

Eixo Temático ET-02-008 - Saneamento Ambiental

INFLUÊNCIA DA TAXA DE DILUIÇÃO DOS DEJETOS BOVINOS PARA A GERAÇÃO DE METANO EM BIODIGESTORES ANAERÓBIOS

Juliana de Sousa Alves¹, Kelen Cristina Crivelaro Silvestre², Sidcléa Sousa de Freitas³

¹Faculdade Internacional da Paraíba. João Pessoa, PB, Brasil. E-mail: juju.sa93@hotmail.com.

²Orientadora. Faculdade Internacional da Paraíba. João Pessoa, PB, Brasil. E-mail: kelen.silvestre@fjb.edu.br.

³Co-orientadora. Faculdade Internacional da Paraíba. João Pessoa, PB, Brasil. E-mail: sidclea@hotmail.com.

RESUMO

Um dos grandes problemas ambientais que enfrentamos atualmente é o aquecimento global que tem como uma de suas causas principais a emissão de gases danosos à camada de ozônio. O gás metano é altamente prejudicial tanto ao meio ambiente como aos seres humanos, e os resíduos que mais geram esse gás são os dejetos de origem animais. Com a alta quantidade de dejetos de origem animal gerado no Brasil, viu-se a possibilidade de tornar esse resíduo rentável economicamente. Partindo disto o Biodigestor surgiu para transformar os resíduos de origem animal em gás metano através da ação de bactérias anaeróbias que, por ser altamente inflamável, pode substituir o GLP- Gás Liquefeito de Petróleo e outros combustíveis. Diante disso, este trabalho tem por objetivo verificar, estatisticamente, a produção de gás metano de acordo com a diluição dos dejetos inseridos no biodigestor. Foram utilizados protótipos de biodigestores confeccionados com garrafas PET como objetos de estudo, cada uma com proporções diferentes de esterco e água; após os tempos de retenção foram medidas as quantidades de gases gerados em cada protótipo e os resultados foram inseridos no programa Estatística, gerando coeficientes de regressão, proporcionando assim uma equação aplicável a qualquer projeto de biodigestores.

Palavras-chave: Resíduos orgânicos; Biogás; Reator; Modelagem Matemática.

INTRODUÇÃO

A grande quantidade de dejetos bovinos e suínos gerados por animais criados em confinamento é um dos principais problemas ambientais relacionados a agropecuária atualmente. Essa grande quantidade de dejetos apresenta um alto risco de poluição do meio ambiente, principalmente se lançado em rios, lagos ou fontes de água. A bovinocultura de corte é responsável pela geração de aproximadamente 2,1 bilhões de toneladas de dejetos ao ano (GOMES, 2017), por isso, se faz necessário uma atenção especial ao tratamento desse tipo de resíduo.

Uma das melhores alternativas para minimizar esse impacto ambiental é o Biodigestor. O biodigestor é uma tecnologia de grande potencial tanto na proteção ao meio ambiente quanto como fonte alternativa de energia. Sendo um equipamento capaz de criar o ambiente propício para a ação das bactérias metanogênicas, que realizam um processo natural de decomposição dos resíduos orgânicos cujos produtos resultantes são biofertilizantes e biogás (FARRET, 1999). O Biogás é composto pelo gás metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) e pode ser utilizado para geração de energia elétrica e também para substituição do GLP – Gás Liquefeito de Petróleo. O Biofertilizante é um composto orgânico natural, riquíssimo em nitrogênio, que pode ser utilizado como fertilizante natural para as plantas.

Chernicharo (2007) afirma que, a digestão anaeróbia pode ser considerada como um ecossistema composto de uma variedade de grupos de microrganismos que trabalham mutuamente para a transformação da matéria orgânica complexa em metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico e amônia, além de gerarem também novas células bacterianas; essa

transformação ocorre em quatro fases, hidrólise (desdobramento dos chamados orgânicos complexos em orgânicos simples), acidogênese (transformação dos orgânicos simples em ácidos como propionato e butirato), acetogênese (oxidação dos ácidos dando origem ao acetato, hidrogênio e dióxido de carbono) e metanogênese (conversão do acetato, hidrogênio e dióxido de carbono em metano).

Para uma boa eficiência do Biodigestor, Souza (1984) classificou em seis os fatores relativos às características do substrato a ser digerido, sendo estes: grau de biodegradabilidade da matéria orgânica, diluição do material a ser digerido, estado da matéria orgânica, tamanho das partículas de sólidos em suspensão, nutrientes, e influência de compostos tóxicos.

A utilização de biodigestores já ocorre a bastante tempo em várias partes do mundo, os primeiros registros sobre o estudo do biogás foram por volta do século XV. Em 1857, foi construído primeiro biodigestor com o intuito de produção de biogás em grande escala destinado a um hospital para portadores de hanseníase de Bombaim, na Índia. Com o passar do tempo os combustíveis fósseis tomaram um espaço maior, por acharem que ele era infinito, com isso fechou-se o primeiro ciclo da utilização do biogás como fonte de energia elétrica (SOARES, 2010).

Com o preço do petróleo em alta entre as décadas de 60 e 70, e com a preocupação com as emissões de gases causadores do efeito estufa, o uso do biogás voltou a ser discutido e começou a ser implantado em várias partes do mundo, como China, Índia, Alemanha e Brasil. O número de biodigestores passou a crescer, em 1985 eram 75 plantas, em 1997 chegou a 400, e em 2014 esse número era de 7.720 (SHUBEITA, 2016). No Brasil, até 2014, a quantidade de plantas de biogás era de 148 sendo 48 em uso, 5 em reforma, 6 em planejamento ou instalação e as outras 89 ainda não saíram do papel (KERKHOFF, 2015).

O Brasil tem um dos maiores e melhores potenciais energéticos do mundo. Se por um lado, as reservas de combustíveis fósseis são relativamente reduzidas, por outro, os potenciais hidráulicos, da irradiação solar, da biomassa e eólico são suficientemente abundantes para garantir a autossuficiência energética do país, com tudo isso, apenas duas fontes energéticas têm sido extensivamente aproveitadas – hidráulica e petróleo. Cerca de 90% do suprimento de energia elétrica do Brasil é proveniente da geração hidráulica, e o petróleo representa mais de 30% da matriz energética do Brasil (ANEEL, 2002).

Apesar destas fontes de energia elétrica serem extremamente importantes diante do setor energético brasileiro, visto o crescimento da demanda, a exaustão de fontes não-renováveis e restrições financeiras, socioeconômicas e ambientais à expansão do sistema, o suprimento futuro de energia elétrica exigirá maior aproveitamento de fontes alternativas de produção de energia.

Do ponto de vista energético, a biomassa é toda matéria orgânica, seja de origem animal ou vegetal, que possa ser utilizada na produção de energia. Embora grande parte da biomassa seja de difícil contabilização, devido ao uso não-comercial, estima-se que ela represente cerca de 14% do total de energia primária consumida atualmente (IEA, 1998).

A biomassa é um tipo de energia renovável, pois a geração de resíduos orgânicos está sempre em crescimento. Além de ser pouco poluente, pois não emite dióxido de carbono na atmosfera, é um recurso extremamente barato, e com baixo teor de corrosão para os equipamentos a serem utilizados.

Tendo em vista a necessidade energética e a quantidade de biomassa de origem animal produzida no país, uma alternativa completa para o tratamento destes resíduos e para a geração de energia é a implantação de biodigestores em propriedades rurais, distantes dos centros urbanos, que não tem acesso à energia elétrica. Além disso, esse processo de biodigestão estimula uma forma ambientalmente favorável para a reciclagem de carbono e outros elementos na natureza.

Um dos problemas relacionados ao funcionamento e eficiência do biodigestor é a falta de um conhecimento preciso dos processos que ocorrem dentro dele, devida a uma variedade de reações do sistema e a vasta gama de compostos orgânicos e inorgânicos presentes no interior do biodigestor (BALMANT, 2009). Com o intuito de otimizar e tentar descrever o

comportamento dos componentes mais importantes do sistema, a modelagem matemática propõe soluções e mudanças necessárias para um melhor funcionamento do sistema, através dos cálculos matemáticos realizados.

Sendo a modelagem matemática a arte de transformar problemas da realidade em problemas matemáticos e resolve-los interpretando suas soluções na linguagem do mundo real (BASSANESI, 2006), se faz necessário o uso de um modelo matemático como um mecanismo de monitoramento e controle do processo de digestão anaeróbia para verificação de sua eficiência.

Este trabalho tem como objetivo principal analisar a eficiência de um biodigestor bovino para diluições distintas e determinar a proporção de gás metano presente no biogás gerado.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Avaliar a influência da taxa de diluição da carga orgânica volumétrica na geração do metano em um biodigestor de um abatedouro bovino.

Objetivos Específicos

Desenvolver um modelo matemático que explique o funcionamento do biodigestor de um abatedouro bovino;

Analisar a eficiência do biodigestor de um abatedouro bovino para três tipos de diluições;

Determinar a proporção de metano e gás carbônico presentes no biogás gerado a partir do biodigestor.

METODOLOGIA

Caracterização do objeto de estudo

O tipo de biodigestor utilizado neste trabalho foi do tipo Batelada, este funciona de forma descontínua, ou seja, ele é abastecido com matéria orgânica, fechado e inicia-se o processo de digestão. Este tipo de biodigestor fornece biogás durante certo período de tempo (que varia de acordo com a matéria orgânica utilizada, diluição, temperatura e pH), então é aberto para a descarga do material fermentado e em seguida inserido uma nova matéria orgânica.

O modelo de biodigestor em batelada é ideal para projetos temporários, onde a matéria a ser utilizada é gerada por um certo período de tempo e depois para de ser produzida. Por se tratar de uma pesquisa acadêmica, o modelo que mais se adequou ao desejado foi o modelo de biodigestor em batelada.

No presente estudo foram utilizados sete protótipos de um biodigestor com fezes bovinas, para serem operados de acordo com o modelo batelada, cada protótipo teve uma capacidade volumétrica de 5 litros e funcionaram durante um tempo de retenção hidráulica de 10 dias cada um, ambos iniciados no mesmo dia e mantidos na mesma condição de temperatura com uma média de 29°C durante os 10 dias. Os dejetos utilizados foram coletados em um criadouro de bovino leiteiros do município de João Pessoa – PB.

Etapas metodológicas

Antes de fazer qualquer experimento é necessário realizar um planejamento experimental do que se deseja fazer para que seja possível o alcance de um melhor aproveitamento do sistema, com isso o planejamento experimental é adequado para analisar os efeitos de vários fatores que influenciam um sistema.

Segundo Barros Neto (2011) o primeiro passo que devemos tomar em um planejamento experimental é definir quais os fatores e as respostas que visamos. No caso do presente experimento os fatores utilizados foram a quantidade de água e a quantidade de esterco presente em cada protótipo de biodigestor.

Para determinar o número de ensaios feitos foi utilizado a Eq. 1. pois, como foram dois os fatores que influenciaram nas respostas, quantidade de esterco e água, foi utilizado o planejamento fatorial 2^k , onde k é o número de fatores analisados no experimento.

$$2^k = 2^2 = 4 \quad (1)$$

Para se fazer um planejamento experimental completo deve-se realizar tratamentos em todas as combinações de fatores possíveis utilizando os níveis superiores (+1) e inferiores (-1), atingindo assim as combinações de -1 e -1, -1 e 1, 1 e -1, e por fim 1 e 1. Neste experimento foram utilizados um total de sete ensaios, quatro combinações do fatorial 2^2 , cada um com uma diluição distinta, mais três pontos centrais, com cada parte de esterco correspondendo a 500g e de água correspondendo a 500mL (Tab. 1).

Tabela 1. Planejamento Experimental fatorial 2^k .

Protótipos	Esterco	Água	Esterco (parte)	Água (parte)
1.	-1	-1	1	1
2.	-1	1	1	3
3.	1	-1	2	1
4.	1	1	2	3
5.	0	0	1,5	2
6.	0	0	1,5	2
7.	0	0	1,5	2

Fonte: Dados da Pesquisa (2017).

Os protótipos foram confeccionados com garrafas de água mineral de 5 litros, 20cm de mangueira de 3mm de diâmetro para cada protótipo, cola de silicone para vedação e válvula metálica para controle da saída do biogás. Inicialmente foi feito um furo na tampa das garrafas, inserida a ponta da mangueira de 20 cm e vedado com silicone, na outra ponta da mangueira foi colocada a válvula metálica para controle da liberação do biogás.



Figura 1. Protótipos de biodigestor Fonte: Dados da Pesquisa (2017).

Para estimar a quantidade de metano - CH₄ presente no biogás gerado em cada protótipo, foi utilizado o equipamento Dräger X-am 7000, cedido pela UFPB - Universidade Federal da Paraíba. Para verificar que tipo de diluição rende mais metano foi utilizado o software de métodos estatísticos chamado Statística que auxilia na modelagem matemática utilizando a regressão linear.

RESULTADOS

Após as medições feitas para quantificar o gás metano presente em cada protótipo, obteve-se a Tab. 2 onde se pôde verificar os seguintes resultados: o primeiro protótipo, com 500 g de esterco para 500 mL de água, gerou 1,3 m³ de biogás; o segundo protótipo, com 500 g de esterco e 1500 mL de água, gerou 0,6 m³ de biogás; o terceiro protótipo, com 1000 g de esterco e 500 mL de água, gerou 3,7 m³ de biogás; o quarto protótipo, com 1000 g de esterco e 1500 mL de água, gerou 3,4 m³ de biogás; o quinto, sexto e sétimo protótipos, cada um com 750 g de esterco e 1000 mL de água, geraram respectivamente 2,4; 2,4 e 2,2 m³ de biogás.

Tabela 2. Quantidade de biogás presente em cada protótipo.

Amostras	Esterco	Água	Esterco (g)	Água (mL)	CH ₄ (m ³)
1.	-1	-1	500	500	1,3
2.	-1	1	500	1500	0,6
3.	1	-1	1000	500	3,7
4.	1	1	1000	1500	3,4
5.	0	0	750	1000	2,4
6.	0	0	750	1000	2,4
7.	0	0	750	1000	2,2

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Como o objetivo da regressão linear é obter um modelo matemático que melhor ajuste os valores da variável dependente em função da variável independente, foram inseridos no programa Statística os dados obtidos, o que gerou um gráfico padronizado dos efeitos e da influência do esterco, da água, e da mistura de esterco e água utilizados na geração do biogás. O esterco tem o grau de influência de 22,5164, a água de 4,33013 e a mistura de esterco e água, no valor de 1,732051, por estar antes da linha limite de influência $p=1$, não influenciam na geração do biogás conforme mostra a Fig. 2.

Segundo Junqueira (2014) o material utilizado deve conter entre 90 e 95% de umidade em relação ao seu peso. O teor de umidade varia de acordo com a matéria prima utilizada, o excesso ou a falta dela podem ser prejudiciais aos processos de desenvolvimentos bacteriológicos no interior do biodigestor.

De acordo com Afonso (2013), dejetos bovinos, que possuem aproximadamente 84% de umidade, devem ser diluídos em 100% do seu peso em água; para dejetos suínos com aproximadamente 19% de umidade precisa-se de 130% do seu peso em água; e os de caprinos ou ovinos devem ser diluídos em 320% do seu peso em água.

Diante do exposto na Tab. 2 viu-se que, a utilização de um esterco menos diluído em água, como no caso do protótipo 3, tem a probabilidade de geração de biogás mais acentuada por se tornar um ambiente mais propício para a proliferação das bactérias metanogênicas que, consumindo o oxigênio presente no interior do biodigestor gera o biogás.

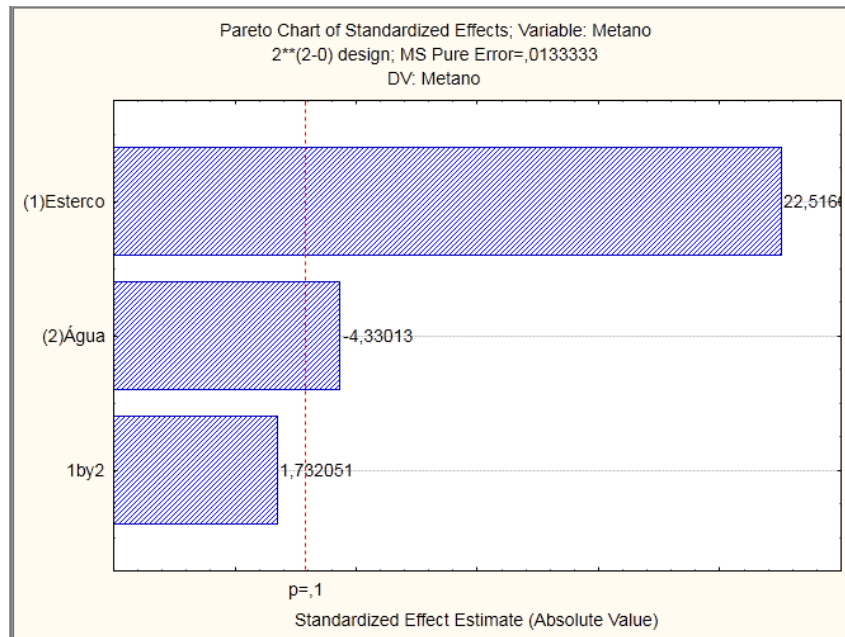


Figura 2. Gráfico Padronizado de Efeitos. Fonte: Dados da pesquisa (2017).

A Fig. 3 mostra um gráfico em três dimensões das relações e influências que a quantidade de esterco e água exercem na geração do biogás em cada um dos protótipos utilizados no estudo; tendo uma escala de cores das mais frias para as mais quentes de acordo com o aumento na geração do biogás.

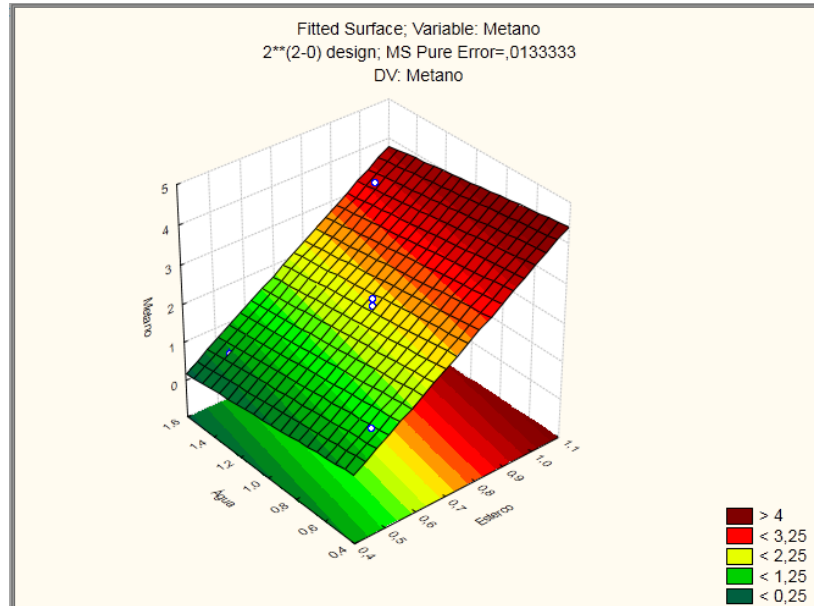


Figura 3. Superfície cabida. Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Por se tratar de um cálculo de Regressão partimos da Equação da Constante de Regressão Normalizada (Eq. 2) que utiliza uma constante e Coeficientes específicos para cada variável obtendo assim, o resultado. A equação da Constante de regressão foi ajustada para trabalhar com as duas variáveis estudadas (esterco e água).

$$Tx = \alpha + \beta_1 \times x_1 + \beta_2 \times x_2 \quad (2)$$

Onde:

Tx = Taxa de geração de biogás;

α = Constante de Regressão;

β_1 = Coeficiente de Regressão para o esterco;

x_1 = Variável - esterco;

β_2 = Coeficiente de Regressão para a água;

x_2 = Variável- água

Adotando um grau de confiabilidade de 90%, uma probabilidade de erro de 10%, e conhecendo o grau de relevância de cada variável obteve-se a constante de Regressão (α) no valor de 2,285714 o Coeficiente de Regressão para o esterco (β_1), no valor de 1,3; e o Coeficiente de Regressão para a água (β_2), no valor de -0,25. Como consta na Tab. 3.

Tabela 3. Coeficientes e constante de regressão.

Fatores	Coefficiente	Erro Padronizado do Coeficiente
Metano	2,285714	0,043644
Esterco	1,300000	0,057735
Água	-0,250000	0,057735

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Os coeficientes gerados pelo Estatística foram aplicados na Equação da Constante de Regressão Normalizada que resultou na Eq. 3, uma equação codificada que pode ser aplicada para o cálculo da taxa de geração do biogás em biodigestores, conforme a quantidade de esterco e água que se utilizar.

$$Tx = 2,285714 + 1,3 \times x_1 - 0,25 \times x_2 \quad (3)$$

Tal equação (Eq. 3) tem o intuito de analisar a influência que a quantidade de esterco e de água, que é inserida no biodigestor, exerce na geração do biogás.

Aplicando as proporções de esterco e água adotados na Equação do modelo matemático experimental (Eq. 3) obteve-se os seguintes resultados: para o primeiro protótipo a quantidade de biogás a ser gerado foi de 1,23m³; para o segundo protótipo essa quantidade foi de 0,73m³; para o terceiro protótipo a quantidade de biogás a ser gerado foi de 3,70m³; para o quarto protótipo essa quantidade foi de 3,40m³; e para o quinto, extorsão e sétimo protótipos, utilizados como ponto centrais, a quantidade de biogás a ser era da foi de 2,40m³, 2,40m³ e 2,20m³ respectivamente, como mostra na Tab. 4.

Tabela 4. Resultados previsto, experimentais e percentual de erro do experimento.

Esterco	Água	Volume de biogás utilizando o modelo	Volume de biogás medido no experimento	Erro	Percentual do Erro
-1	-1	1,2357	1,30	-0,06	-5,20%
-1	1	0,7357	0,60	0,14	18,45%
1	-1	3,8357	3,70	0,14	3,54%
1	1	3,3357	3,40	-0,06	-1,93%
0	0	2,2857	2,40	-0,11	-5,00%
0	0	2,2857	2,40	-0,11	-5,00%
0	0	2,2857	2,20	0,09	3,75%

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Também é importante verificar o volume do erro entre a os resultados obtidos com a aplicação do modelo matemático e os resultados obtidos com as medições previstas em cada protótipo.

Com isso pôde-se constatar que o modelo matemático proposto descreve o funcionamento dos protótipos, trazendo assim um grau de confiabilidade mais alto ao modelo proposto.

CONCLUSÃO

1. O modelo matemático experimental descreve o funcionamento dos protótipos com 90% de confiabilidade.
2. A equação gerada pelo modelo matemático pode ser aplicada para verificação do potencial de produção de biogás em qualquer projeto de implantação de biodigestor, sendo ele abastecido com dejetos frescos de bovinos e aplicando as mesmas proporções utilizadas no experimento.
3. Segundo o experimento feito constatou-se que biodigestores abastecidos com matéria menos diluída geram mais biogás, por se tratar de um ambiente mais propício para a proliferação das bactérias responsáveis pela produção do biogás.

REFERÊNCIAS

AFONSO, C. L. K. C. **Avaliação e otimização de biodigestores.**

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil.** Brasília: ANEEL, 2002.

BALMANT, W. **Concepção construção e operação de um biodigestor e modelagem matemática da biodigestão anaeróbica.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2009. (Dissertação de mestrado).

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria.** Campinas: Editora da Unicamp, 2001.

BASSANEZI, R. C. **Modelagem como metodologia de ensino de matemática.** São Paulo: Contexto, 2006.

CHERNICHARO, C. A. L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. **Reatores Anaeróbios**, v. 5, p. 32, 2007.

FARRET, F. A. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica.** Santa Maria: UFSM, 1999.

GOMES, R. C. **Evolução e qualidade da pecuária brasileira.** Campo Grande: Embrapa, 2017. (Nota técnica Embrapa).

IBGE. IBGE - Estados. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/>>. Acesso em: 21 maio 2017.

IEA - Agência Internacional de Energia. **Nuclear power: Sustainability, Climate Change and Competition.** Paris: IEA/OECD, 1998.

JUNQUEIRA, J. B. Diluição e separação das frações sólida e líquida de dejetos de bovino de corte para abastecimento de biodigestores anaeróbios. Anais do II Simpósio Internacional para Gerenciamento de Resíduos Agropecuário e Agroindustriais. Foz do Iguaçu, 2011.

KERKHOFF, S. et al. Potencial teórico de produção de biogás e energia elétrica a partir da biomassa residual da suinocultura da região oeste do Paraná. Anais do 10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural - AGRENER GD, p. 1-10, 2015.

SHUBEITA, F. M. **Análise e modelagem de sistema de digestão anaeróbica monitorado para previsão e busca de eficiência de operação.** Porto Alegre: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2016. (Tese de doutorado).

SOARES, R. C.; DA SILVA, S. R. C. M. **Evolução histórica do uso de biogás como combustível.** Cuiabá: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, 2010.

SOUZA, M. E. Fatores que influenciam a digestão anaeróbia. **Revista DAE**, v. 44, n. 137, p. 88-94, 1984.