

## ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA APROVEITAMENTO DE DEJETOS DE CAPRINOS EM BIODIGESTORES NO SEMIÁRIDO BAIANO

Sheyla Haack<sup>\*</sup>, Gilca Garcia de Oliveira<sup>\*\*</sup>, Danilo Gusmão de Quadros<sup>\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Economista, Mestre em Economia, UFBA, sheyla.haack@gmail.com

<sup>\*\*</sup>Eng<sup>a</sup>. Agr<sup>a</sup>., Doutora, UFBA – Faculdade de Economia

<sup>\*\*\*</sup>Eng. Agr., Doutor, UNEB – campus IX - Faculdade de Agronomia, uneb\_neppa@yahoo.com.br

### RESUMO

O esgotamento de algumas fontes de energia de origem fóssil geradas pelo aumento da demanda dos últimos anos, e a conscientização mundial quanto às questões ambientais, têm levado a uma busca contínua por novas formas sustentáveis de produção. Nesse novo contexto a tecnologia da biodigestão representa uma possibilidade na geração de energia limpa e, ao mesmo tempo, de redução dos impactos ambientais. Este estudo avalia a viabilidade técnica e econômica para implantação de biodigestores no semiárido baiano, tendo como base o aproveitamento dos dejetos de caprinos. Foi realizado um mapeamento dos municípios baianos selecionados de acordo com critérios de regiões com rebanhos de caprinos, disponibilidade e qualidade da água, e, caracterizados os dejetos caprinos para a geração de energia (biogás) e dos efluentes (biofertilizante), quantificando-se os resíduos e a produção de biogás e de biofertilizantes. Posteriormente foram calculados indicadores técnicos. A viabilidade técnica e econômica envolveu a análise do desempenho do processo de biodigestão, sua conversão em valores econômicos e os cálculos B/C, VPL, TIR e *Payback*. Para tanto, estimaram-se investimentos para implantação de biodigestores em função da quantidade de caprinos, incluindo ou não, os custos de mão de obra. Os resultados encontrados evidenciam que, em certas condições, a implantação não é viável para o horizonte de vida útil do biodigestor para pequenos rebanhos. Os principais aspectos encontrados estiveram vinculados aos casos de incorporação da mão de obra e do crédito de carbono. Os estudos também evidenciaram viabilidade para o uso em unidades de agricultura familiar em que a mão de obra não está incorporada, principalmente quando há aproveitamento dos dejetos na geração de biogás para uso como GLP e geração de eletricidade e do biofertilizante, chegando a apresentar um *payback* menor que dois anos e taxas de retorno TIR de até 66% para o aproveitamento combinado de GLP e biofertilizante.

Palavras chave: biodigestor, caprinos, fontes alternativas de energia, viabilidade técnica e econômica.

### ABSTRACT

#### *TECNICAL AND ECONOMICAL ANALYSIS TO RECOVER GOAT WASTES IN ANAEROBIC DIGESTERS IN SEMIARID ZONE OF BAHIA*

The exhaustion of some fossil energy sources, caused by the increasing demand in the last years, as well as the worldwide consciousness about the environment issues, has brought a continuous quest for new sustainable means of production. In this new context, the biogas technology represents a real possibility of generating clean energy and, at the same time, the reduction of environmental impacts. This study analyses the technical and economical viability of implanting biogas in the semiarid zone of Bahia state, Brazil, using a mechanism based on the employment of the caprine wastes. It was made a survey of the bahian cities that were selected according to three relevant aspects: existence of caprine livestock in the districts, availability and water quality. First, These were characterized the caprine wastes for the generating of energy (biogas) and effluents (biofertilizer) by quantifying the residues as well the biogas and biofertilizer production. Afterwards, these were considered some technical indicators. The technical and economical viability has involved the analysis of the biogas performance, its conversion into economical values and the computing of benefits vs costs, Net Present Value (NPV), Internal Rate (IRR) and *Payback*. In order to doing so, some investments estimated for the use of biogas were based on the caprines quantity, including or not the costs of workforce. The found results evidenced that, in certain conditions, the implantation is not workable for the durability of the biogas and for the reduced size of livestock. The main reasons were related to the incorporation of workforce and carbon credit. On the other hand, this study also indicates the viability for the use of biogas in smallholder farms in which the workforce is not incorporated, mainly if there is the management of wastes in the generation of biogas for use as LPG and the generation of electricity and biofertilizer. In these cases, the *payback* is lesser than two years and the TIR reaches to 66% for the combined management of GLP and biofertilizer.

Keywords: alternative energy sources, biogas, goat, technical and economical viability.

## 1 INTRODUÇÃO

O constante desenvolvimento das chamadas energias alternativas limpas tem propiciado a substituição do uso de algumas fontes esgotáveis por renováveis. Considerada como uma das alternativas renováveis, a biodigestão torna-se uma solução para o aproveitamento adequado de resíduos, com geração de energia (biogás) e de biofertilizante. Sob o ponto de vista do aproveitamento integral de energia, a transformação destes resíduos, através do uso da tecnologia de biodigestão contribui para a sustentabilidade, pois aumenta a oferta energética, possibilitando assim, que unidades domiciliares ou industriais, com difícil acesso, possam usufruir da energia gerada, através do uso do biogás, como fonte de calor (cozção de alimentos) e, de geração de eletricidade. Além disso, obtém-se ganhos com o efluente gerado no processo para fertilização do solo e, especialmente, com créditos de carbono.

Apesar do potencial de instalação de biodigestores no Brasil, a sua utilização ainda é pouco freqüente. Uma oportunidade encontra-se no semiárido baiano, onde a falta de energia elétrica convencional gerada pelo afastamento das unidades rurais dos centros de distribuição de eletricidade e a dificuldade de obtenção do botijão de gás de cozinha, foram identificados como potencialidades para esse uso. Além disso, têm-se boas condições climáticas para produção do biogás, praticamente o ano todo, o que pode significar possíveis soluções de acesso à energia e ao mesmo tempo, de ganhos econômicos. Ainda percebe-se que as populações residentes nessa região ou que dela se originam, têm forte identidade social e cultural com a caprinocultura. A implantação dos biodigestores, no meio rural, poderia, de fato, contribuir para o desenvolvimento desta região, através do aproveitamento do resíduo gerado por esse tipo de atividade.

Observando-se a potencialidade econômica desse setor (caprinocultura), foi realizado um estudo de viabilidade técnica e econômica do uso dos biodigestores localizados no semiárido do estado da Bahia, por meio de dados já validados em estudos realizados em plantas em escala piloto e industrial. O objetivo do trabalho foi identificar o potencial sobre o aproveitamento dos dejetos caprino nos principais municípios do semiárido baiano, para a geração de energia, fertilizantes e futuros créditos de carbono, como um meio de contribuir com o desenvolvimento sustentável dos pequenos produtores e das comunidades rurais. O modelo proposto do uso do biodigestor na caprinocultura no semiárido baiano mostra um fluxo que, de um lado têm-se os ganhos pelo consumo dos bens processados na caprinocultura, e, do outro, ganhos no aproveitamento desses resíduos. Assim, há um fluxo contínuo e sustentável no aproveitamento de resíduos da caprinocultura com o uso do biodigestor (FIGURA 01).

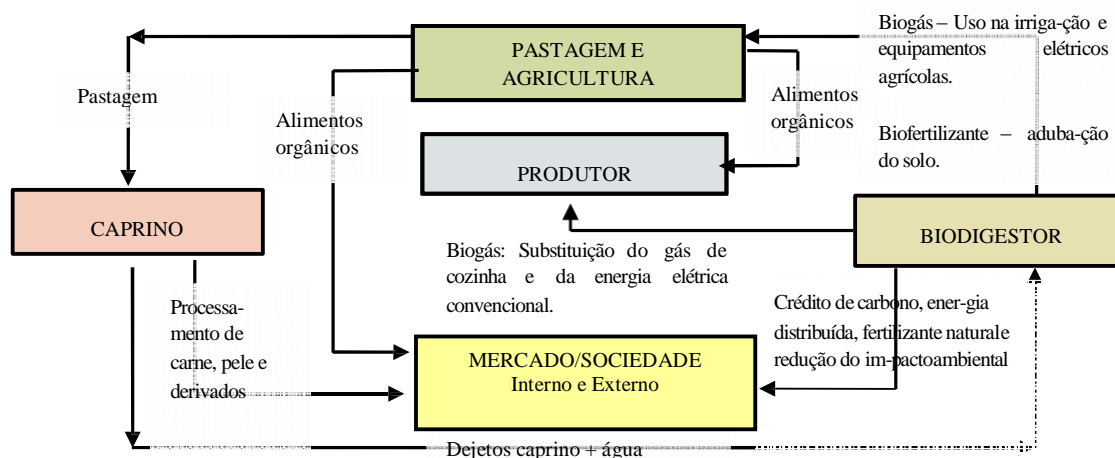


Figura 1. Modelo proposto do uso do biodigestor na caprinocultura no semiárido baiano  
Fonte: Elaboração da autora, 2009

## MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente foram elencados alguns municípios para o estudo, com base no tamanho do rebanho de caprinos e no processamento, seguida de informações sobre as principais ações estratégicas para a caprinocultura (BAHIA, 2008). Em seguida foram coletados dados técnicos pertinentes ao processo de biodigestão. O estudo tomou como base os estudos realizados por Quadros (2009a) em um modelo de biodigestor canadense construído em laminados de PVC de 13 m<sup>3</sup>, instalado na estação experimental da EBDA, município de Jaguarari (BA), para a realização de testes e ensaios

laboratoriais com dejetos caprinos. Tratando-se do aproveitamento dos dejetos caprinos, foram coletadas informações de caracterização quantitativas e qualitativas cujo objetivo visou levantar os índices de conversão desse material em energia, biofertilizante e créditos de carbono. Assim, os municípios selecionados para este estudo se situam em sua maioria na região Nordeste, Baixo Médio São Francisco e Piemonte da Diamantina, como destacados a seguir: RG 06 – Nordeste: Cansanção, Canudos, Euclides da Cunha, Jeremoabo, Monte Santo, Paulo Afonso; RG 07– Paraguaçu: Feira de Santana e Pintadas; RG 08 – Sudoeste: Anagé, Vitória da Conquista e Jequié; RG 09 – Baixo Médio São Francisco: Campo Alegre de Lourdes, Casa Nova, Curaçá, Juazeiro, Pilão Arcado, Remanso, Sento Sé e Sobradinho; RG 10 – Piemonte da Diamantina: Andorinha, Antonio Gonçalves, Campo Formoso, Filadélfia, Jaguarari, Senhor do Bonfim, Ponto Novo, Uauá e Valente; RG 11 – Irecê: Jussara; RG 12 – Chapada Diamantina: Oliveira dos Brejinhos; RG 13 – Serra Geral: Guanambi; RG 14 – Médio São Francisco: Barra e Bom Jesus da Lapa e RG 15 – Oeste: Barreiras (SEI,2008).

Dentre os municípios, destacam-se Juazeiro, Casa Nova, Uauá, Curaçá, Remanso, Campo Alegre de Lourdes, Monte Santo, Pilão Arcado e Campo Formoso, com os maiores rebanhos de caprino, representando aproximadamente 70% do rebanho total (BAHIA, 2007). Foram tabeladas as informações dos municípios, incluindo rebanhos e estabelecimentos rurais de caprino. Os dados mostram que os 34 municípios representam uma população superior a 2,5 milhões de habitantes, com PIB de aproximadamente R\$ 15 bilhões e renda per capita cerca de R\$ 5.000,00. Ainda revela que 29% da área total (127.046 km<sup>2</sup>) é zona rural, composta por mais de 98.000 estabelecimentos rurais, dos quais 30% possuem rebanhos caprinos, totalizando aproximadamente 1,8 milhões de animais, ou seja, 57% do rebanho do estado da Bahia (BAHIA, 2009a). Analisando a relação de caprinos por unidade de estabelecimento, evidencia que a média de rebanhos por estabelecimento, de cada município, varia entre 50 a 500 animais. Quanto ao Índice de Desenvolvimento Humano<sup>1</sup> (IDH), todos os municípios apresentam valores na faixa entre 0,53 a 0,74, considerados de médio desenvolvimento humano. Apesar desses índices serem razoáveis, é importante apontar a necessidade de potencializar alguns aspectos sócio ambientais ainda considerados críticos no semiárido e que, de certa forma, influenciam na melhoria da qualidade de vida da população.

Sob o principal aspecto crítico da região que é a escassez da água e, da necessidade de validar a viabilidade do modelo apresentado com o uso do biodigestor, também foi realizada uma análise dos recursos hídricos disponíveis nos municípios. A Figura 2 apresenta esquematicamente o processo de produção de um biodigestor e sua interação com as diversas fontes hídricas.

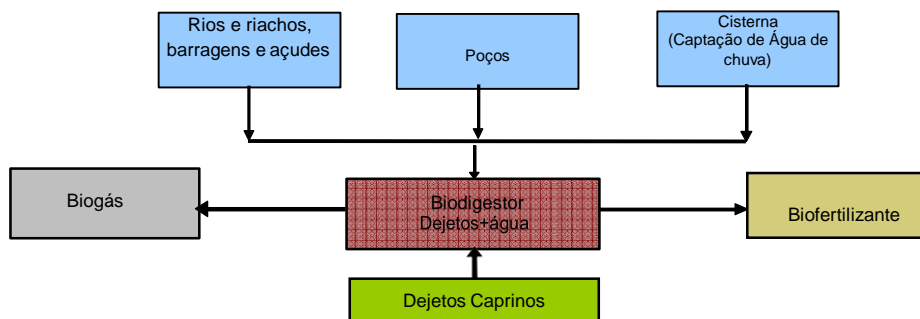


Figura 2 - Esquema de ligação das fontes hídricas

Fonte: Elaboração da autora, 2009

Assim, foi feito um estudo sobre essas fontes de recursos e realizou-se uma pesquisa cartográfica identificando as Bacias Hidrográficas<sup>2</sup> que abrangem os municípios selecionados para verificar a potencialidade de implantação de biodigestores relacionando à perspectiva hídrica (BAHIA, 2009b). Entre os principais rios foram identificados: São Francisco, Vaza Barris, Várzea do Pilão, Itapicuru, Pardo, Contas, Macalé, Mucururé, Vermelho, Paraguaçu, Pintubaçu, Ondas, Grande, Paramirim, Verde, Jacaré, dos Porcos, Carnaíba de Dentro, Salitre e Subaé. Entre as barragens e açudes destacaram-se: Sobradinho, Itaparica, Pedra do Cavalo e das Pedras. E os açudes, de Valente e de

<sup>1</sup> O IDH foi criado para medir o nível de desenvolvimento humano dos países a partir de indicadores de educação, longevidade e renda. Os países com IDH até 0,499 são considerados de baixo nível de desenvolvimento humano.

<sup>2</sup> A lei nº 9.433 de janeiro de 1997 instituiu a bacia hidrográfica como unidade territorial para atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, os Comitês de Bacias Hidrográficas e a definição dos instrumentos para a gestão dos recursos hídricos.

Cocorobó. Assim, 20 rios, quatro barragens e dois açudes, abrangem os 34 municípios, sendo que 30% dos municípios estão cobertos pelos Rios São Francisco e pela Barragem de Sobradinho; 18% pelo Rio Itapicuru e 26% pelos Rios de Contas, Grande, Paramirim e Paraguaçu. Em termos de dados pluviométricos (SEI, 2003), 24% dos municípios apresentam os menores índices entre 400-500 mm, são eles: Campo Formoso, Cansanção, Canudos, Casa Nova, Juazeiro, Sento Sé e Uáua, 64% apresentam uma média entre 600-700mm e os 12% entre 800 a 2000 mm, dos quais destaca-se Barreiras por apresentar um índice superior a 1.100 mm. Os cálculos de volume de água realizados através do índice pluviométrico<sup>3</sup> revelam em percentuais que esse volume atenderia todas as unidades rurais de rebanho. Entretanto, a evaporação na região nordeste é altíssima, principalmente porque os raios solares incidem perpendicularmente ao solo. (MELO FILHO; SOUZA, 2006) apontam que a evaporação na região é de 2000 mm. Isso significa que toda a água de chuva dessa região evaporaria, causando um balanço hídrico negativo. As outorgas emitidas sobre os municípios equivalem a 1% das unidades existentes. Das 648 outorgas, 60% são para irrigação, 34% para indústria, 17% para uso humano e apenas 5% para uso animal. Das águas outorgadas, 53% são oriundas de mananciais subterrâneos e as demais, de mananciais superficiais, das quais 84% foram outorgadas para irrigação. Dos municípios listados, 50% deles foram outorgados para irrigação, o que permite validar, por conta dos critérios estabelecidos de outorga, o nível adequado de qualidade da água para uso na irrigação, em pelo menos da metade dos municípios pesquisados. Os dados gerais dos sistemas de abastecimento de água, através das quantidades de poços perfurados, cisternas (CARITAS, 2009) e dos sistemas simplificados e convencionais de abastecimentos mostram que é possível identificar, do total de poços, cisternas e sistemas de abastecimento existentes nos municípios, (aproximadamente 33.000 unidades), que apenas 34% atendem aos estabelecimentos rurais. Por outro lado,

alguns municípios, apresentam índices de estabelecimento rurais com cisternas e poços superiores a 45%, dentre eles: Jaguarari, Andorinha, Sento Sé, Anagé, Canudos, Campo Alegre de Lourdes, Remanso, Curaçá, Casa Nova, Senhor do Bonfim, Sobradinho, Juazeiro, Ponto Novo e Bom Jesus da Lapa. Nos municípios de Jeremoabo, Cansanção, Monte Santo, Euclides da Cunha, Barreiras, Jequié, Feira de Santana e Barra, esse índice é abaixo de 20%. Assim sendo, essas opções tecnológicas significam novas fontes alternativas de acesso à água, e, por conseguinte, possibilidades de viabilidade para a implantação de biodigestores.

Outra informação relevante é que se sabe que para o uso do biofertilizante, como substituto do fertilizante convencional, é necessário um mínimo de qualidade e uso adequado da água no solo. Assim, a partir dos dados do mapa hidrosubterrâneo da região nordeste do Brasil (IBGE 2003), foi realizada análise pertinente à qualidade da água. Ressalta-se a importância dessas informações, pois permite a visualização de potabilidade da água<sup>4</sup> e da possibilidade de uso do biofertilizante.

É possível destacar, dentre os municípios estudado, 17 que possuem uma potabilidade de água classificada como boa e apta para a irrigação, sem restrições ou com salinidade média, dentre eles: Jeremoabo, Sento Sé, Anagé, Canudos, Campo Alegre de Lourdes, Remanso, Euclides da Cunha, Sobradinho, Juazeiro, Jussara, Antônio Gonçalves, Filadélfia, Ponto Novo, Paulo Afonso, Vitória da Conquista, Feira de Santana e Barra. Apesar de constar em mapa cartográfico como inadequados para irrigação, os municípios de Monte Santo, Senhor do Bonfim, Jequié, Guanambi e Feira de Santana, já têm outorgas emitidas para o uso na irrigação, provavelmente, por conterem sistemas de abastecimento e saneamento de água e esgoto. Assim, nota-se que, em 65% dos municípios estudados, a água foi identificada com boa potabilidade e adequação ao uso no solo. Os dados referentes ao uso e a qualidade da água também foram comparados com as análises realizadas pelo Instituto de Gestão das Águas na Bahia (INGÁ), em junho de 2009, com base nos parâmetros físico-químicos, nutrientes e biológicos realizados por Região de Planejamento de Gestão das Águas (RPGA). Nesta comparação, nota-se que os resultados divergem em apenas três municípios, sendo eles, Canudos, Ponto Novo e Feira de Santana. Ainda é importante apontar que durante o monitoramento do INGÁ, identificaram-se pontos de irrigação nos municípios de Canudos, Cansanção, Campo Formoso, Curaçá, Juazeiro e Jequié. Ressalta-se que a fim de servir como elemento de racionalização do seu uso, e de equilíbrio entre a disponibilidade e demanda por esse recurso, considerou-se a água um bem de valor econômico. Assim sendo, foi incorporado como parte dos custos operacionais o valor relativo da água consumida para uso nobiodigestor.

---

<sup>3</sup> O Cálculo do volume diário de água de chuva na área rural foi estimado através do índice pluviométrico mínimo dividido por 365 dias e multiplicado pelo total da área rural por município (valores em km<sup>2</sup>). Sendo que 1 mm de coluna de água em 1km<sup>2</sup>, corresponde a 1000m<sup>3</sup> de água.

<sup>4</sup> Segundo UFBA (2007), a depender do objetivo, a qualidade da água pode ser apresentada por diversos parâmetros físicos, químicos e biológicos.

Ainda neste estudo foi realizado o levantamento técnico do processo de biodigestão com o uso de dejetos caprinos. Foram utilizadas as informações obtidas por Quadros e outros (2009b), que consideram um volume de 0,5 kg de dejetos/dia-cabeça, considerando que os animais foram presos à noite. Na quantificação da capacidade de produção, os referidos autores determinaram que cada kg de dejetos caprino gera 0,061 m<sup>3</sup> de biogás, sendo que, um botijão de 13 kg de GLP corresponde a 33 m<sup>3</sup> de biogás. Uma família composta por quatro pessoas, que usa biogás para cocção, durante duas horas e meia por dia, em um fogão que consome 0,44 m<sup>3</sup> (METALÚRGICA JACKWALL Ltda, 1983 apud COLDEBELLA, 2006) de biogás/hora, queimaria um total de 33 m<sup>3</sup> de biogás/mês, ou seja, o equivalente a um botijão de GLP por mês.

De acordo com as informações da Coelba (2009) referentes ao consumo de eletricidade, 80% dos municípios, possuem menos de 20% de unidades rurais com acesso a energia elétrica. Destacam-se com os piores índices, os municípios de Campo Alegre de Lourdes, Canudos, Filadélfia, Jussara, Pilão Arcado, Remanso e Sento Sé, com menos de 5%. Tratando-se do total da energia elétrica fornecida, as unidades rurais de 26 municípios consomem menos de 20%. Apenas os municípios de Anagé, Barreiras, Bom Jesus da Lapa, Casa Nova, Curaçá, Ponto Novo, Sento Sé e Sobradinho possuem um consumo superior a 30%. Considerando o consumo de eletricidade por unidade rural e a eletricidade gerada pelo biogás, segundo a média de caprinos por unidade rural dos municípios estudados, nota-se que o uso do biogás como fonte alternativa de energia elétrica, atenderia em mais de 70% dessas unidades. As exceções ficariam para os municípios de Casa Nova, Curaçá, Remanso, Sento Sé, Paulo Afonso, Sobradinho, Bom Jesus da Lapa, Feira de Santana, Ponto Novo e Barreiras, nos quais o biodigestor serviria como fonte complementar para geração de eletricidade. Quadros e outros (2009b) apontam a geração de energia elétrica via biodigestor como uma boa opção para as comunidades rurais, sendo o valor de conversão é de 5,5 kWh/m<sup>3</sup> de biogás, citado por Magalhães e outros (2004).

Tratando-se do modelo de biodigestor canadense ou da marinha (biodigestor de manta de PVC flexível), o método mais prático para o dimensionamento está no volume de geração de biogás, ou seja, o produto entre a carga diária de dejetos produzidos e o tempo de retenção (WINROCK, 2008). O Quadro 1 apresenta a quantidade de caprinos associada aos respectivos volumes de geração do biogás e ao total de recursos investido. Baseado nesses valores é possível analisar a viabilidade dos investimentos a serem realizados.

Quadro 1 - Custo de implantação de biodigestores

Rebanho	VB volume biodigestor	Área total do biodigestor.	Preços de materiais e serviços para instalação de um biodigestor								Custo de implantação do biodigestor	Custo de implantação do biodigestor + gerador
			Manta de 1,0 mm espessura	Tubo PVC 150 mm	Tubo PVC 40 mm	Caixa de alvenaria	Válvulas e conexões	Escavação	Frete	M.Obra instalação		
cabeças	m <sup>3</sup> (1)	m <sup>2</sup> (1)	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$
50	5,60	59	1.000	150	75	400	200	400	250	400	2.875	3.375
100	11,30	83	1.500	225	113	600	200	600	250	600	4.088	5.388
150	16,90	108	2.000	300	150	800	200	800	250	800	5.300	7.800
200	22,50	132	2.500	450	225	1.000	200	1.000	250	1.000	6.625	10.625
250	28,10	157	3.000	525	263	1.200	200	1.200	250	1.200	7.838	13.538
300	33,80	181	3.500	600	300	1.400	200	1.400	250	1.400	9.050	16.550
350	39,40	206	4.000	675	338	1.600	200	1.600	250	1.600	10.263	20.263
400	45,00	230	4.500	750	375	1.800	200	1.800	250	1.800	11.475	23.975

Obs.: (1) valores estimados a partir da tabela de dados da Winrock - Manual de Biodigestor, 2008

O custo do motor gerador por quantidade de cabeça foi estimado, segundo a capacidade do motor gerador necessária para a energia gerada por dejetos produzidos. Considerou o tempo de operação do motor de 3.650 horas/ano em todas as situações. O preço do motor utilizado para tal estimativa foi fornecido pela Terwal em dez/2009.

Fonte : Elaboração própria, 2009.

Nos valores de concentração dos macronutrientes apresentados por Quadros e outros (2009b) na realização dos cálculos de conversão do biofertilizante, tem-se que 150 caprinos que geram 375 l/dia de biofertilizante e que o cálculo de conversão do biogás em crédito de carbono (redução de CO<sub>2</sub> equivalente), baseado nos parâmetros abordados pelos autores apontaram que 150 animais produzem, anualmente, aproximadamente 1.669,9 m<sup>3</sup> de biogás, gerando 87 toneladas de dióxido de carbono equivalente anualmente, ou seja, 87 créditos de carbono.

Nos cálculos realizados neste estudo, tomaram-se como parâmetros, os custos de capital (custo total de implantação do biodigestor), a taxa de juros de financiamento<sup>5</sup> (5% a.a.), o tempo de vida útil do equipamento (10 anos), os custos de operação e manutenção (4% do investimento), os gastos com água, e os custos com a mão-de-obra. Para a mão-de-obra, considerou-se que 70% é empregada em atividades fixas e 30% em atividades que crescem proporcionalmente com o tamanho do rebanho. O custo de capital anual levou em consideração uma depreciação linear ao longo do período. Além disso, foi aplicado sobre o fluxo de caixa, uma taxa de correção monetária de 4,5% a.a., decorrente da desvalorização pela inflação. Para a realização das análises (B/C, VPL, TIR e *payback*), tomou-se como base dez situações decorrentes do uso dos produtos gerados pelo biodigestor como bens substitutos, dentre eles: Situação I – GLP (gás de cozinha para cocção); Situação II – Eletricidade; Situação III – GLP e eletricidade; Situação IV – GLP e biofertilizante; Situação V – Eletricidade e biofertilizante; Situação VI – Biofertilizante; Situação VII – GLP, eletricidade e biofertilizante; Situação VIII – GLP, eletricidade, biofertilizante e crédito de carbono; Situação IX – GLP, biofertilizante e crédito de carbono; Situação X – Eletricidade, biofertilizante e crédito de carbono. Para os investimentos de implantação considerou-se: Investimento de Implantação 1 – Aquisição de Biodigestor, aplicado apenas na situação I; Investimento de Implantação 2 – Aquisição de Biodigestor e Moto-Gerador, aplicados nas situações II e III; Investimento de Implantação 3 – Aquisição de Biodigestor e Moto-bomba, aplicados nas situações IV, VI, e IX; Investimento de Implantação 4 – Aquisição de Biodigestor, Moto-Gerador e Moto-bomba, aplicados nas situações V, VII, VIII e X.

Os investimentos de implantação do biodigestor foram estimados através do Manual da Winrock (2008) e os preços do moto-gerador e moto-bomba foram obtidos no mercado local. Além disso, as situações que envolvem crédito de carbono (situação VIII, situação IX e situação X), foram acrescentados os custos de implantação do projeto MDL no valor de R\$160.000,00. Atribuiu-se também os preços dos bens substitutos como o botijão de gás de cozinha, energia elétrica convencional e fertilizante, assim como, da tarifa de água e mão de obra assalariada, valores médios de mercado. Para os cálculos financeiros, foram consideradas as taxas de financiamento, de acordo com os valores praticados para a agricultura familiar.

## RESULTADO E DISCUSSÃO

Foram 18 municípios com potencialidade para a implantação de biodigestores, dentre eles: Jeremoabo, Paulo Afonso, Anagé, Vitória da Conquista, Juazeiro, Sento Sé, Remanso, Campo Alegre de Lourdes, Curaçá, Pilão Arcado, Antônio Gonçalves, Senhor do Bonfim, Filadélfia, Jussara, Oliveira dos Brejinhos, Barra, Bom Jesus da Lapa e Sobradinho. Destacam-se os municípios de Juazeiro, Curaçá, Barra, Sento Sé, Remanso, Campo Alegre de Lourdes e Pilão Arcado, por possuírem um rebanho superior a 40% entre os municípios estudados e, por contarem com a disponibilidade das águas do rio São Francisco.

Uma das aplicações do biogás está na capacidade de substituição do gás de cozinha (GPL) para cocção de alimentos. O Quadro 2 mostra os valores do ganho desta geração em substituição ao uso do gás de cozinha convencional, considerando o tamanho dos rebanhos. Considerando-se que uma família, composta por 4 a 5 pessoas, consome apenas 1 botijão de gás por mês o quadro evidencia uma viabilidade a partir de 50 cabeças.

Quadro 2 - Ganho do biogás em substituição ao GPL, ano

Quantidade de caprinos (Cabeças)	Biogás gerado (m <sup>3</sup> biogás/ano)	Botijão de GPL (Unidade/ano)	Ganho na substituição do GPL (R\$/ano)
50	557	16,9	607
100	1.113	33,7	1.214
150	1.670	50,6	1.822
200	2.227	67,5	2.429
250	2.783	84,3	3.036
300	3.340	101,2	3.643
350	3.896	118,1	4.251
400	4.453	134,9	4.858

Fonte: Elaboração própria, 2009.

O biogás, além de ser um substituto do gás de cozinha, também pode ser usado como gerador de energia elétrica. Assim, são listados os valores dos ganhos em unidades. Os dados mostram viabilidade do uso da energia elétrica,

<sup>5</sup> Média aplicada pelo Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) de 5% a.a., no período de 10 anos

a partir de 50 animais, para uma família com um consumo médio de energia de 255 kWh/mês, que é suficiente para o uso em aparelhos e na iluminação, substituindo, principalmente o uso de querosene para acender lampiões, carvão, lenha e as baterias para rádios. O Quadro 3 apresenta os ganhos da substituição combinada do gás de cozinha (GLP) e da energia elétrica por unidades com 50 a 400 cabeças de caprinos. Nota-se que, a partir de 100 cabeças, o biogás produzido atende todo o consumo de GLP de uma família. Uma unidade com 50 cabeças atende totalmente o consumo de GLP e parcialmente a demanda de energia elétrica.

Quadro 03 - Ganho do biogás em substituição do GLP e energia gerada

Rebanho	Biogás produzido	Consumo de biogás como GLP (1)	Saldo de biogás para uso em eletricidade	Eletricidade gerada com o saldo de biogás	Ganhos com o uso de biogás		
					GLP	Eletricidade	Total
cabecças	m <sup>3</sup> /ano	m <sup>3</sup> /ano	m <sup>3</sup> /ano	kWh/ano	R\$/ano	R\$/ano	R\$/ano
50	557	401,5	155	853	438	179	617
100	1.113	401,5	712	3.915	438	822	1.260
150	1.670	401,5	1.268	6.976	438	1.465	1.903
200	2.227	401,5	1.825	10.038	438	2.108	2.546
250	2.783	401,5	2.382	13.099	438	2.751	3.189
300	3.340	401,5	2.938	16.160	438	3.394	3.832
350	3.896	401,5	3.495	19.222	438	4.037	4.475
400	4.453	401,5	4.052	22.283	438	4.679	5.117

Obs: (1) Considera-se em todos os casos o consumo de 1 botijão/mês-família.

Fonte: Elaboração da autora, 2009

Considerando que até o ano de 2009, foram previstos nestes municípios cerca de R\$553 milhões para atendimento de 82.300 pontos de energia elétrica (COELBA, 2009), ou seja, um investimento médio por unidade energizadas de aproximadamente R\$6.725,00, e que mais de 80% dos municípios possuem uma média de consumo rural inferior a 3.061 KWh/ano, representando um investimento com biodigestor e moto-gerador de aproximadamente R\$ 3.375,00 por unidade (para 50 cabeças de animais). Nota-se que a implantação de biodigestores seria o suficiente para atender a essa demanda de energia, o que representa um valor cerca de 50% abaixo do investimento aplicados para o sistema convencional. Para os municípios de Casa Nova, Curaçá, Bom Jesus da Lapa, Ponto Novo e Barreiras em que o consumo médio de energia é superior a essa média, vale a realização do investimento de implantação de biodigestor, como fonte complementar de geração de energia, conforme anteriormente mencionado.

A análise de viabilidade do uso de biofertilizante como substituto do fertilizante convencional foi realizada através da quantificação dos efluentes gerados pelo biodigestor e da sua capacidade na utilização em áreas de pastagens e de cultivo de culturas. A substituição do nitrogênio (uréia), fósforo (superfosfato simples) e potássio (cloreto de potássio) pelo biofertilizante gera um ganho ao produtor mostrado (Quadro 4), calculado de acordo com os teores de NPK do biofertilizante gerados nos biodigestores.

Quadro 04 - Ganho de substituição do fertilizante convencional pelo biofertilizante

Qtidade caprino	Qtd carga dejetos	Produção de biofertilizante	Produção de fertilizantes equivalentes (kg/ano)			Total de ganho
			N	P	K	
cabecça	(kg /ano)	(l chorume/ano)				R\$/ano
50	9.125	36.500	63	17,7	203	464
100	18.250	73.000	127	35,4	406	927
150	27.375	109.500	190	53,1	609	1.391
200	36.500	146.000	254	70,8	812	1.855
250	45.625	182.500	317	88,5	1.015	2.319
300	54.750	219.000	380	106,0	1.217	2.781
350	63.875	255.500	444	124,0	1.420	3.245
400	73.000	292.000	507	142,0	1.623	3.709

Obs.: Considerou-se o preço do fertilizante convencional de uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio os valores cotados em dez/2009 de R\$0,83, R\$0,87 e R\$1,95 /kg, respectivamente.

Fonte: Elaboração própria, 2009

Os dados do Quadro mostram ganhos significativos, o que permite validar o seu uso como substituinte do fertilizante convencional.

Quanto ao custo do biogás, os resultados mostraram a influência do fator de escala. Ainda, a incorporação dos ganhos gerados pelo biofertilizante propicia uma redução significativa desses custos, com mão de obra inclusa ou não, e, conseqüentemente, uma redução nos custos da energia elétrica gerada, o que permite validar a importância desse efluente para viabilizar o biogás como fonte de energia elétrica. O Quadro 5 apresenta os custos da geração de biogás e da conversão em custos de energia elétrica, incluídos, os ganhos gerados com o biofertilizante.

Quadro 05 - Custos da produção de biogás e energia elétrica considerando os ganhos em biofertilizante

Rebanho	Biogás gerado	Energia elétrica gerada c/ o biogás	Custo Total		Ganhos com biofertilizante	Custo de geração do biogás		Custo de geração de eletricidade	
			sem M.Obra	com M.Obra		sem M.Obra	com M.Obra	sem M.Obra	com M.Obra
cabeças	m <sup>3</sup> /ano	kWh/ano	R\$/ano	R\$/ano	R\$/ano	R\$/m <sup>3</sup>	R\$/m <sup>3</sup>	R\$/kWh	R\$/kWh
50	557	3.065	429	1.950	464	VD	2,67	VD	0,48
100	1.113	6.120	626	2.603	927	VD	1,51	VD	0,27
150	1.670	9.188	822	3.255	1.391	VD	1,12	VD	0,20
200	2.227	12.249	1.034	3.924	1.855	VD	0,93	VD	0,17
250	2.783	15.304	1.231	4.576	2.318	VD	0,81	VD	0,15
300	3.340	18.371	1.427	5.229	2.782	VD	0,73	VD	0,13
350	3.896	21.427	1.623	5.882	3.246	VD	0,68	VD	0,12
400	4.453	24.488	1.820	6.534	3.709	VD	0,63	VD	0,12

Nota: VD – Valor desprezível.

Fonte: Elaboração própria, 2009

Os custos do biogás e da eletricidade gerada, sem incorporação da mão de obra, apresentaram em todas as unidades de rebanho, valores desprezíveis. Isso significa que os ganhos gerados pelo biofertilizante absorvem os custos gerados pela implantação e operacionalização do biodigestor. Já os custos do biogás, com mão de obra incorporada, apresentaram valores que vão de R\$2,67, para 50 animais, até R\$0,63, para 400 animais. Já os custos da eletricidade gerada apresentaram valores que se iniciam em R\$ 0,49, para 50 animais, e chegam a R\$0,12, para 400 animais. Percebe-se ainda que o custo dessa energia elétrica situa-se abaixo do preço da tarifa convencional (R\$0,21) a partir de unidades com 150 animais. Apesar dos rebanhos menores que 100 animais apresentarem custos superiores, não significa que a geração de energia elétrica a partir do biogás seja inviável, pois nesse caso, outros fatores devem ser levados em consideração, a exemplo, a redução do impacto ambiental, a melhorias das condições de higiene para os animais e pessoas, as facilidades de acesso ao gás para cocção, além da redução de gastos com investimento de instalação da rede convencional de energia elétrica.

Tratando-se dos aspectos ambientais ligados na obtenção dos créditos de carbono, percebe-se que os ganhos iniciais convertidos, para 50 animais, somam aproximadamente R\$900,00/ano, chegando a ganhos superiores a R\$7.000,00/ano, para rebanhos de 400 animais. Salienta-se que, apesar dos ganhos gerados é importante verificar sua viabilidade quando incorporados os investimentos necessários para a adesão ao mercado de crédito de carbono (MDL), que são significativamente altos. Para projetos de pequena escala, ligados ao setor agropecuário, os custos são próximos a R\$160.000,00, extremamente elevados para uma unidade rural familiar. Neste caso, uma política de promoção do uso de energia limpa teria também como estratégia, viabilizar a adesão destas unidades ao mercado de crédito de carbono.

Para a realização dos cálculos dos benefícios, tomou-se como base o somatório dos ganhos gerados pelo biodigestor na substituição do gás de cozinha, da eletricidade convencional, e do fertilizante, além de crédito de carbono, considerando o uso conforme as condições anteriormente apresentadas (situação de I a X). Sabe-se que, quando não é incorporada a mão-de-obra, para todos os tamanhos de rebanhos analisados, os benefícios são sempre maiores que os custos (relação benefício/custo maior que 1), exceto quando se trabalha vendendo créditos de carbono. A situação V, onde todo o biogás é usado para gerar eletricidade e há aproveitamento do biofertilizante, mostra a maior relação de benefício/custo. O mesmo acontece com a situação VII. Com a incorporação da mão-de-obra, a viabilidade da implantação de um biodigestor fica comprometida em muitas das situações. Aquelas que incluem a venda de créditos de carbono são totalmente desfavoráveis. As situações V e VII, que sempre mostram o melhores resultados, apenas a partir de rebanhos com 150 cabeças apresentam um balanço de benefício vs custo, levemente positivos. Rebanhos acima de 250 cabeças, os benefícios chegam a ser



superiores em aproximadamente 20% em relação aos custos. Fica claro que o biofertilizante, como substituto dos fertilizantes convencionais, é um fator determinante para a viabilidade da implantação de um biodigestor. Se forem incluídos os custos de mão-de-obra, apenas as situações que aproveitam o biofertilizante tem uma relação benefício/custo maior que 1. Para a determinação dos valores de VPL, TIR e *payback*, foram elaborados os fluxos de caixa operacionais<sup>6</sup> que mostram o saldo entre os benefícios e os custos, por sua vez, representados pelos custos de implantação, operacionais (mão-de-obra e água) e de O & M (operação e manutenção). Apesar da depreciação constar nos cálculos, não foi incluída nos custos totais, por não implicar em desembolso, não afetando, portanto, o saldo do fluxo operacional.

A partir dos saldos de fluxo operacional foram estimados o VPL, a TIR e o *Payback*. Os resultados foram tabulados, em função de: tamanho do rebanho (50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 e 400), ganhos e investimentos de implantação. De acordo com os valores encontrados, verificou-se a viabilidade nas situações entre I a VII, com exceção para 50 cabeças, na situação do uso de apenas biofertilizante. Com a incorporação de mão-de-obra, nota-se, em todas as situações, a inviabilidade de implantação. Considerando a totalidade dos resultados sobre todas as quantidades de cabeças, nota-se, para os VPLs positivos, TIRs superiores à taxa de atratividade do mercado (5% a.a.). As TIRs variaram entre 8% a.a. e 66% a.a. O destaque está na aplicação do uso para GLP e biofertilizante, com valores entre 39% a.a. e 66% a.a. O valor do VPL positivo está entre R\$1.305,00 (GLP, eletricidade e biofertilizante para 50 cabeças) e R\$ 60.925,00, (GLP e biofertilizante para 400 cabeças). Os menores valores estão para o uso de apenas biofertilizante, com exceção para 50 cabeças que tem como menor valor a aplicação combinada do GLP e eletricidade. Os maiores valores também estão na aplicação do GLP e biofertilizante. O mesmo ocorre com os menores valores de *payback*. O maior *payback* para implantação de uma unidade com 50 cabeças pode aproximar-se ao período de vida útil do biodigestor, no uso em eletricidade e biofertilizante, e o menor, em menos de cinco anos. No caso de 100 e 150 cabeças, o maior período de retorno do investimento é de aproximadamente sete anos, com o uso apenas do biofertilizante e o menor período de retorno do investimento entre dois e três anos. Quantidades superiores a 200 cabeças, o maior tempo de retorno é de aproximadamente seis anos, para a geração de apenas eletricidade ou GLP combinado com eletricidade. Ainda nesses casos, os menores *payback* estão situados a partir de 250 cabeças, podendo ser entre um ano e um ano e meio. Visualizam-se inviabilidade econômica em todas as médias de cabeças nas situações em que se incluem os ganhos com o crédito de carbono. Portanto, para torná-los viáveis, se faz necessária a utilização de recursos financeiros não-reembolsáveis oriundos de parcerias públicas ou privadas.

Tratando-se dos cálculos realizados sob o fluxo de caixa operacional com mão de obra incorporada, nota-se em maioria a inviabilidade de implantação (VPL negativo). Encontram viabilidade apenas na aplicação em GLP e biofertilizante a partir de criatórios com 200 caprinos. Os resultados sobre as situações viáveis mostraram taxas TIR entre 9% a 26%, valores de VPL entre R\$1.700,0 (200 cabeças) a R\$17.000,00 (400 cabeças) e o *payback*, de cinco a 09 nove anos. Os resultados evidenciam, mais uma vez o impacto que a mão de obra possui na viabilidade financeira para implantação dos biodigestores. Contudo, é importante a sua inclusão, pois ela existe e deve ser remunerada. Além disso, é válido apontar outros benefícios econômicos gerados, como o acesso à energia elétrica, apresentados sobre os ganhos com o uso combinado de eletricidade e biofertilizante, a substituição do gás de cozinha, redução dos impactos ambientais, com substituição da lenha e das pilhas, e, por fim, a melhoria da qualidade de vida. Comparando com os resultados encontrados na relação B/C e na viabilidade financeira, nota-se que dentre os valores mais significativos da relação B/C a condição de GLP e biofertilizante também está presente.

## CONCLUSÕES

Os estudos revelaram que mais da metade desses municípios, possuem potenciais para implantação de biodigestores e estão, em sua grande maioria, localizados próximos ao Rio São Francisco. A verificação da disponibilidade da água, através da oferta hídrica subsidiou a identificação dos problemas relacionados à carência desse recurso. O estudo apontou a necessidade de observar a realidade apresentada, pois o uso do biofertilizante natural gerado pelo biodigestor, somente funcionará se for possível garantir a disponibilidade da água. Para tanto, faz-se necessário preservar os recursos e ao mesmo tempo incorporar tecnologias adequadas para captação e manejo adequado da água. Para as comunidades, os resultados encontrados mostram que os benefícios estão relacionados à oportunidade de uso de energia em localidades onde a eletricidade e o gás de cozinha convencional ainda são

---

<sup>6</sup> Neste trabalho considera-se o fluxo caixa operacional igual do fluxo de caixa livre. Juros e amortizações de dívidas, não são considerados na projeção de ganhos.

de difícil acesso, assim como a produção de biofertilizante que proporcionam o uso de fertilizante natural e adiminuição dos agentes patogênicos no pasto que contaminam o solo. Além disso, proporcionam redução de gastos no orçamento familiar e do impacto ambiental gerado pelo uso da lenha.

## REFERÊNCIAS

- BAHIA. Secretaria da Agricultura do Estado da Bahia. **Efetivo de rebanho caprino por município do estado da Bahia**. Salvador, 2007.
- BAHIA. Secretaria da Agricultura do Estado da Bahia. **Relatório perfil municipal: dados coletados em campo**. Salvador, 2009a.
- BAHIA. Secretaria da Agricultura do Estado da Bahia. **Levantamento de informações de oferta hídrica: dados coletados em campo**. Salvador, 2009b.
- BAHIA. Secretaria da Ciência e Tecnologia do Estado da Bahia. Programa de fortalecimento da atividade empresarial: **Plano de desenvolvimento de APL de caprinocultura da Bahia**. Salvador, 2008. p. 2-6.
- CARITAS. **Levantamento de números de cisternas demandadas e existentes no semiárido baiano**. Salvador, 2009. Dados fornecido por José Carlos.
- COLDEBELLA, Anderson. **Viabilidade do uso do biogás de bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais**. Paraná. 2006. Dissertação ( Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Paraná, 2006. p. 1-17; p.22-51.
- COMPANHIA ELÉTRICA DO ESTADO DA BAHIA – COELBA. **Informativo sobre investimentos e unidades energizadas pelo Programa Luz para Todos**. Disponível em: <<http://www.coelba.com.br>>. Acesso em: 20 out. 2009.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **Mapa cartográfico hidroquímico**. Rio de Janeiro, 2003.
- INSTITUTO DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA BAHIA- INGÁ. **Programa de monitoramento da qualidade das águas do estado da Bahia**: Rede de amostragem, resultados e considerações finais. Segunda campanha trimestral. Salvador, 2009.
- MAGALHÃES, E. A.; SOUZA, S. N. M.; AFONSO, A. D. L.; RICIERI, R. P. Confecção e avaliação de um sistema de remoção do CO<sub>2</sub> contido no biogás. **Acta Scientiarum**. 2004.
- MELO FILHO, José Fernandes de; SOUZA, André Leonardo Vasconcelos. O manejo e a conservação do solo no semiárido baiano: desafios para sustentabilidade, **Bahia Agríc.**, v.7, n.3, p. 50-60. nov.2006.
- QUADROS, D.G. et al. **Análise econômica de biodigestores de PVC flexível para aproveitamento de dejetos da caprino - ovinocultura na agricultura familiar**. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA. 2009. Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF. 2009a. 1 CD-ROM.
- 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. 2009. Curitiba.. **Anais...** Curitiba:FUPEF. 2009b. 1 CD-ROM.
- SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA – SEI. **Levantamento de informações gerais, sócio e econômicas dos municípios estudados do semiárido baiano**. Salvador, 2008. Disponível em: <<http://www.sei.ba.gov.br>>. Acesso em: 10 ago. 2009.
- \_\_\_\_\_. **Levantamento de informações gerais, sócio e econômicas dos municípios estudados do semiárido baiano**: mapa pluviométrico do estado da Bahia. Bahia. 2003. Disponível em: <<http://www.sei.ba.gov.br>>. Acesso em: 10 ago. 2009.
- WINROCK. **Manual de biodigestão**. WINROCK/UNEB/EBDA. 2008. Disponível em: <<http://www.winrock.org.br.html>>. Acesso: 29 nov. 2009.