

“Estudo da viabilidade de produção de Biogás a partir de dejetos de aves e sua utilização para a geração de energia elétrica na zona rural de Roque González de Santa Cruz/Paraguai ”

Mayda María Benítez Medina¹, Andreia Cristina Furtado².

¹ Graduanda do curso de Engenharia de Energia. Instituto Latino-americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território. UNILA. Foz do Iguaçu. Paraná. Brasil. E-mail: mayda.medina@aluno.unila.edu.br

² Orientadora - Docente do curso de Engenharia de Química. Instituto Latino-americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território. UNILA. Foz do Iguaçu. Brasil. E-mail: andreia.furtado@unila.edu.br

Resumo — A busca por fontes de energias renováveis vem tendo maior significância, como o uso da biomassa, destacada como uma das maiores fontes de energia disponíveis nas áreas rurais. Os dejetos da avicultura sempre foram causadores de poluição, porém é necessário destacar que esta poluição pode ser transformada em fontes de riqueza. Neste contexto, uma técnica de tratamento que visa transformar esses dejetos em biogás é a digestão anaeróbia, caracterizando-se num grande potencial energético. O presente estudo teve como objetivo estimar a geração de energia elétrica, utilizando o biogás produzido a partir de dejetos de aves de postura, numa propriedade localizada no Paraguai, no distrito de Roque Gonzalez de Santa Cruz. Com dados da propriedade e informações disponíveis na literatura foi usada uma metodologia que corresponde a três etapas, na primeira etapa foi calculado a quantidade de metano gerado a partir do resíduo, com um número de 3800 aves de postura, resultando num valor de 857,55 m³CH₄/mês. Considerando as características do resíduo, o biodigestor escolhido foi o modelo batelada, na segunda etapa o volume do biodigestor foi estimado em 127,68m³. Com o volume do biogás produzido diariamente, igual a 47,63 m³.biogás/dia, foi estimada na terceira etapa a geração de energia elétrica mensal em 2.322kWh/mês. A partir do consumo de energia mensal médio da propriedade que foi de 1.675kWh/ mês e a estimativa de produção de energia elétrica a partir do biogás produzido, foi realizada uma comparação entre os valores, concluindo assim que a propriedade teria uma autonomia energética, inclusive um excedente de energia de 27%, que poderia ser vendido à concessionária. Finalmente o uso do biofertilizante torna o processo uma alternativa econômica e ambientalmente promissora para a melhoria da produtividade dos cultivos para as áreas agrícolas.

Palavras-chave: avicultura, biodigestor, biogás, energia elétrica.

I. INTRODUÇÃO

A necessidade de atender a demanda energética nas diversas áreas com o mínimo impacto social e ambiental e a ameaça iminente de escassez de recursos naturais, torna crescente a busca e exploração de alternativas energéticas limpas e renováveis. O crescente aumento das atividades agrícolas resulta um aumento na geração de resíduos, fonte de poluição, porém é necessário destacar que quando bem conduzido, o manejo permite o

aproveitamento integral dos dejetos.

As fontes de energia renovável são uma das saídas para o problema energético mundial e também para minimizar os problemas ambientais acarretados pela crescente geração de resíduos que são descartados diariamente no meio ambiente (MONTEIRO, 2008). Ainda segundo o autor, desde a grande crise do petróleo na década de 70, iniciou-se a busca por novas soluções e alternativas para diversificar a matriz energética mundial e obter um desenvolvimento sustentável.

O uso das fontes alternativas de energia passou a ter um crescimento ininterrupto, programas e pesquisas começaram a ganhar espaço, mostrando a necessidade de se utilizar outros recursos para gerar energia elétrica. Diversas alternativas tecnológicas de aproveitamento da biomassa para a produção de energia elétrica foram surgindo com o tempo, tecnicamente viáveis para a agricultura familiar. A tecnologia que vem despertando grande interesse, é a biodigestão anaeróbia de resíduos dos animais, particularmente aqueles provenientes da criação animal, pela implementação de biodigestores (ESPERANCINI *et al.*, 2007).

No meio rural, as fontes renováveis de energia podem ser utilizadas em comunidades rurais isoladas com o objetivo de melhorar as condições de vida dessas populações. A implantação depende da disponibilidade dos recursos energéticos existentes em cada região.

Dentro deste contexto, neste trabalho será avaliada a viabilidade da produção de biogás a partir da digestão anaeróbia de dejetos de aves numa granja localizada na zona rural de Roque González de Santa Cruz/Paraguai, e a utilização do gás na geração de energia elétrica.

II. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

A Agência Nacional de Energia Elétrica define a biomassa como todo recurso renovável constituído principalmente de substâncias de origem orgânica (ANEEL, 2009). De acordo com essa definição, a biomassa tem origem em resíduos sólidos urbanos, animais, vegetais, industriais e florestais que voltada para fins energéticos, abrange a utilização desses vários resíduos para a geração de fontes alternativas de energia (LAB CORTEZ, 2008). Na história da civilização a Biomassa sempre esteve presente como fonte de energia, a princípio na forma de lenha ou carvão e a partir de meados do século XX, ganharam ênfase outras formas de utilização.

Por ser considerada uma fonte de energia limpa e renovável, ganhou espaço também no mercado de energia e passou a ser considerada uma alternativa para a diversificação da matriz energética global e a consequente redução da dependência dos combustíveis fósseis. A biomassa vem sendo cada vez mais utilizada nos últimos anos em sistemas de cogeração e no suprimento de eletricidade para demandas isoladas da rede elétrica.

Os resíduos do agronegócio podem ser tanto um recurso como um poluente causadores de problemas ambientais, mas o manejo adequado possibilita uma minimização do impacto ambiental mínimo. Pode-se aproveitar como fonte de matéria orgânica, por exemplo, dejetos de animais criados em confinamento, como suínos, aves e gado leiteiro.

A. Avicultura

Apesar de estar ao lado do gigante mundial da criação de aves, o Brasil, o Paraguai avança com segurança no desenvolvimento da avicultura. Segundo a Asociación de Avicultores del Paraguay (AVIPAR), existe no país 170 granjas de frangos de corte e 47 de galinhas poedeiras (AVIPAR, 2014).

Segundo o Servicio Nacional de Calidad y Salud Animal (SENACSA), no ano de 2020 o volume total de exportação de carne de ave no Paraguai foi de aproximadamente 6.500 toneladas, considerando carne de ave e miudezas. O número evidencia um aumento de 23,28% em comparação ao ano anterior. O destino principal da carne de ave paraguaia foi a Rússia com 59%, seguida pela Albânia com apenas 7% da carne exportada (SENACSA, 2021).

Mundialmente, o Brasil tem um papel relevante na exportação de carne de frango, ocupando a liderança, e, em 2019, foi o terceiro maior produtor, as regiões Sul e Sudeste compartilham liderança na avicultura. A região Sul, que desde 1983 é responsável pela maior

participação no efetivo, compôs 46,0% do total de galináceos, é destaque também na criação de frangos de corte, inclusive com seus estados liderando, desde 2002, o abate dessa espécie, de acordo com a Pesquisa Trimestral do Abate de Animais, realizada pelo IBGE (IBGE, 2019). Considerando as estimativas do efetivo de galinhas, a região Sul foi responsável por 24,4% do total nacional, enquanto a região Sudeste liderou o ranking, com 38,1% do total de 249,1 milhões de animais na data de referência, registrando ainda um aumento de 1,7% em relação ao ano anterior (IBGE, 2019).

A avicultura paranaense representa 24% do total nacional e ocupa a primeira posição do ranking de aves do Sul do Brasil. Segundo o documento publicado por Freddo *et al.* (2019), o Paraná conta com 347 milhões de aves segmentadas em avicultura de corte (95%) e de postura (criação de ovos, 5%) que geram cerca de 657 mil toneladas de dejetos somados a cama de frango e 683mil m³ de resíduos por ano respectivamente, das quais possuem potencial de produção de 161 milhões Nm³/ano de biogás.

Como em outras atividades agropecuárias, a avicultura é uma grande geradora de resíduos. Em um ciclo de 42 a 47 dias de vida do frango de corte é possível que cada ave produza aproximadamente 2kg de matéria natural, considerando que a ave excreta 20 a 30% de matéria seca em relação à sua ingestão de alimento (4,5 a 5,0 kg). Além disso, considera-se a adição de 0,5-0,6 kg de matéria de cama de ave, bem como desperdício de ração sobre a cama, queda de penas, queda de água sobre a cama (LUCAS e AMORIM, 2005).

A cama de frango é mais utilizada na criação de aves de corte, pois são criadas sobre piso dentro de galpões e geram um volume grande de resíduos. A cama consiste na mistura de excretas juntamente com material absorvente utilizado como substrato para receber e absorver a umidade das excretas, penas e descamações da pele das

aves e restos de alimentos que caem dos comedouros, além de auxiliar na redução das oscilações de temperatura no aviário. No caso das aves de postura, estas são criadas, geralmente, em gaiolas e os resíduos são compostos por fezes, urina, entre outros (VIRTUOSO *et al.*, 2015).

Os dejetos de aves são muito ricos em nutrientes, pois contém as dejeções sólidas e líquidas misturadas e na maioria das vezes provêm de animais criados com rações concentradas. No esterco destas aves soma-se os teores de nitrogênio, fósforo e potássio e, comparando-os com o total encontrado nas dejeções de mamíferos. Verifica-se que os dejetos das aves têm concentração de nutrientes de duas a três vezes maior que os dejetos de suínos e bovinos (KIEHL, 1985).

Anteriormente os dejetos não eram considerados componentes do sistema produtivo, tornando-se importante fonte de poluição, mas a produção de dejetos tem um valor energético considerável, podendo ser aproveitado, reduzindo o impacto ambiental (HACHMANN *et al.*, 2013).

Para que os problemas ambientais decorrentes dos resíduos da avicultura sejam resolvidos, uma alternativa é a reutilização dos dejetos e cama de aviário. Dentre as alternativas, a biodigestão ou digestão anaeróbia se mostrou como uma das mais vantajosas, uma vez que após o processo de fermentação é obtido o biogás e o biofertilizante, que possuem alto valor como fontes energéticas (PALHARES, 2004).

B. Biogás

O biogás é um dos produtos da decomposição anaeróbia da matéria orgânica, resultante da ação de determinadas espécies de bactérias, produtoras de gás metano (GEBLER e PALHARES, 2007). Trata-se de um combustível gasoso com alto poder energético, que pode ser utilizado para a geração de energia elétrica, térmica ou mecânica (SOUZA, 2004). A biomassa, descomposta sob a ação de bactérias metanogênicas, em condições

anaeróbias, produz biogás em maior ou menor quantidade, dependendo de diversos fatores: temperatura, nível de pH, relação Carbono/Nitrogênio, presença ou não de oxigênio, nível de umidade, quantidade de bactérias por volume de biomassa, entre outros (MENEZES, 2007).

O biogás é composto majoritariamente por (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂). Uma série de outros componentes em menores quantidades também estão presentes, como o nitrogênio (N₂), hidrogênio (H₂) e o gás sulfídrico (H₂S) (BATISTA, 1980). A composição típica do biogás é apresentada na tabela 1.

Tabela 1 – Valores da composição média do biogás.

Tipo de Gás	Composição do Biogás(%)
Metano (CH₄)	60 a 70
Dióxido de Carbono(CO₂)	30 a 40
Nitrogênio(N₂)	traços
Hidrogênio (H₂)	traços
Gás Sulfídrico(H₂S)	traços

Fonte: Palhares (2004).

O digestato, que é um subproduto líquido também gerado durante a digestão, contém nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio e uma série de outros minerais que, dependendo da composição, pode ser aproveitado como biofertilizante na agricultura (KARLSSON *et al.*, 2014). Com a aplicação deste no solo, melhora-se as qualidades biológicas, químicas e físicas dele.

O uso do biogás para a geração de energia e produção do digestato para a fertilização do solo possibilita que esses insumos sejam comercializados. Como citado por Bley (2015), em casos em que a produção de biogás é o foco do negócio e não apenas o aproveitamento do

resíduo da atividade produtiva, o biogás passa a ser um impulsionador de novos negócios.

C. Biodigestores

Biodigestores ou fermentadores anaeróbios são reatores utilizados para realização do processo da digestão anaeróbia. O biodigestor consiste em um sistema de tratamento de resíduos orgânicos, sendo uma excelente alternativa para o manejo dos dejetos animais e toda matéria orgânica (SPOLAORE, 2013). Durante um processo de retenção hidráulica, o substrato passará por um processo de digestão tendo como resultado a redução do potencial poluente do material, fornecendo como produtos o fertilizante (adubo) e biogás (energia). O biogás produzido pode ser empregado para diversas aplicações, como sistemas de aquecimento, iluminação, geradores elétricos, entre outros.

Existem diferentes tipos de biodigestores conhecidos, de baixa e de alta taxa de degradação, variando o nível de tecnologia empregada mediante a complexidade dos resíduos a serem utilizados. Os biodigestores, em relação à sua forma de abastecimento são classificados em contínuos e descontínuos, sendo estes também denominados como batelada (GASPAR, 2003)

Os contínuos apresentam como característica o abastecimento contínuo de biomassa, podendo ocorrer diariamente, além da produção constante de biogás e biofertilizante(ALVES *et al.*, 2010). Entre os biodigestores contínuos mais difundidos estão os modelos chinês, indiano e canadense, também conhecido como fluxo tubular (PORTES, 2005). Já nos biodigestores descontínuos, o abastecimento consiste na adição de todo o material orgânico na câmara de digestão de uma só vez. Dessa forma, após o processo de biodigestão ser finalizado, retira-se o biofertilizante gerado e adiciona-se uma nova recarga de biomassa (ALVES *et al.*, 2010).

D. Produção do biogás a partir de resíduos da avicultura.

A biomassa tornou-se uma opção atrativa para que setores da agropecuária possam incursionar na geração de eletricidade, produzindo um excedente de energia acima de suas necessidades a um custo baixo (SALTOS *et al.*, 2019).

A decomposição anaeróbia de dejetos de animais produz gás combustível, este gás contém uma alta proporção de metano (CH₄ em concentrações superiores a 60%) denominado biogás. Este combustível ecológico é obtido em biodigestores e é utilizado como fonte de energia, além de promover melhorias na gestão de resíduos nas áreas rurais.

A avicultura é uma atividade que demanda alto consumo de energia, mas tem a característica de produzir resíduos com considerável potencial energético, como a cama de frango que, ao ser processada pode contribuir para o equilíbrio energético nas operações que se desenvolvem dentro do galpão. A conversão biológica da cama de frango em biogás vai depender de vários fatores, tais como o tipo de ração, estação do ano, densidade de alojamento das aves, tipo de substrato utilizado como cama, nível de reutilização da cama e características das excretas das aves cama, nível de reutilização da cama e características das excretas das aves (PALHARES, 2004).

A utilização de biodigestores contribui para a integração das atividades agropecuárias, aproveitando o esterco ao qual, normalmente, é dado pouco ou nenhum valor comercial, convertendo-o em duas bases para o desenvolvimento sustentável, um fertilizante orgânico e um gás combustível, proporcionando aumentos na produção agrícola e energia para transformação dos produtos (GALBIATTI *et al.*, 2010).

Vários estudos têm sido realizados visando a produção do biogás a partir de resíduos da avicultura. No estudo realizado por Orrico *et al.*

(2010) observou-se reduções acentuadas nos teores de sólidos voláteis (SV), em média 44,5%, apontando eficiência da biodigestão anaeróbia na degradação de compostos resistentes, como a cama de frangos, visto que o material de fácil degradação, provavelmente, foi reduzido durante a pré-compostagem.

Em Tessaro *et al.* (2015) é mostrado a viabilidade e a eficiência do processo de biodigestão anaeróbia com o uso da cama de aviário na produção de biogás. Após o pré-tratamento do resíduo, quantidades expressivas de biogás foram obtidas, indicando a viabilidade do gás em substituir os combustíveis não renováveis como os derivados de petróleo.

Reduções significativas dos conteúdos de sólidos voláteis em dejetos de aves poedeiras, coletados após diferentes períodos de acúmulo foram observadas. O teor de SV sofreu redução à medida que se aumentaram os dias de acúmulo, afetando o potencial de produção do biogás dos dejetos. Com este resultado, Farias *et al.* (2012) concluíram que o tempo de estocagem dos dejetos nas instalações influencia nos potenciais de produção de biogás dos dejetos de aves de postura.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

A. Local de estudo.

Para a análise da viabilidade técnica da produção de biogás a partir de dejetos de aves, foi analisada uma granja de criação de aves de postura. A propriedade estudada encontrasse localizada no Praguai, na zona rural do distrito de Roque González de Santa Cruz. A figura 1 mostra a localização da propriedade em estudo.

Figura 1 - Localização da propriedade.



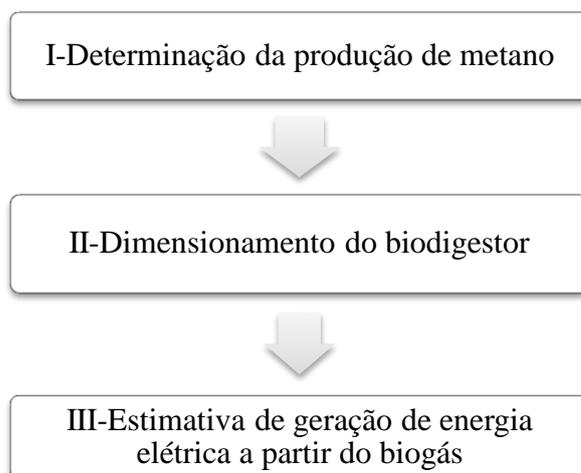
Fonte: Google Earth (2021).

Os proprietários da granja dedicam-se à criação de diferentes tipos de animais, entre elas as aves de postura. A principal atividade da granja é a produção e comercialização de ovos na região e nas cidades fronteiriças. No mês de Julho de 2021 foi realizada uma visita e levantamento de dados da quantidade de aves de postura nos galpões. Os valores coletados e utilizados para os cálculos neste trabalho foram de 3800 aves.

B. Determinação do potencial de produção de energia elétrica a partir do biogás proveniente dos dejetos de aves.

Sendo o principal objetivo deste estudo analisar a produção de biogás a partir de dejetos de aves e sua utilização para a geração de energia elétrica, foram feitas as análises seguindo as etapas descritas no fluxograma da figura 2.

Figura 2 – Fluxograma metodológico.



Fonte: O autor.

Etapa I - Determinação da produção de metano.

O ponto de partida do estudo foi determinar a produção de metano a partir dos dejetos gerados pelas aves criadas na propriedade. Como referência inicial adotou-se a metodologia utilizada pelo Centro Nacional de Referência da Biomassa (CENBIO, 2008) e adaptado de CETESB (1998). A partir de dados disponíveis na literatura, foram determinados os valores do esterco total de aves, ou seja, a quantidade total de esterco produzido pelos animais, a produção do biogás, concentração e o volume específico do metano. A produção de metano, quantidade de metano produzida em m^3 por mês, é dada pela equação 1 e os valores dos parâmetros empregados no cálculo são mostrados na tabela 2.

$$\text{Metano} \left(\frac{m^3}{\text{mês}} \right) = \frac{30 \text{ dias} \times n^{\circ} \text{ de aves} \times Et \times Pb \times \text{Conc. CH}_4}{VE} \quad (1)$$

Onde, Et (kg.esterco/dia.unidade geradora) é o esterco total, Pb (kg.biogás/kg.esterco) a produção de biogás, Conc.CH₄ (%) a concentração de metano no biogás e VE(kg CH₄/m³ CH₄) é o peso específico do metano.

Tabela 2 - Parâmetros utilizados para a determinação da produção de metano.

Parâmetro	Valor	Referência
Et (kg/animal/dia)	0,14	Lucas Jr. e Silva (2005)
Conc.CH₄ (%)	60	Motta (1986) apud CENBIO (2008)
VE (kg. CH ₄ /m ³ CH ₄)	0,670	Motta (1986) apud CENBIO (2008)
Pb (m ³ biogás/kgesterco)	0,05	Oliveira(1993)
ρ_{biogás} (kgbiogás/m ³)	1,2	FNR (2010)

Fonte: O autor.

A partir dos dados da produção volumétrica do biogás e da densidade deste energético, foi calculado o valor de Pb, utilizado na equação 1

Etapa II – Dimensionamento do biodigestor.

Em determinadas atividades, a disponibilidade dos resíduos não ocorre de modo contínuo. No caso específico da avicultura, os resíduos são removidos a cada 60 dias, após o final de cada período de produção. Dessa forma, para este tipo de situação, o biodigestor descontínuo é o mais indicado (LUCAS JÚNIOR *et al.*, 2009).

Assim, o biodigestor batelada ou descontínuo foi o modelo selecionado no presente trabalho. Trata-se de um sistema simples e de fácil operação, sendo necessária apenas uma carga inicial para a produção do biogás. Por sua produção não ser contínua, geralmente é utilizado em propriedades onde exista sazonalidade na produção da biomassa, como é o caso das granjas avícolas.

Um método prático para estimar o tamanho do biodigestor, segundo Oliver *et al.* (2008), é o cálculo do volume do reator de digestão a partir da carga volumétrica diária de substrato e do

tempo de retenção hidráulica para que ocorra a fermentação, conforme equação 2.

$$VB = VC \times TRH \quad (2)$$

Onde, VB (m³) é o volume do biodigestor, VC(m³/dia) é o volume da carga diária (dejetos+ água) e o TRH (dias) é o tempo de retenção hidráulica.

A carga diária do biodigestor dependerá do tipo de matéria orgânica utilizada e a quantidade de animais existentes na propriedade. A partir da quantidade total de dejetos que é produzida diariamente na propriedade, é possível determinar a quantidade de água que será necessária para realizar a diluição deste material orgânico.

O biodigestor deve ser preenchido com dejetos diluídos em água, de modo que o processo de biodigestão ocorra adequadamente, produzindo o biogás e o biofertilizante. Para a relação entre a quantidade de dejetos e a quantidade de água a ser utilizada na diluição foi considerada a relação 1:3 para aves (LUCAS JÚNIOR *et al.*, 2009). O aspecto importante a ser observado na digestão anaeróbia é o teor de sólidos totais (ST) do substrato. Lucas Júnior *et al.* (1993) encontraram melhor produção de biogás em biodigestores modelo batelada quando o teor de ST do substrato era menor, 8%, em relação a um teor de ST de 16%.

O tempo de retenção hidráulica também varia de acordo com a fonte de matéria orgânica. Neste caso, para o dejetos de aves de postura foi considerado o tempo de retenção de 60 dias (OLIVER *et al.*, 2008).

Etapa III – Estimativa de geração de energia elétrica a partir do biogás.

A transformação do biogás em energia elétrica acontece pela conversão da energia química, presente nas moléculas deste gás, em energia mecânica por meio de um processo de combustão. A energia mecânica gerada

movimenta um conjunto motor gerador, sendo então convertida em energia elétrica (OLIVEIRA, 2009).

Para a determinação do potencial de geração de energia elétrica a partir dos dejetos de aves de postura, utilizou-se os valores encontrados na literatura apresentados na tabela 3. Estes cálculos são empregados utilizando os valores do poder calorífico do biogás e a eficiência do conjunto motor-gerador, volume do biogás, o tempo de utilização da planta de geração e o fator de potência (SOUZA, 2016)

Tabela 3 - Parâmetros utilizados para a determinação do potencial de geração de energia elétrica.

Parâmetro	Valor
Poder calorífico do biogás	6,5 kWh/m ³
Eficiência do motor gerador	25%
Tempo de utilização da planta	10 h
Fator de potência	0,8

Fonte: Souza (2004)

Inicialmente, o Potencial Teórico de Produção de energia elétrica foi determinado a partir da equação 3.

$$PTE = PCI \times PB \quad (3)$$

Temos que, PTE (kWh/dia) é o potencial teórico de produção de eletricidade; PCI (kWh/m³) é o Poder Calorífico Inferior do Biogás e PB (m³/dia) é a produção diária de biogás.

Finalmente, com o valor do PTE foi determinado o potencial de geração de energia (PTCE) conforme a equação 4, a qual leva-se em consideração a eficiência global de conversão das máquinas térmicas.

$$PTCE = \frac{PTE \times \eta}{100} \quad (4)$$

Também é possível estimar a potência elétrica da planta de geração, obtida a partir da equação 5.

$$POT = \frac{PTCE}{HO \times \cos \varphi} \quad (5)$$

Logo, a POT (kVA) é a potência elétrica da planta de geração, HO (h) é a quantidade de horas diárias de operação do conjunto motor gerador, e $\cos \varphi$ é o fator de potência.

O biogás, ao ser produzido, é utilizado diretamente pelo conjunto motor-gerador, o qual pode operar durante dez horas diárias (SOUZA, 2004).

IV. RESULTADO E DISCUSSÃO

Conforme o método proposto no trabalho foram realizados os cálculos a fim de obter a produção de biogás, o dimensionamento do biodigestor e estimativa da geração de energia elétrica a partir do biogás .

Etapa I- Determinação da produção de metano.

Na primeira etapa foi estimada a produção de metano a partir dos dejetos de aves de postura da granja, conforme a equação 1. Considerando o valor de 3800, que corresponde à quantidade de aves de postura da granja e os valores dos parâmetros empregados no cálculo mostrados na tabela 2, foi possível obter os resultados da produção anual, mensal e diária do metano, apresentados na tabela 4.

Tabela 4 - Produção de metano.

Produção de Metano	Unidade
10.290	m ³ CH ₄ /ano
857,55	m ³ CH ₄ /mês
28,58	m ³ CH ₄ /dia

Fonte: O autor.

Steil (2001) fez um estudo dos teores médios semanais de CO₂ e CH₄ presentes no

biogás produzidos em biodigestores modelo batelada operados com resíduos de aves de postura. Os resultados apontaram um aumento na produção do metano, que representava 63,92% do gás aos 41 dias de digestão, alcançando 81,37% na composição em um TRH igual a 62 dias. Isto indica que a produção de metano calculada pela equação 1, poderia alcançar resultados superiores ao estimado considerando a concentração média de metano de 60%, resultando em uma produção adicional do gás.

Sarmiento *et al.*(2015), realizaram um estudo utilizando a cama de frango como resíduo. Considerando um total de 30.000 aves e assumindo uma concentração de metano de 60% no gás gerado na biodigestão, os autores quantificaram o potencial de geração de metano da propriedade, calculado em 716,364 m³ CH₄ /mês. Este resultado, próximo ao valor obtido no presente estudo, embora com um número de aves da ordem de dez vezes superior, pode ser atribuído ao fato que os autores utilizaram a cama de frango na biodigestão, e as características lignocelulósicas do material pode ter influenciado diretamente no potencial de geração de metano do resíduo, enquanto, para as aves de postura, somente são alimentados no biodigestor.

Etapa II – Dimensionamento do biodigestor.

Para a determinação do volume do biodigestor foi necessário determinar em primeiro lugar o volume de carga, ou seja, a quantidade de substrato a ser adicionado no biodigestor. A tabela 5 apresenta a sequência de cálculo para a determinação do volume de carga diária, levando em conta a adição de água para preparação do material orgânico para a fermentação.

Tabela 5 –Resultados obtidos para o dimensionamento do biodigestor.

Esterco por animal (kg.esterco/dia)	A	0,14
Quantidade de animais	B	3800

Total de esterco (kg.esterco/dia)	C=A×B	532
Relação esterco : água	D	1:3
Volume de água (m³)	E= C×D	1,596
Volume de carga (m³)	F= C+E	2,128

Fonte: O autor.

A quantidade total de esterco produzido por dia e por animal é apresentado na tabela 5. Para diluir essa quantidade de dejetos, e manter a concentração de sólidos em aproximadamente 8%, são necessários 1596 litros de água, assim a carga diária de substrato a ser adicionado no biodigestor é de 2,128 m³.

Considerando o tempo de retenção hidráulica de 60 dias foi calculado o volume do biodigestor, conforme a equação 2. Assim, o valor obtido foi de 127,68 m³

Etapa III – Estimativa de geração de energia elétrica a partir do biogás.

Para o cálculo da produção diária do biogás temos o valor da produção de metano de 28,58 m³CH₄ /dia que equivale a 60% do metano, então a produção diária total do biogás é de 47,63 m³.biogás/dia.

A partir da determinação da quantidade de biogás produzido foi possível estimar o total de energia elétrica que será produzido. Logo, o valor do potencial teórico de produção de eletricidade obtido a partir da equação 3 foi de 309,6 kWh/dia.

Tabela 6 - Resultados obtidos

Produção diária do biogás (PB)	47,63 m ³ .biogás /dia
Potencial teórico de produção de eletricidade (PTE)	309,6kWh/dia.

Fonte: O autor.

Para determinar o potencial de geração de energia elétrica é aplicada a equação 4 obtendo o

valor de 77,4kWh/dia. A partir dos resultados apresentados na tabela 6 é possível estimar qual será a geração mensal de energia elétrica na propriedade a partir do potencial de geração de energia elétrica (PTCE).

Fazendo uma média anual da fatura de energia com valores disponibilizados pela propriedade foi possível realizar uma comparação do consumo de energia elétrica da granja com a energia elétrica que será produzida. Na tabela 7, mostra-se os resultados e os valores mensais e diários obtidos.

Tabela 7 – Resultados Obtidos.

	Valor diário	Valor mensal
Potencial teórico de produção de eletricidade (PTE)	309,6 kWh	9.288 kWh
Potencial de geração de energia(PTCE)	77,4 kWh	2.322kWh
Consumo de energia elétrica da propriedade.	55,83 kWh	1.675 kWh

Fonte: O autor.

Finalmente com o valor do potencial de geração de energia elétrica, consegue-se determinar a potência elétrica da planta por meio da equação 5, sendo o valor alcançado igual a 11, 109 kVA.

Comparando os valores é possível observar que a propriedade será autossuficiente e ainda terá um excedente de energia igual a 647 kWh/mês, correspondente a 27% da produção mensal. Havendo um excedente na geração existe a possibilidade de comercialização desta energia, gerando assim ativos para a granja.

Resultados similares foram obtidos por Zago (2003), considerando o potencial de produção de energia elétrica pelo biogás gerado a partir de dejetos suínos. Com um consumo médio de energia nas propriedades analisadas na faixa de

600 a 1.800 kWh/mês e uma produção média de 50 m³ de biogás/ dia, o autor determinou a capacidade de produção de energia por propriedade sendo 2.700 KVA/mês, o que equivale aproximadamente a 2.160kWh/mês. Esse resultado, de acordo com o autor, garante que as propriedades poderiam se tornar autossuficientes em energia elétrica ao utilizar o biogás produzido na geração da energia elétrica.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho buscou-se estimar a viabilidade teórica de produção de biogás para o uso na geração de energia elétrica, em uma propriedade rural localizada no Paraguai, no distrito de Roque González de Santa Cruz. A propriedade possui um total de 3800 aves de postura. A partir de um processo de investigação, com dados coletados e com a revisão bibliográfica foi estimado em 857,55 m³CH₄ /mês a quantidade de metano produzido.

De acordo com as características da disponibilidade dos resíduos, o biodigestor mais adequado às características do resíduo foi o biodigestor modelo batelada. A partir da estimativa da quantidade de resíduos disponíveis para o processo calculou-se o volume do biodigestor como 127,68 m³.

Conhecendo a quantidade de biogás produzido diariamente, estimado em 47,63 m³ biogás/ dia, foi calculada o potencial de geração de energia elétrica, igual a 2322 kWh/mês, podendo ser aproveitada para o consumo na propriedade, representando uma autonomia energética e ainda com a vantagem de ser realizado a venda do excedente de energia elétrica para a concessionária, neste caso, estimativa em 27%, a partir da análise do consumo mensal de energia elétrica disponibilizado pelos proprietários da granja.

Assim, para todo o estudo realizado pode-se afirmar a viabilidade técnica do trabalho. Com os resultados positivos obtidos da investigação vale

ressaltar o uso da tecnologia de biodigestores no setor rural que além de ser uma alternativa para o tratamento de dejetos nestas atividades, torna-se uma oportunidade para a obtenção de melhores resultados econômicos quando o biogás e o biofertilizante são utilizados adequadamente, provendo a sustentabilidade energética a partir de uma fonte renovável.

Salienta-se, porém, que, apesar das perspectivas favoráveis, a utilização de biodigestores em propriedades rurais não está bem difundida, em virtude da falta de conhecimento e de informações tecnológicas a seu respeito. Na zona rural do distrito, existem várias granjas próximas que se dedicam a criação de animais. Como proposta seria interessante a utilização dos dejetos gerados em cada propriedade para seu uso na produção de biogás, a ideia seria realizar o transporte do resíduo para um único biodigestor e assim obter maior quantidade de dejetos para a produção de biogás e posterior geração de energia elétrica. Como trabalho futuro pode-se realizar uma análise econômica dos custos de produção e a viabilidade do projeto, considerando a energia produzida, pois esta é uma das grandes vantagens da implantação de biodigestores.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, E. E. N.; INOUE, K. R. A.; BORGES, A. C. **Biodigestores: construção, operação e usos do biogás e do biofertilizante visando a sustentabilidade das propriedades rurais.** In: II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, Viçosa/MG. Universidade Federal de Viçosa, 2010.
- ANEEL, 2009 - Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <www.aneel.gov.br.> Acesso em: 26 jul.2021.
- AVIPAR, 2014 – Asociación de Avicultores del Paraguay. Disponível em: <http://www.avipar.org.py/v1/images/descargas/uple_avipar_50anhos.pdf . Acesso: 29 jul.2021.>
- BATISTA, L.F. **Curso Biogás: energização rural.** Brasília, Ministério das Minas e Energia, s.d. 35p. 1980.
- BLEY JR, C. **Biogás: a energia invisível.** 2. ed. Foz do Iguaçu, PR: ITAIPU, 2015.
- CENBIO – CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA BIOMASSA. **Atlas de bionergia do Brasil.** São Paulo, 2008.
- CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Inventário nacional de emissões de metano pelo manejo de resíduos** – Enabling Brazil to fulfil its commitments to the United Nations convention on climate change. São Paulo: CETESB, jul., v. 1, 1998.
- ESPERANCINI, M. S. T., COLEN, F., BUENO, O. DE C., PIMENTEL, A. E. B., & SIMON, E. J. Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do estado de São Paulo. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.1, p.110-118, 2007.
- FARIAS, R. M.; ORRICO JUNIOR, M. A. P.; AMORIM, O. A. C; GARCIA, R. G; CENTURION, S. R.; MENDES, F. A. R. Biodigestão anaeróbia de dejetos de poedeiras coletados após diferentes períodos de acúmulo. **Ciência Rural**, v.42, n.6, p.1089-1094, 2012.
- FNR. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. **Handreichung, Biogasgewinnung und -nutzung.** Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow, 2010.
- FREDDO, A. et al. **Potencial de produção de**

biogás no Brasil. Ficha técnica. Biogás Brasil, 2019.

GALBIATTI, J. A.; CAMELO, A. D.; SILVA, F. G.; GERARDI, E. A. B.; CHICONATO, D. A. Estudo qualiquantitativo do biogás produzido por substratos em biodigestores tipo batelada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.4, p.432-437, 2010.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo-PR.** 2003. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) –Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GEBLER, L.; PALHARES, J. C. P. **Gestão Ambiental na Agropecuária.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 1. ed. 310 p. 2007.

HACHMANN, T. L.; LAURETH, J. C. U.; PARIZOTTO, A. A.; JÚNIOR, A. C. G. Resíduos de aves e suínos: Potencialidades. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.8, n.5, p. 59-65, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da Pecuária Municipal.** IBGE, 2019.

KARLSSON, T et al. **Manual básico de Biogás.** Lajeado:Ed. da Univates, 2014.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto.** [S.l.: s.n.], 1998.

LAB CORTEZ. **Biomassa para energia.** Unicamp, 2008.

LUCAS JÚNIOR, J.; SOUZA, C. F. **Construção e operação de biodigestores.** Viçosa, MG: Centro de Produções Técnicas (CPT), 2009.

LUCAS, J. J.; AMORIM, A.C. Manejo de dejetos: fundamentos para a **integração e agregação de valor.** In: ZOOTEC, 2005. Campo Grande, MS, 2005.

LUCAS JR.; ORTOLANI, A. F.; BENINCASA, M.; IMADA, R. Avaliação do uso de inóculo no desempenho de biodigestores abastecidos com estrume de frangos de corte com cama de maravalha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, 1993, Ilhéus. **Anais.** p.915-930.

MENEZES, E. L. **Fontes de energia alternativa no Brasil.** Artigo Científico, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora/MG, 2007.

MONTEIRO, M. da S. **Geração distribuída utilizando microturbina a gás:** estudo de caso no Parque Tecnológico Itaipu (PTI). Foz do Iguaçu, PR: UNIOESTE, 2008.

OLIVEIRA, P. A. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves,1993. 188 p. (Embrapa Suínos e Aves. Documentos n^o 27)

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

OLIVER, A. P. M.; SOUZA, N.A.A; QUADROS, D.G.; VALLADARES, R.E.

Manual de Treinamento em Biodigestão. Bahia, 2008.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LÚCAS JÚNIOR, J. Biodigestão anaeróbia dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.3, p.546-554, 2010.

PALHARES, J. C. P. **Uso da Cama de frango na produção do Biogás.** Circular Técnica. Concórdia, EMBRAPA, 2004.

PORTES, Z.A. **Aplicativo computacional para projetos de biodigestores rurais.** 2005. 105 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de Concentração de Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, São Paulo, Botucatu, 2005.

SARMENTO, Z. R. S.; SOUSA, N. C. A.; GOMES, C. P. H.; SOUZA, N. S. L. Aproveitamento do potencial energético da cama de frango para uso na atividade avícola. XI Congresso Nacional de excelência em gestão, 2015.

SALTOS, T. V.; ZAMBRANO, K. H.; VILLAFUERTE, C. D.; BAJAÑA, C. L. B. Evaluación en la producción de biogás con desechos avícolas y bovinos para generar energía eléctrica. **Revista DELOS Desarrollo Local Sostenible**, España, 2019.

SENACSA- Servicio Nacional de Calidad y Salud Animal. Disponível em: <<http://www.senacsa.gov.py/index.php/Temas-pecuarios/importacion-exportacion>> Acesso em: 27 jul.2021.

SILVA, F.M.; LUCAS JÚNIOR, J. **Biogás - produção e utilização.** Jaboticabal: FCAV/UNESP, s.d. 8 p. (Boletim Técnico).

2005.

SOUZA, S. N. M.; PEREIRA, W. C.; NOGUEIRA, C. E. C.; PAVAN, A. A.; SORDI, A. **Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura.** Acta Scientiarum. Technology, Maringá, v, 26, p. 127-133, 2004.

SOUZA, S. N. M. **Manual de geração de energia elétrica a partir do biogás no meio rural.** 2016. Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

SPOLAORE, A. J. G. **Fatores estruturais e de manejo na suinocultura que interferem na produção de biogás e viabilidade econômica na produção de energia.** Foz do Iguaçu, PR: UNILA, 2013.

STEIL, L. **Avaliação do uso de inóculos na biodigestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos.** 2001. 127 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Faculdade de Ciência Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Araraquara. 2001.

TESSARO, A.B.; TESSARO, A. A; CANTÃO, M. P.; MENDES, M. A. Potencial energético da cama de aviário produzida na região Sudoeste do Paraná e utilizada como substrato para a produção do biogás. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.8, n.2, p.357-377, 2015.

VIRTUOSO, M. C. S.; OLIVEIRA, D. G.; DIAS, L.N.S.; FAGUNDES, P. S. F.; LEITE, P.R.S.C. Reutilização da cama de frango. **Revista Eletrônica NUTRITIME**, v. 12, p. 3964-3977, 2015

ZAGO, S. **Potencialidade de produção de energia através do biogás integrada à melhoria ambiental em propriedades rurais com criação**

intensiva de animais, na região do meio oeste catarinense. 2003. 103 f. Dissertação de (Mestrado). Universidade Regional de Blumenau, Centro de Ciências Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Blumenau, SC, 2003.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado força e coragem durante toda esta caminhada. Aos meus pais Alcides e Cristina, amores incondicionais na minha vida, pelo apoio e confiança, por não medirem esforços para que eu pudesse estudar, sempre demonstrando seu imenso amor no decorrer dessa trajetória e em toda minha vida.

Aos meus irmão Alcides e Antonella e minha sobrinha Magaly, pelo amor, paciência e incentivo, durante toda a minha graduação. Aos meus avós por tanto carinho e por estarem sempre presentes apesar da distância.

A minhas amigas Clara Villasboa e Gisselle Morinigo que desde o primeiro dia foram meu apoio e estiveram presentes nos momentos mais difíceis. Aos meus colegas e amigos Francisco Arias , Nahuel Flores e Larissa Segovia, pelos conselhos, por tantos momentos compartilhados e por estarem presentes em cada etapa, até o final da graduação.

Agradeço especialmente a Prof^a.Dra^a. Andreia Cristina Furtado, minha orientadora, pela paciência, acompanhamento e contribuição fundamental na minha formação.

À Universidade Federal da Integração Latino-Americana pela grande oportunidade e o privilegio de ser parte dela. Por fim, a todos os docentes e técnicos pelos ensinamentos e experiências adquiridas e aos que de alguma forma contribuíram nesse processo de formação acadêmica.