

ANÁLISE ECONÔMICA DE BIODIGESTORES DE PVC FLEXÍVEL PARA APROVEITAMENTO DE DEJETOS DA CAPRINO-OVINOCULTURA NA AGRICULTURA FAMILIAR*

Daniilo Gusmão de Quadros**, André de Paula Moniz Oliver***, Ueliton Regis****, Renata Valladares*****

* Financiado pelo CNPq e USAID

** Engenheiro Agrônomo, Doutor, Universidade do Estado da Bahia - campus IX / Núcleo de Estudo e Pesquisa em Produção Animal, uneb_neppa@yahoo.com.br

*** Administrador, Instituto Winrock Internacional, andre@oliver.adm.br

**** Engenheiro Agrônomo, Mestre, Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola, uregis@hotmail.com

***** Engenheira Mecânica, Instituto Winrock Internacional, renata@ambientalpv.com

Resumo

O objetivo deste estudo de caso foi realizar a análise econômica de um biodigestor de PVC flexível instalado em propriedade da agricultura familiar em Cacimba do Silva (Juazeiro-BA) para aproveitamento dos dejetos de 50 caprinos. Como benefícios econômicos foram consideradas três situações: A = biogás em substituição ao gás de cozinha (GLP); B = biogás + biofertilizante em substituição de adubos sintéticos; C = biogás + biofertilizante + crédito de carbono. A produção anual de biogás correspondeu à economia em GLP de R\$ 539,75. O biofertilizante rendeu uma economia de adubos sintéticos em R\$ 425,15. O crédito de carbono foi equivalente a R\$ 211,99. Nas A, B e C, a relação benefício:custo foi de: 1,73; 2,95 e 3,56, respectivamente. Numa simulação de financiamento bancário, com taxa de juros de 5,5% a.a. e pagamento anual gerado da substituição do GLP pelo metano, houve pagamento integral do investimento no 7º ano. Em 10 anos, o biodigestor gerou saldo positivo de R\$ 1.840,00; 5.491,47 e 7.611,37, nas situações A, B e C, respectivamente. O biodigestor foi viável economicamente para agricultura familiar, pois apresentou alta relação benefício/custo com a geração de energia renovável (metano) e biofertilizante, contribuindo para redução da exclusão energética e alimentar.

Abstract

Economic analysis of flexible PVC anaerobic digester to take advantage of goat and sheep manure in smallholder farmers

The objective of this work was to elaborate an economic analysis of an anaerobic digester constructed in small farmer in Cacimba do Silva (Juazeiro-BA) to take advantage of manure of 50 goats. As economic benefits were considered three situations: A = biogas in substitution to kitchen gas (LPG); B = biogas + biofertilizer in substitution of synthetic fertilizers; C = biogas + biofertilizer + carbon credit. The annual production of biogas corresponded to economy in LPG of R\$ 539.75. Biofertilizer economized synthetic fertilizer in R\$ 425.15. The

carbon credit was equivalent to R\$ 211.99. In the A, B, and C situations, the benefit:cost ratio were: 1.73; 2.95; and 3.56, respectively. In a simulation of money financed by bank, with annual interest rate of 5.5% and annual payment of substitution of LPG by methane, there was total payment of investment at 7^o year. Through 10 years, anaerobic digester save R\$ 1,840.00; 5,491.47, and 7,611.37, in A, B, and C situations, respectively. Anaerobic digester was economically viable to smallholder farmers, because showed high benefit:cost ratio with renewable energy (methane) and biofertilizer, contributing to energetic and food exclusion.

INTRODUÇÃO

O rebanho mundial de caprinos e ovinos é de aproximadamente 900 milhões cabeças. O Brasil detém cerca de 24 milhões cabeças, sendo 40 % de caprinos e 60 % de ovinos. No ano de 1970 o efetivo caprino era da ordem de 14,6 mil animais, elevando-se para 9 milhões de cabeças em 2008. Já o de ovinos era da ordem de 18,3 mil animais, passando para 15 milhões de cabeças em 2008. Do efetivo nacional de caprinos, 1,4 % encontra-se na Região Norte, 93 % no Nordeste, 2,4 % no Sudeste, 1,9 % no Sul e 1 % no Centro-Oeste. Com relação ao rebanho ovino, 2,8 % encontra-se na Região Norte, 49 % no Nordeste, 2,8 % no Sudeste, 40 % no Sul e 4,9 % no Centro-Oeste (IBGE, 2009).

A Região Nordeste, detentora do maior rebanho brasileiro de caprinos e ovinos, abrange uma área total de 166,2 milhões de hectares, dos quais 95,2 milhões (57 %) estão inseridos na zona semiárida. O semiárido brasileiro ocupa uma área de, aproximadamente, 900.000 km², cerca de 10% da área total do País. O clima predominante no semi-árido da região Nordeste é do tipo BSh, conforme a classificação de Köppen, ou seja, tropical seco com a evaporação excedendo a precipitação e estação úmida curta e de verão-outono ou outonal, com índice pluviométrico anual de 500 a 800 mm, concentrado em três a quatro meses. A vegetação, que recebe o nome de caatinga, é formada por árvores e arbustos de pequeno porte, caducifólias em suas maioria.

As microrregiões geográficas de Juazeiro (BA), Euclides da Cunha (BA), Alto Médio Canindé (PI), Campo Maior (PI), São Raimundo Nonato (PI), Petrolina (PE) destacam-se como principais produtoras de caprinos. No aspecto de densidade, as microrregiões Cariri Ocidental (PB) e Itaparica (PE) destacam-se como as mais importantes. No caso dos ovinos, as microrregiões de Juazeiro (BA), Alto Médio Canindé (PI), Euclides da Cunha (BA), Sertão dos Inhamuns (CE), Sertão de Crateús (CE) e Serrinha (BA) são as principais produtoras. A ovinocultura se apresenta mais importante nas microrregiões do Médio Jaguaribe (CE) e Serrinha (BA). Cerca de 50 % do rebanho de caprinos e ovinos do Nordeste estão localizados em propriedades com menos de 30 ha.

Esse rebanho é base para segurança alimentar e geração de renda para agricultura familiar da região nordeste brasileira. Juntos, esses animais geram uma quantidade considerável de dejetos. Se cada ovino/caprino do nordeste fosse preso somente durante a noite, em instalações próprias, chamadas de apriscos, produziria diariamente uma quantidade de esterco equivalente a 12 mil toneladas. Sem tratamento adequado, o acúmulo de dejetos contribui para contaminação ambiental e a proliferação de agentes causadores/transmissores de doenças, como bactérias e moscas. Cerca de 30 a 40% da mortalidade dos caprinos e ovinos está relacionada à transmissão de doenças pelas fezes dos animais.

Nesse contexto, os agricultores familiares enfrentam a escassez de fontes energéticas para fins produtivos e residenciais. Na maioria das áreas rurais a disponibilidade dos combustíveis mais limpos para cocção é intermitente ou não existem, devido à falta de infraestrutura de distribuição e comercialização, além de serem relativamente mais caros que os tradicionais disponíveis nessas áreas (SANGA, 2004).

A utilização de biodigestores contribui para integração e sustentabilidade das atividades agropecuárias, aproveitando o dejetos, o qual normalmente é dado pouco, ou mesmo nenhum, valor comercial, convertendo-o em duas grandes fontes de desenvolvimento: energia renovável (metano) e adubo (biofertilizante). Com isso, permite o aumento da produção agrícola e transformação dos produtos tradicionais rurais, agregando valor, organizando a produção, aumentando o tempo de conservação e melhorando a logística de comercialização.

No âmbito do meio ambiente, a comunidade científica mundial e a população têm discutido a mudança do modelo energético mundial, de energia fóssil e nuclear para um sistema que inclua as energias renováveis, alternativas e limpas. O modelo político-energético balizado na interação entre crescimento e desenvolvimento insustentável desgastou-se devido às evidências relacionadas às ações antrópicas, promovendo mudanças climáticas e o aquecimento global. O debate internacional está pautado pela necessidade de práticas sustentáveis de aproveitamento dos recursos naturais existentes e de medidas para conter as mudanças climáticas globais.

O Protocolo de *Kyoto*, que se constitui no protocolo de um tratado internacional com compromissos para a redução da emissão dos gases que provocam o efeito estufa (GEE), considerados como causa do aquecimento global, criou os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), sendo a negociação de créditos de carbono sua forma transacional. Na queima do biogás, o metano (CH₄) presente é convertido em gás carbônico (CO₂), de 21 a 23 vezes menos danoso à atmosfera, gerando créditos de carbono.

O objetivo do estudo de caso foi elaborar um estudo da viabilidade econômica de um biodigestor contínuo de PVC flexível para aproveitamento de dejetos de caprinos na agricultura familiar do semiárido.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados na análise econômica foram de um biodigestor contínuo modelo canadense, com gasômetro em laminado de PVC flexível, instalado em uma propriedade da agricultura familiar no distrito de Cacimba do Silva, no município de Juazeiro, Bahia, na zona semi-árida brasileira.

Em novembro de 2006, o biodigestor foi instalado para validação dessa tecnologia social e ambientalmente correta na agricultura familiar, servindo de modelo para outras comunidades rurais, fruto da parceria da Universidade do Estado da Bahia (UNEB), Instituto Winrock International (ONG), Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola (EBDA), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e *United States Agency for International Development* (USAID). Essa iniciativa foi parte do projeto “Biodigestão de dejetos da caprino-ovinocultura na agricultura familiar”, ação direcionada do PROVICAPRI-PROGRAMA DE OVINO-CAPRINOCULTURA DA BAHIA e do PROGRAMA RENOVAR BAHIA, ambos lançados pela UNEB, que divulga os benefícios do biodigestor como mecanismo de desenvolvimento limpo e inovação tecnológica no sertão nordestino, atendendo comunidades carentes que vivem no campo.

Antes da instalação do biodigestor, foi fundamental o treinamento dos produtores, para então, em seguida, realizar a escavação e colocação da manta. O monitoramento foi realizado para averiguar *in locu* os benefícios da instalação desse equipamento.

O biodigestor, dimensionado para um rebanho de 50 cabeças, possuía aproximadamente 8,0 m³, apresentando dimensões de 5 m de comprimento superior e 4 m de comprimento inferior por 1,2 m de profundidade, base menor e maior de 1,0 e 2,0 m, respectivamente. As caixas de entrada e de saída foram construídas em alvenaria com canos de PVC rígido de 150 mm, medindo 1 x 1 x 0,8 m de largura, comprimento e profundidade, respectivamente. O equipamento foi dimensionado para tempo de retenção de 45 dias.

Os dados da produção de biogás e de composição do biofertilizante utilizados na análise financeira foram gerados pelo trabalho de QUADROS et al. (2009), apresentado neste congresso. Segundo esses autores, a produção média de biogás foi de 0,061 m³ kg⁻¹ de esterco e a composição do biofertilizante foi de 0,64; 0,03; e 2,1 g/L de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), respectivamente.

A quantidade de esterco gerada no estudo de caso foi de 0,5 kg/animal/dia, ou seja, para os 50 animais, a geração de esterco foi de 25 kg/dia.

No manejo diário dos dejetos, primeiro se retiraram os paus e pedras do aprisco de chão batido no qual os animais passaram as noites; em seguida, no manejo diário o esterco foi obtido por varreção, com cuidado para não trazer terra; após colocado na caixa de entrada, foi diluído na proporção 1:4, ou seja, 25 kg de esterco em 100 L de água, mantendo-o em imersão por 24 h, para amolecimento; no dia seguinte se recolheram as cibalas sobrenadantes, com o auxílio de uma rede de metal, ou pá, que foram amassadas com ajuda de um pilão adaptado. Este processo foi possível com a divisão da caixa de entrada em dois compartimentos interligados na parte inferior; no segundo compartimento, o afluyente tem acesso ao biodigestor; este procedimento de manejo foi fundamental, haja vista que as cibalas integrais podem se acumular na superfície do conteúdo interno do biodigestor formando uma crosta não fermentada, impedindo a produção de biogás.

O biogás foi usado com substituto ao gás de cozinha (GLP) e o biofertilizante na adubação de culturas alimentícias e forrageiras.

Os custos utilizados na análise financeira foram reais, relativos à aquisição dos materiais e equipamentos necessários. Na análise de relação benefício:custo anual, considerou-se a depreciação do custo fixo do investimento em 10 anos de vida útil. Os custos de manutenção do equipamento foram considerados nulos, bem como a mão-de-obra envolvida na operação do equipamento, entendendo que o beneficiário do equipamento possuía estrutura de agricultor familiar, com mão-de-obra pessoal.

Para a análise econômica, foram consideradas três formas de benefícios: situação A, considerando apenas o benefício do biogás, comparado ao GLP; situação B – soma o benefício da situação A mais o do biofertilizante, comparado aos adubos sintéticos; e situação C – benefício da situação B mais os créditos de carbono.

Foi realizada a análise financeira de um eventual empréstimo de capital de um banco oficial de fomento à agricultura familiar, a taxas de 5,5% a.a., no horizonte de 10 anos, considerando as situações A, B e C.

Os dados foram tabulados no programa Excel, o qual foi utilizado no cálculo da relação benefício:custo e da análise financeira da aquisição do biodigestor financiado por bancos de fomento à agricultura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cada caprino/ovino preso durante a noite, que é o manejo normal dos criadores, estercam 0,5 kg/cabeça/dia. No presente trabalho o biodigestor foi dimensionado para 50 cabeças, ou seja, uma produção de estrume de 25 kg. A produção de biogás estimada, usando dados do semiárido, do trabalho de balizamento técnico de QUADROS *et al.* (2009), que seria 0,061 m³ / kg de estrume, que produziria por dia 1,525 m³ d⁻¹ de biogás, ou 47,75 m³ mês⁻¹, equivalente a 1,4 botijões de 13 kg de GLP (33 m³ de biogás = 1 botijão, segundo WINROCK, 2005). No ano, a produção foi estimada em 556,6 m³ de biogás, que correspondem a 16,9 botijões de GLP. Se o valor de cada botijão é de R\$ 36,00, a produção anual de biogás corresponderia a 539,75 reais (Tabela 1). A produção de biogás convertida em eletricidade, numa eficiência de 5,5 kWh (m³)⁻¹ de biogás, segundo Magalhães *et al.* (2004), resultaria em 255 kWh mês⁻¹, ou 3.061 kWh ano⁻¹.

A utilização do biogás, seja para geração de energia térmica ou elétrica, é viável, tanto no aspecto técnico, quanto financeiro, pois existem equipamentos desenvolvidos para serem utilizados com essa fonte energética e os custos com a aquisição e manutenção é compensado em curto prazo, com retorno do capital investido em três anos (CARVALHO e NOLASCO, 2006).

A mão-de-obra envolvida foi familiar, na forma de mutirão, sem ônus. Entretanto, no somatório de custos foi considerado esse item.

A produção de biofertilizante foi de 125 L/dia, que acumularia 45.625 L/ano. Multiplicado pela concentração dos nutrientes N, P e K, convertida nos adubos sintéticos uréia, superfosfatos simples e cloreto de potássio, resultaria em 66,0; 17,5 e 202 kg, respectivamente, cujos valores de mercado somaram R\$ 425,15 (Tabela 1).

O biofertilizante, material oriundo do esterco de caprinos após ser fermentado no biodigestor, pode ser utilizado na produção de forragem para os animais e de alimentos para as pessoas, aumentando o rendimento agrícola. No Brasil, é freqüente a aplicação dos dejetos sem tratamento no campo. Essa prática pode acarretar na queima das plantas; poluição ambiental; seqüestro de nitrogênio para decomposição da celulose (presente em grande quantidade no esterco), causando deficiência nas plantas; disseminar sementes de plantas daninhas e conter microrganismos patogênicos. O biofertilizante apresentou alta qualidade e valor agregado, devido: à redução do teor de carbono do material, pois a matéria orgânica digerida perde carbono na forma de CH₄ e CO₂; aumento no teor de nitrogênio e demais nutrientes, em consequência da perda de carbono; diminuição da relação carbono/nitrogênio (C/N) da matéria orgânica, que melhora a utilização agrícola; maior facilidade da utilização do biofertilizante pelos

microrganismos do solo, devido ao avançado grau de decomposição; e solubilização parcial de alguns nutrientes, deixando-os mais facilmente disponíveis às plantas (BRETON et al., 2004). O biofertilizante também pode ser utilizado no controle pragas e doenças de culturas agrícolas.

Tabela 1 – Análise do custo e dos benefícios da implantação de um biodigestor em PVC flexível para aproveitamento dos dejetos de 50 caprinos na agricultura familiar, em três situações diferentes de benefícios econômicos.

Item	Valor (R\$)
Custo de implantação	
Manta	2100
Valvula	200
Frete	250
Tubulação	150
Alvenaria	400
Escavação	400
Custo total	3500
Situação A	
Benefício	
Valor do biogás	607,23
Benefício total	607,23
Custo fixo	350,00
Receita bruta	257,23
Relação benefício:custo	1,73
Situação B	
Benefícios	
Valor do biogás	607,23
Valor do biofertilizante	425,15
Benefícios totais	1032,38
Custo fixo	350,00
Receita bruta	682,38
Relação benefício:custo	2,95
Situação C	
Benefícios	
Valor do biogás	607,23
Valor do biofertilizante	425,15
Valor funcional	211,99
Benefícios totais	1244,37
Custo fixo	350,00
Receita bruta	894,37
Relação benefício:custo	3,56

¹ Situação A - Considerando o benefício do biogás, comparativo ao GLP.

² Situação B - Considerando os benefícios do biogás e do biofertilizante, comparativo ao GLP e adubos sintéticos, respectivamente.

³ Situação C - Considerando os benefícios do biogás e biofertilizante, comparativo ao GLP e adubos sintéticos, respectivamente, somados aos benefícios funcionais, com os créditos de carbono, sem considerar os custos da validação e verificação/certificação. Baseou-se em adaptação do modelo de AGUILAR e BOTERO (2006), utilizando-se, para os cálculos dos créditos de carbono, o modelo de CARVALHO e NOLASCO (2006).

⁴ Custo fixo = custo implantação / vida útil (vida útil do equipamento = 10 anos).

A produção de biogás anual de 556,6 m³, multiplicados pela sua densidade (0,97 kg/m³) e pela concentração de metano presente (58%, segundo QUADROS et al., 2009), geraram 313,1 kg metano/ano. Se na queima do biogás o metano reduz 20 vezes seu poder como GEE, somados a redução do óxido nitroso de 309 vezes, resultaram em 29 ton de CO₂ eq., comercializados na Bolsa do Clima de Chicago a R\$ 7,31/ton, rendendo em funcionalidade a R\$ 211,99 (Tabela 1).

Nas três situações, a relação benefício:custo foi positiva, variando de 1,73 a 3,56 (Tabela 1). Avaliando a capacidade de pagamento do capital investido (custo total/benefício total), foram obtidos 5 anos e 9 meses, 3 anos e 5 mês, 2 anos e 6 meses, nas situações nas quais o apenas o biogás (situação A), biogás + biofertilizante (situação B), biogás + biofertilizante + crédito de carbono (situação C), respectivamente.

As três situações consideradas no estudo de caso foram submetidas à análise econômica do investimento em período de 10 anos (Tabela 2). Nessa simulação, o pagamento anual foi gerado pela economia da substituição do GLP pelo biogás, até a quitação do investimento. Nas três situações houve pagamento integral do investimento.

Tabela 2 – Análise econômica do investimento, num período de 10 anos, em três situações diferentes de benefício econômico (expressa em R\$) de um biodigestor para aproveitamento dos dejetos de 50 caprinos.

	Ano									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Situação A¹										
Custo total	3500,00	3067,77	2613,93	2137,40	1637,05	1111,67	560,03	0,00	0,00	0,00
Juros (5,5 % a.a.)	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	0,00	0,00	0,00
Valor Total	3675,00	3221,16	2744,63	2244,27	1718,90	1167,26	588,03	0,00	0,00	0,00
Benefício	607,23	607,23	607,23	607,23	607,23	607,23	607,23	607,23	607,23	607,23
Pagamento	607,23	607,23	607,23	607,23	607,23	607,23	588,03	0,00	0,00	0,00
Saldo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,20	607,23	607,23	607,23
Situação B²										
Custo total	3500,00	3067,77	2728,97	2360,52	1959,84	1524,10	1050,23	534,89	0,00	0,00
Juros (5,5 % a.a.)	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	0,00	0,00
Valor Total	3675,00	3336,20	2967,75	2567,07	2131,33	1657,46	1142,12	581,69	0,00	0,00
Benefício	1032,38	1032,38	1032,38	1032,38	1032,38	1032,38	1032,38	1032,38	1032,38	1032,38
Pagamento	607,23	607,23	607,23	607,23	607,23	607,23	607,23	581,69	0,00	0,00
Saldo	425,15	425,15	425,15	425,15	425,15	425,15	425,15	450,68	1032,38	1032,38
Situação C³										
Custo total	3500,00	3067,77	2728,97	2360,52	1959,84	1524,10	1050,23	534,89	0,00	0,00
Juros (5,5 % a.a.)	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	0,00	0,00
Valor Total	3675,00	3336,20	2967,75	2567,07	2131,33	1657,46	1142,12	581,69	0,00	0,00
Benefício	1244,37	1244,37	1244,37	1244,37	1244,37	1244,37	1244,37	1244,37	1244,37	1244,37
Pagamento	607,23	607,23	607,23	607,23	607,23	607,23	607,23	581,69	0,00	0,00
Saldo	637,14	637,14	637,14	637,14	637,14	637,14	637,14	662,67	1244,37	1244,37

¹ Situação A - Considerando apenas o benefício do biogás, comparativo ao GLP.

² Situação B - Considerando os benefícios do biogás e do biofertilizante, comparativo ao GLP e adubos sintéticos, respectivamente.

³ Situação C - Considerando os benefícios do biogás e biofertilizante, comparativo ao GLP e adubos sintéticos, respectivamente, somados aos benefícios funcionais, com os créditos de carbono, sem considerar os custos da validação e verificação/certificação. Baseou-se em adaptação do modelo de AGUILAR e BOTERO (2006), utilizando-se, para os cálculos dos créditos de carbono, o modelo de CARVALHO e NOLASCO (2006).

O biodigestor gerou na situação A, ao longo de 10 anos, um saldo positivo de R\$ 1.840,00. No mesmo período, foram gerados 5.491,47 e 7.611,37 quando somados os benefícios do biofertilizante (situação B) e do crédito de carbono (situação C), respectivamente (Tabela 2).

O consumo diário de biogás para cocção estimada em uma família com cinco pessoas, seria de 0,17 m³, entretanto para funcionamento de um motor, será necessário 0,37 m³/c.v./h. A conversão do biogás para eletricidade por meio de conjunto motor gerador a biogás custou R\$ 190,00/MWh (tempo de amortização de 5 anos), sendo R\$ 0,21/m³ de biogás e dez horas diárias de operação. Comparando-se os custos mínimos e máximos de várias fontes de energia, verificou-se que o biogás, além dos benefícios diretos e indiretos, é competitivo economicamente (SOUZA *et al.*, 2004).

Em geral, o biogás não é tóxico, em virtude do baixo teor de monóxido de carbono (inferior a 0,1 %), ao contrário do GLP, que apresenta um teor mortal desse gás (20%). Por outro lado, devido às impurezas que contém, o biometano é muito corrosivo, principalmente o sulfureto de hidrogênio (H₂S) que, dependendo da concentração, pode atacar cobre, latão e aço. Para teores de H₂S de 1% (excepcionais nas condições normais de produção), o biogás pode se tornar tóxico e mortal. O gás carbônico, que representa 35% do total de gases presentes no biogás, pode requerer aumento das capacidades de armazenamento e o vapor d'água pode ser corrosivo para as canalizações, depois de condensado. Assim, a purificação do biogás (remoção do H₂S) é uma tarefa imperativa no seu uso. A remoção do H₂S pode ser conseguida com o uso de limalha de ferro oxidado. Em contato com o oxidado, o H₂S produz Fe₂O₃ (CORTES *et al.*, 2007).

A remoção do CO₂ embora não necessária para muitas atividades de queima do biogás (como em lampiões, fogões e fornos), pode ser indispensável se o objetivo for a armazenagem do biogás para o seu uso em veículos, ou compressão para engarrafamento. No trabalho de MAGALHAES *et al.* (2000), foi estimado que o biogás com 67% de CH₄ teria poder calorífico de 7,53 kWh/kg, enquanto purificado (85% de CH₄), de 11,86 kWh/kg. No mesmo sentido, a estimativa da densidade, que é um parâmetro útil para projetos de equipamento, armazenamento e compressão do biogás, reduziu de 0,88 kg/m³ para 0,71 kg/m³. Considerando que 10% de CO₂ na mistura gasosa do biogás representa aproximadamente 1 kWh/m³ a menos no poder calorífico, em relação ao metano puro (9,9 kWh/m³), esse autores estimaram aumento do poder calorífico de 6,6 kWh/m³ para 8,4 kWh/m³ com a purificação do biogás, o que representa acréscimo de aproximadamente 27% no poder calorífico.

Além dos benefícios econômicos, o biodigestor instalado para o aproveitamento dos dejetos de caprinos, na agricultura familiar de Cacimba do Silva (Juazeiro-BA), resultou nos seguintes benefícios:

- redução da exclusão energética, pela **geração de biogás** - energia renovável e limpa, reduzindo a dependência de programas sociais;
- atenuação da exclusão alimentar, pelo aumento da produção de alimentos para as pessoas e os animais, com a aplicação de **biofertilizante**, adubo de alta qualidade, resultante da biodigestão dos dejetos, nas

hortas e pomares comunitários, bem como na área de palma forrageira, leucena e capim-Tifton-85, com contribuição marcante para segurança alimentar;

- a **diminuição na emissão dos gases promotores do efeito estufa**, visando o desenvolvimento o mercado de créditos de carbono (base da proposta do Programa Renova Bahia, para atrair o capital de empresas privadas para financiar ampla replicação dessa tecnologia limpa), promovendo pioneiramente o selo social-ambiental;
- **capacitação técnica** dos agricultores familiares, com conceitos agroecológicos e sustentáveis na produção agrícola;
- **agregação de valor, diversificação, melhoria da logística e conservação dos produtos** tradicionais da agricultura familiar, pelo processamento do leite de cabra para manufatura de queijo, doces pastoso e tipo “cocada”, iogurte, licor sabor morango e chocolate, doces de frutas nativas (como umbu) e exóticas (como goiaba, mamão), que antes eram desperdiçadas agora contribuem para renda, somando a média mensal de 1 salário mínimo;
- **promoção do desenvolvimento rural**, com a redução das despesas domésticas. A utilização do biogás reduziu o custo de aquisição do gás GLP, em visão ampla são incluídos: produto, transporte e armazenagem;
- **melhoria das condições de higiene para os animais e as pessoas** – a limpeza diária das instalações para recolher o esterco diminuiu a mortalidade dos animais, a contaminação do ambiente por microrganismos nocivos e de moscas, conseqüentemente aumentando a produção do leite, o ganho de peso e melhorando a qualidade dos produtos.

CONCLUSÕES

O biodigestor apresentou alto potencial de replicação na agricultura familiar, pois tem alta relação benefício/custo com a geração de energia renovável, o metano e, indubitavelmente, resulta na produção de adubo orgânico com alta qualidade intrínseca, constituindo-se na base da segurança alimentar da população mais carente que vive no campo, introduzindo na dieta alimentos diversificados de origem vegetal e animal de alto valor biológico. Sendo assim, somam-se esforços no intuito de difundir meios de financiamento, sejam reembolsáveis, ou fundo perdido em condições de extrema pobreza, podendo se constituir na revolução energética no campo.

REFERÊNCIAS

AGUILAR, F.X., BOTERO, R. Los beneficios económicos totales de la producción de biogás utilizando un biodigestor de polietileno de bajo costo. **Tierra Tropical**, v.2, n.1, p.15-25, 2006.

BRETON, J. *et al.* **Renewable energy sources and technologies on farm systems: focusing on Danish scenario.** The Royal Veterinary and Agricultural University, Denmark:Department of Agricultural Sciences, 2004. 126p.

- CARVALHO, T., NOLASCO, M.A. Créditos de carbono e geração de energia com uso de biodigestores no tratamento de dejetos suínos. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, v.4, n.3, p. 23-32, 2006.
- CORTES, L.A.B. *et al.* Biodigestão de efluentes. In: CORTES, L.A.B., LORA, E.S. **Biomassa para energia**. cap. 15. Disponível em: <<http://www.feagri.unicamp.br/energia/biomassaenergia/>>. Acesso em: 06-06-07. 46p.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Rebanho de Caprinos e Ovinos**. 2009. Acesso em: 22/05/2009.
- MAGALHÃES, E.A. *et al.* Confecção e avaliação de um sistema de remoção do CO₂ contido no biogás. **Acta Scientiarum**, v.26, n.1, p.11-19, 2004.
- QUADROS, D.G. *et al.* produção de biogás e caracterização do biofertilizante usando dejetos de caprinos e ovinos em biodigestor de PVC flexível. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA, 4, Curitiba, 2009. **Anais ... Curitiba:FUPEF**. 2009. (CD-ROM)
- SANGA, G.A. **Avaliação de impactos de tecnologias limpas e substituição de combustíveis para cocção em residências urbanas na Tanzânia**. 2004. Faculdade de Engenharia Mecânica – Universidade Estadual de Campinas (Dissertação - Mestrado em Planejamento de sistemas Energéticos). Campinas. 2004. 125p.
- SOUZA, S.N.M *et al.* Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura. **Acta Scientiarum**, v.26, n.2, p.127-133, 2004.
- WINROCK – INSTITUTO WINIROCK INTERNATIONAL. Manual de biodigestão. In: 1º Curso sobre “Biodigestores na agricultura familiar do semi-árido”. Juazeiro: WINROCK/UNEB/EBDA. 09/2005. 21p. Disponível em: <<[Http://www.winrock.org.br.html](http://www.winrock.org.br.html)>>. Acesso: 29-10-05.