

Análise das diluições e dos tempos de retenção de hidráulica para produção de biogás a partir de dejetos animais

MAZZONETTO, Alexandre Witier
COSSANTE, Larissa
SANTOS, Alexsandro Gomes dos
HARDER, Márcia Nalesso Costa

Resumo

Baseado em ampla revisão bibliográfica, este trabalho levantou as possíveis diluições para os dejetos animais mais produzidos pela pecuária brasileira – os principais dejetos animais no Brasil – bovinos de corte (confinamento) e leiteiro; aves de corte e poedeiras, suínos (nas mais diferentes fases da criação), e seus respectivos tempos de retenção hidráulica (TRH) nos biodigestores. A diluição adequada é importante para proporcionar a biodigestão anaeróbia e evitar desperdícios de água na diluição, insumo precioso; bem como o tempo necessário para se ter a produção do biogás e o tratamento sanitário dos dejetos – eliminação de patógenos e contaminantes pelas bactérias. Essas informações são fundamentais diante da diversidade climática nacional, dos enormes rebanhos brasileiros e consequente produção de dejetos. Foram consideradas diversas pesquisas com dejetos bovinos de corte (confinamento) e leiteiro; aves de corte e poedeiras, e suínos – nas diferentes fases da criação, para se preparar o substrato antes de ser colocado no biodigestor. Os resultados mostraram faixas ótimas para diluição e tempo de retenção hidráulica (TRH) adequados geraram um melhor aproveitamento do potencial energético dos substratos.

Palavras-chaves: biodigestão, resíduos animais, substratos, tempo de detenção hidráulica (TDH)

Abstract

The environmental concern, the need to reduce agricultural production costs, added to the relentless pursuit of the use and reuse of all resources available on a farm / livestock motivated this research. Using a broad literature review, this work raised possible dilutions for the most produced animal waste by Brazilian livestock and their respective hydraulic retention time (HRT) in biodigesters. Proper dilution is important to provide anaerobic digestion and to avoid waste of this precious input - water; as well as biogas required production time and sanitary waste treatment - pathogens and contaminants elimination by bacteria. This information is fundamental given the national climate diversity, the huge Brazilian herds and the consequent waste production. A survey was conducted for feedlot beef cattle and dairy manure; poultry, laying hens, and pigs - at different stages of rearing, in order to prepare the substrate before being placed into the digester. The results showed that proper dilution and hydraulic retention time (HRT) generated better substrate energy potential utilization.

Keywords: biogesters, animal waste, substrates, hydraulic detention time (HRT).

Resumen

Con base en una extensa revisión bibliográfica, este trabajo planteó las posibles diluciones para los desechos animales más producidos por la ganadería brasileña y sus respectivos tiempos de retención hidráulica (TRH) en los biodigestores. La dilución adecuada es importante para proporcionar biodigestión anaeróbica y evitar el desperdicio de este preciado insumo, el agua; así como el tiempo requerido para la producción de biogás y el tratamiento sanitario de los residuos – eliminación de patógenos y contaminantes por bacterias. Esta información es fundamental dada la diversidad climática nacional, los enormes rebaños brasileños y la

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 22-41.

Análise das diluições e dos tempos de retenção de hidráulica para produção de biogás a partir de dejetos animais

Alexandre Witier Mazzonetto; Larissa Cossante; Alexsandro Gomes dos Santos; Márcia Nalesso Costa Harder

consecuente producción de residuos. Se realizó un relevamiento con estiércol de res (confinamiento) y lechería; pollos de engorde y gallinas ponedoras, y cerdos- en las diferentes etapas de crianza, para preparar el sustrato antes de ser colocado en el biodigestor. Los resultados mostraron que la dilución adecuada y el tiempo de retención hidráulica (TRH) generaron un mejor aprovechamiento del potencial energético de los sustratos.

Palabras clave: biodigestión, desechos animales, sustratos, tiempo de detención hidráulica (HRT)

INTRODUÇÃO

O agronegócio brasileiro tem se pautado pelo profissionalismo e alto rendimento. A legislação ambiental brasileira é uma das mais rigorosas do mundo, sendo muito mais exigente que nossos vizinhos - como Paraguai, Chile, Argentina, Bolívia.

Assim, é importante cuidar do meio ambiente e usar os recursos disponíveis nas propriedades, da forma mais eficiente para o meio ambiente.

O Brasil é um dos maiores produtores rebanho bovino, sendo o maior produtor mundial de carne para exportação, o quarto em rebanho suíno e primeiro em criação de aves (IBGE, 2019).

A biodigestão anaeróbia é uma opção para tratamento de dejetos animais que oferece soluções para problemas sanitários e ambientais, produzindo, ainda, biogás e biofertilizante.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os dados disponíveis na literatura sobre a biodigestão anaeróbia de dejetos animais (para a produção de biogás), e avaliar as melhores diluições e tempo de retenção hidráulica (TRH), para os principais dejetos animais no Brasil – dejetos bovinos de corte (confinamento) e leiteiro; aves de corte e poedeiras, e suínos (nas diferentes fases da criação).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Biogás

Biogás, ou gás metano, é um gás incolor, altamente combustível, que produz chama azul-clara e queima com um mínimo de poluição. É o produto final da fermentação anaeróbica de dejetos animais, de resíduos vegetais e de lixo residencial e industrial, em condições adequadas de umidade (FARIA, 2012).

Trata-se de uma mistura gasosa combustível, de alto poder calorífico, composta basicamente de dois gases, o metano (CH_4), que representa 60- 70% restantes da mistura, e o gás carbônico (CO_2) que representa os 40- 30% restantes. Outros gases (nitrogênio, N; hidrogênio, H e gás sulfídrico, H_2S) participaram da mistura em proporções menores. A qualidade do biogás é uma função da percentagem de metano da mistura. Quanto maior for a percentagem de metano, melhor será o biogás (LUCAS JUNIOR et al, 2011).

O biogás é um gás inodoro que queima sem deixar fuligem, mas, devido à presença de gás sulfídrico (H_2S), apresenta um odor típico (ovo podre), que pode ser usado para detectar vazamentos. É armazenado sob baixa pressão ($0,009 \text{ kg/cm}^2$) e não pode ser levado a longas

distâncias, usualmente 50 a 150 m, sem utilizar compressor O biogás, por apresentar alta percentagem de metano, é extremamente inflamável. Pode ser usado para qualquer fim que necessite de combustível, devido ao seu alto poder energético. É comumente utilizado no meio rural, principalmente, para cocção, iluminação, refrigeração, aquecimento, etc., proporcionando conforto ao homem do campo. Também, pode ser usado no acionamento de motores a explosão e geração de energia elétrica. Na indústria (destilaria, fábrica de papel, etc.) pode ser empregado em substituição de parte da energia consumida no processo de produção. A Tabela 1 apresenta a composição média dos gases produzidos a partir da biodigestão anaeróbia, de acordo com Faria (2012).

Tabela 1. Composição da mistura gasosa do biogás

| Gases | Porcentagem presente no biogás (%) |
|---------------------------------------|------------------------------------|
| Metano (CH ₄) | 40 – 75 |
| Dióxido de Carbono (CO ₂) | 25 – 40 |
| Hidrogênio (H ₂) | 1 – 3 |
| Nitrogênio (N ₂) | 0,5 – 2,5 |
| Oxigênio (O ₂) | 0,1 – 1 |
| Ácido Sulfídrico (H ₂ S) | 0,1 – 0,5 |
| Amônia (NH ₃) | 0,1 – 0,5 |
| Monóxido de Carbono (CO) | 0 – 0,1 |

Fonte: Adaptado Faria (2012).

A concentração de biogás (Tabela 2) pode variar de acordo com a espécie animal, tal variação pode ser explicada de acordo com o sistema metabólico e a alimentação empregada podendo reduzir ou aumentar a concentração de metano, salientando que animais confinados produzem um volume maior de dejetos (COLATTO e LANGER, 2012).

Tabela 2. Expectativa de produção de biogás de acordo com a espécie produtora do dejetos

| Espécie | Kg de dejetos para produção de 1m ³ | Produção de biogás a partir de material seco em m ³ . t ⁻¹ | Percentual de gás metano produzido |
|---------|--|--|------------------------------------|
| Bovinos | 28,6 | 270 | 55% |
| Suínos | 11,30 | 560 | 50% |
| Aves | 8,35 | 285 | Variável |

Fonte: Adaptado de Colatto e Langer (2012).

Digestão Anaeróbia

A grande crise energética com grandes variações de custo dos combustíveis fósseis e aumento da demanda mundial, inúmeras pesquisas em busca de novas fontes renováveis vem surgindo e a aplicação da digestão anaeróbia tem ganho espaço (RIBEIRO et al, 2007).

A digestão dos resíduos orgânicos pode ser identificada como um meio em que diversos microorganismos trabalham de forma interativa buscando converter tal matéria orgânica em compostos mais simples. Em que passando por cada etapa o produto obtido serve de substrato, atendendo as necessidades nutricionais da população microbiana da etapa seguinte (OLIVEIRA, 2007).

As bactérias a serem utilizadas estão diretamente ligadas à matéria prima a ser inserida no biodigestor, podem ser divididas em três grupos que possuem comportamentos fisiológicos distintos: as bactérias fermentativas que por meio de hidrólise transformam os polímeros em monômeros (acetato hidrogênio, dióxido de carbono, por exemplo); as bactérias acetogênicas que produzem hidrogênio, capaz de converter os produtos da primeira etapa; e as bactérias metanogênicas formadas por dois grupos: um, que usa o acetato e o transforma em metano e dióxido de carbono; enquanto o outro, produz redução de dióxido de carbono. O processo da digestão é formado por etapas sequenciais distintas, promovidas pelas bactérias específicas de cada etapa (CORTEZ et al, 2007).

A hidrólise é a primeira fase da digestão que consiste na ação das bactérias fermentativas que, por não serem capazes de digerir materiais complexos como polissacarídeos e gorduras expõem enzimas que irão degradá-los até se tornarem mais simples e solúveis em água. Essa fase é lenta e fatores como pH, temperatura, retenção hidráulica e composição do substrato devem ser rigidamente analisados, pois podem afetar toda o processo. Na acidogênese, os produtos da hidrólise são absorvidos pelas células das bactérias fermentativas e metabolizados para compostos mais simples e excretados. Os produtos formados são ácidos graxos voláteis, álcoois, como aldeídos, gás carbônico, além de novas células. Nesta fase as bactérias são na maioria anaeróbias estritas e a presença de oxidantes como oxigênio ou o nitrato é tóxico (GRANATO, 2003).

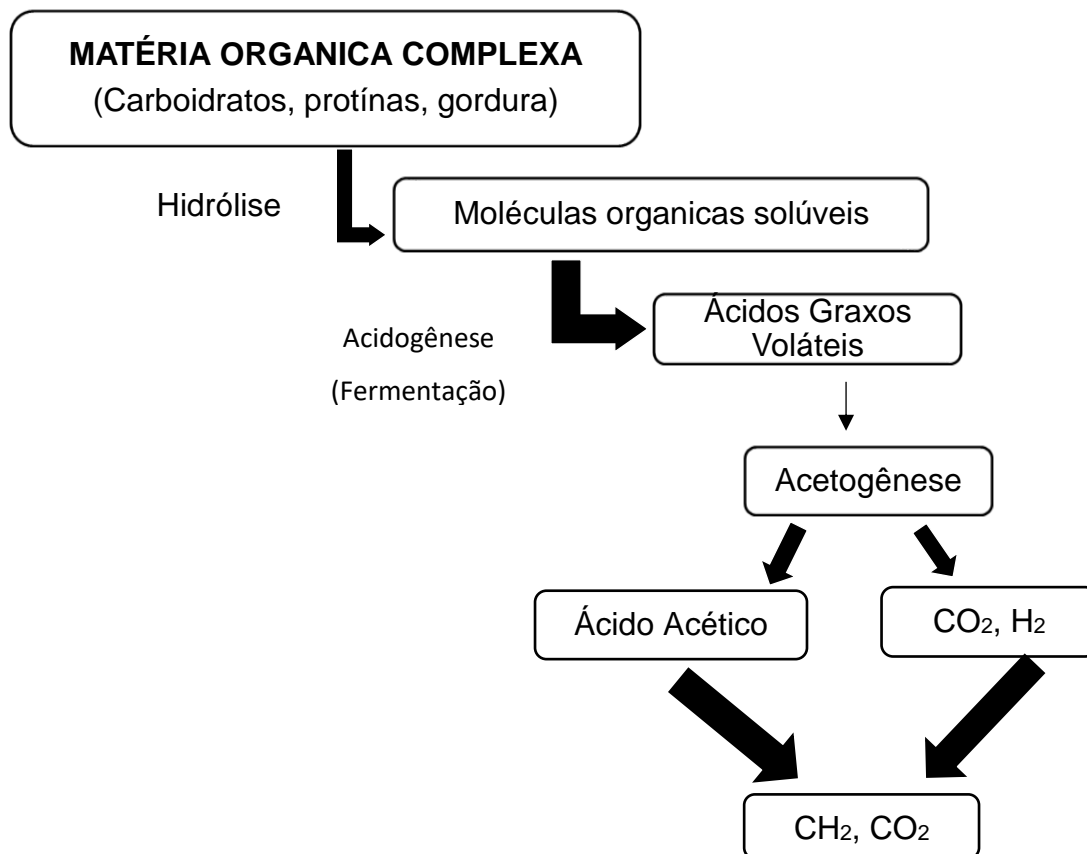
A segunda etapa é a acetogênese onde as bactérias acetogênicas convertem os produtos da acidogênese em acetato e gás carbônico para que as bactérias metanogênicas da próxima etapa possam substrato capaz de atender a sua demanda nutricional (OLIVEIRA, 2007).

A terceira e última etapa da digestão anaeróbia os compostos orgânicos são transformados em metano e gás carbônico, a qual é estritamente anaeróbia e dependem do fornecido pelas acidogênicas, estes microorganismos utilizam apenas um limitado número de substratos que

compreendem por exemplo ácido acético, hidrogênio, monóxido de carbono. Um dos grupos formadores produz metano a partir de ácido acético ou metanol produz a partir de dióxido de carbono (LUCAS JUNIOR et al, 2011).

A Figura 1 apresenta um fluxograma do processo de digestão anaeróbia.

Figura 1. Fluxograma das Etapas metabólicas da digestão anaeróbia



Fonte: Cortez et al (2007).

Interferentes na Produção de Biogás

O desenvolvimento das culturas de microrganismos possui fatores que devem ser rigidamente controlados, pois podem aumentar a eficiência ou degradar a atividade das bactérias no sistema (COLDEBELLA, A 2006). Segundo Pereira (2005), interferem:

- Temperatura: influencia na velocidade do metabolismo bacteriano, no equilíbrio iônico e na solubilidade dos substratos; grande parte dos digestores funciona na faixa mesofílica de 20° C a 30° C por ser confiável e de fácil controle. - pH, as bactérias metanogênicas são muito sensíveis a acidez; elevados níveis de pH podem inibir a atividade. O ideal é que esteja entre a faixa de 7 a 7,2 podendo variar no máximo entre 6 a 8.

- Tempo de retenção hidráulica (TRH) trata-se do tempo que um determinado substrato passa no interior de um digestor, ou seja, o tempo entre a entrada e a saída dos diferentes materiais do digestor. Esse período pode variar em função do tipo de biomassa, granulometria da biomassa e temperatura do digestor. Para dejetos bovinos o indicado é de 20 a 45 dias para produção de biogás e 60 dias para produção de biofertilizante (NEVES, 2010).

- Modelo de reator: ao proceder a escolha de um reator, deve-se observar critérios como, o tipo de resíduo a ser digerido, a eficiência do processo e a finalidade que se pretende com a construção do sistema.

- Diluições: substrato não pode estar muito diluído, pois pode comprometer a taxa de crescimento dos microrganismos. A quantidade de água a ser adicionada ao substrato depende do tipo de processo e dejetos a ser utilizados. Mas a diluição pode também diminuir os níveis de componentes inibidores, como amoníaco ou ácidos graxos voláteis, evitando o apodrecimento, oferecendo muitos benefícios ambientais, sobretudo a redução das emissões de metano (KARLSSON et al, 2014).

Pecuária no Brasil - Fontes de Matéria Prima para Biogás

A pecuária nacional passou por grandes alterações nos últimos anos, estimulando o sistema de criação em confinamento, desde bovinos para corte e leite - uma das principais cadeias produtivas, como suínos, aves poedeiras e de corte, esse sistema busca aumentar o rendimento e reduzir custos (ABIEC, 2019)

No ano de 2018 foi registrado um crescimento de 6,9% no número de abates, chegando a um total de 214.899.796 cabeças bovinas, sendo o Brasil, o maior exportador mundial, para rebanho suíno um total de 41.099.460 e galináceos de 1.425.699.944 (IBGE, 2019).

O Brasil tem se empenhado em manter o equilíbrio entre as suas fontes de energia renováveis e tradicionais. Há um aumento significativo no estudo a respeito do biogás gerado pelas estações de tratamento de efluentes como: lixo urbano, vinhaça, rejeitos animais (KARLSSON et al, 2014).

A produção média diária de dejetos segundo a EMBRAPA é de 25 a 30 kg para bovinos adultos confinados, de 10 a 15 kg para bovinos semi confinados, de 2,5 kg para suínos adultos de 40 kg e 0,18 kg para galináceos, a Tabela 3, abaixo esboça o potencial de geração de biogás a partir de diferentes resíduos orgânicos animais (EMBRAPA, 2019).

Tabela 3. Potencial de geração de biogás a partir de diferentes resíduos orgânicos animais

| Animal | Kg de esterco/animal/dia | m ³ biogás/kg de esterco | m ³ biogás/ animal/dia |
|---------|--------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Bovinos | 20 - 40 | 0,038 | 0,36 |
| Suínos | 2,3 - 2,8 | 0,079 | 0,24 |
| Aves | 0,12- 0,18 | 0,050 | 0,014 |

Fonte: adaptado de EMBRAPA (2019).

Biodigestores no Meio Rural

Um biodigestor compõe-se basicamente de uma câmara de fermentação fechada, na qual a biomassa sofre digestão pelas bactérias anaeróbicas, resultando na formação de biofertilizante e produtos gasosos. Um recipiente vedado construído (Figura 2), normalmente em alvenaria ou concreto, onde o material orgânico é depositado para que a digestão anaeróbia possa ocorrer (NEVES, 2010).

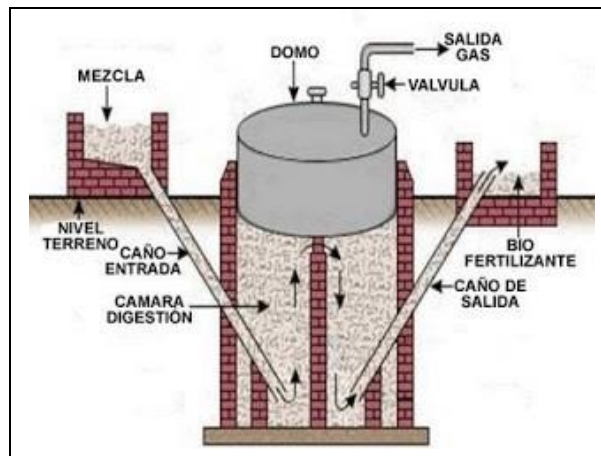
Figura 2. Biodigestor no meio rural



Fonte: Coelho, 2012.

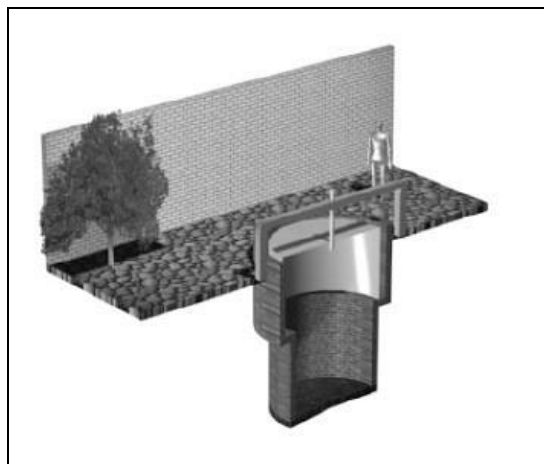
Quanto ao seu funcionamento, os biodigestores podem ser classificados em contínuos (Figura 3), quando a carga de matéria orgânica for diária, e descontínuos (batelada – Figura 4), quando não há a constância de geração de resíduos ou baixo consumo de gás. Um biodigestor é considerado rural quando possui uma câmara de fermentação com volume inferior a 100 m³ e processa as matérias-primas (vegetais e dejetos animais) líquidas com elevado teor de sólidos. O tipo ideal de biodigestor rural depende de vários fatores: qualidade e quantidade de resíduos gerados pelos animais; condições ambientais do local; mão-de-obra qualificada para a construção, manutenção e operações dos biodigestores; distância da fonte de biomassa e o consumo de gás; dimensionamento dos equipamentos, filtros do gás sulfídrico, gasômetro e geradores necessários para suprir as necessidades (OLIVEIRA, 2009).

Figura 3. Modelo de biodigestores contínuos



Fonte: Coelho, 2012.

Figura 4. Modelo de biodigestores descontínuos



Fonte: Coelho (2012).

O clima tropical do Brasil, favorece os ciclos biológicos que promovem a degradação anaeróbia com temperaturas médias anuais que garantem os processos biológicos. Por outro lado, as condições climáticas frias por períodos prolongados em países do Hemisfério Norte reduzem e chegam até a paralisar as atividades dos ciclos biológicos, e restringindo - atividade microbológica - em geral, menos intensa que a encontrada no clima tropical, limitando o emprego da biodigestão nessas regiões (GALINKIN e BLEY, 2009).

Biofertilizante

A produção do biofertilizante se dá pela fermentação (digestão anaeróbica) de resíduos orgânicos ricos em material com grande poder fertilizante, fornecendo elementos essenciais para o

crescimento das plantas, como nitrogênio, fósforo, potássio. Quando aplicado ao solo, pode melhorar suas qualidades físicas, químicas e biológicas (MIGUEL e CASEIRO, 2003).

No processo de digestão anaeróbica, há maior retenção de nitrogênio, quando comparada com a decomposição aeróbica. Isto pelo fato de as bactérias anaeróbicas utilizarem menos nitrogênio para sintetizar proteínas. Assim, obtém-se o biofertilizante, utilizado como adubo (NOGUEIRA et al, 2006).

O aproveitamento agrícola de resíduos ou subprodutos de determinadas atividades tem recebido um crescente interesse, por mostrar-se uma alternativa técnica e ambientalmente adequada. Essa prática se ajusta à necessidade de reposição da matéria orgânica e nutrientes no solo, buscando manter os níveis de fertilidade que permitam um razoável rendimento das culturas. Além disso, com esse procedimento, objetiva-se reduzir a exploração dos recursos naturais envolvida na produção de fertilizante e minimizar o impacto ambiental causado, pois dispensa a adoção de outras opções de destino (MIGUEL e CASEIRO, 2003).

Segundo Santos et al (2007), em função dos baixos custos de produção e da forma simplificada de preparo, o biofertilizante está surgindo como um adubo natural para a nutrição das plantas e redução do ataque de pragas e doenças, na busca de aumentos significativos no rendimento das culturas – uma vez que este produto pode ser fabricado no local a partir dos resíduos animais.

Importância do Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) e da Diluição

No processo para gerar biogás, os hidrocarbonetos são convertidos em gás metano e dióxido de carbono. Dessa forma, há redução na quantidade de material sólido, pois os teores de sólidos voláteis diminuem durante o processo. Quando no processo é introduzido um novo substrato, rico em carbono, este também será convertido em biogás (KARLSSON et al, 2014).

O material resultante é constituído por água, sais dissolvidos, e por matéria orgânica digerida no biodigestor, chamado resíduo. No resíduo também há presença de certa quantidade de biomassa, pois microrganismos são cultivados durante o processo, formando o biofertilizante. O tempo de retenção de um processo de geração de biogás é de aproximadamente 30 dias para biogás, 45 para gerar biogás e biofertilizante (ainda não próprio a utilização como adubo) e 60 dias para biofertilizante próprio a utilização. A concentração do substrato também é de extrema importância, interferindo diretamente no crescimento microbiano, podendo comprometer todo o processo. O volume de água varia de acordo com o substrato a ser utilizado e a técnica adubação (NEVES, 2010).

Os dejetos podem ser separados em duas categorias, fase líquida e seca, dependendo do teor de sólidos secos que contêm em cada fase. Na fase sólida normalmente há um alto teor de carbono e o teor de sólidos secos entre 27% e 70% maior que na fase líquida, pois também contém material fecal. Os lodos são mais acessíveis à digestão, pois contêm maior quantidade de nitrogênio e teor de sólidos secos entre 5% e 10%. Geralmente, dejetos bovinos apresentam menos potencial de produção de biogás do que os de suínos e de aves. Isto se deve à uma grande quantidade da matéria orgânica disponível ser degradada e convertida em metano ainda nos estômagos dos animais ruminantes. Uma diluição incorreta pode aumentar os níveis de componentes inibidores, tais como amoníaco ou ácidos graxos voláteis. Dejetos de suínos e de aves são mais ricos em proteína que o bovino e podem resultar em inibição no processo causada pela amônia, quando digeridos na ausência de material rico em carbono (KARLSSON et al, 2014).

Vantagens de Produzir Biogás

O biogás tem grande destaque por sua viabilidade de produção e também pelo fato de a tecnologia para sua produção já ser perfeitamente dominada por vários países, incluindo o Brasil (ROYA et al, 2011).

Um dos maiores problemas para tornar a produção do biogás mais viável ainda é, o mesmo maior inimigo do meio ambiente, o petróleo e seus derivados. A lucratividade com a produção de petróleo é muito maior do que a da produção não só do biogás, mas frente às demais fontes de energia renováveis exploradas hoje em dia pelo mundo afora. Daí a necessidade do desenvolvimento de uma consciência ecológica mais efetiva por parte das autoridades, principalmente daquelas envolvidas na economia global, com o intuito de incentivar a produção deste tipo de energia (BRAGANÇA et al, 2012).

Energia Renovável, Biogás e Bioeletricidade

Para obter uma série de benefícios ambientais e desenvolvimento sustentável, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa, pode-se construir biodigestores anaeróbicos cobertos, que serão abastecidos com dejetos bovinos oriundos de animais confinados, o sistema captura o biogás gerado, proporcionando energia limpa. A utilização do biogás gera eletricidade para suprir as próprias necessidades na propriedade, implementando-se um gerador (CAZARRÉ, 2008).

De acordo com Barrera (2003), o biodigestor rural, aproveita-se toda a matéria orgânica da propriedade rural para a produção de biogás e biofertilizante, reduzindo custos nas propriedades, em que o biofertilizante é usado para o uso na irrigação de cultivos anuais e perenes.

Segundo Kunz, Perdomo e Oliveira (2004), o tratamento com biodigestores reduz cerca de 70 a 80% de material orgânico, gerando biofertilizante, biogás, reduzindo a proliferação de insetos e roedores, combatendo doenças junto às pessoas que moram e trabalham nas propriedades.

METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão de literatura que investigaram diferentes tempos de retenção hidráulica (TRH) ou tempo de detenção hidráulica (TDH) para dejetos animais submetidos a biodigestão anaeróbia, bem como aqueles que investigaram diferentes diluições para dejetos animais.

Priorizaram-se trabalhos sobre biodigestão anaeróbia para dejetos animais das principais criações no Brasil, dejetos bovinos de corte (confinamento) e leiteiro; aves de corte e poedeiras, e suínos (nas diferentes fases da criação), os quais apontaram variações nas diluições, no tempo de retenção hidráulica e alguns na produção de biogás. Sabe-se que a alimentação e raça dos animais também são importantes para produção de biogás e qualidade do biofertilizante, porém este trabalho avaliou a influência do TRH e da diluição para as principais criações da pecuária brasileira.

Assim compararam-se os resultados de vários trabalhos para produção de biogás, a partir de dejetos bovinos – leiteiro e corte, suíno e aves – poedeiras e corte.

A revisão forneceu a máxima, mínima e média diluição para cada dejetos animal; e foi possível estimar o volume de água necessário para diluir os dejetos animais investigados, bem como o potencial de produção de biogás na zona rural brasileira e conseqüentemente, a geração de energia elétrica, via motogerador.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados são apresentados nas Tabelas 4, 5 e 6 com as respectivas fontes (autores), matérias primas, diluições e tempo de retenção hidráulica (TRH).

Tabela 4. Levantamento das diluições e TRH Aves

| Fonte | Dejeto | TRH [dias] | Diluição ¹ (Uma parte de dejeto por X de água) | Modelo do biodigestor | Resultado |
|--|----------------------|------------|---|------------------------------|-----------|
| Costa (2012) | Aves | 30 | 0,270;1,73 ou 1:6,4 | Batelada | 60 L |
| Barrera (1993); Lucas Júnior (2003); Mazzonetto (2018) | Aves | 40 | 1:3 | Canadense, chinês ou indiano | 1000 L |
| Paes et al (2018) | Bovino/Suíno | 77 | 1:1 | Indiano | 19,4 L |
| Sagula et al (2017) | Cama de frango | 35 | 1:8 | Indiano | 32,8 L |
| Sagula et al (2017) | Cama de frango | 35 | 1:10 | Indiano | 27,3 L |
| Sagula et al, 2017 | Cama de frango | 35 | 1:12 | Indiano | 28,7 L |
| Zanato (2014) | Aves postura e corte | 315 | 1:4;1:5;1:6; 1:7; 1:8 | Batelada e semi-contínuos | 1,8 L |

Fonte: Autores.

Tabela 5. Levantamento das diluições e TRH Bovinos

| Fonte | Dejeto | TRH [dias] | Diluição ¹ (Uma parte de dejeto por X de água) | Modelo do biodigestor | Resultado |
|--|-------------------------|-----------------------------|---|---------------------------|-------------------------------------|
| Amaral et al (2004) | Bovino Leiteiro | 20 | 1:11,5 | Chinês | 12 L,15 L |
| Barrera (1993); Lucas Júnior (2003); Mazzonetto (2018) | Bovino Confinado | 40 | 1:4 | Canadense | 1000 L |
| Paes et al (2018) | Bovino Confinado/Suíno | 77 | 1:4 | Indiano | 13,5 L |
| Paes et al (2018) | Bovino Confinado/Suíno | 77 | 1:4 | Indiano | 25,1 L |
| Resende et al (2015) | Bovino leiteiro | 60 | 1:2 | Indiano | 18 L/dia verão 16 L /dia Inverno |
| Zanato (2014) | Bovino corte e leiteiro | 161 (corte), 210 (leite) | 1:4;1:5;1:6; 1:7; 1:8 | Batelada e semi-contínuos | 1,8 |

Fonte: Autores.

Tabela 6. Levantamento das diluições e TRH Suínos

| Fonte | Dejeto | TRH [dias] | Diluição ¹ (Uma parte de dejeto por X de água) | Modelo do biodigestor | Resultado |
|--|--------|------------|---|------------------------------|-------------------------|
| Costa (2012) | suíno | 30 | 0,270;1,73 ou 1:6,4 | Batelada | 60 L |
| Barrera (1993); Lucas Júnior (2003); Mazzonetto (2018) | Suíno | 40 | 1:2 | Canadense, chinês ou indiano | 1000 L |
| Fernandes et al (2014) | Suíno | 30 35 | 2:1 | Canadense | 600 L/dia 1230 L/dia |

| | | | | | |
|--------------------|----------------|-----|---------------------------------|-------------------------------|----------|
| Souza et al (2005) | Suínos Aves | 28 | 1,96 kg de inoculo + 1:2,232 | Indiano | 115,48 L |
| Zanato (2014) | Suíno | 120 | 1:4;1:5;1:6; 1:7; 1:8 | Batelada e semi- contínuos | 1,8 L |

Fonte: Autores.

A diluição se deu na proporção de uma parte de dejetos (kg) por partes de água (kg).

A partir dos dados obtidos é notável que a diluição aplicada aos dejetos bovinos, segundo Amaral et al (2004) alcança uma maior produção de biogás, com uso do biodigestor chinês. Tal resultado também está diretamente ligado ao tempo de retenção hidráulica (TRH), visto que no estudo de Resende et al (2015) passaram 60 dias e a produção foi menor.

Já para dejetos suínos apenas encontram-se dados com o modelo de biodigestor canadense, onde o melhor rendimento foi de 1230 L, encontrado Fernandes et al (2014) mantendo a mesma proporção de dias para retenção hidráulica, e a diluição um pouco menor devido aos dejetos serem mais líquidos.

Para o dejetos de cama de frango a melhor diluição foi de 1:8 com a produção 32,8 L encontrada por Sagula et al (2017) quanto maior a diluição houve uma queda no potencial energético (Tabela 7).

Tabela 7. Melhores diluições e TRH para cada dejetos

| Dejetos | Diluição Mín. | Diluição Máx. | Diluição Média | TRH [dias] |
|------------------|---------------|---------------|----------------|------------|
| Bovino leiteiro | 1:11,5 | 1:2 | 1:5,75 | 40 |
| Bovino Confinado | 1:8 | 1:1 | 1:4 | 40 |
| Aves | 1:12 | 1:3 | 1:6,6 | 38 |
| Suíno | 1:8 | 2:1 | 1:2 | 35 |

Fonte: Autores.

Assim, com essas diluições e considerando os dados do IBGE (2019), pode estimar-se o volume de água (Litros e m³) necessário para produzir energia elétrica (kW.h ou MW.h). Essa informação mostra um potencial para biofertilizante com produção de energia, com essas estimativas é possível dimensionar o quanto o biogás pode contribuir para ampliar a oferta de energia para o agronegócio brasileiro.

A biodigestão anaeróbia dos dejetos animais garante proteção de mananciais, evita-se a proliferação de doenças, produz biofertilizante orgânico e biogás – combustível renovável; muito usado para geração de calor e eletricidade. É importante conseguir o biofertilizante e o biogás, usando-se o menor volume d'água, no menor tempo e com a maior produção de biogás. Ajustar essas três variáveis é importante para se ter a melhor eficiência do processo, com a melhor qualidade dos produtos – biogás e biofertilizante (Tabela 8).

Tabela 8. Estimativa do volume de água para diluir dejetos e produção energia elétrica – considerando-se o rebanho nacional

| Animal | Bovino corte confinado | Bovino leiteiro | Aves corte | Aves poedeiras | Suínos |
|---|------------------------|-----------------|--------------|----------------|------------|
| Rebanho Brasileiro | 150.500.182 | 64.399.614 | 925.327.293 | 500.372.651 | 41.099.460 |
| Dejeto por dia [t] | 4.816.006 | 1.609.990 | 166.599 | 90.067 | 102.749 |
| Diluição média aplicada | 1:4 | 1:5,75 | 1:6,6 | 1:6,6 | 1:2 |
| Água [m ³] | 19.264.023 | 9.337.944 | 1.099.289 | 594.443 | 205.497 |
| Biogás por dia [m ³ .dia ⁻¹] | 168.391.812 | 56.293.369 | 19.947.289 | 10.786.476 | 9.092.801 |
| Energia Elétrica [MW.h.dia ⁻¹] | 286.266 | 95,699 | 37.678 | 18.337 | 15.458 |
| Energia /dejeto [kW.kg ⁻¹] | 0,059 | 0,059 | 0,204 | 0,204 | 0,150 |
| Energia /animal [kW.aimal ⁻¹] | 1,902 | 1,486 | 0,037 | 0,037 | 0,376 |

Fonte: Autores.

Considerou-se o motogerador com taxa de conversão de 1,7 kW.h por m³ de biogás.

Nestas diluições, nota-se que as aves têm o dejetos com maior taxa de conversão – dejetos x energia; mas quando se avalia energia por unidade animal, o bovino de corte (confinado) tem a maior conversão. A Tabela 8 mostra que o rebanho bovino tem um grande potencial de geração de biogás e biofertilizante, e, conseqüentemente, geração de energia.

Há um potencial de geração de eletricidade de 454.674 MW.h.dia⁻¹, ou, 454,7 GW.h.dia⁻¹, com um potencial de produção anual de 163.679.799 MWh, ou, 163.679,8 GWh. A usina de Itaipu, corresponde entre 8,4 a 10,8% da geração da matriz elétrica Brasileira, que gerou 66.369 GWh no ano de 2021; assim, esses rebanhos juntos podem gerar 165.501 GW.h.; ou seja, praticamente 2,5 (2,4936) mais energia que Itaipu (considerando-se a produção de 2021).

Quando se considera a média de produção elétrica de Itaipu dos oito anos, a geração de eletricidade é de 86.909,6 GWh ou 86.909.625 MWh. Uma vez que foram usados valores médios neste trabalho, a comparação com Itaipu fica mais realista usando-se a média produzida, então a produção anual de eletricidade - via biogás de dejetos animais, seria o dobro (2 vezes) de Itaipu.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apontou a importância das diluições e do tempo de retenção hidráulica para a produção de biogás, assim obteve-se números diferentes para cada dejetos de diferentes trabalhos, calculou-se as médias de TRH e diluição.

A produção de biogás a partir dos dejetos de bovinos, mesmo usando-se mais água, foi bem superior aos demais. Evidente que a produção de dejetos é muito superior aos demais animais estudados.

O TRH está diretamente relacionado, pois quanto mais tempo o substrato passou no biodigestor a produção de biogás foi menor, indicando uma possível perda no experimento.

Semelhante a estes resultados a cama de frango também obteve uma queda da produção de biogás com o aumento da diluição. Para os dejetos suínos a diluição pode ser um pouco reduzida visto que os dejetos têm característica mais aquosa.

Com a análise dos dados, o tempo de retenção hidráulica mais indicado para dejetos animais é em média de 35 a 40 dias, para melhor aproveitamento dos substratos, que garante a estabilidade da matéria orgânica (biofertilizante) e tem a maior produção de biogás. Períodos maiores de retenção hidráulica tem uma desaceleração na produção de biogás e pouco material não foi estabilizado.

O dejetos com maior produtividade de energia foi o das aves, mas a energia produzida por cabeça de bovino foi maior; sendo a produção de suínos intermediário entre ambas taxas.

REFERÊNCIAS

ABIEC. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. *BeefREPORT REPORT Beef Perfil da Pecuária no Brasil*. São Paulo, 2019. Consultado em 11 de novembro de 2019.

AMARAL, C. D. C.; AMARAL, L. A.; LUCAS JUNIOR, J.; NASCIMENTO, A. A.. *Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica*. Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, 2004. Disponível em: www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782004000600035. Consultado em 14 de novembro de 2022.

BARRERA, P. *Biodigestores: energia, Fertilidade e Saneamento para a Zona Rural*. Ícone Editora, 1993, 106p.

BRAGANÇA, R; WOLFF, B. D. *Biodigestão e produção de biogás utilizando dejetos bovinos*, 2012. Disponível em: periodicos.ufn.edu.br/index.php/disciplinarumNT/article/view/1291. Consultado em 11 de novembro de 2022.

CCEE. *Câmara de Comercialização de Energia Elétrica*, 2019. Disponível em: https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/inicio?_afLoop=1047331957595614&_a_df. Acessado em 11 de novembro de 2019.

COELHO, P. *Biodigestores contínuos e de batelada*, 2019. Disponível em: <https://www.engquimicasantosp.com.br/2012/07/biodigestores.html>. Acessado em 11 de dezembro de 2022.

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 22-41.

Análise das diluições e dos tempos de retenção de hidráulica para produção de biogás a partir de dejetos animais
Alexandre Witier Mazzonetto; Larissa Cossante; Alexsandro Gomes dos Santos; Márcia Nalesso
Costa Harder

COLATTO, L; LANGER, M. *Unoesc & Ciência – ACET*, Joaçaba, v. 2, n. 2, p. 119- 128, jul./dez. 2012.

COLDEBELLA, A. *Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais*. 2006. 58p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Cascavel, 2006. Consultado em 10 de setembro de 2022.

CORTEZ, L. A. B.; SILVA, A.; LUCAS JUNIOR, J. de; JORDAN, R. A.; CASTRO, L. R. de. Cap. 15: Biodigestão de Efluentes. In: CORTEZ, L. A. B. (Coord.); LORA, E. S. (Coord.) *Biomassa para Energia*. Campinas: Editora da UNICAMP, 2007.

COSTA, Laura Vanessa Cabral da. *Produção de biogás utilizando cama de frangos diluída em água e em biofertilizante de dejetos de suínos*. 2012. xiii, 75 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/101710>. Acessado em 17 de junho de 2023.

EMBRAPA *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*; 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/biogasfert/biogas/biodigestao/potencial-metanogenico>. Acessado em 11 de novembro de 2019.

FARIA, R. A. P. *Avaliação do potencial de geração de biogás e de produção de energia a partir da remoção da carga orgânica de uma estação de tratamento de esgoto – estudo de caso*. 2012. 63p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012. Consultado em 15 de agosto de 2019.

FERNANDES, D. M.; COSTANZI, R. N.; FERIDEN, A.; SOUZA, S. N. M. Processo de biodigestão anaeróbia em uma granja de suínos. *Ambiência. Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais* V.10 N.3 Set./Dez. 2014. Consultado em 14 de novembro de 2019.

GALINKIN, M.; BLEY, C. *Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais*. 2 Ed. rev. Foz do Iguaçu/Brasília: Itaipu Binacional, Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, Techno Politik Editora, 2009. 140p. Consultado em 20 de maio de 2019.

GRANATO, E. F. *Geração de Energia Através da Biodigestão Anaeróbia de Vinhaça*. 2003.139p. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-graduação em Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2003. Consultado em 12 de maio de 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; 2019. Disponível em: www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/agropecuaria-bra.sileira-em-numeros. Consultado em 11 de novembro de 2019. ITAIPU Geração 2022 Disponível em: <https://www.itaipu.gov.br/energia/geracao> Consultado em 25 de Julho de 2022.

KARLSSON, T.; KONRAD, O.; LUMI, M.; SCHEMEIER, N. P.; MARDER, M.; CASARIL, C. E.; KOCH, F. F.; PEDROSO, A. G. *Manual básico de biogás Lajeado*: Ed. da Univates, 2014. Consultado em 22 de outubro de 2019

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 22-41.

Análise das diluições e dos tempos de retenção de hidráulica para produção de biogás a partir de dejetos animais
Alexandre Witier Mazzonetto; Larissa Cossante; Alexsandro Gomes dos Santos; Márcia Nalesso
Costa Harder

LUCAS JUNIOR, J.; SOUZA, C. F.; LOPES, J. D. S. *Manual de construção e operação de biodigestores*.
1. Ed. Viçosa: CPT - Centro de Produções Técnicas, 2003. v. 1. 40 p.

LUCAS JUNIOR, J.; RESENDE, K.T. Produção Animal e o meio ambiente: Uma comparação
entre potencial de emissão de metano nos dejetos e a quantidade de alimento produzido. *Eng.
Agríc.*, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p.399-410, mar./abr. 2011. Consultado em 15 de agosto de 2019.

MAZZONETTO, A. W. *Disciplina Fundamentos da Produção de Biogás*. Fatec Piracicaba, 2018.
Consultado em 11 de novembro de 2019.

MIGUEL, J. O.; CASEIRO, J. L. *Estudo do potencial de aplicação dos principais fluxos de resíduos
orgânicos na região do Lins*. 2003. Disponível em <https://www.apda.pt/pt/?p=pt/>. Consultado em
15 de maio de 2019.

NEVES, V. L. V. *Construção de biodigestor para a produção de biogás a partir da fermentação de esterco
bovino*. 2010. 56p. Trabalho de Graduação (Tecnologia em Biocombustíveis) - Faculdade
Tecnológica de Araçatuba, Araçatuba, 2010. Consultado em 20 de maio de 2019.

NOGUEIRA, T. A. R.; SAMPAIO, R. A.; FERREIRA, C. S.; FONSECA, I. M. Produtividade
de milho e de feijão consorciados adubados com diferentes formas de lodo de esgoto. *Revista de
Biologia e Ciências da Terra*, v. 6, n.1, 1º semestre 2006.

OLIVEIRA, R. D. *Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de
dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono*. 2009. 79p. Trabalho de Conclusão de
Curso (Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos,
São Carlos, 2009.

PAES, J. L.; BRUGGIANESI, G.; SOARES, C. S. G. C. *Potencialidade do biogás gerado pela
combinação de dejetos bovino e suíno*. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Gramado, 17 a 20 de
abril de 2018. Disponível em: www.avisite.com.br/cet/img/20130403_trabalho2.pdf. Consultado
em 11 de novembro de 2019.

RESENDE, J. A.; DINIZ, C. G.; SILVA, V. L.; CARNEIRO, J. C.; RIBEIRO, M. T.; LIMA, J.
C. F. *Dejetos bovinos para produção de biogás e biofertilizante por biodigestão anaeróbica*. EMBRAPA. 2015.
Disponível em: [ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/130517/1/CT-110-Dejetos-
bovinos.pdf](http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/130517/1/CT-110-Dejetos-bovinos.pdf). Consultado em 14 de novembro de 2019.

RIBEIRO, G. M.; SAMPAIO, A. A. M.; FERNANDES, A. R. M.; HENRIQUE, W.;
SUGOHARA, A.; AMORIM, A. C. Efeito da fonte proteica e do processamento físico do
concentrado sobre a terminação de bovinos jovens confinados e o impacto ambiental dos
dejetos. *Revista Brasileira de Zootecnia*. Viçosa-MG, v. 36, n. 6, p. 2.082-2.091, 2007.

ROYA, B.; FREITAS, E.; ANDRADE, F.; PRAGANA, M. Biogás uma energia limpa. *Revista
Eletrônica Novo Enfoque*, ano 2011, v. 13, n. 13, p. 142 – 149.

SAGULA; L. V. C.; LUCAS JUNIOR, J. Diferentes diluições e uso de reciclo na biodigestão
anaeróbia da cama de frango tritura e peneirada ensaio batelada. *Brazilian Journal of Biosystems
Engineering*, v. 11(4): 373-384, 2017.

Bioenergia em revista: diálogos, ano/vol. 13, n. 1, jan./jun. 2023. P. 22-41.

Análise das diluições e dos tempos de retenção de hidráulica para produção de biogás a partir de dejetos animais
Alexandre Witier Mazzonetto; Larissa Cossante; Alexsandro Gomes dos Santos; Márcia Nalesso
Costa Harder

SANTOS, J. F.; LEMOS, J. N. R.; NÓBREGA, J. Q.; GREANGEIRO, J. I. T.; BRITO, L.M.P.;
OLIVEIRA, M.E.C. Produtividade de feijão caupi utilizando biofertilizante e ureia. *Tecnol. &
Ciên. Agropec.*, João Pessoa, v.1, n.1, p.25-29, set. 2007.

SOUZA, C. F.; LUCAS JUNIOR, J.; FERREIRA, W. P. M. Biodigestão anaeróbia de dejetos
suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato considerações sobre
a partida. *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, v.25, n.2, p.530-539, maio/ago. 2005. Disponível em
www.scielo.br/pdf/eagri/v25n2/26516.pdf. Consultado em 14 de novembro de 2019.

ZANATO, Joseli Alves Ferreira. *Produção e qualidade do biogás gerado com os dejetos de diferentes espécies
animais*. 2014. ix, 112 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014. Disponível em:
<http://hdl.handle.net/11449/113985>. Consultado em 17 de junho de 2023.

MAZZONETTO, Alexandre Witier. Graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas - FEAGRI/UNICAMP. Mestrado em Engenharia Agrônômica - Máquinas Agrícolas/Biomassa - Colheita Integral de Cana Crua, pela Universidade de São Paulo - ESALQ/USP. Doutorando pela Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas - Departamento de Energia - FEM/UNICAMP (Caracterização e potencial energético de biomassas residuais da região de Piracicaba - SP). Na Graduação envolveu-se em Pesquisa/Desenvolvimento de processos térmicos, desenvolvendo um secador rotativo de sementes e outro de leite fluidizado. Desde o Mestrado vem trabalhando com fontes renováveis de energia e biomassas residuais (tratamento e geração de energia); levando-o a cursar Química na Universidade Mackenzie (Bacharel, Licenciatura e Industrial). Processos térmicos para obtenção de biocombustíveis, gaseificação, pirólise e combustão/incineração, e combustíveis sustentáveis, gás de síntese (Syngas), produção e uso do biogás - biodigestão anaeróbia de diversas biomassas residuais. Professor na FATEC Piracicaba (Biocombustíveis e Gestão Empresarial).

COSSANTE, Larissa. Graduada em Tecnologia em Biocombustíveis pela FATEC Piracicaba Dep. “Roque Trevisan”.

SANTOS, Alexsandro Gomes dos. Graduado em Tecnologia em Biocombustíveis pela FATEC Piracicaba Dep. “Roque Trevisan”.

HARDER, Márcia Nalesso Costa. Possui graduação em Engenharia Agrônômica pelo Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal (2002), mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade de São Paulo (2005) e doutorado em Ciências (Energia Nuclear na Agricultura) pela Universidade de São Paulo (2009). Atualmente é coordenadora da Faculdade de Tecnologia de Piracicaba e professor de ensino superior PIII do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. Tem experiência na área de Agronomia, Ciência e Tecnologia de Alimentos, Análise Sensorial, Técnicas de Conservação e Processamento de Alimentos, Operações Unitárias, Aplicações Industriais de Radioisótopos, Biocombustíveis, atuando principalmente nos seguintes temas: biocombustíveis, bioetanol/açúcar, análise sensorial e suas aplicações, irradiação de alimentos, processamento e conservação de alimentos, operações unitárias, plantas medicinais e alimentos funcionais, ecossustentabilidade, aplicação do uso de energias ionizantes e não ionizantes. Atua também como mentora de programas de mentorias de incubadora.