

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

NATHALIA SILVA OLIVEIRA

**DIAGNÓSTICO DO POTENCIAL ENERGÉTICO E NUTRICIONAL DOS
RESÍDUOS DA ATIVIDADE AVÍCOLA EM SANTA MARIA DE JETIBÁ (ES) COM
VISTAS A UMA ECONOMIA CIRCULAR**

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2022**

NATHALIA SILVA OLIVEIRA

**DIAGNÓSTICO DO POTENCIAL ENERGÉTICO E NUTRICIONAL DOS
RESÍDUOS DA ATIVIDADE AVÍCOLA EM SANTA MARIA DE JETIBÁ (ES) COM
VISTAS A UMA ECONOMIA CIRCULAR**

Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheira Agrícola e Ambiental.

Orientador: Alisson Carraro Borges

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2022**

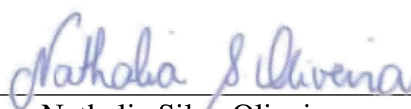
NATHALIA SILVA OLIVEIRA

**DIAGNÓSTICO DO POTENCIAL ENERGÉTICO E NUTRICIONAL DOS
RESÍDUOS DA ATIVIDADE AVÍCOLA EM SANTA MARIA DE JETIBÁ (ES) COM
VISTAS A UMA ECONOMIA CIRCULAR**

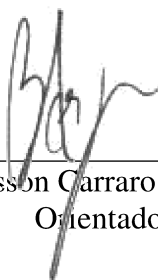
Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências, para obtenção do título de Engenheira Agrícola e Ambiental.

APROVADO: 05 de agosto de 2022.

Assentimento:



Nathalia Silva Oliveira
Autora



Alisson Carraro Borges
Orientador

Dedico esse trabalho aos meus pais, sem eles nada seria possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ser meu guia.

Aos meus pais, Maria e Umberto, que nunca mediram esforços para que eu chegasse onde estou hoje, sempre valorizando a educação e apoiando meus sonhos.

À minha irmã mais velha Kathleen, que foi amiga e companheira nesses anos de Viçosa.

À minha irmã mais nova Isabely, por mesmo de longe, estar sempre presente.

Agradeço aos meus amigos do IFES, que mesmo longe, sempre torceram por mim.

Aos presentes que a Agrícola me deu, em especial a Ingrid e a Laura, que foram um porto seguro nos momentos mais difíceis do curso.

À Patrícia que foi com uma irmã pra mim e a todos os amigos que Viçosa me deu, com vocês tudo foi mais fácil!

Não posso deixar de agradecer ao Centro de Conhecimento em Bioenergia, por tudo que aprendi, pelas pessoas que conheci e sem dúvida, ser responsável por parte do que sou hoje.

Ao CoffeeTec, pelos amigos que criei e por ter me feito apaixonar ainda mais pela cafeicultura.

Aos professores do DEA, por ter tanto o que compartilhar, em especial ao meu orientador Alisson, por sempre ser solícito.

Às meninas do Laboratório da Qualidade Ambiental - Juciara e Izabelle, pela companhia nas visitas à granja e por terem me ensinado tanto.

À UFV, por todas as oportunidades, histórias e momentos únicos.

A cada um que fez parte da minha trajetória até aqui, meu sincero agradecimento!

“Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”

Antoine Lavoisier

RESUMO

O município de Santa Maria de Jetibá (ES), com um plantel superior a 16 milhões de galinhas poedeiras, é o maior produtor de ovos no Brasil. No entanto, a produção em larga escala gera diariamente elevada produção de resíduos. Diante do potencial de aproveitamento nutricional e energético dos resíduos de galinhas poedeiras no município, objetivou-se avaliar os potenciais de aproveitamento energético e nutricional de resíduos de galinhas poedeiras para fechamento do ciclo de economia circular. O levantamento do plantel municipal foi feito a partir dos dados fornecidos pelo Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do estado do Espírito Santo (IDAF). A caracterização dos resíduos brutos e após o tratamento por compostagem, digestão anaeróbia e secagem a 65°C foi feita a partir de revisão de literatura. Os dados das culturas produzidas no município foram obtidos no portal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e a demanda dos macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) pela quinta aproximação de solos para o estado do Espírito Santo. Foi considerada a demanda de NPK para produção de ração de milho e soja no Centro-Oeste devido ao fato da região ser um polo de produção. O resultado obtido para produção diária de resíduos brutos foi de aproximadamente 2,5 mil toneladas, com carga diária de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) de 95,70 t e equivalente populacional de 1,77 milhão de habitantes. A concentração nos resíduos brutos (sem tratamento) para o nitrogênio, o fósforo e o potássio, foram respectivamente 72,48; 30,06 e 20,44 t d⁻¹. O potencial nutricional foi satisfatório para suprir a demanda de NPK para a agricultura local, com excedentes. Considerando-se o ciclo nutricional, a estimativa do balanço de nitrogênio e fósforo mostrou-se com potencial para suprir a demanda do ciclo produtivo de ração de milho e soja, no entanto, o potássio possui um balanço negativo. Para o ciclo energético, verificou-se que o potencial de produção de energia no tratamento por digestão anaeróbia não é suficiente para atender a demanda interna desses empreendimentos, no entanto, os outros tratamentos considerados (compostagem e secagem) não possuem retorno energético. Conclui-se que os resíduos de poedeiras possuem potencial de aproveitamento energético e nutricional, o que auxilia no alcance do conceito de economia circular. Além disso, o aproveitamento nutricional reduz a demanda por fertilizantes minerais na agricultura local e no ciclo produtivo dos ovos.

Palavras-chave: Biogás. Adubação orgânica. Galinhas poedeiras.

ABSTRACT

The municipality of Santa Maria de Jetibá (ES), with a flock of more than 16 million laying hens, is the largest egg producer in Brazil. However, large-scale production generates daily high production of waste. Given the potential for nutritional and energy use of waste from laying hens in the municipality, the objective was to evaluate the potential for energy and nutritional use of waste from laying hens to close the cycle of circular economy. The survey of the municipal squad was based on data provided by the Institute for Agricultural and Forestry Defense of the state of Espírito Santo (IDAF). The characterization of raw waste and after treatment by composting, anaerobic digestion and drying at 65°C was made from a literature review. Data on crops produced in the municipality were obtained from the portal of the Brazilian Institute of Geography and Statistics and the demand for the macronutrients nitrogen, phosphorus and potassium (NPK) by the fifth soil approximation for the state of Espírito Santo. The demand for NPK for the production of corn and soybean feed in the Midwest was considered due to the fact that the region is a production hub. The result obtained for the daily production of raw waste was approximately 2.5 thousand tons, with a daily load of biochemical oxygen demand (BOD) of 95.70 tons and a population equivalent of 1.77 million inhabitants. The concentration in raw residues (no treatment) for nitrogen, phosphorus and potassium were respectively 72.48; 30.06 and 20.44 t d⁻¹. The nutritional potential was satisfactory to supply the NPK demand for local agriculture, with surpluses. Considering the nutritional cycle, the estimate of the nitrogen and phosphorus balance showed to have the potential to meet the demand of the corn and soybean feed production cycle, however, potassium has a negative balance. For the energy cycle, it was found that the potential for energy production in the anaerobic digestion treatment is not sufficient to meet the internal demand of these projects, however, the other treatments considered (composting and drying) do not have any energy return. It is concluded that laying hen waste has potential for energy and nutritional use, which helps to achieve the concept of circular economy. In addition, nutritional use reduces the demand for mineral fertilizers in local agriculture and in the egg production cycle.

Keywords: Biogas. Organic fertilizer. Laying hens.

CONTEÚDO

1 INTRODUÇÃO	9
2 MATERIAL E MÉTODOS	13
2.1. ÁREA DE ESTUDO	13
2.2 ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DOS RESÍDUOS ...	13
2.3 POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA AVICULTURA	14
2.3.1 Estimativa do potencial de aproveitamento energético	14
2.3.2 Estimativa do potencial de produção de nutrientes	16
2.3.3 Demanda nutricional de NPK para a agricultura local e produção de ração	17
2.4 Balanço nutricional.....	18
2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	19
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
3.1 ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE GALINHAS POEDEIRAS ...	20
3.2 POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA AVICULTURA	23
3.2.1 Estimativa do potencial de aproveitamento energético	23
3.2.2 Estimativa do potencial de produção de nutrientes	29
3.2.3 Estimativa do balanço nutricional entre produção de nutrientes de resíduos de galinhas poedeiras com consumo de nutrientes (NPK) na agricultura local	32
3.3 Estimativa do balanço nutricional entre a produção de NPK por resíduos de poedeiras e a demanda de fertilizantes na produção de ração de milho e soja.....	33
4 CONCLUSÃO.....	35
REFERÊNCIAS.....	36
APÊNDICE	42
APÊNDICE A – DEMANDA MUNICIPAL DAS 10 CULTURAS QUE OCUPAM MAIOR ÁREA (DCA)	42
APÊNDICE B – DEMANDA DAS PRINCIPAIS CULTURAS PRODUZIDAS NO MUNICÍPIO (DCT).....	43
APÊNDICE C – UNIDADES DE PRODUÇÃO DE GALINHAS POEDEIRAS, TOTAL DE AVES, ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE METANO E DO POTENCIAL ENERGÉTICO	44

1 INTRODUÇÃO

A avicultura de postura no município de Santa Maria de Jetibá, localizado na região serrana do Espírito Santo, teve seu início em 1964 com o produtor pioneiro Erasmo Berger. Segundo Bergamin (2015) o plantel inicial era pequeno e a granja possuía poucos recursos operacionais. A possibilidade de sucesso da atividade despertou interesse de novos produtores e, a partir desse momento, o município desenvolveu ainda mais o seu potencial avícola. Atualmente, Santa Maria de Jetibá é destaque em produção, sendo o maior município produtor de ovos no Brasil (IBGE, 2020).

É importante destacar que o município de Santa Maria de Jetibá possui grande relevância no cenário estadual de produção de alimentos, uma vez que 40% das hortaliças e 70% das folhosas comercializadas na Ceasa do estado do Espírito Santo são produzidas no município (SÉCULO DIÁRIO, 2020). A agricultura alternativa também é bem desenvolvida tendo cerca de 150 propriedades de produção orgânica, considerando as propriedades certificadas por auditoria e em transição (INCAPER, 2020). A facilidade de acesso a adubação de origem orgânica contribui para esse panorama (BERGAMIN, 2015).

A produção de ovos de galinha no município conta com granjas de diferentes portes, com sistemas de manejo convencional e automatizado. A produção de aves poedeiras comerciais em ambos os sistemas pode acarretar impactos ambientais no ar, solo, água e ainda danos na saúde humana e animal (PALHARES; KUNZ, 2011). Cada galinha de postura produz diariamente em média 0,115 kg de dejetos, ricos em nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, manganês, cálcio, magnésio, sódio, enxofre, ferro e zinco (OLIVEIRA, 1993). Vale ressaltar que se dispostos sem tratamento prévio, esses dejetos podem levar a eutrofização de cursos de água, provocar prejuízos ao solo e ainda contaminar o ambiente com patógenos.

O aumento da escala de produção animal pode comprometer a sustentabilidade do sistema de produção, em virtude do aumento no consumo de insumos, na área ocupada e na produção de resíduos (SALOU; LE MOUËL; VAN DER WERF, 2017). No entanto, com o crescimento populacional e, conseqüentemente, com a maior demanda de alimentos, há a necessidade de garantir a produção suficiente e de maneira sustentável. Segundo Kunz *et al.* (2014), a escolha do tipo de tratamento de resíduos agrícolas deve ser feita com base em uma avaliação ampla e sistêmica dos objetivos após o tratamento e as condições de viabilidade de cada tipo de tratamento. A mudança nos processos produtivos de uma cadeia linear onde não se preocupava com a redução de impactos ambientais e que considerava os recursos infinitos vêm dando espaço para processos que visam o aumento da vida útil dos recursos e que possuem

um ciclo sustentável tanto nos aspectos ambientais quanto econômicos (LIMA; LEITÃO; SILVA, 2021). Definir alternativas de tratamento que busquem agregar valor aos resíduos é uma estratégia de adoção de economia circular nas atividades agrícolas.

Uma expressão que vem se tornando cada vez mais aplicável é a “economia circular” que pode ser compreendida como a reutilização de recursos visando a sustentabilidade das atividades. A economia circular em empreendimentos avícolas é uma oportunidade de geração de renda no negócio, uma vez que a alta concentração de nutrientes dos dejetos de aves após tratamento é uma alternativa já consolidada de adubação do solo. Além disso, a elevada concentração de matéria orgânica torna esse resíduo com potencial de produção de energia a partir da digestão anaeróbia (LIMA; LEITÃO; SILVA, 2021; MUHL; DE OLIVEIRA, 2022).

O Brasil é destaque mundial na produção de alimentos, chamando atenção na produção e exportação de café, açúcar, suco de laranja e soja em grão. também está em evidência na produção de proteína animal pela produção de carne bovina, suína e de frango (SAE-PR, 2020). No entanto, a baixa fertilidade dos solos exige grande reposição nutricional tanto para a produção de alimentos, quanto ração animal. Segundo o MAPA (2022), o Brasil é o 4º maior consumidor mundial de fertilizantes, representando 8% do consumo global. Vale ressaltar que os nutrientes mais utilizados compõem a formulação NPK com 29% para nitrogênio, 33% para fósforo e 38% de potássio e que devido à baixa quantidade de fontes exploradas no país, há um déficit interno desses produtos, sendo a maior parte desses insumos importados, deixando os custos de produção dependentes do mercado e disponibilidade externa (BRASIL, 2020). Como fator agravante cita-se o atual conflito entre a Rússia e a Ucrânia, região onde se concentram grandes reservas de fertilizantes. As restrições econômicas e de transporte acarretadas pela guerra deixam os produtores e consumidores brasileiros apreensivos com a escassez desses insumos e com a elevação dos custos de produção (BRASIL, 2022). Portanto, o uso de insumos alternativos é uma possibilidade para contornar o déficit de fertilizantes minerais nacionais, caminhando para o conceito de economia circular.

Entende-se como potencial aquilo que, em condições ideais, é suscetível de existir, um ótimo valor/resultado esperado. O potencial de aproveitamento dos resíduos da produção de ovos de galinhas comerciais é essencial para entendimento do ciclo nutricional e energético desses empreendimentos. Diante disso, para grandes polos de produção avícola é essencial entender os impactos ambientais gerados pela produção em larga escala, bem como os potenciais de aproveitamento desses recursos após cada tipo de tratamento.

Entre os tratamentos de resíduos de animais, os mais utilizados são a compostagem e a digestão anaeróbia (MUHL; DE OLIVEIRA, 2022; MURILLO-ALVARADO; PONCE-

ORTEGA, 2022). Vale ressaltar que produtores do município de Santa Maria de Jetibá com grande plantel estão buscando uma nova alternativa de tratamento com a secagem dos resíduos sob elevadas temperaturas (JORNAL DO CAMPO ES, 2018).

A compostagem, segundo Matos (2014) pode ser definida como o processo por meio do qual se obtém a decomposição biológica aeróbia controlada de resíduos orgânicos transformando-os em material parcialmente umidificado. O processo ocorre em duas fases distintas: termofílica e maturação. O controle de alguns parâmetros é essencial para o bom desempenho do processo de compostagem, sendo eles a taxa de aeração, temperatura, conteúdo de água, concentração de nutrientes e o tamanho das partículas e pH. Ao final do processo tem-se a obtenção de um esterco mineralizado de interesse agrônômico (MA *et al.*, 2020; XU *et al.*, 2022).

A digestão anaeróbia é a decomposição da matéria orgânica pela ação de microorganismos anaeróbios. Destacam-se quatro etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. A fase metanogênica, é a de maior interesse de aproveitamento, nela microorganismos específicos (arqueias metanogênicas) são responsáveis pela liberação do gás metano e dióxido de carbono, sendo esses gases os principais componentes do biogás e com potencial de aproveitamento energético. No final do processo ainda há a produção do digestato rico em nutrientes que podem ser destinados a agricultura (CHERNICHARO, 2007). A digestão anaeróbia é, portanto, uma alternativa de tratamento que destaca pela produção de, no mínimo, dois subprodutos: biogás e biofertilizante. Resíduos de origem agrícola, por possuírem elevada concentração de matéria orgânica, apresentam potencial de serem tratados por digestão anaeróbia (RAMOS-SUÁREZ *et al.*, 2019). No entanto, para o funcionamento de reatores anaeróbios são necessários cuidados com a temperatura, pH, alcalinidade, acidez, disponibilidade de oxigênio, composição química e nutrientes (KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2014; ZHANG *et al.*, 2022).

Trabalhos com resíduos da bovinocultura e de vinhaça de cana-de-açúcar tratados por digestão anaeróbia também vem apresentando bons resultados na produção de biogás. Vale destacar que além da energia, o reaproveitamento nutricional também agrega valor ao empreendimento (ARAUJO; OLIVEIRA, 2020; AVACI *et al.*, 2013; COLDEBELLA *et al.*, 2006). A digestão anaeróbia no tratamento de resíduos de galinhas poedeiras possui como entrave o elevado teor de matéria seca e a presença de uma quantidade expressiva de amônia, que pode inibir o processo. Resíduos de poedeiras, mesmo em sistemas automatizados que possuem umidade mais elevada, precisam ser diluídos para viabilizar o processo de digestão

anaeróbia. No entanto, há a possibilidade de co-digestão com outros resíduos e que podem amenizar esses entraves (BOROWSKI; WEATHERLEY, 2013; CAMILA et al., 2022).

Paralelamente às opções de tratamento biológico (compostagem e digestão anaeróbia), a secagem de resíduos de galinhas poedeiras vem sendo adotada por produtores do município de Santa Maria de Jetibá com plantel elevado e produção de resíduos diários expressivos. A secagem dos resíduos é realizada com secadores em altas temperaturas com capacidade de atenderem granjas com plantel de 50 mil a 3 milhões de aves. As vantagens desse sistema são a otimização do tempo de tratamento, a possibilidade de secagem de resíduos com até 80% de umidade e a obtenção de um produto final estabilizado com redução de volume sem produção de odores, chamado de esterco granulado (TECNOBACH, 2022). As desvantagens desse sistema são a necessidade de fonte de calor externa e o fato de não atender pequenos produtores. Em relação à microbiologia, como esses resíduos são submetidos a temperaturas muito elevadas rapidamente, há a garantia da inexistência de patógenos e possíveis sementes de plantas invasoras. Por outro lado, esse material perde os microrganismos que seriam benéficos para o solo na aplicação posterior do resíduo.

Visando-se analisar o panorama atual de geração de resíduos de galinhas poedeiras comerciais em Santa Maria de Jetibá, neste trabalho objetivou-se avaliar os potenciais de aproveitamento energético e nutricional de resíduos de galinhas poedeiras para fechamento do ciclo de economia circular.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O município de Santa Maria de Jetibá está localizado na região serrana do Espírito Santo, à latitude sul de 20° 01' 35" e longitude Oeste de Greenwich de 40° 44' 27", ocupando uma área de 735,198 km², inserido na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória e apresentando uma população de 41.588 habitantes. O município é destaque na produção de hortifrutigranjeiros, sendo o maior município produtor de ovos do Brasil (IBGE, 2020).

Os dados para análise foram fornecidos pelo Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal (IDAF) contendo localização geográfica e quantidade de aves em cada granja e foram tratados utilizando o programa Excel e a extensão do Power Query no Power BI. Foram contabilizadas 155 unidades de produção de ovos, totalizando um plantel municipal de 16 milhões de aves.

2.2 Estimativa da produção e caracterização da matéria orgânica dos resíduos

A produção diária de resíduos foi estimada a partir do produto entre o plantel de animais no município e a produção média de dejetos (Equação 1). A produção de resíduos bruto foi obtida a partir de revisão na literatura, sendo considerado nesse estudo como 0,155 kg ave⁻¹ d⁻¹ (OLIVEIRA, 1993) e o número de aves totais foi obtido pelo IDAF.

$$Dej = \frac{N * M}{1000} \quad (1)$$

Em que:

Dej – Toneladas de resíduos por dia (t d⁻¹);

N – Número de aves no município (aves);

M – Massa fresca de resíduos produzido por ave (kg ave⁻¹ d⁻¹).

Para a caracterização dos componentes de resíduos de poedeiras foi realizado um levantamento bibliográfico. Para melhor representatividade foram considerados dados de resíduos brutos em sistema convencional (AUGUSTO, 2007), resíduos brutos de sistema automático (AUGUSTO, 2007) e composições médias de resíduos de galinhas poedeiras

(ASAE, 2003; MATOS, 2014). Dos dados obtidos foi realizado a média geométrica (MG) por ser mais robusta que a média aritmética em relação à presença de dados extremos (outliers). A produção diária de cada componente dos resíduos foi estimada a partir da Equação 2.

$$CR_x = DejMS * N * X \quad (2)$$

Em que:

CR_x – Composição de X no resíduo em base seca ($t d^{-1}$);

X – Componente identificado no resíduo ($t kg^{-1}$)

N – Número de aves no município (aves);

DejMS – Massa seca total de resíduos, obtida após o desconto do cômputo da umidade média dos valores de massa fresca ($kg d^{-1} ave^{-1}$);

O equivalente populacional foi determinado a partir da determinação da carga de DBO, obtido na Equação 2, com X sendo a DBO e o resultado posteriormente utilizado na Equação 3.

$$EP = \frac{L_{DBO}}{C_{pc}} \quad (3)$$

Em que:

EP – Equivalente populacional (hab);

L_{DBO} – Carga de DBO ($kg d^{-1}$);

C_{pc} – Carga de DBO *per capita* ($0,054 kg hab^{-1} d^{-1}$).

2.3 Potencial de aproveitamento dos resíduos da avicultura

2.3.1 Estimativa do potencial de aproveitamento energético

A estimativa do potencial de aproveitamento energético foi avaliada considerando-se quatro grupos: (i) granjas com plantel acima de 200 mil aves (G1), (ii) plantel menores que 200 mil e maiores que 50 mil aves (G2); (iii) plantel abaixo de 50 mil e superior a 20 mil aves (G3) e; (G4) plantel menor que 20 mil aves (G4). A estimativa do potencial energético foi realizada a partir da metodologia proposta por Oliveira (2020).

Inicialmente foi determinada a quantidade de metano gerada a partir da Equação 4.

$$GM_{\text{esterco}} = 365 * P_{\text{animal}} * G_{\text{esterco}} * A_{\text{esterco}} * Y_{\text{metano}} \quad (4)$$

Em que:

GM_{esterco} - Quantidade anual de metano gerada (m^3);

P_{animal} - Número de animais (aves);

G_{esterco} - Produção diária de esterco ($kg d^{-1}$);

A_{esterco} - Fator de disponibilidade de esterco fresco (%);

Y_{metano} - Produção volumétrica de metano a partir da massa esterco bruto ($Nm^3 kg^{-1} d^{-1}$).

Com o valor encontrado para a estimativa da quantidade anual de metano gerada obtido na Equação 4 foi determinado o potencial energético do esterco com a Equação 5.

$$P_{\text{energia}} = \frac{GM_{\text{esterco}} * PCI * \eta_1 * D}{860} \quad (5)$$

Em que:

P_{energia} – Potencial energético anual (kWh);

PCI – Poder calorífico inferior ($11954 kcal kg^{-1}$);

η_1 – Eficiência de conversão (combinação entre as eficiências do motor a gás e o gerador) (%);

D – Massa específica do metano ($0,714 kg m^{-3}$);

860 – Fator de conversão de kcal para kWh.

Os dados de entrada para as Equações 4 e 5 estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados de entrada para estimativa de produção de metano e potencial energético

Parâmetro de Entrada	Valor	Referências
Produção diária de esterco ($kg dia^{-1}$)	0,155	(OLIVEIRA, 1993)
Fator de disponibilidade de esterco fresco (%)	80	(AVCIOĞLU; TÜRKER, 2012)
Produção de metano ($Nm^3 kg d^{-1}$)	0,09	(PROBIOGÁS, 2010)
Eficiências do motor a gás (%)	35	(FREITAS <i>et al.</i> , 2019)
Eficiência do gerador (%)	80	(FREITAS <i>et al.</i> , 2019)

Fonte: Adaptado dos autores citados.

Para o balanço energético foi considerado a produção de biogás no tratamento por digestão anaeróbia a partir dos resíduos das galinhas poedeiras no município de Santa Maria de Jetibá e o consumo de energia desses empreendimentos. O consumo de água para adequar os resíduos para digestão anaeróbia também foi considerado.

A estimativa do consumo de energia foi determinada pela Equação 6. A demanda de energia considerada foi de 0,87 kWh ave⁻¹ (MEDINA; FURTADO, 2008; JORDAN; TAVARES, 2003).

$$\text{Con}_{\text{ener}} = N * \text{dem}_{\text{ener}} * 365 \quad (6)$$

Em que:

Con_{ener} – Consumo energético demandado pelas granjas (kWh ano⁻¹);

dem_{ener} – Demanda diária de energia por ave (kWh ave⁻¹ d⁻¹);

N – Número de aves no município (aves).

Para se estimar o consumo de água na correção da umidade dos resíduos para digestão anaeróbia foi considerado a presença de 6% de sólidos no afluente do reator anaeróbio (AUGUSTO, 2007). A umidade considerada foi de 58,5% (FIGUEROA; ESCOSTEGUY; WIETHÖLTER, 2012).

Para se determinar o balanço energético foi utilizada a Equação 7.

$$\text{Bal}_{\text{ene}} = P_{\text{energia}} - \text{Con}_{\text{ener}} \quad (7)$$

Em que:

Bal_{ene} – Balanço Energético anual (kWh);

P_{energia} – Potencial energético anual (kWh);

Con_{ener} – Consumo energético anual nas granjas (kWh).

2.3.2 Estimativa do potencial de produção de nutrientes

Foi estimada a produção dos macronutrientes NPK a partir de resíduos de galinhas poedeiras comerciais com base na média geométrica dos dados da literatura para diferentes tipos de tratamento: (i) resíduos brutos sem tratamento (RB); (ii) compostagem (TC)

(CAMPOS *et al.*, 2017; LARA *et al.*, 2015; RÓS *et al.*, 2013; STRAPAZZON *et al.*, 2021); (iii) esterco após digestão anaeróbia (digestato) (TDA) (OLIVEIRA *et al.* (1993) e PROBIOGÁS (2010); (iv) resíduo seco à 65°C (TS) (FIGUEROA *et al.*, 2012; MATOS, 2014).

Ressalta-se que tal abordagem possui como limitação a superestimação dos nutrientes após o TC, TDA e TS, pois considera a concentração final em termos percentuais dos resíduos em massa seca, no entanto, após tratamento há redução de sólidos e com isso esses nutrientes tendem a serem mais concentrados que os resíduos brutos. Portanto, para os balanços foram considerados o potencial de produção dos nutrientes dos resíduos brutos.

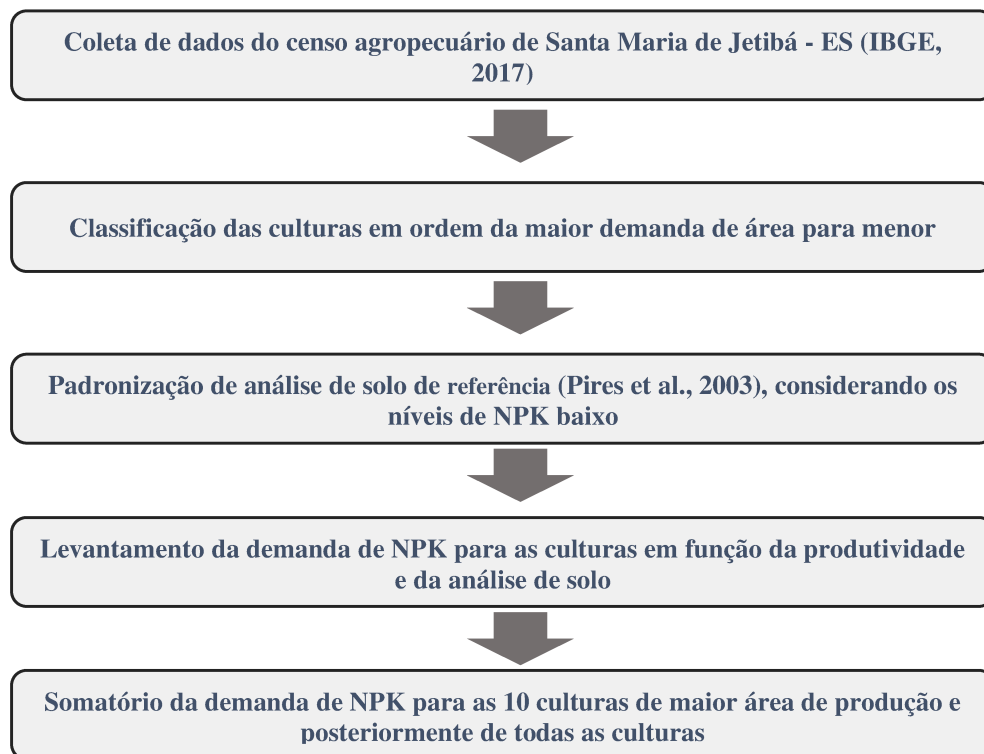
Com os dados da quantidade de resíduos produzidos no município e a caracterização nutricional de cada tipo de tratamento foi possível levantar o total de nutrientes produzidos no município.

2.3.3 Demanda nutricional de NPK para a agricultura local e produção de ração

Para a determinação das principais culturas agrícolas produzidas no município de Santa Maria de Jetibá foi realizado o tratamento dos dados do último censo agropecuário (IBGE, 2017) com a utilização do programa Excel.

Com base nas demandas nutricionais para as culturas encontradas seguindo a recomendação da quinta aproximação para o estado do Espírito Santo (PREZOTTI *et al.*, 2007) foram avaliadas a demanda dos macronutrientes nitrogênio (N), pentóxido de fósforo (P_2O_5) e óxido de potássio (K_2O) que compõem os formulados de NPK para: (i) demanda de nutrientes para as 10 culturas em termos de área ocupada; (ii) demanda para a produção das principais culturas produzidas no município. Utilizou-se como referência de fertilidade do solo de Pires *et al.* (2003) sendo então considerado para este estudo o solo com baixa concentração de NPK. As etapas do processo estão apresentadas na Figura 1.

Figura 1 – Etapas para determinação da demanda de NPK para Santa Maria de Jetibá (ES)



Fonte: Autora.

Com os resultados foi avaliada a demanda de nutrientes para suprir a adubação do solo para desenvolvimento da agricultura local.

2.4 Balanço nutricional

A demanda de nutrientes foi calculada na Equação 8 considerando um consumo de milho e soja por aves de 64 e 20 gramas, respectivamente (FREITAS, 2000).

$$Dem_{rac,milho,soja} = N * Con_{milho,soja} * 365 \quad (8)$$

Em que:

$Dem_{rac,milho,soja}$ – Demanda de ração (kg ano⁻¹)

N – Número de aves no município (aves);

$Con_{milho,soja}$ – Consumo de ração por ave (kg d⁻¹);

Para a estimativa de demanda de NPK de milho e soja, foram considerados os dados de produtividade e demanda de nutrição do solo para a região do Centro-Oeste, uma vez que nessa região se concentra a produção e não há soja na região do estudo.

Os dados da Tabela 2 foram utilizados para estimar a demanda de NPK suficiente para suprir a demanda de ração resultante da Equação 9 em função da fertilidade do solo - considerando baixa fertilidade e em função da produtividade (COELHO *et al.*, 2010; SEIXAS *et al.*, 2020).

Tabela 2 – Níveis de NPK extraídos para produção de milho e soja

Cultura	Produtividade esperada (t ha ⁻¹)	Demanda de NPK por (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Milho	9,7	187	77,86	172,315
Soja	2000	40	90	80

Fonte: Adaptado pela autora de Coelho *et al.* (2010) e Seixas *et al.* (2020).

O balanço nutricional foi determinado pela Equação 9 para o nitrogênio, fósforo e potássio respectivamente.

$$\text{Bal}_{\text{nut}} = P_{\text{nutricional, NPK}} - \text{Dem}_{\text{NPK, ração}} \quad (9)$$

Em que:

Bal_{nut} – Balanço nutricional entre demanda de NPK de ração e potencial de produção

$\text{Dem}_{\text{NPK, ração}}$ – Demanda de NPK para produção de milho e soja

$P_{\text{nutricional, NPK}}$ – Potencial de produção de NPK dos resíduos brutos.

2.5 Análise Estatística

Foi realizada a análise estatística descritiva dos dados levantados dos percentuais de concentração de cada componente identificado nos resíduos brutos e dos macronutrientes NPK para TC, TDA e TS a partir da obtenção da média, desvio padrão da média, mediana e média geométrica (Costa Neto, 1999). Para fins de análise, considerando o número de dados analisados, foi utilizado a média geométrica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Estimativa de produção e caracterização de resíduos de galinhas poedeiras

A partir da análise de dados fornecidos pelo IDAF foram levantados 155 empreendimentos de galinhas poedeiras comerciais, totalizando um plantel de 16.254.805 de aves. Os empreendimentos possuem portes diferenciados, com granjas de aproximadamente 1,5 milhão de aves, enquanto outras com plantel abaixo de 1000 aves.

Cada ave de 1,8 kg produz em média 0,155 kg de resíduos por dia (ASAE, 2003; OLIVEIRA, 1993), o que resulta em uma produção diária de 2.497,17 toneladas de resíduos brutos. Os resultados do levantamento da composição de resíduos de poedeiras comerciais estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Levantamento da demanda bioquímica de oxigênio (DBO); demanda química de oxigênio (DQO); sólidos totais (ST); sólidos fixos (SF); sólidos voláteis (SV); carbono orgânico total (COT); nitrogênio total (N_{Total}); amônio (NH₄); fósforo total P_{total}; pentóxido de fósforo (P₂O₅); potássio total (K_{total}); óxido de potássio (K₂O); cálcio (Ca); magnésio (Mg); sódio (Na); cloro (Cl);ferro (Fe); enxofre (S); manganês (Mn); zinco (Zn) e cobre (Cu) de resíduos brutos de galinhas poedeiras comerciais

Parâmetros	Referências							
	ASAE (2003)		Matos (2014)		Augusto (2007)		Augusto (2007)	
Dejeto total	64	kg	-	-	-	-	-	-
DBO	3,3	kg	-	-	-	-	-	-
DQO	11	kg	-	-	-	-	-	-
pH	6,9	kg	-	-	-	-	-	-
Densidade	970	kg m ⁻³	-	-	-	-	-	-
ST	16	kg	22,5	dag kg ⁻¹	27	%	31,3	%
SF	-	-	6	dag kg ⁻¹	-	-	-	-
SV	12	kg	16,6	dag kg ⁻¹	-	-	-	-
COT	-	-	29	dag kg ⁻¹	13,69	%	13,72	%
N Total	0,84	kg	4,3	dag kg ⁻¹	6,68	%	7,4	%
NH ₄	0,21	kg	1,6	dag kg ⁻¹	-	-	-	-
P total	0,3	kg	1,95	dag kg ⁻¹	1,75	g/100g MS	1,6	g/100g MS
PO ₄	0,092	kg	-	-	-	-	-	-
K total	0,3	kg	2,05	dag kg ⁻¹	2,71	g/100g MS	2,74	g/100g MS
Ca	1,3	kg	300	mg kg ⁻¹	11,08	g/100g MS	13,29	g/100g MS
Mg	0,14	kg	0,55	dag kg ⁻¹	0,34	g/100g MS	0,34	g/100g MS
Na	0,1	kg	0,55	dag kg ⁻¹	0,34	g/100g MS	0,34	g/100g MS
Cl	0,56	kg	-	-	-	-	-	-
Fe	60	kg	100	mg kg ⁻¹	86,33	mg/100g MS	99,93	mg/100g MS
S	0,14	kg	0,4	-	-	-	-	-
Mn	6,1	kg	-	-	31,47	mg/100g MS	30,18	mg/100g MS
Zn	19	kg	350	mg kg ⁻¹	31,86	mg/100g MS	25,73	mg/100g MS
Cu	0,83	kg	-	-	-	-	-	-

Fonte: Adaptado pela autora de ASAE (2003), Augusto (2007) e Matos (2014).

Os dados apresentados na Tabela 3 mostram que resíduos de aves poedeiras apresentam em sua composição matéria orgânica e substâncias químicas. Portanto, se dispostos sem tratamento prévio podem ocasionar prejuízos no solo, ar e água (ZHANG *et al.*, 2022). Ressalta-se que o tipo de manejo adotado, composição da ração e idade dos animais irão influenciar na composição de resíduos animais.

Os nutrientes presentes nos resíduos de galinhas poedeiras e apresentados nos dados da Tabela 3 podem ser explicados pelo funcionamento do sistema digestivo das galinhas, no qual não possuem bexiga e com isso há pouca absorção dos nutrientes e estes são excretados. Os nutrientes observados nos resíduos de poedeiras também estão ligados a dieta desses animais que além da ração de origem vegetal são adicionados nutrientes concentrados e que devem estar balanceados. Dietas desbalanceadas irão reduzir a absorção dos nutrientes e maior será sua concentração nas excretas (FRANÇA, 2017; PEREIRA *et al.*, 2010; VERCESE, 2009).

Os resultados para a produção diária dos componentes das excretas de galinhas poedeiras no município de Santa Maria de Jetibá estão apresentados na Tabela 4.

Os resultados da Tabela 4 apresentam a produção diária de poluentes encontrados em resíduos de galinhas de postura. Pode-se avaliar que os resultados para DBO de 95,70 t d⁻¹ e considerando a DBO₅ de esgotos domésticos como 0,054 kg d⁻¹ o equivalente populacional gerado pelas aves foi estimado em 1,77 milhão de habitantes. Comparando com o estado do Espírito Santo, que possui uma população estimada de 4.108.508 habitantes (IBGE, 2022), a poluição gerada pelos resíduos das galinhas poedeiras de Santa Maria de Jetibá possui potencial poluidor de 40% da população do estado. Além disso, destaca-se a produção de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente 72,48; 30,06 e 20,44 t d⁻¹. A presença de nutrientes nos resíduos de galinhas de postura estão associados a baixa absorção metabólica desses animais e com isso há a liberação destes nas excretas. Segundo Cauwenberghe & Burnham (2001), 55% do nitrogênio ingerido pelas aves é excretado. A presença do nitrogênio também é influenciada por dietas desbalanceadas ou dietas com altas concentrações de proteína bruta onde o excesso é liberado nos dejetos (PAVAN *et al.*, 2005). Os valores superiores para fósforo podem estar associados a demanda nutricional desses animais, que necessitam da complementação desse nutriente na forma inorgânica devido à baixa disponibilidade deste por ração de origem vegetal (PEREIRA *et al.*, 2010).

Tabela 4 – Estimativa de produção diária da demanda bioquímica de oxigênio (DBO); demanda química de oxigênio (DQO); sólidos totais (ST); sólidos fixos (SF); sólidos voláteis (SV); carbono orgânico total (COT); nitrogênio total (N_{Total}); amônio (NH₄); fósforo total P_{total}; pentóxido de fósforo (P₂O₅); potássio total (K_{total}); óxido de potássio (K₂O); cálcio (Ca); magnésio (Mg); sódio (Na); cloro (Cl);ferro (Fe); enxofre (S); manganês (Mn); zinco (Zn) e cobre (Cu) das excretas de poedeiras comerciais na cidade de Santa Maria de Jetibá (ES)

Parâmetros	Un	Análise Estatística					
		Méd. Geo	Méd	Desv. Pad. (+/-)	Med	Mín	Máx
DBO	t d ⁻¹	95,70	95,70	0,00	95,70	95,70	95,70
DQO	t d ⁻¹	318,99	318,99	0,00	318,99	318,99	318,99
ST	t d ⁻¹	465,69	528,05	199,88	569,11	192,34	781,61
SF	t d ⁻¹	51,29	51,29	0,00	51,29	51,29	51,29
SV	t d ⁻¹	222,22	244,95	103,04	244,95	141,91	347,99
COT	t d ⁻¹	247,91	247,91	0,00	247,91	247,91	247,91
N Total	t d ⁻¹	72,48	103,18	72,62	101,79	24,36	184,79
P total	t d ⁻¹	13,12	13,50	2,40	14,32	8,70	16,67
P₂O₅	t d ⁻¹	30,06	30,92	5,50	32,79	19,92	38,17
K total	t d ⁻¹	16,96	18,20	5,09	20,35	8,70	23,42
K₂O	t d ⁻¹	20,44	21,94	6,14	24,52	10,48	28,23
Ca	t d ⁻¹	17,96	61,57	42,59	66,21	0,26	113,61
Mg	t d ⁻¹	3,56	3,64	0,74	3,48	2,91	4,70
Na	t d ⁻¹	3,28	3,35	0,67	2,91	2,90	4,70
Cl	t d ⁻¹	16,24	16,24	0,00	16,24	16,24	16,24
Fe	kg d ⁻¹	311,19	835,20	461,92	796,14	8,55	1739,96
S	t d ⁻¹	3,73	3,74	0,32	3,74	3,42	4,06
Mn	kg d ⁻¹	230,70	234,64	38,50	258,00	176,90	269,03
Zn	kg d ⁻¹	177,27	268,31	143,37	246,16	29,92	550,99
Cu	t d ⁻¹	24,07	24,07	0,00	24,07	24,07	24,07

Fonte: Autora.

Observa-se com os dados de estimativa de produção diária dos componentes dos resíduos de galinhas poedeiras em Santa Maria de Jetibá (Tabela 4) que há produção de nitrogênio, potássio e fósforo, esses nutrientes são considerados macronutrientes assim como o cálcio, magnésio e enxofre, que também foram identificados na composição dos resíduos, sendo todos estes de grande interesse para a produção agrícola, sendo indispensáveis para o desenvolvimento das plantas. Formulados de NPK são compostos por nitrogênio, fósforo e potássio devido à necessidade elevada na reposição desses componentes na fertilidade do solo.

Já os componentes ferro, zinco, cloro, cobre, manganês são necessários em menor quantidade e são considerados micronutrientes (BATISTA *et al.*, 2018; SANTOS *et al.*, 2021).

Os dados apresentados na Tabela 4 mostram que a caracterização dos resíduos possibilita o seu melhor reaproveitamento. No entanto, é necessário avaliar a disposição desses resíduos pois como abordado anteriormente, possuem elevado potencial de poluição (EBRAHIMI; HOUSHFAR, 2022; MATOS, 2014; ZHANG *et al.*, 2022). Apesar dos nutrientes presentes nos resíduos serem de interesse no aproveitamento agrícola, o nitrogênio e o fósforo estão associados aos processos de eutrofização e o ferro em excesso inviabiliza a produção agrícola devido ao aumento da acidez. O cálcio e magnésio por sua vez elevam o pH do solo (DODDS *et al.*, 2009; VARGHESE *et al.*, 2022).. Vale ressaltar que para serem absorvidos pelas plantas esses elementos devem estar mineralizados e os nutrientes que não são absorvidos podem ser perdidos por volatilização e/ou lixiviação (BATISTA *et al.*, 2018). À vista disso, o tratamento prévio e a destinação adequada são imprescindíveis

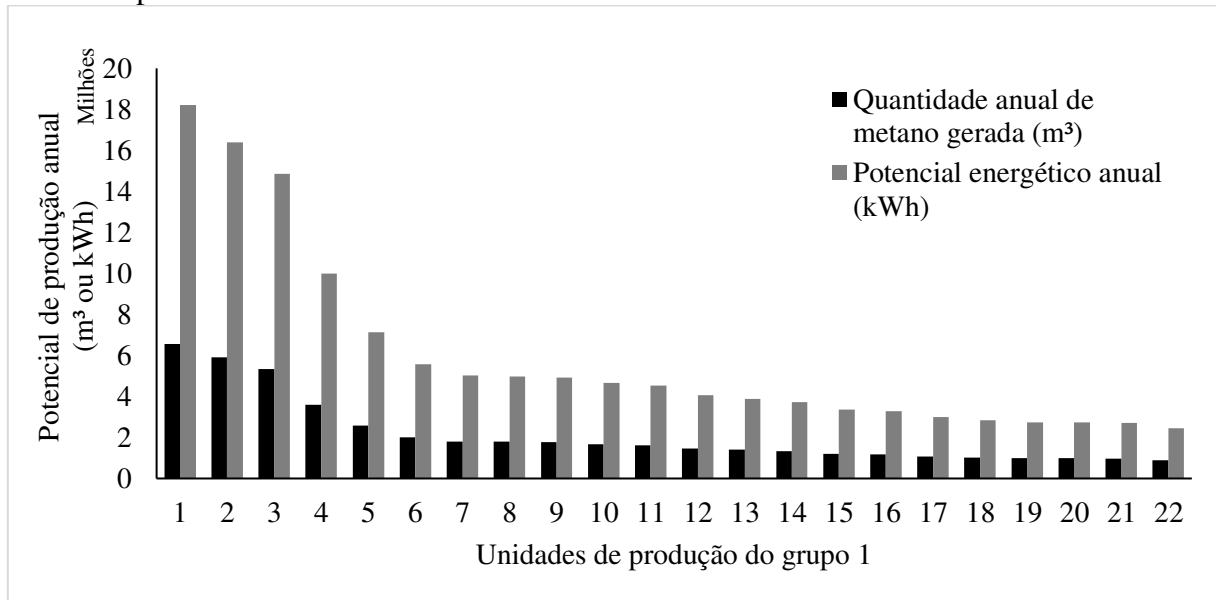
Apesar do potencial nutricional observados com a caracterização dos resíduos de galinhas poedeiras (Tabela 4), é importante ressaltar que segundo a Resolução Conama 498 (BRASIL, 2020) serão considerados biossólidos para uso aqueles que possuem potencial agrônômico e também apresentarem redução de atratividade de vetores, de substâncias químicas e microbiológicas, ou seja, reduzindo os impactos ambientais. Portanto, apenas após tratamento esses resíduos podem ser utilizados. Vale destacar que em vários estudos avaliando a substituição total ou parcial de fertilizantes minerais por fertilizantes orgânicos produzidos a partir de resíduos de galinhas poedeiras após algum tipo de tratamento na produção de diferentes culturas mostraram-se satisfatórios, comprovando o potencial de aproveitamento desses resíduos (FIGUEROA; ESCOSTEGUY; WIETHÖLTER, 2012; MAGALHÃES *et al.*, 2017; RÓS; SILVA HIRATA; NARITA, 2013; SILVA, 2017).

3.2 Potencial de aproveitamento dos resíduos da avicultura

3.2.1 Estimativa do potencial de aproveitamento energético

A estimativa de produção de metano e potencial energético para cada grupo de empreendimento diferenciado pelo porte do plantel estão apresentados nos Gráficos 1, 2, 3 e 4.

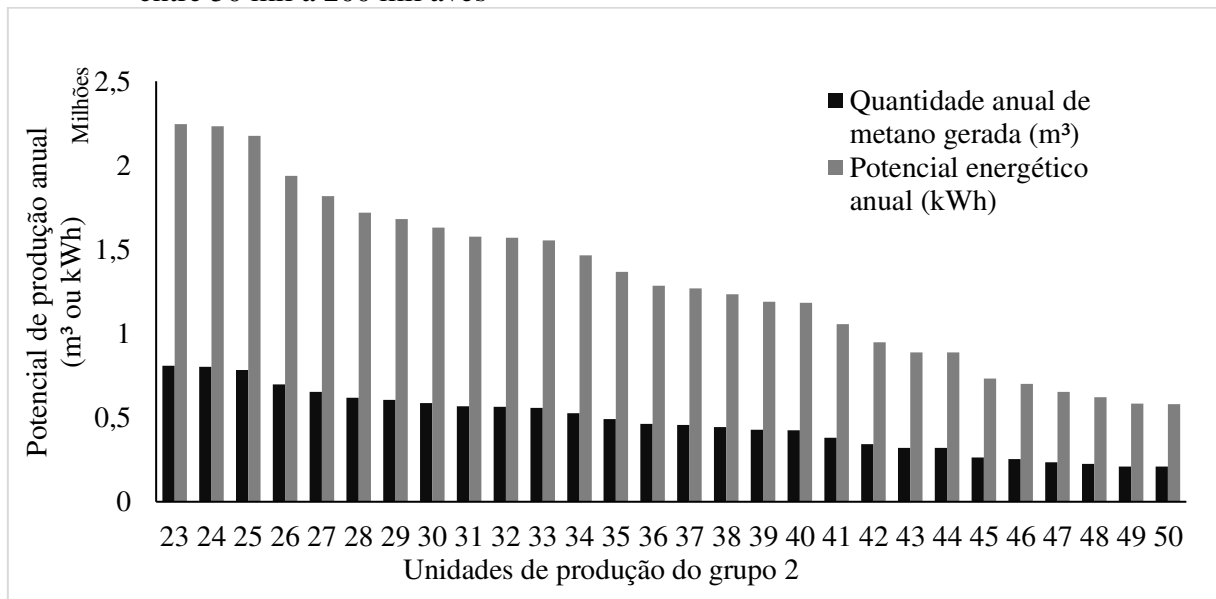
Gráfico 1 - Potencial de produção de metano e potencial energético por empreendimento com plantel acima de 200 mil aves



Fonte: Autora.

Foram identificadas no Gráfico 1, 22 unidades de produção que possuem um plantel maior que 200 mil aves. A produção individual de todas as unidades desse grupo foi superior a 2 milhões de kWh ano⁻¹, sendo a maior produção de 18.210.508,02 kWh ano⁻¹.

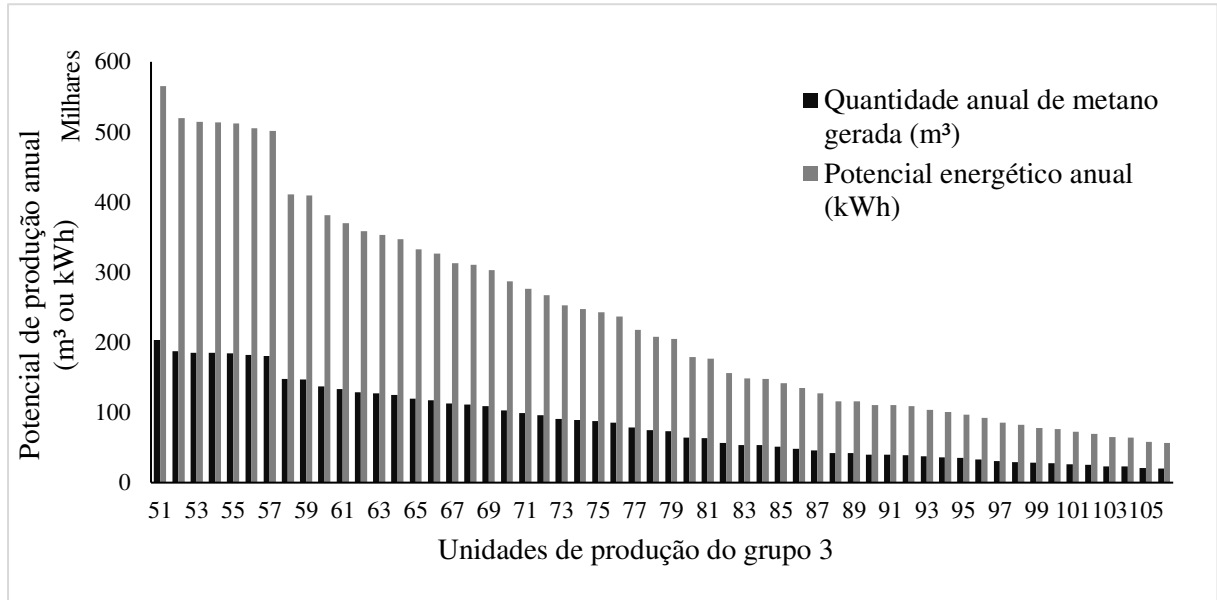
Gráfico 2 - Potencial de produção de metano e energético por empreendimento com plantel entre 50 mil à 200 mil aves



Fonte: Autora.

Foram identificadas 28 unidades que possuem plantel maior que 50 mil aves e menor que 200 mil (Gráfico 2). O potencial energético para esse grupo ficou abaixo de 2,24 milhões de kWh ano⁻¹ e superior a 578,87 mil kWh ano⁻¹.

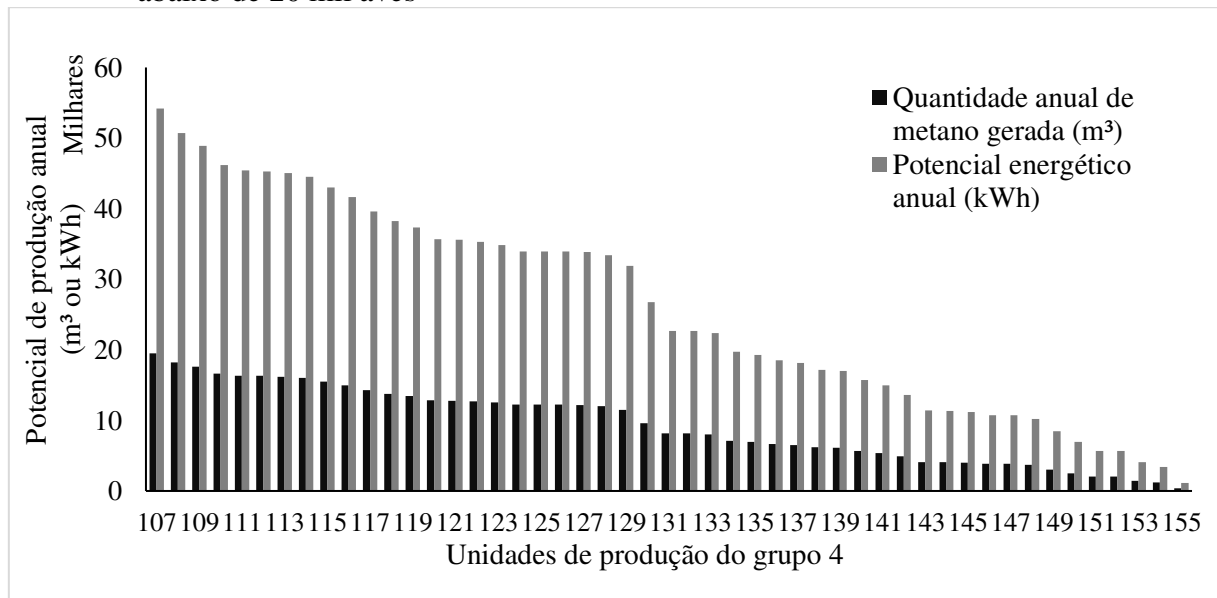
Gráfico 3 - Potencial de produção de metano e energético por empreendimento com plantel entre 20 mil a 50 mil aves



Fonte: Autora.

Para o grupo 3 (Gráfico 3) foram identificadas 55 unidades e o potencial energético para as unidades desse grupo foram inferiores a 600 mil kWh ano⁻¹ e superior a 56 mil kWh ano⁻¹.

Gráfico 4 - Potencial de produção de metano e energético por empreendimento com plantel abaixo de 20 mil aves



Fonte: Autora.

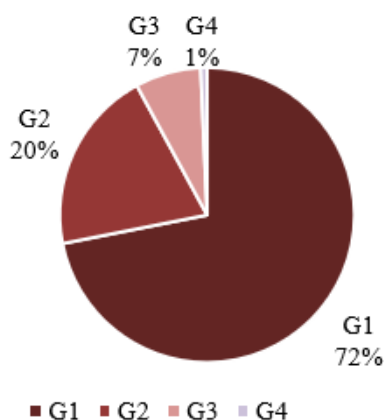
Para o grupo 4 (Gráfico 4) foram encontradas 48 unidades com plantel menor que 20 mil aves. A produção individual das unidades desse grupo foi abaixo de 54 mil e acima de 1,1 mil kWh ano⁻¹. Medina & Furtado (2008) analisando a viabilidade de produção de energia a partir do tratamento da digestão anaeróbia de resíduos de galinhas poedeiras na cidade de Roque González de Santa Cruz no Paraguai com plantel de 3800 aves encontrou uma produção anual de 10290 m³ e suficientes para atender a demanda de energia da propriedade o que pode ser comparado com a unidade de produção de Santa Maria de Jetibá 115 (Gráfico 4) que possui um plantel de 3801 aves e apresentou potencial anual de produção de metano de 15483 m³. Portanto, mesmo granjas de pequeno porte possuem potencial de aproveitamento energético.

Para o município de Santa Maria de Jetibá o potencial de produção de metano e energia respectivamente é de 65.573.075,88 m³ ano⁻¹ e 182.220.233,7 kWh ano⁻¹. O que resulta em uma produção de metano por ave de 0,01 m³. Comparando-se os resultados com o trabalho de Silva & Lucas Jr (2005), que estimaram uma produção de biogás de 0,02 m³ animal⁻¹ dia⁻¹ e 0,14 m³ kg⁻¹, verifica-se que os valores encontrados estão coerentes com o presente estudo, pois ao considerar a concentração de metano no biogás de 70% e a produção de metano de 0,09 m³ kg⁻¹ d⁻¹ para o plantel de Santa Maria de Jetibá o potencial diário de produção de biogás estimado é de 0,015 m³ animal⁻¹ d⁻¹.

A participação de cada grupo de unidade avícola diferenciado pelo porte do empreendimento no potencial energético a partir de resíduos de poedeiras da cidade de Santa Maria de Jetibá está apresentada no Gráfico 5.

Gráfico 5 – Participação por grupo diferenciado pelo porte do empreendimento de galinhas poedeiras no potencial energético do município de Santa Maria de Jetibá

G1 - Empreendimentos com plantel acima de 200 mil aves; G2 - Empreendimentos com plantel entre 50 mil à 200 mil aves; G3 - Empreendimentos com plantel entre 20 mil a 50 mil aves; G4 - Empreendimentos com plantel abaixo de 20 mil aves

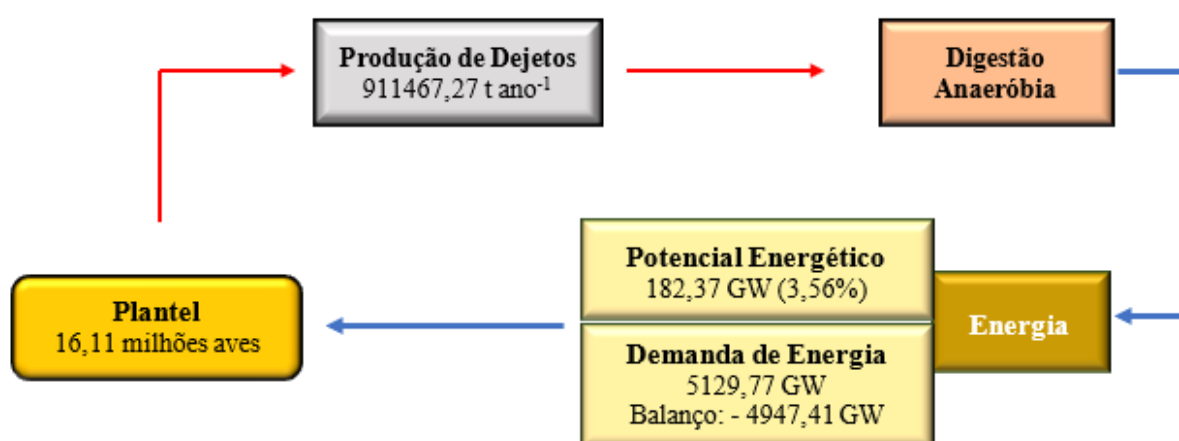


Fonte: Autora.

De acordo com Gráfico 5, 72% da produção energética estimada são das unidades do Grupo 1 – maior que 200 mil aves, seguido do grupo 2, 3 e 4. Pode-se avaliar com essa informação que apenas 22 granjas, que correspondem a 14% das unidades avícolas, possuem potencial maior que as 133 unidades (86%) que compõem os outros três grupos. O entendimento do perfil das unidades de produção possui grande relevância para planejamento de projetos que possam atender a demanda individuais de tratamento e instalações de usinas de geração de energia desses empreendimentos.

O balanço energético para entrada e saída de energia considerando o tratamento anaeróbio de resíduos de galinhas poedeiras em Santa Maria de Jetibá encontra-se na Figura 2.

Figura 2 – Balanço energético dos resíduos de poedeiras de Santa Maria de Jetibá submetido a digestão anaeróbia



Fonte: Autora.

Para o balanço energético (Figura 2) a produção de energia não foi suficiente para suprir a demanda da cidade, sendo a produção de energia a partir da digestão anaeróbia suficiente para 3,56% da demanda. Apesar do balanço ser negativo, em granjas avícolas o consumo de energia é muito elevado, sendo essencial para o funcionamento de granjas automáticas e para controle térmico dos galpões, tornando-se um item de grande relevância nos custos de produção e, portanto, necessário a adoção de alternativas de produção de energia com menor custo.

O consumo de água considerando a entrada do afluentes do biodigestor com apenas 6% de sólidos foi de 14774,93 m³ de água por dia. Considerando a produção de energia, o consumo de água por kWh é de 0,034 L kW⁻¹h⁻¹. No entanto, essa água não necessita ser potável, sendo recomendável águas residuárias e dependendo da sua origem podendo até mesmo favorecer a produção de biogás atuando como tratamento em co-digestão (BOROWSKI; WEATHERLEY, 2013; CAMILA *et al.*, 2022). Vale destacar que a concentração de sólidos nos resíduos de

poedeiras é influenciado pelo manjo e idade dos resíduos e, portanto, a demanda de água será variável. Augusto (2007) em seu trabalho com resíduos de galinhas poedeiras encontrou a concentração de sólidos totais para sistema automatizado e convencional de 1 dia de 27% e 31,3%, respectivamente. Por outro lado, em resíduos em sistema convencional com 260 dias, esse percentual subiu para 91,58%, evidenciando a importância da análise sistêmica na escolha do tratamento de resíduos ponderando as vantagens e desvantagens de cada método para diferentes manejos e objetivos de aproveitamento.

A possibilidade de agregar valor ao sistema de tratamento de resíduos de poedeiras com a produção de energia é um diferencial vantajoso da digestão anaeróbia, porém, cumpre salientar que a digestão anaeróbia é um processo realizado por microrganismos e que necessitam de condições ótimas para que a produção seja otimizada. (CHEN; CHENG; CREAMER, 2008). Alguns fatores são essenciais para a garantia do processo de produção de biogás, destacando-se a temperatura, composição e degradabilidade dos resíduos e a atividade metabólica das arqueias metanogênicas e concentração de NO_3^- , Fe^{3+} , O^- e SO^{4-} devem ser baixas ou inexistentes. Segundo Chernicharo (2007), temperaturas abaixo de 20 °C inviabiliza o processo de digestão anaeróbia, portanto, é importante associar o potencial de aproveitamento energético com estudos de clima da região, avaliando as temperaturas médias ao longo do ano.

Comparando-se o ciclo energético dos três métodos de tratamento (digestão anaeróbia, compostagem e secagem), apesar do balanço energético (Figura 2) não suprir toda a demanda de energia do município com a produção de biogás no tratamento anaeróbio, ainda há um retorno energético de 3,56%. Por outro lado, a secagem exige de energias externas no sistema e aumenta a demanda de insumos para o empreendimento. Por sua vez, na compostagem o uso de sistemas aerados pode facilitar o processo, no entanto, a demanda de energia se eleva. Portanto, considerando apenas a possibilidade de geração de energia, a digestão anaeróbia é mais atrativa, por ter um potencial de retorno energética para o ciclo de produção.

Apesar das limitações da digestão anaeróbia, os resultados apresentados do potencial de geração de energia permitem avaliar em estudos futuros a viabilidade de se desenvolver projetos para o município que busque controlar essas variáveis limitantes objetivando otimizar a produção de biogás. Além disso, serve de apoio para avaliar qual o melhor tipo de tratamento considerando o sistema de manejo adotado em cada granja.

3.2.2 Estimativa do potencial de produção de nutrientes

Os resultados do potencial de produção diária de NPK para o município de Santa Maria de Jetibá a partir do tratamento dos resíduos de poedeiras por compostagem estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Estimativa de produção diária de NPK para o município de Santa Maria de Jetibá a partir do tratamento de resíduos de poedeiras tratadas por compostagem

Parâmetro	Análise Estatística		
	Média geométrica	Média	Desvio Padrão (+/-)
N_{Total} (t d ⁻¹)	23,46	25,33	8,88
P_2O_5 (t d ⁻¹)	121,68	135,39	56,46
K_2O (t d ⁻¹)	39,38	49,78	29,40

Fonte: Autora.

Os resultados da média geométrica do potencial de produção diária de NPK a partir da compostagem de resíduos de poedeiras foram, respectivamente, 23,46; 121,68 e 39,38 toneladas (Tabela 5). Observa-se que a quantidade de fósforo é superior aos outros dois macronutrientes. Esse resultado está coerente ao fato desse nutriente não ser lixiviado no processo de compostagem. Estudos avaliando a concentração de nutrientes no final do processo de compostagem observaram aumento desse nutriente no final do processo, no qual pode ser compreendido como a mineralização do fósforo (NICOLOSO; ARMANDO; OLIVEIRA, 2015; ORRICO JÚNIOR; ORRICO; LUCAS JÚNIOR, 2010)

A estimativa do potencial de nitrogênio (Tabela 5) apresentou a menor quantidade (23,46%), comparando com os outros macronutrientes fósforo (121,68%) e potássio (39,38%). O fato é que, esse nutriente é facilmente perdido principalmente na forma de amônia. Segundo Orrico *et al.* (2010) esse resultado é explicado pelo desequilíbrio entre a relação C:N que se inicia com a fase de hidrólise dos compostos nitrogenados sendo a maior perda de nitrogênio por volatilização da amônia e óxido de nitrogênio não assimilados pelos microrganismos.

Por sua vez, o potássio encontrado na estimativa de produção dos macronutrientes na compostagem (Tabela 5) apresentou aproximadamente metade do potencial de produção de fósforo. Esse resultado é observado pela facilidade de perda por lixiviação devido à elevada solubilidade do potássio em água em consequência da baixa ligação de sítios específicos enquanto o material ainda não está decomposto (NICOLOSO; ARMANDO; OLIVEIRA, 2015).

Os resultados para o potencial de produção de NPK diário no tratamento dos resíduos da avicultura de ovos de galinha em Santa Maria de Jetibá por digestão anaeróbia estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Potencial de produção diária de NPK via tratamento anaeróbio de resíduos de galinhas poedeiras em Santa Maria de Jetibá (ES)

Parâmetro	Análise Estatística		
	Média geométrica	Média	Desvio Padrão (+/-)
N _{Total} (t d ⁻¹)	61,41	102,15	81,64
P ₂ O ₅ (t d ⁻¹)	44,89	78,47	64,37
K ₂ O (t d ⁻¹)	37,96	72,77	62,08

Fonte: Autora.

Os dados da média geométrica na Tabela 6 para o potencial de produção de NPK mostram que após o tratamento por digestão anaeróbia o macronutriente em maior quantidade foi o nitrogênio (61,41 t d⁻¹), seguido do fósforo (44,89 t d⁻¹) e por último o potássio (37,96 t d⁻¹). Esse resultado está coerente com a concentração de nutrientes presentes no dejetos bruto que após a digestão anaeróbia é mineralizada. A mineralização pode ser compreendida como a conversão biológica de compostos orgânicos em inorgânicos, e que são facilmente absorvidos pelas plantas (RHODEN *et al.*, 2006). Diante dessas informações, o tratamento biológico de resíduos de galinhas poedeiras facilita a mineralização, e nos dados apresentados na Tabela 6 para a digestão anaeróbia, o macronutriente em maior quantidade foi o nitrogênio, sendo aproximadamente 25% superior ao fósforo e potássio.

A Tabela 7 apresenta o potencial de produção de NPK diária dos resíduos de galinhas poedeiras submetidas à secagem a 65°C.

Tabela 7 - Potencial de produção diária de NPK via secagem a 65°C de resíduos de galinhas poedeiras em Santa Maria de Jetibá (ES)

Parâmetro	Análise Estatística		
	Média geométrica	Média	Desvio Padrão (+/-)
N total (t d ⁻¹)	44,5	49,60	21,82
P ₂ O ₅ (t d ⁻¹)	51,5	58,87	28,53
K ₂ O (t d ⁻¹)	27,8	32,70	17,25

Fonte: Autora.

Os resultados da média geométrica (Tabela 7) após o tratamento dos resíduos de poedeiras com secagem de 65°C para o município de Santa Maria de Jetibá foi um potencial de produção de NPK respectivamente de 44,5, 51,5 e 27,8 toneladas.

Os valores apresentados na tabela 7 representam o potencial o tratamento de resíduos com secagem de 65°C, no entanto, para otimizar o tempo de secagem as temperaturas podem

ser superiores a 100°C. A secagem dos resíduos favorece a redução do volume do esterco final, garante a eliminação de patógenos, redução de odores e, como vantagem, facilita o transporte e armazenamento do produto final. Todavia, por não ser um processo biológico, a quantidade de matéria orgânica e microrganismos no esterco final podem ser reduzidas a depender da temperatura do processo. No entanto, Figueroa (2012) utilizando esterco de galinhas poedeiras secos a 65°C obteve boas respostas na adubação de trigo.

Perante o exposto sobre os três tipos de tratamento considerados nas Tabelas 5, 6 e 7, é possível inferir que o tipo de tratamento irá influenciar na concentração de cada componente e consequentemente no potencial de produção de cada macronutriente. Comparando a concentração de NPK nos três tratamentos observa-se na Tabela 5 que o nitrogênio no processo de compostagem apresentou potencial de 23 t d⁻¹, enquanto na digestão anaeróbia 61 t d⁻¹ e na secagem 44,5 t d⁻¹, assim, o potencial na compostagem representa 38% do potencial de produção de nitrogênio no tratamento por digestão anaeróbia. Portanto, a digestão anaeróbia apresentou maior potencial de aproveitamento do nitrogênio.

Por sua vez, nos dados das médias geométricas para o fósforo das Tabelas 5, 6 e 7, a compostagem foi de 121 t d⁻¹, enquanto na secagem 55 t d⁻¹ e na digestão anaeróbia 44 t d⁻¹. Ou seja, na secagem e na digestão anaeróbia o potencial de produção de fósforo representa 45% e 35%, respectivamente, do potencial de produção desse nutriente na compostagem.

O maior potencial de produção de potássio foi na compostagem de 39 t d⁻¹ (Tabela 5), próximo ao potencial encontrado na digestão anaeróbia de 37 t d⁻¹ (Tabela 6) e o menor potencial foi na secagem a 65°C (Tabela 7) de 27,8 t d⁻¹.

A estimativa dos potenciais de produção de macronutrientes para os três tipos de tratamento (compostagem, digestão anaeróbia e secagem) possibilita o planejamento de sistemas de tratamento para o município visando avaliar o qual o nutriente deseja-se que seja menos perdido. Vale destacar que além da manutenção da fertilidade do solo, fontes orgânicas, em substituição dos minerais, trazem benefícios quanto a melhorias da qualidade física, química e microbiológica (MAGALHÃES *et al.*, 2017; PEIXOTO FILHO *et al.*, 2013; SALLES *et al.*, 2017). Contudo, Matos (2014) ressalta que dosagens acima da necessidade da cultura e não considerar a bioacumulação dos nutrientes que não são aportados pelas plantas podem trazer prejuízos ao solo e aos cursos de água.

3.2.3 Estimativa do balanço nutricional entre produção de nutrientes de resíduos de galinhas poedeiras com consumo de nutrientes (NPK) na agricultura local

Na Tabela 8 encontram-se os dados para a estimativa do balanço anual entre o potencial de produção de NPK dos resíduos brutos de galinhas poedeiras no município de Santa Maria de Jetibá e a demanda desses nutrientes para as 10 maiores culturas em função da área de produção (DCA) e em relação as 22 culturas produzidas no município (DCT).

Tabela 8 - Estimativa do balanço nutricional entre potencial de produção e consumo de NPK em Santa Maria de Jetibá (ES)

RB – Resíduo bruto; DCA – Demanda municipal das 10 culturas que ocupam maior área; DCT - Demanda municipal das 22 culturas mais significativas para o município

Nutriente	RB (t ano ⁻¹)	DCA (t ano ⁻¹)	DCA (%)	DCT (t ano ⁻¹)	DCT (%)
N_{total}	26456,21	1141,24	4,33	1167,28	4,43
P₂O₅	10970,52	845,93	7,80	882,90	8,14
K₂O	7459,32	1166,54	15,81	1203,27	16,31

Fonte: Autora.

Avaliando-se os dados apresentados na Tabela 8, é possível perceber que a demanda de nutrientes para as 10 maiores culturas identificadas representam 4, 7 e 15% de NPK do resíduo bruto, respectivamente. Já para a demanda para as 22 culturas identificadas, esse valor foi de 4, 8 e 16%. Observa-se então com esses resultados que os resíduos de galinhas poedeiras possuem potencial de abastecer a demanda de NPK para a agricultura local com excedentes.

Os dados apresentados na Tabela 8 não possuem diferenças significativas entre a DCA e DTA e isso pode estar associado a diferença entre área de produção entre as culturas identificadas no levantamento (Apêndice A e B), onde 97% da área é referente as 10 maiores culturas.

Palhares *et al.* (2020) avaliando o balanço de nutrientes produzidos por resíduos da pecuária na microbacia hidrográfica do Rio Dente de Ouro no estado de Santa Catarina, verificou diferença na demanda de nutrientes por propriedade e a demanda interna de nutrientes encontrada foi superior a disponibilidade dos resíduos. No entanto, destaca que a demanda nutricional será influenciada pelas culturas locais e o manejo do solo ao longo dos anos.

O uso da adubação orgânica em substituição aos fertilizantes minerais mostra-se uma alternativa para atender tanto a demanda de consumidores mais exigentes e responsáveis com o meio ambiente como uma alternativa da cidade em compensar a baixa disponibilidade de fontes minerais nacionais.

3.3 Estimativa do balanço nutricional entre a produção de NPK por resíduos de poedeiras e a demanda de fertilizantes na produção de ração de milho e soja

Os dados para o balanço nutricional entre o potencial de produção de NPK por resíduos de galinhas poedeiras e a demanda desses nutrientes para a produção de ração de milho e soja no município de Santa Maria de Jetibá estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Estimativa do balanço nutricional entre produção e consumo de NPK para produção de ração de galinhas poedeiras em Santa Maria de Jetibá (ES)

RB – Resíduo bruto

Nutrientes	RB (t ano ⁻¹)	Consumo na produção de ração no Cerrado				Demanda total %	Remoção para balanço zero (%)
		Milho (t ano ⁻¹)	Milho (%)	Soja (t ano ⁻¹)	Soja (%)		
N_{total}	26456,21	7232,69	27,44	663,18	2,52	30	70
P₂O₅	10970,52	3011,43	27,76	3315,91	30,56	58	42
K₂O	7459,32	6664,71	90,34	3647,50	49,44	140	-

Fonte: Autora.

Comparando os dados da estimativa de produção de NPK nos resíduos brutos de galinhas poedeiras no município e o consumo desses macronutrientes para produção de ração de milho e soja (Tabela 9) é possível analisar que a demanda nutricional individual de cada ração é suprida e ainda possui um excedente. No entanto, ao considerar a demanda total para produção de milho e soja, o potássio não é suficiente.

Tendo em vista que a produção de grãos se destaca no Cerrado do país, buscou-se avaliar a demanda de nutrientes para fechamento do ciclo de nutrientes em empreendimentos agrícolas considerando a ração dessa região. Observa-se na Tabela 9 que a soja possui uma demanda baixa de nitrogênio, sendo apenas 2,52%, enquanto o milho demanda 27,44%. Apesar da demanda de reposição nutricional do solo para a soja ser baixa, a cultura requer grandes quantidades desse nutriente, no entanto, a fixação biológica fornece 94% da demanda nutricional de nitrogênio para a soja (HUNGRIA *et al.*, 2006; GELAIN *et al.* 2011). Assim, apesar de ser fonte de nitrogênio na dieta de galinhas poedeiras, a soja apresenta baixa demanda de reposição desse nutriente.

Por sua vez, o milho demanda 90% do potencial de produção de potássio nos resíduos de galinhas poedeiras, enquanto a soja demanda 49% (Tabela 9). Isso posto, deve-se atentar às necessidades da cultura e seu grau de extração de nutrientes no solo para evitar lixiviação e volatilização.

A demanda do fósforo para o milho e soja foram de 27% e 30%, respectivamente. Vale destacar que além da demanda da cultura é necessário avaliar a disponibilidade atual dos nutrientes no solo que será cultivado. Segundo Coelho *et al.* (2010) o fósforo é o macronutriente de menor disponibilidade dos solos do Cerrado, principal local de produção de grãos para ração, porém, como as áreas possuem uma agricultura intensiva, ao longo dos anos esse teor de fósforo pode ser alterado. Ressalta-se que a demanda de nutrientes tende a variar ao longo dos anos de cultivo na mesma área e com isso as estimativas de balanço nutricional podem variar ao longo dos anos, no entanto, para as condições consideradas os resíduos de poedeiras possuem potencial de suprir a demanda desse nutriente.

Os resíduos da avicultura de postura do município de Santa Maria de Jetibá possuem alto valor agregado e com vistas a uma economia circular, e esse fato pode ser observado nos dados da Tabela 9, no qual há potencial de suprir a demanda de NPK para a produção de ração, com déficit apenas para o potássio. O estudo do balanço nutricional entre o potencial de produção de nitrogênio, fósforo e potássio dos dejetos de animais e sua reutilização na agricultura é uma alternativa de levantar estratégias de redução de impactos ambientais da produção animal (PALHARES; NOVELLI; MORELLI, 2020; PALHARES; ROMAN, 2021).

Os dados do percentual de remoção para balanço nutricional zero (tabela 9) foi de 70% para o nitrogênio e 42% para o fósforo. Já o potássio apresentou um déficit de 40%. Esses dados possibilitam traçar estratégias de tratamento que consigam eficiências de remoção desses nutrientes, porém, com a possibilidade de retorno para o ciclo produtivo com balanço nutricional zero. Augusto (2007) obteve na digestão anaeróbia de resíduos de galinhas poedeiras redução de NPK de 47%, 88% e 66%, respectivamente. Ou seja, considerando essas reduções haveria um excesso apenas para o nitrogênio e déficit para fósforo e potássio. Já nas reduções do nitrogênio e fósforo após a compostagem de resíduos de galinhas poedeiras Augusto (2007) obteve reduções de 55,5% e 2%, respectivamente e Orrico Jr *et al.* (2010) 59% para o nitrogênio e 12% para fósforo. Assim, na compostagem haveria excesso de nitrogênio e de fósforo. O potássio por sua vez, para seu retorno no ciclo produtivo o processo de tratamento deve apresentar baixa eficiência de remoção para esse nutriente.

Portanto, os resíduos da produção de ovos no município de Santa Maria de Jetibá possuem potencial de suprir a demanda de nitrogênio e fósforo na produção de ração (Tabela 9) e o balanço zero entre entrada e saída será dependente da eficiência de remoção desses nutrientes pelo método de tratamento utilizado. Já o potássio, como o potencial do resíduo bruto não atende à demanda, o seu balanço é negativo.

4 CONCLUSÃO

Perante todo o exposto, conclui-se que o ciclo energético, a partir do tratamento por digestão anaeróbia não supre a demanda de energia dos empreendimentos avícolas. No entanto, os outros tratamentos (compostagem e secagem) não possuem um ciclo de retorno energético. Portanto, a digestão anaeróbia, considerando-se apenas os ciclos analisados, possui como vantagem em relação aos outros métodos o retorno de parte da energia no ciclo produtivo. Já para o ciclo nutricional, o nitrogênio e o fósforo possuem potencial para atender a demanda da reposição nutricional do solo para produção de ração de milho e soja, no entanto, o potássio apresenta um déficit e necessita da reposição desse insumo por fontes externas ao ciclo de produção.

Portanto, os resíduos de galinhas poedeiras possuem potencial para atender sistemas produtivos com vistas a economia circular, no entanto, o fechamento do ciclo energético e nutricional e energético será dependente do tipo de tratamento que será submetido os resíduos.

Para melhor definição de estratégias de aproveitamento nutricional sugere-se mais pesquisas comparando a eficiência de remoção de nutrientes nos resíduos de galinhas poedeiras após o tratamento por compostagem, digestão anaeróbia e a secagem por diferentes temperaturas.

REFERÊNCIAS

- AIRES, A. M. *et al.* Caracterização química de biofertilizantes de cama de frangos de corte com ou sem separação de frações sólida e líquida biodegradada em anaerobiose. **II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais – II SIGERA** p. 12–15 , 2009.
- ARAUJO, G. J. F. de; OLIVEIRA, Sonia V. W. B. de. Analysis of financial and economic feasibility of the use of vinasse for electricity generation in Brazil. **Cadernos EBAPE.BR** v. 18, n. 4, p. 936–955 , 2020.
- ASAE. Manure Production and Characteristics. **American Society of Agricultural Engineers** p. 4 , 2003.
- AUGUSTO, K. V. Z.. **Caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos em sistemas de produção de ovos: Compostagem e biodigestão anaeróbia**. Jaboticabal - SP: [s.n.], 2007. 131 p. .
- AVACI, A. B. *et al.* Avaliação econômico-financeira da microgeração de energia elétrica proveniente de biogás da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 17, n. 4, p. 456–462 , 2013.
- AVCIOĞLU, A. O.; TÜRKER, U. Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey. **Energy Reviews, Renewable and Sustainable**. v. 16, n. 3, p. 1557–1561, abr. 2012.
- BATISTA, M. A. *et al.* **Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral**. [S.l: s.n.], 2018. 113–162 p.
- BERGAMIN, M. C. **Da penúria ao sucesso econômico : o processo de formação e desenvolvimento territorial de Santa Maria de Jetibá no Espírito Santo** . São Paulo -SP: Tese (Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia - Universidade de São Paulo. 2015
- BERTECHINI, AG *et al.* Suplementação de Ferro para Poedeiras Comerciais de Segundo Ciclo de Produção. **Brazilian Journal of Poultry Science** v. 2, n. 3, p. 267–272 , set. 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/j/rbca/a/QvRf6WdGJM9zHgZxyYX3xsq/?lang=pt>>. Acesso em: 21 jul. 2022.
- BOROWSKI, S.; WEATHERLEY, L. Co-digestion of solid poultry manure with municipal sewage sludge. **Bioresource Technology** v. 142, p. 345–352 , 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2013.05.047>>.
- BRASIL. **Resolução CONAMA 498/2000**. [S.l: s.n.]. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=797>. , 2020. Acesso em: 22 maio 2022.
- CAMILA, T. *et al.* Bioresource Technology Selection of additive materials for anaerobic co-digestion of fruit and vegetable waste and layer chicken manure. **Bioresource Technology** v. 361, n. May, p. 127659 , 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127659>>.
- CAMPOS, S. de A. *et al.* Efeito do esterco de galinha poedeira na produção de milho e qualidade da silagem. **Rev. Ceres** v. 64, n. 3, p. 274–281 , 2017. Disponível em:

<<http://revistas.bvs-vet.org.br/bia/article/view/8994/9590>>.

CAUWENBERGHE, S. V., & BURNHAM, D. (2001). New developments in amino acid protein nutrition of poultry, as related to optimal performance and reduced nitrogen excretion. **Proceedings of 13th European Symposium on Poultry Nutrition**, Blankenberge, Belgium, 141–149.

CHEN, Y.; CHENG, J. J.; CREAMER, K. S. Inhibition of anaerobic digestion process : **A review**. v. 99, p. 4044–4064 , 2008.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 380 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.5).

COELHO, A. M. *et al.* **Cultivo do Milho**. 4. ed. Versão Eletrônica: [s.n.], 2010. 1–10 p. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/glossario.htm>. ISSN 1679-012X.

COLDEBELLA, A. *et al.* Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bovinocultura de leite. **Encontro de Energia no Meio Rural** p. 9 , 2006. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022006000200053&script=ci_arttext&tlng=pt>.

COSTA NETO, P. L. O. **Estatística**. São Paulo, SP: Editora Edgard Blucher, 1999. 264 p.

DODDS, W. K. *et al.* Policy Analysis Policy Analysis Eutrophication of U . S . Freshwaters : Damages. **Environmental Science & Technology** v. 43, n. 1, p. 12–19 , 2009.

EBRAHIMI, A.; HOUSHFAR, E. Thermodynamic analysis and optimization of the integrated system of pyrolysis and anaerobic digestion. **Process Safety and Environmental Protection** v. 164, n. June, p. 582–594 , 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.06.043>>.

FERNANDES, A. L. T. *et al.* Adubação orgânica do cafeeiro, com uso do esterco de galinha, em substituição à adubação mineral. **Coffee Science** v. 8, n. 4, p. 486–499 , 2013.

FIGUEROA, E. A.; ESCOSTEGUY, P. A. V.; WIETHÖLTER, S. Dose de esterco de ave poedeira e suprimento de nitrogênio à cultura do trigo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 16, n. 7, p. 714–720 , 2012.

FRANÇA, L. G. F. **Excreção de nitrogênio por galinhas poedeiras submetidas a diferentes temperaturas e níveis de energia metabolizável na ração**. Tese (dout ed. Viçosa - MG: [s.n.], 2017. .

FREITAS, E. R.; FUENTES, M. de F. F.; ESPÍNDOLA, G. B.. Efeito da Suplementação Enzimática em Rações à Base de Milho/Farelo de Soja sobre o Desempenho de Poedeiras Comerciais. **Revista Brasileira de Zootecnia** v. 29, n. 4, p. 1103–1109 , 2000.

FREITAS, F. F. *et al.* The Brazilian market of distributed biogas generation: Overview, technological development and case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** v. 101, March 2019, p. 146-157, 2019.

MEDINA, M. B.; FURTADO, A. C. **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**. (Tese) Instituto Latino-americano de Tecnologia,

Infraestrutura e Território UNILA. Foz do Iguaçu. Paraná, 2008.

GELAIN, E. *et al.* Fixação biológica de nitrogênio e teores foliares de nutrientes na soja em função de doses de molibdênio e gesso agrícola. **Ciênc. agrotec** v. 35, p. 259–269, 2011.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I.C.; GRAHAM, P.H. Contribution of biological nitrogen fixation to the N nutrition of grain crops in the tropics: the success of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) in South America. In: SINGH, R.P.; SHANKAR, N.; JAIWAL, P.K. (Ed.). **Nitrogen nutrition and sustainable plant productivity** Houston: Studium, 2006. p.43-93

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Espírito Santo | Cidades e Estados | IBGE**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/es/>>. Acesso em: 11 ago. 2022.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE | Cidades@ | Espírito Santo | Santa Maria de Jetibá | Pesquisa | Censo Agropecuário | Características dos estabelecimentos**. [S.l.: s.n.], 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/santa-maria-de-jetiba/pesquisa/24/27745>>. Acesso em: 22 maio 2022. .

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Pecuária Municipal 2019**. Rio de Janeiro - RJ: [s.n.], 2020. 1–12 p. .

INCAPER. **Programa de Assistência Técnica e Extensão Rural - PROATER 2020-2023 - Santa Maria de Jetibá**. 63p. 2020.

JORDAN, R. A.; TAVARES, M. H. F. Análise de sistemas de iluminação em granjas de produção de ovos férteis. **An. 3. Enc. Energ. Meio Rural** 2003 Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022000000200051&script=sci_arttext>. Acesso em: 18 jul. 2022.

JORNAL DO CAMPO ES. **Jornal do Campo ES | Nova tecnologia é testada em esterco na região de Santa Maria de Jetibá, no ES | Globoplay**. Disponível em: <<https://globoplay.globo.com/v/7235996/>>. Acesso em: 18 jul. 2022.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. V. de. Tecnologias para o tratamento de resíduos animais. In: EMBRAPA (Org.). **Gestão Ambiental na Agropecuária**. 1. ed. Brasília - DF: [s.n.], 2014. p. 233–283.

LARA, O. Q *et al.* Esterco de ave como alternativa à adubação convencional de *Brachiaria brizantha* no estado de Rondônia (Zona da Mata). **Archivos de Zootecnia** v. 64, n. 248, p. 355–363, 2015.

LIMA, G. W. B.; LEITÃO, F. O.; SILVA, W. H. da. Práticas adotadas na suinocultura alinhadas com a economia circular: uma revisão integrativa da literatura. **Desenvolvimento em Questão** v. 19, n. 57, p. 174–194, 2021.7050062167480.

MA, R. *et al.* Effects of C/N ratio on maturity and odor emissions during chicken manure composting. **Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering** v. 36, n. 24, p. 194–202, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133326>>.

MAGALHÃES, I. de P. B. *et al.* Produtividade e exportação de nutrientes em feijão-vagem adubado com esterco de galinha. **Revista Ceres** v. 64, n. 1, p. 98–107, 2017.

- MATOS, A. T. de. **Tratamento e Aproveitamento Agrícola de Resíduos Sólidos**. 1. ed. [S.l: s.n.], 2014. 241 p. .9788572695039.
- MAZZUCO, H. *et al.* **Boas Práticas de Produção na Postura Comercial**. 2006.
- MUHL, D. D.; OLIVEIRA, L. de Technologies for the circular economy in agriculture. **Iheringia - Serie Botanica** v. 77, n. IX , 2022.
- MURILLO-ALVARADO, P. ; PONCE-ORTEGA, J. M. An optimization approach to increase the human development index through a biogas supply chain in a developing region. **Renewable Energy** v. 190, p. 347–357 , 2022.
- NICOLOSO, S.; ARMANDO, P.; OLIVEIRA, V. de. **Comunicado Técnico 522**. p. 1–9 , Concórdia - SC. 2015.
- NOGUEIRA, L.A.H. **Biodigestão: a alternativa energética** – São Paulo: Nobel, p. 93 1986.
- OLIVEIRA, A. C. L. de *et al.* Evaluation of Brazilian potential for generating electricity through animal manure and sewage. **Biomass and Bioenergy** v. 139 , 1 ago. 2020.
- OLIVEIRA, P. A. de V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos suínos**. Concórdia - SC: [s.n.], 1993. 188 p. .
- ORRICO JÚNIOR, MARCO A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J. de. Compostagem dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças de aves. **Eng. Agríc., Jaboticabal** v. 30, p. 538–545 , 2010.
- PALHARES, J. C. P; KUNZ, A. **Manejo Ambiental na Avicultura**. 1. ed. Concórdia - SC: [s.n.], 2011. 226 p. .
- PALHARES, J. C. P.; NOVELLI, T. I.; MORELLI, M.. Nutrient fluxes and environmental performance indicators for a pasture-based dairy system. **Acta Scientiarum - Animal Sciences** v. 42, n. 1, p. 1–8 , 2020.
- PALHARES, J. C. P.; ROMAN, A. D. J. Nitrogen and phosphorus balance of cattle ranches in a hydrographic micro-basin. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente** v. 14 , 2021.
- PAVAN, A. C. *et al.* Níveis de proteína bruta e de aminoácidos sulfurados totais sobre o desempenho, a qualidade dos ovos e a excreção de nitrogênio de poedeiras de ovos marrons. **Revista Brasileira de Zootecnia** v. 34, n. 2, p. 568–574 , 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/j/rbz/a/FPQVrQt5HJ4wx6DzXHxJsC/?lang=pt>>. Acesso em: 21 jul. 2022.0,90659,4375.
- PEIXOTO FILHO, J. U. *et al.* Produtividade de alface com doses de esterco de frango, bovino e ovino em cultivos sucessivos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 17, n. 4, p. 419–424 , 2013.
- PEREIRA, A A *et al.* **Formuladas Com Fitase E Níveis De Proteína Bruta Sobre a Excreção De Fósforo , Nitrogênio E Cálcio**. p. 178–183 , 2010.
- PIRES, F. R. *et al.* Fertility survey of the major mapping units in the Espírito Santo State. **Revista Ciência Agronômica** v. 34, n. 2, p. 115–123 , 2003. Disponível em: <<http://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/434/1/2003-Levantamento-da-fertilidade-nas-principais-unidades-de-mapeamento-do-ES-ANDRE-GUARCONI.pdf>>.
- PREZOTTI, L. C. *et al.* **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado do Espírito Santo - 5ª aproximação**. [S.l: s.n.], 2007. 305 p. .85-86254-03-7.

PROBIOGÁS. Guia Prático do Biogás - Geração e Utilização. In: FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. (FNR) (Org.). . **Probiogás**. 5. ed. [S.l.: s.n.], 2010. 5 v. p. 233. Disponível em: <biogasportal.info>.

RAMOS-SUÁREZ, J. L. *et al.* Biogas from animal manure : A sustainable energy opportunity in the Canary Islands. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** v. 104, n. January, p. 137–150 , 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.025>>.

RHODEN, A. C. *et al.* Mineralização anaeróbia do nitrogênio em solos de várzea do Rio Grande do Sul Nitrogen mineralization anaerobic in paddy soil from Rio Grande do Sul state , Brazil. **Ciência Rural** p. 1780–1787 , 2006.

RÓS, A. B.; HIRATA, A. C. S.; NARITA, N. Produção de raízes de mandioca e propriedades química e física do solo em função de adubação com esterco de galinha. **Pesquisa Agropecuária Tropical** v. 43, n. 3, p. 247–254 , 2013.

SALLES, J. S. *et al.* Resposta Da Rúcula À Adubação Orgânica Com Diferentes Compostos Orgânicos. **Revista De Agricultura Neotropical** v. 4, n. 2, p. 35–40 , 2017.

SALOU, T.; LE MOUËL, C.; VAN DER WERF, H. M.G. Environmental impacts of dairy system intensification: the functional unit matters! **Journal of Cleaner Production** v. 140, p. 445–454 , 2017.

SANTOS, F. D. dos *et al.* Fatores que afetam a disponibilidade de micronutrientes no solo. **Revista Tecno-Lógica** p. 272–278 , 2021.

SÉCULO DIÁRIO. **Agricultores orgânicos de Santa Maria de Jetibá e de Linz organizam intercâmbio - Século Diário**. Disponível em: <<https://www.seculodiario.com.br/meio-ambiente/agricultores-organicos-de-santa-maria-de-jetiba-e-de-linz-organizam-intercambio>>. Acesso em: 13 jul. 2022.

SEIXAS, C. S. D. *et al.* Tecnologias de produção de soja. In: EMBRAPA SOJA (Org.). . **Sistemas de Produção**. 1. ed. Londrina - PR: [s.n.], 2020. p. 347.

SILVA, A. de A. Produção e qualidade fisiológica de sementes de alface cultivada com adubação orgânica e mineral Production and physiological quality of lettuce seeds grown with organic and mineral fertilization. **Revista de Ciências Agrárias - Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**. v. 60, n-1, p. 70–76 , 2017.

SILVA, F.M.; LUCAS JÚNIOR, J. **Biogás - produção e utilização**. Jaboticabal: FCAV/UNESP, s.d. 8 p. (Boletim Técnico). 2005.

STRAPAZZON, A. J. *et al.* Efficiency in the treatment of three livestock manures through a composting process with mechanized turning. **Journal of Agriculture and Natural Resources** v. 4, n. 1, p. 140–153 , 2021.

TECNOBACH. **Tecnobach – Pioneira em tratamentos de esterco de galinhas poedeiras**. Disponível em: <<https://tecnobach.com.br/>>. Acesso em: 18 jul. 2022.

VARGHESE, E. M. *et al.* Rhizosphere microbe-mediated alleviation of aluminum and iron toxicity in acidic soils. **Rhizosphere Engineering**. [S.l.]: Elsevier, 2022. p. 499–526. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978032389973400003X>>. Acesso em: 11 ago. 2022.

VERCESE, F. **Calcium and Available Phosphorus Levels for Laying Hens in Second**

Production Cycle. , 2009.

XU, X. *et al.* Effects of composting on the fate of doxycycline, microbial community, and antibiotic resistance genes in swine manure and broiler manure. **Science of the Total Environment** v. 832, n. January, p. 155039 , 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155039>>.

ZHANG, J. *et al.* Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of animal manure : Integrated insights from biogas productivity , microbial viability and enzymatic activity. **Fuel** v. 320, n. March, p. 123990 , 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123990>>.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Demanda municipal das 10 culturas que ocupam maior área (DCA)

ha	Cultura	Produtividade (ha)	Demanda nutricional (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)			Total (kg ano ⁻¹)		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N _{total}	P ₂ O ₅	K ₂ O
3001	Café arábica	30-50 sc	260	70	230	780260	210070	690230
1809	Milho	> 5,5 t	122,5	105	110	221602,5	189945	198990
1362	Feijão	1 a 2 t		60	30	0	81720	40860
319	Cebola	> 30t	70	300	120	22330	95700	38280
248	Tangerina / mexerica	-	0,1	0,07	0,06	24,8	17,36	14,88
227	Alho	-	55	400	150	12485	90800	34050
199	Batata-inglesa	> 25 t/há	80	600	200	15920	119400	39800
181	Mandioca / aipim	>18t/h	55	200	115	9955	36200	20815
138	Banana	20-30 t	190	100	400	26220	13800	55200
138	Café conilon	50-70 sc	380	60	350	52440	8280	48300

Considerações: Demanda de NPK para plantio somado com cobertura em anuais. Para as culturas perenes com demandas diferentes ao longo dos anos foi considerado a média dos anos.

Fonte: Adaptado pela autora de IBGE (2020) e Prezotti *et al.* (2007).

APÊNDICE B – Demanda das principais culturas produzidas no município (DCT)

ha	Cultura	Produtividade (ha)	Demanda nutricional (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)			Total (kg ano ⁻¹)		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
3001	Café arábica	30-50 sc	260	70	230	780260	210070	690230
1809	Milho	> 5,5 t	122,5	105	110	221602,5	189945	198990
1362	Feijão	1 a 2 t	-	60	30	0	81720	40860
319	Cebola	> 30t	70	300	120	22330	95700	38280
248	Tangerina / mexerica	-	0,1	0,07	0,06	24,8	17,36	14,88
227	Alho	-	55	400	150	12485	90800	34050
199	Batata-inglesa	> 25 t há ⁻¹	80	600	200	15920	119400	39800
181	Mandioca / aipim	>18t/h	55	200	115	9955	36200	20815
138	Banana	20-30 t	190	100	400	26220	13800	55200
138	Café conilon	50-70 sc	380	60	350	52440	8280	48300
41	Abobora e moranga	-	105	415	230	4305	17015	9430
38	Maracujá	20-40	0,14	0,12	0,36	5320	4560	13680
33	Laranja 2ano	-	220	160	120	7260	5280	3960
27	Abacate	6-10t	0,8	0,64	0,72	2160	1728	1944
19	Cacau *	-	100	80	100	1900	1520	1900
9	Uva - mesa	13 a 22	180	400	300	1620	3600	2700
6	Limão	-	220	160	120	1320	960	720
4	Tomate	-	250	400	300	1000	1600	1200
4	Lichia *	-	-	-	-	-	-	-
4	Goiaba	30-40	100	70	120	400	280	480
3	Amora Fruto *	-	-	-	-	-	-	-
2	Pêssego	-	140	90	120	280	180	240
4	Cana-de-açúcar	-	120	60	120	480	240	480
2	Ervilha *	-	-	-	-	-	-	-
1	Palmito *	-	-	-	-	-	-	-

Considerações: Demanda de NPK para plantio somado com cobertura em anuais. Para as culturas perenes com demandas diferentes ao longo dos anos foi considerado a média dos anos.

* não considerado

Fonte: Adaptado pela autora de IBGE (2020) e Prezotti *et al.* (2007).

APÊNDICE C – Unidades de Produção de galinhas poedeiras, total de aves, estimativa da produção de metano e do potencial energético

Unidade avícola	Plantel (aves)	Quantidade anual de metano gerada (m³)	Potencial energético anual (kWh)
1	1608770	6553164	18210508
2	1447877	5897782	16389276
3	1311512	5342313	14845689
4	883551	3599057	10001375
5	630853	2569717	7140955
6	491298	2001253	5561259
7	443382	1806072	5018872
8	439391	1789815	4973696
9	434171	1768552	4914608
10	411325	1675491	4656003
11	399066	1625555	4517237
12	358628	1460835	4059498
13	342806	1396386	3880400
14	328805	1339354	3721916
15	296022	1205816	3350828
16	290902	1184960	3292872
17	263614	1073805	2983985
18	251962	1026342	2852089
19	241962	985608	2738894
20	241259	982744	2730937
21	239328	974879	2709079
22	217240	884905	2459053
23	198244	807527	2244027
24	197252	803486	2232798
25	192066	782362	2174095
26	171135	697101	1937166
27	160442	653544	1816127
28	151712	617984	1717307
29	148500	604900	1680949
30	144027	586680	1630317
31	139274	567319	1576515
32	138716	565046	1570199
33	137357	559510	1554816
34	129524	527603	1466150
35	120616	491317	1365316
36	113530	462453	1285105
37	112000	456221	1267787
38	108846	443373	1232085
39	105164	428375	1190406
40	104590	426037	1183909
41	93402	380464	1057266

42	83720	341025	947670
43	78467	319627	888209
44	78369	319228	887100
45	64680	263468	732147
46	61994	252526	701742
47	57670	234913	652797
48	54880	223548	621215
49	51500	209780	582955
50	51139	208310	578869
51	49933	203397	565218
52	45917	187038	519759
53	45435	185075	514302
54	45380	184851	513680
55	45248	184313	512186
56	44646	181861	505371
57	44288	180403	501319
58	36336	148011	411306
59	36183	147388	409574
60	33700	137274	381468
61	32665	133058	369752
62	31672	129013	358512
63	31168	126960	352807
64	30690	125013	347396
65	29387	119705	332647
66	28846	117501	326523
67	27641	112593	312883
68	27424	111709	310427
69	26753	108976	302831
70	25340	103220	286837
71	24390	99350	276083
72	23618	96206	267344
73	22340	91000	252878
74	21890	89167	247784
75	21462	87423	242940
76	20900	85134	236578
77	19224	78307	217606
78	18360	74788	207826
79	18088	73680	204748
80	15795	64339	178792
81	15607	63574	176664
82	13825	56315	156492
83	13160	53606	148965
84	13050	53158	147720
85	12500	50918	141494
86	11902	48482	134725
87	11231	45748	127130

88	10260	41793	116138
89	10257	41781	116104
90	9794	39895	110863
91	9780	39838	110705
92	9620	39186	108894
93	9140	37231	103460
94	8903	36265	100778
95	8584	34966	97167
96	8160	33239	92367
97	7550	30754	85462
98	7250	29532	82067
99	6907	28135	78184
100	6760	27536	76520
101	6393	26041	72366
102	6160	25092	69728
103	5727	23328	64827
104	5646	22998	63910
105	5100	20774	57730
106	5000	20367	56598
107	4790	19512	54221
108	4480	18249	50711
109	4320	17597	48900
110	4080	16619	46184
111	4011	16338	45403
112	4000	16294	45278
113	3976	16196	45006
114	3933	16021	44520
115	3801	15483	43026
116	3676	14974	41611
117	3500	14257	39618
118	3375	13748	38203
119	3300	13442	37354
120	3150	12831	35656
121	3142	12799	35566
122	3120	12709	35317
123	3079	12542	34853
124	3000	12220	33959
125	3000	12220	33959
126	3000	12220	33959
127	2992	12188	33868
128	2950	12017	33393
129	2814	11463	31853
130	2362	9621	26737
131	2000	8147	22639
132	2000	8147	22639
133	1973	8037	22333

134	1742	7096	19719
135	1700	6925	19243
136	1633	6652	18485
137	1600	6517	18111
138	1514	6167	17138
139	1500	6110	16979
140	1391	5666	15745
141	1322	5385	14964
142	1200	4888	13583
143	1010	4114	11433
144	1000	4073	11320
145	990	4033	11206
146	950	3870	10754
147	950	3870	10754
148	900	3666	10188
149	750	3055	8490
150	612	2493	6928
151	500	2037	5660
152	500	2037	5660
153	360	1466	4075
154	300	1222	3396
155	100	407	1132

Fonte: Autora.