



Recebido: 20/04/2023 | Revisado: 30/08/2023 | Aceito: 22/02/2024 | Publicado: 01/03/2023



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 Unported License.

DOI: 10.31416/rsdv.v12i1.522

## **Influência da alimentação volumosa nas características dos dejetos de cabras leiteiras com vistas à produção de biogás**

*Influence of diets on the characteristics of the lactating goats residues aiming for biogas production*

**MOGAMI, Cristina Akemi.** Doutora em Engenharia Agrícola/Construções Rurais  
Instituto Federal do Sertão Pernambucano - Campus Petrolina Zona Rural - Petrolina - Pernambuco - Brasil.  
CEP: 56.334.899 / E-mail: Cristina.mogami@ifsertao-pe.edu.br

**FERREIRA, Cecília de Fátima Souza.** Doutora em Zootecnia/Produção Animal  
Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa - Av. Peter Henry Rolfs, s/n - Viçosa - Minas Gerais - Brasil.  
CEP 36570-900 / E-mail: cfsouza@ufv.br

**DA SILVA, Kátia Araújo.** Mestre em Agronomia/Produção Vegetal  
Universidade Federal do Vale do São Francisco - Campus Ciências Agrárias - Rodovia BR407, km119, PISNC, s/n - Petrolina - Pernambuco - Brasil.  
CEP: 56.334.899 / E-mail: katia\_a.s@outlook.com

**MACHADO, Neiton Silva.** Doutor em Engenharia Agrícola/Construções Rurais  
Universidade Federal do Vale do São Francisco - Campus Ciências Agrárias - Rodovia BR407, km119, PISNC, s/n - Petrolina - Pernambuco - Brasil.  
CEP: 56.334.899 / E-mail: neiton.machado@univasf.edu.br

### **RESUMO**

A decomposição de resíduos orgânicos de origem animal por meio da biodigestão anaeróbia é diferenciada segundo suas características físicas, químicas e biológicas, as quais resultam da composição da dieta e do tipo de manejo de dejetos, o que, também, influencia a composição do biogás. Neste contexto, objetivou-se com este trabalho analisar o processo de biodigestão anaeróbia de dejetos de cabras leiteiras alimentadas com diferentes tipos de volumosos visando definir a influência da alimentação na quantidade e qualidade do biogás produzido. O experimento foi conduzido no galpão experimental do Setor de Caprinocultura e no Laboratório de Digestão Anaeróbia (LDA) da Universidade Federal de Viçosa durante quatro meses. Foram utilizados os dejetos de 12 cabras adultas não-lactantes para produção e quantificação do biogás produzido durante um período de retenção hidráulica de 46 dias. Verificou-se que o potencial de produção de biogás referente à dieta composta por silagem foi de  $0,1366 \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$  de sólidos voláteis adicionados, sendo inferior à produção obtida por meio da dieta a base de capim ( $0,2539 \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ ) e feno ( $0,2415 \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ ).

**Palavras-chave:** Produção animal, caprinocultura, digestão anaeróbia, manejo de resíduos.

### **ABSTRACT**

The decomposition of the organic material by anaerobic bio-digestion differs according to its physical, chemical and biological characteristics, resulting from the composition of the diet and of the type of residue's handling that influences biogas composition. Thus, the object of this work was to analyze the process of the anaerobic bio-digestion of residues of lactating goats fed with different diets, aiming for defining the influence of the food on produced biogas. The test was conducted in the experimental facility of the goats production sector, and in the Anaerobic



MOGAMI, C.A; FERREIRA, C.F.S; DA SILVA, K.A; MACHADO, N.S. Influência da alimentação volumosa nas características dos dejetos de cabras leiteiras com vistas à produção de biogás. *Revista Semiárido De Visu*, V. 12, n. 1, p. 194-210, set. 2023. ISSN 2237-1966.

Digestion Laboratory (LDA) of the Federal University of Viçosa, during four months. It was utilized 12 adults' goats that didn't produce milk, Saanen and Alpine breeds. The potential of production of biogas referred to diet based on silage was  $0.1366 \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$  of volatile solids, less than that based on grass ( $0.2539 \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ ) and hay ( $0.2415 \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ ).

**Keywords:** Animal production, goat farming, anaerobic digestion, waste management.



## Introdução

A demanda mundial por energia e alimentos gera, tanto no campo como na cidade, impactos ambientais, e muitos deles pela má disposição dos resíduos orgânicos. Uma forma de minimizar esses impactos no meio ambiente é realizar o tratamento dos resíduos gerados nos diversos setores. Dentre as possibilidades de tratamento dos resíduos orgânicos, está a digestão anaeróbia (LINS *et al.*, 2022).

Um dos importantes setores que influencia de maneira significativa a economia é a produção animal, a qual, para atender a demanda por alimentos, resulta em quantidade alarmante de resíduos. Tais resíduos, quando gerenciados de forma inadequada, provocam perdas de potencial energético, tanto produtivo, em termos agrícolas, por meio dos componentes fertilizantes, quanto calorífico, pela capacidade de produção de biogás decorrente do teor de matéria orgânica degradável (sólidos voláteis) (LUCAS JÚNIOR, 1994).

A caprinocultura leiteira, assim como as demais atividades da produção animal, concentra grande quantidade de dejetos por unidade de área, incorrendo em possíveis falhas de manejo com consequentes danos ao ambiente, à saúde dos animais e dos trabalhadores. No Brasil, predomina a produção de caprinos leiteiros sobre piso ripado, onde o manejo de dejetos é feito, na maioria das vezes, retirando-se periodicamente o material acumulado sob o piso e dispondo-o diretamente no ambiente. Em várias propriedades, muitas vezes o esterco é deixado amontoado em áreas próximas ao estábulo, perdendo boa parte de suas características fertilizantes e atraindo moscas (RIBEIRO, 1998).

Diaz (2006), analisando sistemas de resfriamento de leite a partir da geração de biogás, concluiu que a substituição da compra de energia elétrica por geração *in loco* é uma alternativa interessante, ainda que apresente tempo de retorno de investimento relativamente elevado para os padrões brasileiros.

Neste contexto, a biodigestão anaeróbia e consequente produção de biogás têm como objetivo o aproveitamento do potencial contido na biomassa dos dejetos e a minimização do impacto ambiental, agregando valor ao sistema produtivo por meio da reciclagem energética e de nutrientes (LUCAS JÚNIOR, 1994).

De acordo com Souza e Campos (2007), a composição do biogás, oriundo da biodigestão de dejetos de animais, varia de acordo com a natureza da matéria fermentada e ao longo do processo de fermentação, ou seja, a decomposição do material orgânico é diferenciada segundo suas características físicas, químicas e biológicas resultantes da composição da dieta e do tipo de manejo de dejetos. Os nutrientes excretados no esterco (fezes e urina) variam significativamente de acordo com a ingestão de alimentos, níveis de suplementação e também com as quantidades destes nutrientes que são secretadas no leite (VAN HORN *et al.*, 1994).

Orrico, Lucas Júnior e Orrico Júnior (2007) avaliaram os efeitos das dietas compostas por diferentes proporções de concentrado sobre a biodigestão anaeróbia dos dejetos de caprinos, e ressaltaram a importância da composição da dieta para aumentar a produção de biogás. Observou-se que animais alimentados com maior quantidade de concentrado (40% volumoso e 20%



concentrado) produziram dejetos que, nos biodigestores, apresentaram 45% de redução nos teores de sólidos voláteis (SV), valor superior aos obtidos com o aumento nos teores de volumoso.

Dessa forma, do estudo da influência de diferentes dietas nas características dos dejetos de cabras leiteiras resultará relevante contribuição para o desenvolvimento sustentável, uma vez que a biodigestão anaeróbia apresenta-se, no contexto global da comercialização de carbono, como um mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL); isto, em síntese, significa estar dentro de um conjunto de alternativas, as quais visam assumir responsabilidades para redução das emissões de poluentes e promoção do desenvolvimento sustentável, previsto no Protocolo de Kyoto e ratificado na 27ª edição da COP (Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas), em que o Brasil reafirmou o seu legado de uma nação que prioriza a sustentabilidade sem abrir mão de seu desenvolvimento. Ademais, com a publicação da portaria MMA nº 232, de 14 de setembro de 2022, que define critérios que incentivam o financiamento de programas e os projetos para Escolas+Verdes (BRASIL, 2022), espera-se que haja um incremento significativo nos financiamentos e, conseqüentemente, nas pesquisas acerca do biogás no Brasil.

Considerando que, nos sistemas de produção de pequenos ruminantes, a racionalização e a intensificação da utilização de pastagens são de extrema importância, pois a forragem produzida na pastagem é a fonte mais barata de alimentos para ovinos e caprinos, o objetivo do presente trabalho foi analisar o processo de biodigestão anaeróbia de dejetos de cabras leiteiras alimentadas com diferentes dietas visando avaliar a influência do tipo de volumoso na quantidade e qualidade de biogás produzido.

Vale ressaltar ainda, que a redução de impostos e a existência de incentivos ao mercado de biodigestores e equipamentos afins também é fundamental para viabilizar a geração de biogás por pequenos e médios produtores (PESSOA; COLLA; COSTA, 2021), tornando ainda mais importantes as pesquisas desta natureza.

## Material e métodos

O experimento foi dividido em duas fases. A primeira foi conduzida no Setor de Caprinocultura da Universidade Federal de Viçosa - UFV, onde foi realizada a coleta e caracterização dos dejetos gerados por caprinos alimentados com três dietas distintas. A segunda fase, por sua vez, foi conduzida no Laboratório de Digestão Anaeróbia (LDA) do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, onde foi realizado o ensaio de biodigestão anaeróbia, utilizando como substrato os dejetos provenientes das cabras alimentadas com as três dietas.

Na primeira fase, foram utilizadas 12 cabras adultas não-lactantes, das raças Saanen e Parda Alpina, com peso médio entre 50 e 60 kg. As cabras foram alimentadas com as seguintes dietas: Tratamento 1 - Capim Napier (*Penicetumpurpleum*) + ração; Tratamento 2 - Feno de Tifton 85 + ração; Tratamento 3 - Silagem de milho + ração. Durante esta fase, os animais foram submetidos a um período de sete dias de adaptação à alimentação e sete dias para coleta e armazenamento dos dejetos. O alimento volumoso (capim, feno e silagem) foi oferecido à vontade (*ad libitum*), em comedouro separado daquele da ração. As dietas foram balanceadas para atender



as exigências de manutenção e lactação. As cabras foram alimentadas duas vezes ao dia, às 7h30 e às 15h, logo após a ordenha, e ajustadas de forma a manter sobras em torno de 10% do total de alimento fornecido, com disponibilidade irrestrita de água para os animais. A cada nova oferta de alimento, os comedouros foram limpos e as sobras pesadas.

Para o fornecimento da ração, estimou-se que o consumo em gramas de matéria seca por dia seria função do peso metabólico, levando em consideração que foram usadas cabras no mesmo estágio fisiológico, com a mesma faixa de peso e idade. Desta forma, foram fornecidos em média 400 g de ração para cada animal, diariamente.

A composição do concentrado fornecido às cabras durante o período experimental está apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1** - Composição do concentrado fornecido às cabras durante o período experimental

Ingredientes	(%)
Fubá	44,30
Farelo de Soja	37,10
Farelo de Algodão	4,90
Farelo de Trigo	4,90
Minerais	3,92
Uréia	1,96
Calcário Calcítico	1,96
Bicarbonato de Sódio	0,98
TOTAL	100,00

Foram coletadas amostras do alimento fornecido e das sobras em todas as baias, durante sete dias. As amostras compostas foram levadas para análise de composição no Laboratório de Bromatologia do Departamento de Zootecnia da UFV, seguindo metodologia descrita por Silva e Queiroz (2002). A composição bromatológica dos volumosos está apresentada na Tabela 2, constituindo-se da indicação dos teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibras em detergente neutro (FDN) e detergente ácido (FDA) e matéria mineral (MM).

**Tabela 2** - Composição bromatológica dos volumosos fornecidos às cabras durante o período experimental

Amostra	ASE (%)	CZ (%)	PB (%)	FDN (%)	FDA (%)	EE (%)	CT (%)
Capim	93,15	16,13	10,39	72,71	51,51	1,68	71,81
Feno	93,43	7,51	10,31	80,74	46,41	2,20	79,98
Silagem	93,05	6,04	13,20	70,57	36,33	3,80	76,96

OBS.: Resultados expressos com base na matéria seca. ASE = matéria seca em estufa à 105 °C; CZ = cinzas; PB = proteína bruta; FDN = fibra em detergente neutro; FDA = fibra em detergente ácido; EE = extrato etéreo; CT = carboidratos totais. Teores de componentes da parede celular obtidos sem correção para cinzas e proteína.

Os animais foram alojados em gaiolas metabólicas individuais de 0,9 x 1,20 m, equipadas com comedouros e bebedouros, piso ripado metálico e coletores de dejetos (Figuras 1 e 2). O sistema coletor de dejetos era composto por quadros de madeira com telas de nylon encaixados a 10 cm abaixo do piso ripado, com as mesmas dimensões do piso, nos quais as fezes ficaram retidas. A urina que escoava no chão era canalizada para um tubo coletor e armazenada em garrafas plásticas para posterior medição do volume.



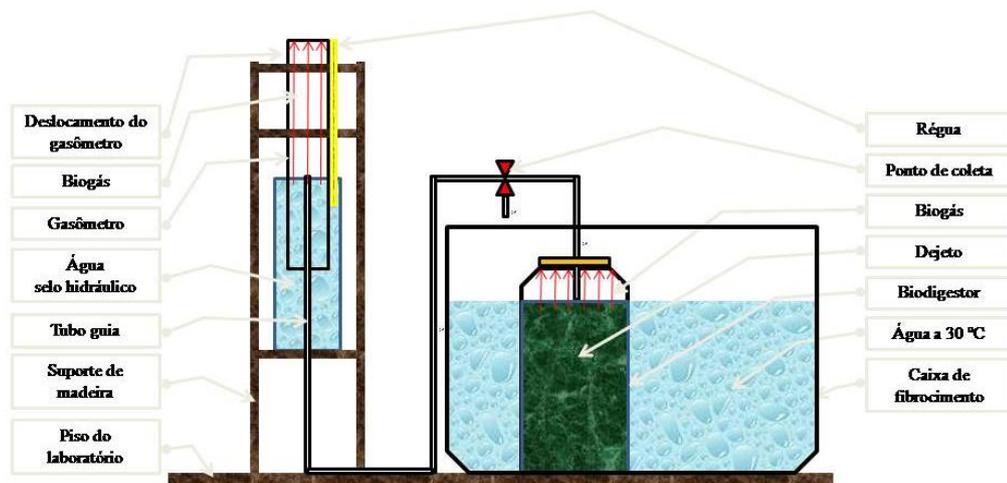
**Figura 1** - Gaiola metabólica individual



**Figura 2** - Sistema coletor de dejetos adaptado nas gaiolas metabólicas

Os dejetos (fezes e urina) foram coletados e quantificados diariamente, durante uma semana, sendo armazenados em refrigeradores, ao final da semana de coleta, foram utilizados no processo de biodigestão anaeróbia. O volume de urina foi medido usando-se uma proveta de 1 L e as fezes foram pesadas em balança digital.

Na segunda fase do experimento, foram utilizados nove biodigestores constituídos de recipientes de vidro, em escala laboratorial, com capacidade para 0,0031 m<sup>3</sup>, operando em batelada (Figura 3). Como substratos para abastecimento dos biodigestores foram utilizados os dejetos, além de inóculo e água para a diluição dos dejetos, adotando-se a concentração final de sólidos totais em torno de 8%. As misturas foram homogêneas com a utilização de liquidificador, de modo que os cíbalos (fezes de caprinos) fossem quebrados, propiciando maiores condições de fermentação no interior dos biodigestores.



**Figura 3** - Esquema de funcionamento dos biodigestores experimentais de bancada

Foram utilizados 2 L de substrato constituído de dejetos, inóculo e água, nas devidas proporções, para obter a concentração de 8% de sólidos totais em cada biodigestor. A concentração média de sólidos totais foi de  $52,78 \text{ dagL}^{-1}$  para os dejetos de animais, cujo tratamento seguiu uma dieta a base de capim;  $50,87 \text{ dagL}^{-1}$  para os dejetos de animais cuja dieta foi a base de feno; e  $50,73 \text{ dagL}^{-1}$  para os dejetos de animais cuja dieta foi a base de silagem. A concentração média de sólidos totais do inóculo foi de  $4,7 \text{ dagL}^{-1}$ . As quantidades de água usadas na diluição dos dejetos foram determinadas de acordo com a concentração de sólidos totais dos dejetos dos animais submetidos às diferentes dietas. Os valores usados para diluição do substrato e abastecimento dos biodigestores estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3** - Valores de diluição do substrato usado para abastecimento dos biodigestores

Dieta	Dejeto (kg)	Inóculo (kg)	Água (L)
Capim	0,258	0,511	1,232
Feno	0,267	0,511	1,220
Silagem	0,258	0,511	1,231

Os biodigestores foram devidamente vedados com cola de silicone para evitar a entrada de ar e propiciar um ambiente anaeróbio. Os substratos foram usados para abastecer os nove biodigestores, sendo três para cada dieta. Esta mistura de materiais foi incubada à temperatura de  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ . O teor de sólidos totais e sólidos voláteis das amostras de dejetos, utilizados no abastecimento (afluente) e no desabastecimento (efluente) dos biodigestores, foi determinado pelo método gravimétrico segundo metodologia descrita por APHA (1995).

Os gasômetros foram confeccionados com tubos de PVC de 100 mm, contendo escala graduada fixada em sua parte externa, imersos em água com uma fina camada de óleo contidas em tubos de PVC 150 mm. Todos os biodigestores e respectivos gasômetros foram codificados para facilitar a coleta de dados, conforme pode ser observado na Figura 4.



**Figura 4** - Vista geral dos biodigestores e gasômetros: A) vista superior dos biodigestores inseridos dentro da caixa d'água de fibrocimento; B) vista frontal dos gasômetros; C) detalhe da régua graduada fixada no gasômetro para a leitura do deslocamento

A produção de biogás foi iniciada após 33 dias de incubação, sendo a determinação do volume de biogás feita diariamente, durante o período de 46 dias, medindo o deslocamento vertical



dos gasômetros e multiplicando-o pela área da seção transversal interna dos gasômetros (0,00785 m<sup>2</sup>).

O potencial de produção de biogás dos dejetos de caprinos, obtidos de animais alimentados pelas três dietas, foi avaliado analisando a produção de biogás e os teores de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV) nos afluentes e efluentes dos biodigestores.

A correção do volume de biogás para as condições de 1 atm e 20 °C foram efetuadas com base na Lei geral dos gases ou lei combinada dos gases Lei de Boyle; Lei de Charles e Lei de Gay-Lussac (Equação 1), considerando que o biogás apresenta comportamento próximo ao ideal, conforme proposto em diversos trabalhos (CAETANO, 1985; SANTOS, 2001; SANTOS, 2004; ECKERT *et al.*, 2015; MATOS *et al.*, 2017).

$$\frac{V_0 \times P_0}{T_0} = \frac{V_1 \times P_1}{T_1} \quad \text{Eq. (1)}$$

Em que:

$V_0$  = volume de biogás corrigido, m<sup>3</sup>;

$P_0$  = pressão corrigida do biogás, 10322,72 mm de H<sub>2</sub>O;

$T_0$  = temperatura corrigida do biogás, 293,15 K;

$V_1$  = volume do gás no gasômetro;

$P_1$  = pressão do biogás no instante da leitura, em mm de H<sub>2</sub>O;

$T_1$  = temperatura do biogás, em K, no instante da leitura.

Considerando que a pressão atmosférica média de Viçosa é igual a 9641,77 mm de coluna d'água e pressão, conferida pelos gasômetros em mm de coluna d'água, obteve-se como resultado a seguinte expressão, para que se pudesse corrigir o volume de biogás:

$$V_0 = \frac{V_1}{T_1} \cdot 273,84577 \quad \text{Eq. (2)}$$

### **Análise da composição do biogás produzido**

A determinação dos teores de metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) no biogás foi realizada semanalmente. Para as análises da qualidade do biogás foram injetadas amostras em duplicata em modo “split” no cromatógrafo a gás SHIMADZU, modelo CG - 14B, com as seguintes especificações:

Tipo de detector: TCD (detector de condutividade térmica)

Tipo de coluna: Porapack Q

Temperatura de injeção: 100

Gás de arraste: N<sub>2</sub>

Programa de temperatura da coluna: 50

Tempo de corrida total: 5 minutos



Inicialmente, o cromatógrafo a gás foi calibrado com corridas separadas de 99% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), e o ar injetado em volumes de 0,3 mL. Posteriormente, foi feita pela injeção de diferentes quantidades de ar e usando a relação entre os fatores de resposta do TCD descritos por Dietz (1967).

### Análise estatística

No ensaio de caracterização dos dejetos, os dados foram analisados considerando-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições, e os dados para avaliar o efeito das dietas na produção de biogás com três repetições. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, atingindo-se o nível de 5% de probabilidade. O experimento foi composto de três tratamentos (dietas) e quatro repetições (animais), considerando-se sete dias de coleta. Para avaliar o efeito das dietas na produção de biogás, o experimento foi montado num esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas dietas e nas sub-parcelas os tempos no DIC, sendo composto de três tratamentos (dietas) e três repetições (biodigestores). As médias foram comparadas pelo Teste de Tukey, adotando-se o nível de 5% de probabilidade.

Os dados foram submetidos à análise de variância e de regressão. Para o fator quantitativo, os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o Teste “t” de Student, adotando-se o nível de 5% de probabilidade no coeficiente de determinação e no fenômeno biológico. Independentemente de a interação ser significativa ou não, optou-se por fazer o seu desdobramento.

### Resultados e discussão

O consumo médio diário de alimento, pelas cabras, em termos de matéria seca (MS) e matéria natural (MN) durante o período experimental está apresentado na Tabela 4.

**Tabela 4** - Consumo médio diário de alimento pelas cabras, em termos de matéria natural (MN) e de matéria seca (MS)

Dieta	Volumoso em MN (g)	Volumoso em MS (g)	Consumo de ração (g)	Consumo Total de MS (g)
Capim	1152,21 B	270,29 B	720,44	990,73 B
Feno	591,90 C	525,64 A	664,82	1190,46 A
Silagem	1467,92 A	452,86 A	696,20	1149,07 AB

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Considerando-se o consumo de volumoso em termos de MN, foi observado que houve maior consumo ( $P < 0,05$ ) de silagem (1467,92 g) em relação ao de capim (1152,21 g) e feno (591,90 g), respectivamente. Entretanto, os dados do consumo total em termos de MS, ou seja, do volumoso desidratado mais a ração, revelaram maior consumo de feno (1190,46 g) e silagem (1149,07 g) em relação ao capim (990,73 g). Este fato comprovou que a natureza da dieta interferiu na quantidade



de alimento consumida pelas cabras. De acordo com Dado e Allen (1995), a forma física da dieta influencia o tempo despendido nos processos de mastigação e ruminação, sendo que o tempo de ruminação é influenciado pela natureza da dieta e parece ser proporcional ao teor de parede celular dos volumosos (VAN SOEST, 1994).

Pode-se inferir por meio da análise bromatológica dos volumosos, que a silagem apresentou melhor qualidade nutritiva e proporcionou melhor digestibilidade (FDN = 70,57%) em relação ao capim (FDN = 72,71%) e ao feno (80,74%), uma vez que, de maneira geral, quanto menor a porcentagem de Fibra em Detergente Neutro (FDN), melhor a digestibilidade, pois os mesmos representam os carboidratos de degradação lenta (VAN SOEST, 1994). De acordo com Van Soest (1994), a fração solúvel em detergente neutro é constituída de amido, pectina, açúcares simples, compostos nitrogenados, lipídios e minerais, enquanto a fração insolúvel em detergente neutro enquadra a celulose, a hemicelulose e a lignina.

Estes resultados são concordantes com os de Carvalho *et al.* (2004), que avaliaram o comportamento ingestivo de cabras leiteiras alimentadas com farelo de cacau e torta de dendê, observando que o tempo despendido em alimentação se deve, provavelmente, ao fato de as dietas apresentarem níveis de fibra semelhantes e afirmou que a eficiência de ruminação, tanto expressa em g de MS h<sup>-1</sup>, como em g de FDN h<sup>-1</sup> é um importante mecanismo no controle da utilização de alimentos de baixa digestibilidade.

Os dados das médias de produção de fezes por animal, expressos em gramas de MN e de MS, e em gramas de MS excretada em função da quantidade de MS ingerida, de acordo com as dietas oferecidas, estão apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5** - Produção diária de fezes por cabra, em gramas de matéria natural (MN) e de matéria seca (MS) e de MS excretada por grama de MS ingerida, em função das dietas oferecidas

Dieta	Produção de MN de fezes(g)	Produção de MS de fezes(g)	Produção de MS de fezes(g) / MS consumida (g)
Capim	432,25 B	228,09 B	0,24 A
Feno	668,87 A	340,19 A	0,28 A
Silagem	578,9 AB	305,24 AB	0,27 A

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

A análise da quantidade de MS excretada em função da MS ingerida revelou que não houve diferença estatística (P<0,05) entre os tratamentos. Entretanto, observou-se que os animais que consumiram maior quantidade de matéria seca produziram maior quantidade de dejetos, em termos de matéria natural. As cabras alimentadas com feno (668,87 g de MN dia<sup>-1</sup> por animal) e silagem (578,99 g de MN dia<sup>-1</sup> por animal) apresentaram valores de excreção estatisticamente iguais e superiores (P<0,05) às aquelas alimentadas com capim (432,25 g de MN dia<sup>-1</sup> por animal). Estes valores foram próximos aos encontrados por Amorim (2002), cuja pesquisa verificou que a produção diária de MN de fezes de cabras secas variou, em média, entre 591,9 a 824,9 g de MN dia<sup>-1</sup> por animal.



A mesma tendência foi seguida em relação à quantidade de MS excretada, sendo que as cabras alimentadas com feno e silagem produziram, em média, 340,19 e 305,24 g de MS dia<sup>-1</sup> por animal, e as alimentadas com capim produziram, em média, 228,09 g de MS dia<sup>-1</sup> por animal. Tal fato pode ter ocorrido em consequência da qualidade das fibras nas dietas ofertadas aos animais, pois as mesmas estão relacionadas com a digestibilidade, com o controle da ingestão e associada à fermentação ruminal, alterando a quantidade e qualidade das fezes.

Na Tabela 6 estão apresentadas as concentrações de sólidos totais (ST), umidade, sólidos voláteis (SV) e sólidos fixos (SF) obtidos na análise das fezes das cabras, segundo as dietas avaliadas. Tabela 6. Concentrações de sólidos totais (ST), umidade (%), sólidos voláteis (SV) e sólidos fixos (SF) das fezes de cabras.

**Tabela 6** - Concentrações de sólidos totais (ST), umidade (%), sólidos voláteis (SV) e sólidos fixos (SF) das fezes de cabras

Dieta	ST (%)	Umidade (%)	SV (%)	SF (%)
Capim	52,77	47,23	11,82	40,95
Feno	50,86	49,14	10,97	39,89
Silagem	52,72	47,28	17,74	34,98

Os resultados encontrados revelam que a concentração de ST nas fezes referentes à dieta composta por capim (52,77%) e silagem (52,72%), foram semelhantes e maiores que a concentração da dieta composta por feno (50,86%). As fezes oriundas dos animais alimentados com a dieta composta por feno, por consequência, apresentaram maior concentração de umidade (49,14%). Verificou-se que as dietas influenciaram a concentração de SV, sendo que a dieta composta por silagem apresentou a maior concentração (17,74%) em relação às dietas compostas por capim (11,82%) e feno (10,97%). Este resultado indica que as fezes de cabras alimentadas com silagem apresentam maior conteúdo de matéria orgânica. A dieta composta por silagem apresentou menor quantidade de SF (34,98%).

Na Tabela 7 estão apresentados os resultados de produção diária de urina por animal, em litros, demonstrando que, em média, o maior volume diário de urina (P<0,05) foi produzido pelos animais submetidos à dieta composta por feno (1,86 L) e silagem (1,64 L) em relação à dieta composta por capim (1,43 L). Deste modo, pode-se inferir que a dieta influenciou o volume de urina (P>0,05), uma vez que as maiores quantidades foram produzidas por animais que consumiram a maior quantidade de MS. Observou-se que os animais que consumiram feno produziram maior quantidade de urina (1190,46 g de MS dia<sup>-1</sup>) em relação àqueles que consumiram silagem (1149,07 g de MS dia<sup>-1</sup>) e capim (990,73 g de MS dia<sup>-1</sup>). Isso se deve, possivelmente, ao fato de o feno ser um material seco, que induz o animal a aumentar a ingestão de água para suprir a exigência diária. Amorim, Lucas Júnior e Resende (2004), avaliando a produção dos dejetos gerados por cabras Saanen, verificaram que os animais com idade acima de 12 meses tiveram produção média de 0,78 mL de urina mL<sup>-1</sup> de água ingerida ao dia.

**Tabela 7** - Produção diária de urina por animal, em litros, para as diferentes dietas (capim, feno e silagem)

Dieta	Média diária	Dias						
		1	2	3	4	5	6	7
Capim	1,43 B	1,37 B	1,53 B	1,52 B	1,53 B	1,59AB	1,57AB	0,89 B
Feno	1,86 A	1,78 A	2,24 A	2,15 A	1,92 A	1,52 B	1,85 A	1,50 A
Silagem	1,64AB	1,72AB	1,57AB	2,08 A	1,77AB	1,72 A	1,37 B	1,24AB

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Quando se comparam as médias de redução de SV, ocorrida durante o processo de digestão, observa-se que animais alimentados com a dieta composta por silagem apresentaram valor superior (43,65%) aos dos biodigestores referentes à dieta composta por feno (39,13%) e capim (24,91%) (Tabela 8). Esses resultados foram inferiores aos encontrados por Al-Masri (2001), cuja média de redução de SV em biodigestores abastecidos com dejetos caprinos foi de 58,1%. Entretanto, foram semelhantes aos encontrados por Orrico, Orrico Júnior e Lucas Júnior (2011), que avaliaram o efeito das estações do ano sobre a digestão anaeróbia de resíduos de caprinos em biodigestores modelo batelada, mantidos sob temperatura ambiente, cuja redução de SV variou de 28,6% a 45%. Neste trabalho, o teor de SV no abastecimento foi de 79,90; 81,83; 86,77 e 92,06% (verão, outono, inverno e primavera, respectivamente) e o tempo de permanência dos substratos no interior dos biodigestores foi variável, sendo menor no verão (12 semanas) em relação às demais estações (18; 20; e 18 semanas no outono, inverno e primavera, respectivamente).

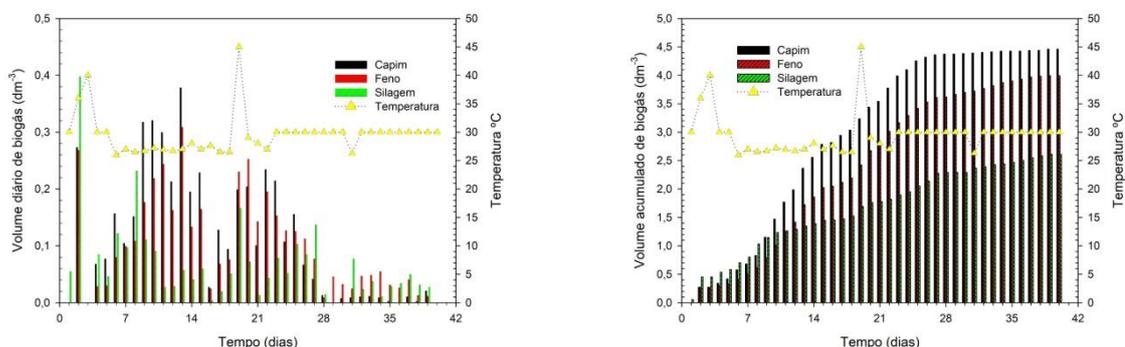
**Tabela 8** - Teores de sólidos totais voláteis (ST) e redução de sólidos voláteis (SV), em porcentagem, para estrumes obtidos com diferentes tipos de dietas

Dieta	ST %		SV %		Redução de SV (%)
	Inicial	Final	Inicial	Final	
Capim	7,06	2,09	2,13	1,60	24,91 C
Feno	6,97	1,88	2,52	1,53	39,13 B
Silagem	7,01	1,62	2,45	1,38	43,65 A

Médias seguidas por pelo menos uma mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

A produção volumétrica média diária de biogás, a partir de substrato formulado com dejetos de cabras alimentadas com as três dietas, está apresentada na Figura 5. Houve diferença significativa ( $P > 0,05$ ) entre as dietas avaliadas, sendo que a dieta a base de feno ( $0,1979 \text{ L d}^{-1}$ ) e capim ( $0,1821 \text{ L d}^{-1}$ ) produziram volume médio diário de biogás maior que as dietas a base de silagem ( $0,1187 \text{ L d}^{-1}$ ). Estes resultados, apesar de não serem suficientes para representar todo o potencial da biomassa, indicam que os diferentes tipos de volumosos interferiram na produção de biogás. Entretanto, esperava-se que o volume produzido pela dieta composta por silagem atingisse valores maiores, devido à melhor qualidade nutritiva. Comparativamente, os valores encontrados foram próximos aos de Campos *et al.* (2005), que observou valores de produção de biogás entre 0,03

L d<sup>-1</sup> e 0,36 L d<sup>-1</sup>, com valor médio de 0,14 L d<sup>-1</sup> em um sistema de tratamento de efluentes de dejetos de suínos em escala laboratorial (bancada).



**Figura 5** - Produção volumétrica média diária e produção acumulada de biogás (dm<sup>3</sup>d<sup>-1</sup>) a partir de substrato formulado com dejetos de cabras alimentadas com três tipos de volumosos (capim, feno e silagem), durante o período experimental

Considerando a produção de biogás por kg de sólidos totais adicionados (Tabela 9), observou-se que os substratos provenientes da dieta a base de capim e feno produziram mais biogás (0,05687 e 0,05289 m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup>) em relação à dieta a base de silagem (0,04595 m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup>). Estes valores foram inferiores aos encontrados por Orrico, Orrico Júnior e Lucas Júnior (2011), cujo valor encontrado foi 0,2341 m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup> para cabras alimentadas com 60% de concentrado na dieta. Em relação ao potencial médio de produção de biogás a partir de camas de frango, esse valor foi menor que os valores relatados por Santos (1997), os quais variaram entre 0,21 e 0,2490 m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup> de sólidos totais adicionados, sendo também superiores aos encontrados neste trabalho. Isto pode ter ocorrido por causa da proporção de concentrado na dieta das cabras, que foi de 26% na dieta composta por silagem e feno e de 29% na dieta composta por capim, sendo muito inferior à proporção adotada por Orrico, Lucas Júnior e Orrico Júnior(2007).

**Tabela 9** - Potencial de produção de biogás dos substratos formulados com dejetos de cabras, alimentadas com três tipos de volumosos (capim, feno e silagem)

Dieta	Potenciais (m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> )				
	Substrato	Dejeto	SV adic.	SV red.	ST adic.
Capim	0,003872 A	0,03001 A	0,2539 A	1,0193 A	0,05687 A
Feno	0,003537 A	0,02649 A	0,2415 A	0,9694 A	0,05209 A
Silagem	0,003125 B	0,02422 B	0,1366 B	0,5482 B	0,04595 B

Em que: SV adic = Sólidos Voláteis adicionados; SV red = Sólidos Voláteis Reduzidos; ST adic = Sólidos Totais Adicionados

Médias seguidas por pelo menos uma mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Fukayama (2008), avaliando o potencial médio de produção de biogás encontrou valores de produção de biogás de 0,3254, 0,3416, 0,3260 e 0,4177 m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup> de ST, em biodigestores batelada abastecidos com camas de frango reutilizadas em diferentes épocas; e Santos, Lucas Júnior e Silva



(2007) - 0,17 a 0,27 m<sup>3</sup> de biogás kg<sup>-1</sup> ST adicionados, valores estes que corroboram com os resultados encontrados neste trabalho.

De acordo com Orrico, Orrico Júnior e Lucas Júnior (2011), considerando as produções de biogás por kg de substrato, por kg de ST adicionados e por kg de SV adicionados, observa-se que os substratos preparados com dejetos obtidos de animais alimentados com a dieta 3 produziram mais biogás (P<0,01), indicando que o aumento no concentrado da ração aumentou o potencial energético expresso em produção de biogás.

Teniza-García *et al.* (2015), avaliando a digestão anaeróbia de vísceras de coelho com 10% de esterco caprino, observaram a maior produção de biogás com 71% de metano quando foram ajustados os parâmetros do processo (pH em 7,2; relação C/N em 23/1; temperatura de 37°C; e adição de micronutrientes). A análise estatística dos dados do trabalho mostrou que a temperatura é o parâmetro que teve maior efeito na produção de metano, a adição de micronutrientes influenciou na redução dos tempos de obtenção de biogás em pelo menos 45% de metano (mínimo para ser considerado combustível). Ademais, a substituição da palha de aveia por serragem não teve efeito significativo na produção de biogás e metano.

As concentrações de metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) no biogás produzido a partir do substrato das três dietas estão apresentadas na Tabela 10.

**Tabela 10** - Concentração semanal média de metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) no biogás produzido a partir do substrato de dejetos de cabras leiteiras alimentadas com três diferentes volumosos.

Semana	Capim		Feno		Silagem	
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
-----%-----						
1	38,20	61,80 A	36,66	63,34 A	33,60	66,40 A
2	15,82	84,18 B	28,44	71,56 A	20,28	79,72 AB
3	22,21	77,79 A	25,97	74,03 A	23,01	76,99 A
4	15,45	84,55 A	12,29	87,71 A	11,85	88,15 A
5	22,28	77,72 A	31,60	68,40 A	25,17	74,83 A
6	16,75	83,25 A	15,32	84,68 A	16,78	83,22 A

Verificou-se que não houve diferença significativa entre concentrações de metano das diferentes dietas, exceto na segunda semana de observação. A concentração semanal de metano teve o valor mínimo (61,80%) na primeira semana de observação e valor máximo (88,15%) na terceira semana. A concentração média de metano no biogás formulado a partir de substrato composto com dejetos de cabras alimentadas com as três dietas e aquecido a 30°C, foi semelhante aos valores encontrados por Amorim (2002), o qual apurou que a concentração de metano no verão foi, em média, de 61% na primeira semana de produção, cujo valor máximo foi de 88,31%.

Os estudos realizados por Sandim *et al* (2019) revelam uma diferença notável na geração de energia elétrica a partir de biogás em comparação com a biomassa. Embora o uso de biogás esteja



geralmente associado a altos custos de produção e investimento, ambas as alternativas são eficazes na solução do problema do lixo diário e na redução de impactos ambientais. Além disso, os pesquisadores identificaram um futuro promissor para o aproveitamento do biogás, que permite a produção de quantidades significativas de energia elétrica para ser utilizada na propriedade rural ou ser fornecida à rede de distribuição, resultando em redução de custos operacionais e de investimento.

Os argumentos descritos acima, provavelmente, desempenharão um papel fundamental na futura gestão sustentável de resíduos da caprinocultura em detrimento da correspondência com a Agenda 2030 de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU), também adotada no Brasil.

## Conclusões

Considerando-se a forma de condução do presente trabalho e os resultados encontrados, concluiu-se que houve diferença nas características dos dejetos de acordo com os diferentes tipos de dietas, sendo que os animais que consumiram as dietas a base de feno e silagem produziram mais fezes, contendo estas uma maior concentração de sólidos voláteis. O volumoso de melhor qualidade, a silagem, não ofereceu vantagem quanto à produção de biogás.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal de Viçosa pelo espaço e aos colaboradores Carlos André da Costa, José Eduardo Peçanha, Vivian Telles Paim e Luiz Carlos Viotti pela responsabilidade, compromisso e apoio na condução do experimento de campo.

## Referências

- AL-MASRI, M. R. Changes in biogas production due to different ratios and some animals and agricultural wastes. *Bioresource Technology*, v.77, n. 1, p. 97-100, 2001.
- AMORIM, A. C. **Caracterização de dejetos caprinos: reciclagem energética e de nutrientes**. 2002. 113 f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal -Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Jaboticabal, 2002.
- AMORIM, A. C.; LUCAS JÚNIOR, J; RESENDE, K. T. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos obtidos nas diferentes estações do ano. *Engenharia Agrícola*, v.24, n.1, p.16-24, 2004.
- ORRICO, A. C. A.; ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; LUCAS JÚNIOR, J. Biodigestão anaeróbia dos dejetos de cabritos Saanen alimentados com dietas com diferentes proporções volumoso e concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, n. 2, 2011.
- APHA - American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19ed. Washington. 1995. 312p.



BRASIL (2022) - MINISTRO DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE PORTARIA MMA Nº 232, DE 14 DE SETEMBRO DE 2022 Define critérios que incentivam o financiamento de programas e os projetos para Escolas +Verdes.

CAETANO, L. **Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás**. 1985. 75 f. Dissertação (Mestrado Em Agronomia - Área De Concentração De Energia Na Agricultura) - Faculdade De Ciência Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1985.

CAMPOS, C. M. M.; MOCHIZUKI, E. T.; DAMASCENO, L. H. S.; BOTELHO, C. G. Avaliação do potencial de produção de biogás e da eficiência de Tratamento do reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) alimentado com dejetos de suínos. *Ciência eAgrotecnologia*, v. 29, n. 4, p. 848-856, 2005.

CARVALHO, G. G. P.; PIRES, A. J. V.; SILVA, F. F.; VELOSO, C. M.; SILVA, R. R.; SILVA, H. G. O.; BONOMO, P.; MENDONÇA, S. S. Comportamento ingestivo de cabras leiteiras alimentadas com farelo de cacau ou torta de dendê. *PesquisaAgropecuáriaBrasileira*, v.39, n.9, p.919-925, 2004.

DADO, R.G.; ALLEN, M.S. Intake limitations, feeding behavior, and rumen function of cows challenged with rumen fill from dietary fiber or inert bulk. *JournalofDairy Science*, v.78, p.118-133, 1995.

DIAZ, G. O. **Análise de sistemas para o resfriamento de leite em fazendas leiteiras usando biogás gerado em projetos de MDL**.2006. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

DIETZ, W.A. Response factors for gáschromatographic analyses. *Journal of Gas Chromatography*, v. 5, p. 68-71, 1967.

ECKERT, C. T.; FRIGO, E. P.; MARI, A. G.; MARI JUNIOR, A.; CABRAL, A. C.; GRZESIUCK, A. E.; DIERINGS, L. S. Construção de biodigestores de batelada para escala laboratorial. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v.4, p. 65-82, 2015.

FUKAYAMA, E. H. **Características quantitativas e qualitativas da cama de frangosob diferentes reutilizações: efeitos na produção de biogás e biofertilizante**. 2002. 99 f. Tese (DoutoradoemZootecnica - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

SANTOS, J. H. T. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos com aquecimento do substrato**. 2004. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

LINS, L. P.; FURTADO, A. C.; MITO, J. Y. L. M.; PADILHA, J. C. P. O aproveitamento energético do biogás como ferramenta para os objetivos do desenvolvimento sustentável. *Interações*, v. 23, n. 4, p. 1275-1286, 2022.

LUCAS JÚNIOR. **Algumas considerações sobre o uso de estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios**. 1994. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1994.

MATOS, C. F.; PAES, J. L.; PINHEIRO, E. F. M.; CAMPOS, D. V. B. **Biogasproductionfromdairycattlemanure, underorganicandconventionalproduction systems**. *EngenhariaAgrícola*, v. 37, n. 6, p. 1081-1090, 2017.



ORRICO, A.C.A.; LUCAS JÚNIOR, J.; ORRICO JÚNIOR, M.A.P. Caracterização e biodigestão anaeróbia dos dejetos de caprinos. *Engenharia Agrícola*, v.27, n.3, p.639-647, 2007.

PESSOA, D. R.; COLLA, D. C.; COSTA, B. J. Potential of Alternative Sources for Electric Power Generation in the State of Paraná. *Brazilian Archives of Biology and Technology [online]*, v. 64, n. spe, 2021.

RIBEIRO, S. D. A. *Caprinocultura: criação racional de caprinos*. São Paulo: Nobel, 1998.

SANDIM, A. A.; BATISTA, A. G.; BARETA, M. L. E.; BETINI, R. C.; PEPFLOW, L. A. Biogas and Biomass Implementation in Rural Areas. *Brazilian Archives of Biology and Technology [online]*, v. 62, n. spe, 2019.

SANTOS, T.M.B.; LUCAS JÚNIOR, J.; SILVA, F.M. Avaliação do desempenho de um aquecedor para aves adaptado para utilizar biogás como combustível. *Engenharia Agrícola*, v.27, n.3, p.658-664, 2007.

SANTOS, T. M. B. *Balanço energético e adequação do uso de biodigestores em galpões de frangos de corte*. 2001. 167 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

SANTOS, T. M. B. *Caracterização química, microbiológica e potencial de produção de biogás a partir de três tipos de cama, considerando dois ciclos de criação de frangos de corte*. 1997. 95 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1997.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. *Análise de Alimentos: métodos químicos e biológicos*. 3a.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002. 235p.

SOUZA, C. F.; CAMPOS, J. A. Avaliação do tempo de retenção hidráulica, agitação e temperatura em biodigestores operando com dejetos de suínos. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 2, p. 235-241, 2007.

TENIZA-GARCIA, O.; SOLIS, M.; PÉREZ-LÓPEZ, M. H.; GONZALEZ-PRIETO, J. M.; VALENCIA, R. Methaneproduction using rabbit residues. *Revista Mexicana de Ingeniería Química [online]*, vol. 14, n.2, p.321-334, 2015.

VAN HORN, H. H.; WILKIE, A. C.; POWERS, W. J.; NORDSTEDT, R. A. Components of dairy manure management systems. *Journal Dairy Science*, v.77, n.7, p.2008-30, 1994.

Van Soest, P. J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2nd ed. Ithaca: Cornell University, 1994. 476 p.