

POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA E ELÉTRICA A PARTIR DOS RESÍDUOS DA AVICULTURA E SUINOCULTURA NA ZONA DA MATA DE MINAS GERAIS

ADRIANO H. FERRAREZ¹, DELLY OLIVEIRA FILHO², JADIR NOGUEIRA DA SILVA³, NATALIA SILVA SOUZA⁴

¹ Físico, Prof. Instituto Federal Fluminense – Campus Itaperuna, Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, Fone: (0XX31) 3899 – 1897, adriano.ferrarez@ufv.br

² Eng^o Eletricista, Prof. Ph.D., Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

³ Bacharel em Matemática, Prof. Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

⁴ Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

Apresentado no
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

RESUMO: O aproveitamento energético dos resíduos da avicultura e suinocultura promove o saneamento ambiental e pode desonerar a produção das cadeias produtivas tornando-as mais competitivas. A energia produzida pode ser empregada para atender as demandas térmicas e elétricas das granjas de animais e das unidades de processamento de carne da região. No presente trabalho foi realizada uma estimativa dos resíduos produzidos pelas cadeias produtivas de frango de corte e de suínos da Zona da Mata de Minas Gerais e da produção de metano (CH₄) por meio da digestão anaeróbia. Foram feitas estimativas da energia térmica e da potência elétrica disponível. A avicultura de corte da região possui um potencial de produção de energia térmica de 26.032,55 tep ano⁻¹ e 4,93 MW de potência elétrica disponível. A suinocultura tem um potencial de energia térmica de 30.215,63 tep ano⁻¹ e uma potência elétrica disponível de 5,72 MW.

PALAVRAS-CHAVE: independência energética, desenvolvimento sustentável, biogás

Potential of thermal and electric energy generation from poultry and swine production residue in the Zona da Mata of Minas Gerais State, Brazil

ABSTRACT: The energetic usage of residue poultry and swine production promotes the environmental sanitation and it can reduce the production chain costs becoming them more competitive. The energy produced can attend electrical and thermal demands of animal farming and/or the meat processing industries in the region. In this research it was realized an estimative of residue produced on the poultry and swine production in the Zona da Mata of Minas Gerais State, Brazil and the methane production by anaerobic digestion. It was performed an estimative of available thermal energy and electric power in the residue. The residue of poultry production in the region has a potential thermal energy of 26,032.55 toe per year and 4.93 MW of available electric power generation. The swine residue has a potential thermal energy of 30,215.63 toe per year and an available electric power of 5.72 MW.

KEYWORDS: Energy independence, sustainable development, biogas

INTRODUÇÃO

A Zona da Mata de Minas Gerais é uma das doze mesorregiões do estado, formada por 142 municípios agrupados em sete microrregiões. A região possui índices de desenvolvimento (tecnologia, produtividade e rentabilidade) abaixo da média estadual e uma das soluções para mudar essa situação é o aprimoramento de suas atividades produtivas.



Figura 1 – Mesoregião da Zona da Mata de Minas Gerais.
(Fonte: MINAS-GERAIS, 200)

Na Zona da Mata de Minas Gerais destacam-se as cadeias produtivas de frango de corte e de suínos. A região não é competitiva em preço e escala na produção dos principais insumos para essas atividades: o milho e a soja. Isso obriga a aquisição desses insumos de outras regiões, incorrendo em custos significativos de transporte. Aumentar a competitividade dessas atividades é imprescindível para a economia da região (FERREIRA, 1998).

A região é uma grande produtora de frango de corte. A atividade contribui de forma destacada para a economia regional e permite a inserção de aproximadamente 600 produtores rurais, sendo 95% classificados como agricultores familiares. As granjas se localizam em torno do frigorífico situado no município de Visconde do Rio Branco. A cadeia produtiva adota o sistema de integração (AVIZOM, 2012).

A Figura 2 a seguir mostra a localização da avicultura de corte em Minas Gerais.

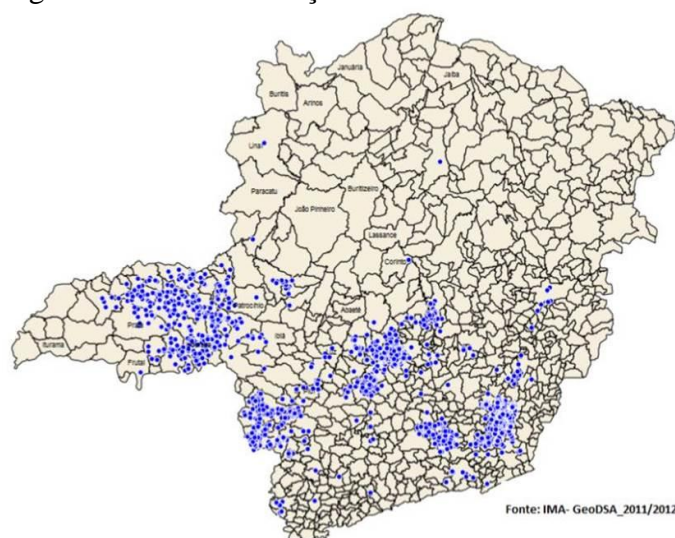


Figura 2 – Avicultura de Corte em Minas Gerais
Fonte: IMA, 2012.

O Polo Suinocultor do Vale do Piranga, abrange 25 municípios contabilizando mais de 60 mil matrizes suínas. É um dos principais polos de suinocultura independente do país, sendo o quinto maior produtor e exportador de carne suína (ABIPECS, 2012).

A Figura 3 abaixo mostra a distribuição das granjas no Estado de Minas Gerais.

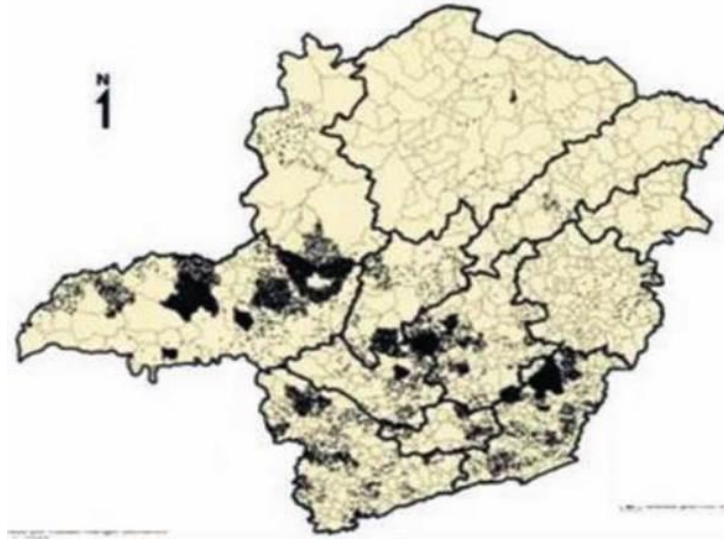


Figura 3 – Suinocultura em Minas Gerais

Fonte: GARCIA, et al., 2005.

A avicultura e suinocultura da região possuem gastos significativos com energia. As atividades são grandes produtoras de resíduos que podem ser aproveitados energeticamente. Uma das possibilidades de tratamento dos resíduos é a biodigestão anaeróbia que além de promover o saneamento, pode gerar energia com o biogás e também biofertilizante que pode ser empregado em cultivos agrícolas.

O biogás apresenta-se como importante alternativa energética, em condições de desempenhar expressivo papel na substituição do petróleo e de seus derivados. O gás metano representa de 50 a 70% do conteúdo do biogás apresentando consideráveis vantagens sobre outros combustíveis (SOUZA et al., 2003).

O objetivo desse trabalho foi avaliar a viabilidade do aproveitamento dos resíduos da avicultura e suinocultura na produção de metano e o seu uso como fonte energética na região da Zona da Mata de Minas Gerais.

MATERIAL E MÉTODOS

Avicultura

O presente estudo foi realizado com dados fornecidos pela Associação dos Avicultores da Zona da Mata de Minas Gerais (AVIZOM) e com dados coletados em visitas às granjas da região.

A partir dos dados coletados foi possível estimar: (i) a produção da cama de frango de toda a cadeia produtiva; (ii) a produção de metano (CH_4) a partir da cama de frango; (iii) a produção de energia térmica; e iv) a potência elétrica disponível considerando a conversão com grupo motor-gerador.

i) Estimativa da produção de cama de frango

O cálculo da cama de frango por ave por ciclo para cada galpão visitado foi estimado utilizando-se a equação 1.

$$MC_{fpa} = \frac{\sum C_{fpg}}{\sum N_{fpg}} \quad (1)$$

em que:

MC_{fpa} – Média da cama de frango produzida por ave, $\text{kg ave}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$;
 $\sum C_{fpg}$ – Cama de frango produzida por galpão, kg; e
 $\sum N_{fpg}$ – Número de aves por galpão, adimensional.

O cálculo do número médio de frangos por galpão foi calculado por meio da equação 2.

$$MN_{FG} = \frac{\sum N_f}{N_g} \quad (2)$$

em que

MN_{FG} – Número médio de frangos por galpão, frangos Galpão⁻¹;
 $\sum N_f$ – Somatório do número de frangos nos galpões, adimensional, e
 N_g – Número de galpões, adimensional.

O cálculo da cama de frango produzida por ano em toda a cadeia produtiva é dado pela Equação 3.

$$Cf_{total} = N_g N_{ciclos} MN_{FG} MC_{fpa} \quad (3)$$

em que

Cf_{total} – Massa de cama de frango produzida por ano, kg ano^{-1} ;
 N_g – Número de galpões, adimensional;
 N_{ciclos} – Número de ciclos por ano, ciclo ano^{-1} ;
 MN_{fg} – Número médio de frangos por galpão, ave galpão^{-1} ; e
 MC_{fpa} – Massa média de cama de frango produzida por ave, $\text{kg ave}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$.

ii) Estimativa da produção de metano (CH_4)

O potencial de metano produzido pelos dejetos da avicultura foi obtido por meio da equação 4 considerando-se a produção média de cama de frango por ave em cada ciclo, o total de sólidos voláteis (SV) por kg de matéria seca igual a 76% obtidos por Tricase e Lombardi (2009), Monteiro, et al., (2011) e Mallik, et al., (1990) e a produção de $0,3387 \text{ m}^3$ de CH_4 por kg de SV, obtida por Orrico Júnior, et al., (2011).

$$P_{CH_4} = Cf_{total} \cdot \%SV_{Cf} \cdot (CH_4)_{f_{SV}} \quad (4)$$

em que:

$P_{CH_4\text{frango}}$ – Produção de metano (CH_4) com dejetos de frango, $\text{m}^3 \text{ ano}^{-1}$;
 Cf_{total} – Massa de cama de frango produzida por ano, $\text{kg C}_f \text{ ano}^{-1}$;
 $\% SV_{Cf}$ – Teor de sólidos voláteis na cama de frango, kg de SV (adimensional);
 $(\text{CH}_4)_{f_{SV}}$ – Produção de metano (CH_4) por kg de SV, $\text{m}^3 \text{ de CH}_4 (\text{kg de SV})^{-1}$;

(iii) Estimativa da produção de energia térmica

A estimativa da energia térmica foi feita a partir da equação 5 a seguir considerando-se o Poder Calorífico Inferior (PCI) do metano igual a 36 MJ m^{-3} adotado por Pantaleo, et al., (2013).

$$E_{t\acute{e}rmica} = PCI_{CH_4} P_{CH_4, frango} 10^{-6} \quad (5)$$

em que:

- $E_{t\acute{e}rmica}$ – Energia térmica, GJ ano⁻¹;
- PCI_{CH_4} – Poder Calorífico Inferior do metano, kJ m⁻³;
- $P_{CH_4, frango}$ - Produção de metano (CH₄) com dejetos de frango, m³ ano⁻¹.

(iv) Estimativa da potência elétrica disponível com grupo motor-gerador

Por meio da equação 6 calculou-se a potência elétrica disponível, utilizando-se grupo motor-gerador considerando-se o Poder Calorífico Inferior (PCI) do metano igual a 36000 kJ m⁻³ adotado por Pantaleo, et al., (2013).

$$Pot_{el\acute{e}trica} = PCI_{CH_4} v \eta_{motor} \eta_{gerador} 10^{-3} \quad (6)$$

em que:

- $P_{el\acute{e}trica}$ – potência elétrica, MW;
- PCI_{CH_4} – Poder Calorífico Inferior, kJ m⁻³;
- v – Vazão de biogás, m³ s⁻¹;
- η_{motor} – Rendimento motor (15%), adimensional;
- $\eta_{gerador}$ – Rendimento motor (95%), adimensional;

Suinocultura

O levantamento dos dados para o cálculo das estimativas a seguir foi feito a partir de informações da Associação dos Suinocultores do Estado de Minas Gerais (ASEMG) e do estudo “Tendências da Produção de Suínos em Minas Gerais” da Professora Simone Koprowski Garcia da Escola de Veterinária da UFMG, cujos alguns resultados são mostrados na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1 – Distribuição do rebanho suíno de Minas Gerais, em 2010. **Distribution of swine herd in Minas Gerais in 2010.**

Estratos (nº de matrizes)	Granjas		Matrizes		Matrizes/ Granja	Número de matrizes por mesorregião ^b					
	un.	%	un.	%		Média	ZM	TAP	MBH	SSO	OESTE
A (1 a 25)	472	34,5	5.065	2,1	10,73	649	934	703	1.298	315	1.166
B (26 a 50)	171	12,5	6.399	2,6	37,42	1.249	933	1.032	1.620	433	1.132
C (51 a 100)	143	10,4	10.929	4,5	76,43	2.471	1.052	2.015	2.528	1.290	1.573
D (101 a 500)	201	14,7	51.070	21,0	254,08	15.282	7.049	11.704	6.198	3.109	7.688
E (>500)	114	8,3	169.868	69,8	1.490,07	40.479	85.538	12.740	4.774	12.811	13.526
Terminadores	256	18,7									
Total	1369*		243.331		221,00 ^a	60.130	95.506	28.234	16.418	17.958	25.085

Fonte: Elaboração das autoras com dados do IMA (Garcia & Aguiar, 2011).

* Incluídas três Centrais de Inseminação Artificial

^a Sem os terminadores, CIA

^b ZM-Zona da Mata, TAP-Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, MBH-Metropolitana de Belo Horizonte, SSO-Sul/Sudoeste de Minas, Oeste de Minas e Outras - Noroeste de Minas, Central Mineira, Campo das Vertentes, Norte de Minas, Jequitinhonha, Vale do Mucuri e Vale do Rio Doce.

O número de suínos de da cadeia produtiva de suínos foi definido conforme a equação 7:

$$N_s = 10N_{matrizes} \quad (7)$$

em que:

N_s – Número de suínos; adimensional.

$N_{matrizes}$ – Números de matrizes; adimensional.

A cada matriz estão associados 10 suínos (IAP/PR, 2009).

A partir dos dados coletados foi possível estimar: i) a produção de metano (CH_4); ii) a produção de energia térmica; e iii) a potência elétrica disponível considerando a conversão com grupo motor-gerador.

(i) Estimativa da produção de metano (CH_4)

O potencial de produção de metano (CH_4) foi estimado a partir da equação 8:

$$P_{CH_4suínos} = 365N_s D_s SV_{DS} (CH_4)_{s_{SV}} \quad (8)$$

em que:

$P_{CH_4suínos}$ - Produção de metano (CH_4) com dejetos de suínos, $m^3 \text{ ano}^{-1}$;

N_s – Número de suínos;

D_s – Dejetos produzidos por suínos; $m^3 \text{ dia}^{-1}$

SV_{DS} – Teor de sólidos voláteis nos dejetos dos suínos, $kg \text{ de SV } (m^3 \text{ D}_s)^{-1}$;

$(CH_4)_{s_{SV}}$ – Produção de metano (CH_4) por $kg \text{ de SV}$, $m^3 \text{ de } CH_4 (kg \text{ de SV})^{-1}$;

Considerando-se a produção diária de dejetos por suínos igual a $0,007 m^3$ (SOUZA, et al., 2009), a concentração de sólidos voláteis (SV) igual a $53,55 kg \text{ de SV por } m^3 \text{ de dejetos}$ (SOUZA et al., 2009) e a produção de metano igual a $0,42716 m^3$ por $kg \text{ de sólidos voláteis (SV)}$ (ORRICO Jr. et al., 2011).

(iii) Estimativa da produção de energia térmica

A estimativa da energia térmica foi feita a partir da equação 9 a seguir considerando-se o Poder Calorífico Inferior (PCI) do metano igual a $36 MJ m^{-3}$ adotado por Pantaleo, et al., (2013).

$$E_{térmica} = PCI P_{CH_4suínos} 10^{-6} \quad (9)$$

em que:

$E_{térmica}$ – Energia térmica, $GJ \text{ ano}^{-1}$;

PCI – Poder Calorífico Inferior, $kJ m^{-3}$;

$P_{CH_4suínos}$ – Produção de metano (CH_4) com dejetos de suínos; $m^3 \text{ ano}^{-1}$.

(iv) Estimativa da potência elétrica disponível com grupo motor-gerador

Por meio da equação 10 calculou-se a potência elétrica disponível, utilizando-se grupo motor-gerador considerando-se o Poder Calorífico Inferior (PCI) do metano igual a $36000 kJ m^{-3}$ adotado por Pantaleo, et al., (2013).

$$Pot_{elétrica} = PCI_{CH_4} v \eta_{motor} \eta_{gerador} 10^{-3} \quad (10)$$

em que:

$P_{elétrica}$ – potência elétrica, MW;

PCI_{CH_4} – Poder Calorífico Inferior, $kJ m^{-3}$;

v – Vazão de biogás, $m^3 s^{-1}$;

η_{motor} – Rendimento motor (15%), adimensional;

$\eta_{gerador}$ – Rendimento motor (95%), adimensional;

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avicultura

As tabelas a seguir apresentam as estimativas de produção de resíduos e energia disponível em toda a cadeia produtiva de frango de corte.

Tabela 2 – Dados para análise técnica do uso do metano a partir da cama de frango. **Data for technical analysis of the use of methane from poultry litter.**

Item	Quantidade	Unidade
Cama de Frango produzida por ave/ciclo*	2,04	Kg
Frangos por galpão	15.343,75	un
Número total de galpões	778,00	un
Número médio de frangos por galpão	15.343,75	un
Número de ciclos por ano	6,00	un
Número de frangos produzidos por ano	71.624.625,00	un
Massa de Cama de Frango produzida por ano	146.114.235,00	kg ano ⁻¹
Volume de metano (CH ₄) produzido por ano	30.277.303,76	m ³ ano ⁻¹
Vazão de biogás	0,96	m ³ s ⁻¹

* Os resultados obtidos estão de acordo com os resultados obtidos por Mitchell Jr et al. 1991).

A estimativa de energia térmica disponível é mostrada na Tabela 3.

Tabela 3 – Energia térmica disponível a partir do metano da cama de frango. **Thermal energy available from the methane of poultry litter.**

Item	Quantidade	Unidade
Equivalente Energético (TJ)	1.090	TJ ano ⁻¹
Equivalente Energético (Tcal)	261	Tcal ano ⁻¹
Equivalente Energético (tep)	26.033	tep ano ⁻¹

A estimativa da potência elétrica disponível, utilizando grupo motor-gerador, é mostrada na Tabela 4.

Tabela 4 – Potência elétrica disponível a partir do metano da cama de frango. **Electric power available from methane of the poultry litter.**

Opção de geração	Valor	Unidade
Grupo motor-gerador	4,93	MW

Suinocultura

As tabelas a seguir apresentam as estimativas de produção de resíduos e energia disponíveis em toda a cadeia produtiva de suínos.

Tabela 5 – Dados para análise técnica do uso do metano de dejetos de suínos. **Data for technical analysis of the use of methane from pig manure.**

Item	Quantidade	Unidade
Número de matrizes	60.130,00	Um
Total de suínos da cadeia produtiva	601.300,00	Um
Dejetos produzidos por cada suíno	7	litros dia ⁻¹

Produção anual de dejetos da cadeia produtiva	1.536.321,50	m ³ ano ⁻¹
Volume de metano (CH ₄) produzido por ano	35.142.460,17	m ³ ano ⁻¹
Vazão de biogás	1,11	m ³ s ⁻¹

A estimativa de energia térmica disponível é mostrada na Tabela 6.

Tabela 6 – Energia térmica disponível a partir do metano da suinocultura. **Thermal energy available from the methane from swine.**

Item	Quantidade	Unidade
Equivalente Energético (TJ)	1.265	TJ ano ⁻¹
Equivalente Energético (Tcal)	303	Tcal ano ⁻¹
Equivalente Energético (tep)	30.216	tep ano ⁻¹

A estimativa da potência elétrica disponível, utilizando grupo motor-gerador, é mostrada na Tabela 7.

Tabela 7 – Potência elétrica disponível a partir do metano da suinocultura. **Electric power available from methane from swine.**

Opção de geração	Valor	Unidade
Grupo motor-gerador	5,72	MW

A Figura 4 a seguir mostra a potência elétrica disponível com o aproveitamento dos dejetos das cadeias produtivas de frango de corte e de suínos da região.

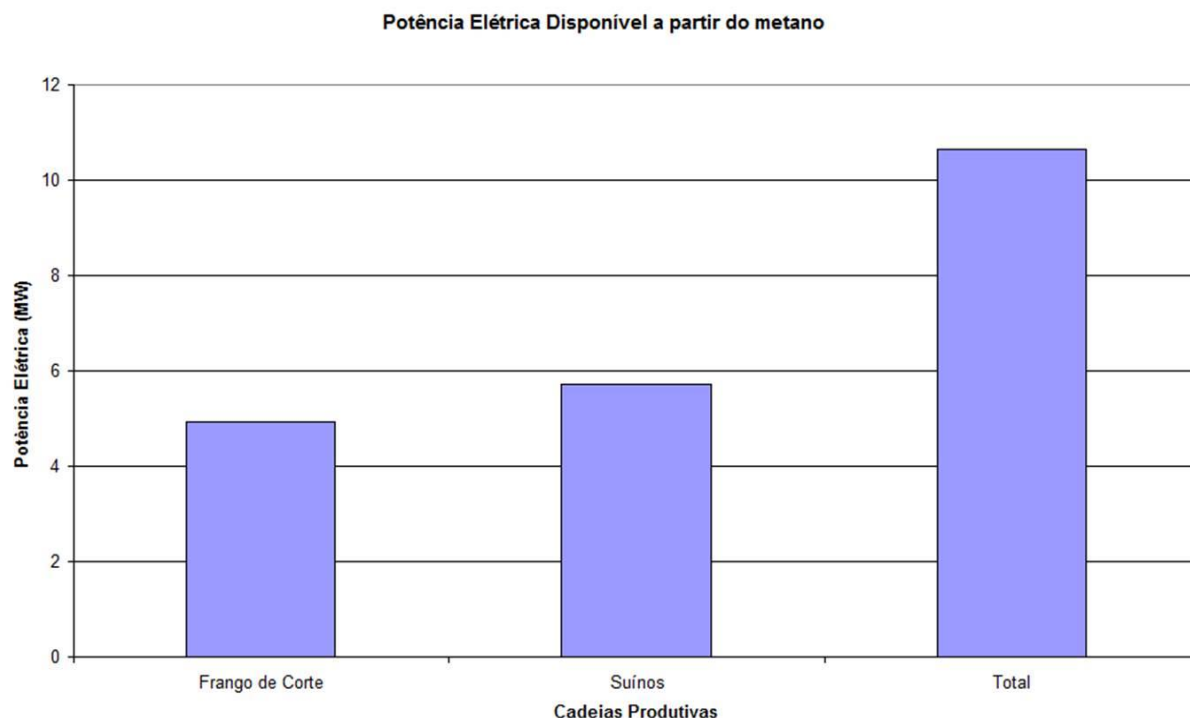


Figura 4 – Potência elétrica disponível a partir do biogás.

CONCLUSÕES

- O aproveitamento energético dos resíduos da avicultura e da suinocultura além de promover o saneamento ambiental pode desonerar a produção nas cadeias produtivas aumentando suas competitividades.
- O potencial de geração de energia térmica a partir do biogás gerado com os resíduos da avicultura e suinocultura foi estimado em 1.090 TJ ano⁻¹ para a cadeia produtiva de frango de corte e 1.265 TJ ano⁻¹ para a cadeia produtiva de suínos. Essa energia pode ter como uso final o atendimento das demandas térmicas das granjas, como aquecimento de pintinhos e leitões.
- A potência elétrica disponível foi estimada em 4,93 MW para a cadeia produtiva de frango de corte e 5,72 MW para a cadeia produtiva de suínos. A eletricidade produzida pode atender as demandas das cadeias produtivas e o excedente pode ser comercializado com as concessionárias de energia elétrica da região.

AGRADECIMENTO

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Universidade Federal de Viçosa (UFV) pelo apoio financeiro e logístico para o desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABIPECS – **Associação Brasileira das Indústrias Produtoras e Exportadoras de Carne Suína**. Carne Suína Brasileira em 2011. Disponível em: www.abipecs.org.br, Consulta em: 09/2012.

AVIZOM, Associação dos Avicultores da Zona da Mata; Data da consulta: 05/2012.

FERREIRA, A. A. Características dos sistemas de produção, eficiência e economias de escala na produção de frango de corte no estado de Minas Gerais. (Dissertação - Mestrado em Economia Rural), Viçosa: UFV, 1998.

GARCIA, S. K., AGUIAR, M. R., Projeto de Pesquisa: Dinâmica e Tendências da Produção de Suínos em Minas Gerais, Escola de Veterinária da UFMG, Programa de Sanidade Suídea – IMA-SEAPA-MG, 2011.

GARCIA, S.K., CARVALHO, J., OLIVEIRA, T.M.L. Suinocultura Mineira (I): Distribuição e tamanho dos plantéis nos polos regionais em 2004. In: CONGRESSO DA ABRAVES, 12., 2005, Fortaleza. Anais... Fortaleza: ABRAVES, 2005a (CD-ROM).

IMA – Instituto Mineiro de Agropecuária, Geo DSA, 2012. www.ima.mg.gov.br

MALLIK, M.K., SINGH, U.K., AHMAD, N. Batch digester studies on biogas production from Cannabis sativa, water hyacinth and crop wastes mixed with dung and poultry litter, Biological Wastes, Volume 31, Issue 4, 1990, Pages 315-319.

MINAS-GERAIS, www.minas-gerais.net, Data da Consulta: 08/2009

MITCHELL JUNIOR, C.C. The value and use of poultry waste as a fertilizer. In: POULTRY by-product management handbook. Alabama: Auburn University, Cooperative Extensive Service, 1991. (Circular ANR-244)

MONTEIRO, E., MANTHA, V., ROUBOA, A. Prospective application of farm cattle manure for bioenergy production in Portugal, Renewable Energy, Volume 36, Issue 2, February 2011, Pages 627-631.

ORRICO JUNIOR, M. A. P., ORRICO, A. C. A., LUCAS JUNIOR, J. Produção animal e o meio ambiente: uma comparação entre potencial de emissão de metano dos dejetos e a quantidade de alimento produzido. Eng. Agríc. 2011, vol.31, n.2, pp. 399-410.

PANTALEO, A., DE GENNARO, B., SHAH, N. Assessment of optimal size of anaerobic co-digestion plants: An application to cattle farms in the province of Bari (Italy), Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 20, April 2013, Pages 57-70.

SOUZA, C. F., LUCAS JUNIOR, J., FERREIRA, W. P. M. Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, SP, 2003.

SOUZA, C.F.; CARVALHO, C.C.S.; CAMPOS, J.A.; MATOS, A.T. & FERREIRA, W.P.M. Caracterização de dejetos de suínos em fase de terminação. R. Ceres, 56:128-133, 2009.

TRICASE, C., LOMBARDI, M. State of the art and prospects of Italian biogas production from animal sewage: Technical-economic considerations, Renewable Energy, Volume 34, Issue 3, March 2009, Pages 477-485.

www.iap.pr.gov.br, Instrução Normativa 105.006 – junho/2009