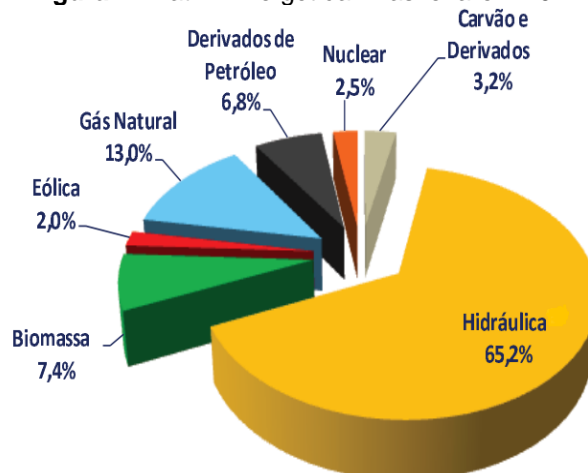
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos tópicos a seguir, são apresentados os principais desafios e oportunidades de pesquisa e desenvolvimento observados no decorrer das leituras realizadas.

4.1 Desafios do uso de Biogás no Brasil

No Brasil, o aproveitamento do biogás ainda é mínimo considerando a elevada concentração da população brasileira em grandes centros urbanos e a expressiva produção agropecuária e agroindustrial e, portanto, de resíduos e efluentes domésticos, agropecuários e agroindustriais. Logo, é natural acreditar que o atual aproveitamento do biogás no país encontra-se bastante aquém do seu potencial (ZANETTE, 2009). Este cenário está associado principalmente ao fato do país possuir uma matriz energética baseada na energia hidrelétrica, conforme pode ser observado na Figura 1.

Figura 1. Matriz Energética Brasileira em 2014



Fonte: MME, 2015.



Entretanto, a presença da energia hidrelétrica na matriz brasileira, tende a se alterar nos próximos anos pelas restrições ambientais cada vez maiores às construções de hidrelétricas. Paralelamente, as alterações climáticas já interferem negativamente na disponibilidade hídrica das bacias, sendo necessário o acionamento de Centrais Térmicas para o abastecimento da rede nacional o que, conseqüentemente, vem encarecendo os custos de produção deste tipo de energia.

Quanto aos combustíveis fósseis, destaca-se que sua produção atualmente é realizada em escala extraordinária devido ao fato dos estudos e pesquisas de como produzir, quais as melhores condições de preparo, produção e otimizações de cada etapa já terem sido alcançados. Em contrapartida, os biocombustíveis são uma fonte energética relativamente recente, com pesquisas e desenvolvimentos produtivos a evoluir, sua produção não ocorre em larga escala (como a dos combustíveis fósseis) e seu processo produtivo apresenta rendimentos que carecem de melhorias (MAURON, 2013).

Um grande obstáculo para as perspectivas comerciais do biogás atualmente consiste nas experiências malsucedidas no passado, que criaram desconfiança entre os atores envolvidos e resistência para novos investimentos. As experiências frustradas na instalação de centenas de biodigestores ocorreram devido à falta de experiência, ao dimensionamento equivocado dos equipamentos, à falta de assistência técnica e ao emprego de materiais inadequados. Em virtude disto, o desafio atual é recuperar a confiança neste mercado, demonstrando a viabilidade de modelos comerciais bem-sucedidos que respondem as exigências nacionais atuais (JENDE, et al., 2016).

Em razão dos motivos supracitados, além da alta complexidade e a dificuldade de acesso às informações, quando existentes, e a cultura de não compartilhar as experiências adquiridas (JENDE, et al., 2016), os custos da produção de energia oriunda dos biocombustíveis ainda se encontram elevados, e uma premissa básica existente mundialmente é a que se existem dois métodos para se obter o mesmo produto, o processo com menor custo é sempre o melhor (GADONNEIX, 2010). Por conseguinte, nos dias de hoje, do ponto de vista econômico, ainda é mais vantajoso a produção de combustíveis oriundos de fontes fósseis e hidrelétricas em relação à de biocombustíveis (GADONNEIX, 2010).

Apesar do empenho em equilibrar o uso de suas fontes de energia (renováveis e tradicionais) com o processo de geração de energia por meio do biogás, à medida que aumenta o consumo de eletricidade, o setor enfrenta problemas para inserir o biogás como fonte renovável de energia no quadro nacional. O quadro é associado a foto de subsídios por parte do governo e políticas públicas serem pouco estimulados ou possuírem aspectos que podem causar grandes conflitos. Como exemplo, em se tratando da energia gerada a partir do biogás de RSU para utilização como energia elétrica e combustível (biometano), cita-se a Resolução da Agência Nacional de Petróleo (ANP) nº 8/2015, que trata da especificação do biogás (biometano). A referida resolução proíbe a utilização comercial do produto oriundo de resíduos sólidos urbanos ou de esgotamento sanitário. Permite apenas o uso de resíduos orgânicos de atividades da agroindústria e comércio, limitando o comércio e causando um problema regulatório entre Estado e União, uma vez que existem legislações anteriores, como a Lei nº 6.361/2012, que permitem o uso do biometano compatível com o Gás Natural Renovável no Rio de Janeiro. Entretanto, essa restrição não impede o seu uso de forma experimental, o que pode ser interpretado como uma preocupação da ANP em desenvolver mais estudos nesta área, até mesmo para evitar conflitos com leis estaduais, e possivelmente, autorizar o uso comercial futuro.

Contudo, apesar dos entraves, os resultados e domínio alcançados até o momento (LEITE et al., 2003; LEITE et al., 2004; BARCELOS, 2009; LEITE et al., 2009; SILVA, 2009; ZANETTE, 2009; BESEN, 2011; JACOBI; BESEN, 2011; GOUVEIA, 2012; KARLSSON et al., 2014; KONRAD et al., 2014; REMPEL, 2014; VIERA, et al., 2015; GALIZA; CAMPOS, 2015; SCHULZ, 2015), qualificam o país a desenvolver programas de âmbito nacional em biogás, abrangendo os diversos setores interessados na produção e uso desta energia (KARLSSON et al., 2014).



4.2 Oportunidades de pesquisa e desenvolvimento

O Brasil vem avançando em relação ao desenvolvimento de tecnologias, melhor reaproveitamento energético e destinação adequada dos seus resíduos nos últimos anos. Vários projetos de pesquisa e avaliação já foram ou estão sendo conduzidos para investigar a importância ecológica da geração e utilização do biogás (LEITE et al., 2003; LEITE et al., 2004; LEITE et al., 2009; SILVA, 2009; ZANETTE, 2009; BESEN, 2011; JACOBI; BESEN, 2011; GOUVEIA, 2012; COELHO, 2014; KARLSSON et al., 2014; REMPEL, 2014; BERNS et al., 2015; VIERA, et al., 2015; GALIZA; CAMPOS, 2015; SCHULZ, 2015; VIRIATO, et al., 2015). Entretanto, a aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS - Lei nº 12.305/2010), que possibilita a utilização de tecnologias visando à recuperação energética dos RSU quando comprovada sua viabilidade técnica e ambiental, tem direcionado, atualmente, as investigações aos resíduos sólidos orgânicos.

A partir das pesquisas supracitadas, foram identificadas algumas questões que carecem de mais estudos, conhecimento e domínio, tais como:

- Avaliar o comportamento do processo de digestão anaeróbia em diferentes configurações de reatores;
- Monitorar os distintos níveis e velocidades de agitação, variando tanto a velocidade aplicada quanto o período de mistura;
- Estudar a combinação de diferentes tipos de resíduos, objetivando evitar o acúmulo de ácidos graxos voláteis e os baixos níveis de pH;
- Estudar e identificar as concentrações de sólidos voláteis ideais, bem como as relações Carbono: Nitrogênio: Fósforo, no processo de digestão;
- Avaliar a qualidade do biossólido oriundo da digestão anaeróbia;
- Identificar o tempo de retenção hidráulico ideal;
- Avaliar os impactos do uso de diferentes frações granulométricas de resíduos em diferentes escalas de digestão anaeróbia e produção de biogás;
- Testar a adição contínua de RSU até que se encontre uma proporção ideal de carga orgânica aplicada e inóculo utilizado e que mantenha o pH do sistema na faixa neutra;
- Avaliar a utilização de diferentes cosubstratos para a otimização da produção de biogás;
- Estudar as diferentes opções de utilização do biogás.

Outra questão que continua bastante iminente, e já relatado por Zaiat (2003), relaciona-se ao desenvolvimento de novos reatores anaeróbios ou ao aprimoramento de reatores já existentes. O autor já destacava a necessidade em se estabelecer modelos para simulação, projeto e otimização dos reatores anaeróbios, bem como de se possuir critérios racionais para o aumento de escala dos projetos de reatores. Enfatizava ainda a importância no avanço de estudos sobre a microbiologia e bioquímica dos sistemas anaeróbios visando identificar a composição microbológica da biota que participa dos processos, bem como aspectos fisiológicos e ecológicos das populações, grupos, e espécies presentes nos reatores.

O estímulo para entrada de novos agentes, principalmente, daqueles com conhecimento e domínio neste tipo de energia, também pode ser uma alternativa para viabilizar e otimizar o desenvolvimento dos projetos de aproveitamento do biogás (ZANETTE, 2009). Como exemplo a ser seguido, menciona-se a Europa que, assim como acontece no Brasil atualmente, após os altos preços de energia e restrições ambientais, principalmente com a disposição final de matéria orgânica em aterros sanitários, bem como as dificuldades para a implantação de novos aterros ou a expansão dos existentes, obteve êxito ao apostar na digestão anaeróbia do RSU (BARCELOS, 2009; COLTURATO et al., 2015).

A respeito das plantas de biodigestão existentes no Brasil, Horst, et al., 2013 afirmam que a grande maioria é desprovida de tecnologia de ponta, além de carecerem de tecnologias e



equipamentos nacionais. Além disso, Coelho, et al., 2014 corroboram que as mesmas dependem de uma série de aspectos como fatores climáticos, manutenção, recursos tecnológicos disponíveis, diversidade da biomassa, materiais utilizados, mão de obra especializada, entre outros. Segundo os autores, de modo geral, o sucesso dos projetos de geração de biogás está diretamente ligado ao projeto e ao dimensionamento das plantas para biodigestão. Neste sentido, a necessidade por projetos, dimensionamentos adequados, tecnologias de ponta e mão de obra técnica e qualificada, tornam-se cada vez mais necessários.

Paralelamente, Berns et al. (2015) destacam a importância da oferta e realização de capacitações da área do biogás para escolas, universidades e centros de pesquisas, bem como para entidades públicas e privadas e a própria comunidade interessada. Os autores consideram necessárias capacitações, voltadas as condições e necessidades locais, com profissionais brasileiros em interação com especialistas em treinamento de biogás internacionais criando, desta forma, mão de obra especializada para a realidade brasileira.

Jende, et al. (2016) destacam que além de capacitações, são de extrema necessidade a disponibilização de informações na área de biogás em território nacional, como forma de facilitar o acesso a informações concretas relacionadas à regulamentação, implantação e operação dos empreendimentos. Sugerem ainda a ampla divulgação das lições aprendidas com os casos de sucesso, e insucesso, nos projetos de referência para o setor, através de instituições reconhecidas, como forma de fomentar a repercussão de experiências bem-sucedidas no país, reduzir a percepção de risco associado a novos negócios e direcionar o estabelecimento de novos empreendimentos.

Além de estudos e conhecimento técnicos e operacionais, identifica-se também que o efetivo aproveitamento energético do biogás requer o estabelecimento de metas claras para a elaboração e direcionamento das políticas públicas, bem como que haja coordenação entre os órgãos responsáveis pelas políticas energéticas, ambientais, agrícolas e de desenvolvimento urbano para a definição das atribuições e objetivos de cada um (ZANETTE, 2009).

5. CONCLUSÃO

A geração de biogás a partir da digestão anaeróbia do RSU tem se mostrado bastante promissora, principalmente por representar uma importante alternativa tecnológica de aproveitamento energético e diversificação da matriz energética brasileira. Além disso, representa uma grande possibilidade de redução dos impactos ambientais decorrentes da disposição inadequada dos resíduos, em especial os orgânicos. Entretanto, a temática ainda apresenta inúmeras lacunas com relação às questões técnicas, operacionais, regulatórias e institucionais que merecem atenção a fim de viabilizar e tornar cada vez mais atrativa essa tecnologia no Brasil.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à PETROBRAS pelo patrocínio do projeto VERDESINOS.

REFERÊNCIAS

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS. Resolução n.º 8, de 30 de janeiro de 2015. Disponível em: <[http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2015/janeiro/ranp%208%20-%202015.xml?f=templates\\$fn=document-frame.htm\\$3.0\\$g=\\$x=>](http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2015/janeiro/ranp%208%20-%202015.xml?f=templates$fn=document-frame.htm$3.0$g=$x=>)>. Acesso em: 10 abr. 2015.

BARCELOS, B.R. Avaliação de diferentes inóculos na digestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos domésticos. Brasília, 89 p., 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília.

BERNS, B. A.; SCHNICKE, H. P.; BOMBONATTI, P. Anteprojeto de uma usina de pesquisa e capacitação em biogás. Brasília: PROBIOGÁS-SNSA/MCidades-GIZ, 2015. 160 p.



JENDE, O.; ROSENFELDT, S.; COLTURATO, L. F. D. B.; GOMES, F. C. S. P.; HOFFMANN, H.; CABRAL, C. B. G.; BURKARD, T.; LINNENBERG, C.; NAU, D.; PEREIRA, A.; MARIANI, L. Barreiras e propostas de soluções para o mercado de biogás no Brasil. Brasília: PROBIOGÁS-SNSA/MCidades-GIZ, 2016. 74 p.

BESEN, G. R. Coleta seletiva com inclusão de catadores: construção participativa de indicadores e índices de sustentabilidade. São Paulo, 275p., 2011. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 10 abr. 2015.

COELHO, F. D. P. Determinação e análise do efeito da trituração de FORSU como pré-tratamento para a digestão anaeróbia. Braga, 56p., 2014. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Minho.

COELHO, M. A.A.; SOUZA, M. J. SCHAEFFER, L.; ROSSINI, E. G. Estudo de viabilidade econômica de plantas de biogás com tecnologia de última geração. Revista Espacios. Vol. 35, n. 3. p. 2. 2014.

COLTURATO, L. F. D. B.; GOMES, F. C. S. P.; SERAVAL, T. A.; COLTURATO, T. D. B. O estado da arte da tecnologia de metanização seca. Brasília: PROBIOGÁS-SNSA/ MCidades-GIZ, 2015. 97 p.

FIGUEIREDO, N. J. V. Utilização de biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica – estudo de caso. São Paulo, 148p., 2011. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo

GADONNEIX, P. Biofuels: Policies, Standards and Technologies. London: World Energy Council, 2010.152 p.

GALIZA, J.J.M.; CAMPOS, A.F. Regulação de resíduos sólidos urbanos para geração de energia a partir do biogás: estudo de viabilidades em regiões da Grande Vitória/ES. Revista Augustus. Vol. 20. n. 40, p. 56-69, 2015.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. Ciência & Saúde Coletiva. Vol. 17. n. 6, p. 1503-1510, 2012.

HORST, D. J; DIHL, W; FRANCISCO, A. C. Technological forecasting: renewable energies generation in Brazil. Revista Espacios. Vol. 34. n. 5, p. 4. 2013.

JACOBI, G. R.; BESEN, P. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. Estudos Avançados. Vol. 25. n. 71, p. 135-158, 2011.

KARLSSON, T.; KONRAD, O.; LUMI, M.; SCHMEIER, N.P.; MARDER, M.; CASARIL, C. E. KOCH, F.F.; PEDROSO, A.G. Manual básico de biogás. Lajeado: Editora Univates, 2014. 69 p.

KONRAD, O.; TONETTO, J. F.; LUMI, M.; SCHMEIER, N. P.; BRIETZKE, D. T. Utilização da borra de glicerina como co-substrato na geração de biogás. Scientia Plena. Vol . 10, n. 2, p . 1-10. 2014.



LEITE, V. D.; SOUSA, J. T.; PRASAD, S.; LOPES, W. S.; ATHAYDE J, G. B.; DANTAS, A. M. M. Tratamento de resíduos sólidos de centrais de abastecimento e feiras livres em reator anaeróbio de batelada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Vol.7, n.2, p.318-322, 2003.

LEITE, V. D.; LOPES, W. S.; SOUSA, J. T.; PRASAD, S. Tratamento anaeróbio de resíduos orgânicos com baixa concentração de sólidos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. Vol. 9, n. 4, p. 280-284, 2004.

LEITE, V. D.; LOPES, W. S.; SOUSA, J. T.; PRASAD, S.; SALOMÃO A. S. Tratamento anaeróbio de resíduos sólidos orgânicos com alta e baixa concentração de sólidos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Vol.13, n.2, p.190–196, 2009.

MAURON M. R.. A Produção Integrada de Etanol e Alimentos por Camponeses como uma Oportunidade para o Desenvolvimento Rural Sustentável do Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro, 227 p., 2013. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

MME – Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional 2015 – Ano base 2014: Relatório Síntese. Rio de Janeiro: EPE, 2015. 62 p.

REMPEL, N. Biodigestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos consorciado com glicerina. São Leopoldo, 103 p., 2014. RS, 2014. Dissertação (Mestrado). Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

SCHULZ, F. Biodigestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos. São Leopoldo, 112 p., 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

SHAHRIARI, H.; WARITH, M.; HAMODA, M.; KENNEDY, K. J. Anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste combining two pretreatment modalities, high temperature microwave and hydrogen peroxide. *Waste Management*. Vol.32, n.1, p.41–52. 2012.

SILVA, W. R. Estudo Cinético do Processo de Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Vegetais. João Pessoa, 140 p., 2009. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Paraíba.

VIERA, G. E. G.; CAMPOS, C. E. A.; TEIXEIRA, L. F.; COLEN, A. G. N. Produção de biogás em áreas de aterros sanitários: uma revisão. *Revista Liberato*. Vol . 16, n. 26, p. 101-220. 2015.

VIRIATO, C. L.; LEITE, V. D.; SOUSA, J. T.; LOPES, W. S.; OLIVEIRA, E. G.; GUIMARÃES, H. S. Influência da granulometria e da concentração de sólidos totais na codigestão anaeróbia de resíduos orgânicos. *REA - Revista de Estudos Ambientais (Online)*, Vol.17, n.1, p. 6-15. 2015.

ZANETTE, A. L. Potencial de Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil. Rio de Janeiro, 97 p., 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.