

Biodigestor para geração de energia elétrica a partir da suinocultura: análise de viabilidade para um sítio em Coimbra-MG

Biodigester for the generation of electric energy from pig farming: viability for a farm in Coimbra-MG

*Jader Fernandes Cirino¹
Leonardo Viana Pache de Faria²*

RESUMO: A implantação de biodigestores tubulares para a geração de energia elétrica a partir de resíduos suínos, além da mitigação dos impactos ambientais de tais resíduos, gera subprodutos como o biogás e a possibilidade de créditos de carbono. Assim, esse estudo analisou a viabilidade econômica desses projetos na Granja Piglândia, em Coimbra-MG. Com base nos principais indicadores de viabilidade, tais como valor presente líquido e taxa interna de retorno, concluiu-se que o projeto do biodigestor em estudo se mostrou altamente viável. Utilizando a análise de sensibilidade a fim de incorporar o risco, o projeto continuou viável já que em todas as possibilidades os indicadores utilizados mostraram a viabilidade do investimento analisado.

ABSTRACT: The implantation of tubular biodigesters to generate electric energy from the pig residues, beyond mitigation of the environmental impacts of such waste, generates byproducts such as biogas and the possibility of carbon credits. Therefore, this study analyzed the economic viability of such projects from the Pig land Farm, located in Coimbra-MG, Brazil. Based on the main indicators of viability such as net present value and internal rate of return, the project of implementation of biodigester studied was found to be highly viable. Using the sensitivity analysis aiming to incorporate the risk, the project remained viable, once on all possibilities, the indicators used showed feasibility of the investment analyzed.

1 Professor do Departamento de Economia e membro efetivo do Mestrado em Economia da Universidade Federal de Viçosa. E-mail: jader.cirino@ufv.br

2 Bacharel em Economia pela Universidade Federal de Viçosa. E-mail: leonardo.pache@ufv.br

PALAVRAS-CHAVES: Viabilidade. Biodigestor. Suinocultura.

KEYWORDS: Viability. Biodigester. Pig farming.

I. INTRODUÇÃO

A partir do advento da revolução industrial nos séculos XVIII e IX, o homem vem modificando o meio ambiente de maneira progressiva. Os impactos ambientais provocados pelo crescimento da população, atividades industriais, consumo e utilização de recursos naturais têm provocado danos consideráveis aos ecossistemas na forma de diminuição dos ativos ambientais disponíveis, geração crescente de resíduos, mudanças climáticas e catástrofes ambientais, entre outros.

A necessidade de um sistema de desenvolvimento econômico sustentável para o não comprometimento do crescimento da própria economia assim como para a manutenção do meio ambiente em escala global resultou, entre outras medidas da sociedade internacional, no Protocolo de Kyoto. Este é um acordo internacional assinado em 1997, no Japão, por diversos países membros da Organização das Nações Unidas (ONU), que tinha como objetivo, entre 2008 e 2012, reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEEs) dos países desenvolvidos em 5,2% em relação aos níveis medidos em 1990 (UN, 1998).

As energias renováveis, capazes de se regenerar, são consideradas inesgotáveis, diferentemente do petróleo. O biogás, combustível gasoso advindo da matéria orgânica, produzido por biodigestores³, é constituído principalmente de hidrocarbonetos, com conteúdo energético semelhante ao gás natural, podendo ser utilizado na geração de energia elétrica, térmica e mecânica. Sua obtenção ocorre pela biodigestão, que é a digestão anaeróbia realizada por um conjunto de complexos microrganismos capazes de metabolizar resíduos orgânicos, tais como carboidratos, lipídios e proteínas produzindo metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) principal gás do efeito estufa, óxido nitroso (N₂O), ácido sulfídrico (H₂S) e material celular. O biodigestor é uma câmara hermeticamente fechada onde a matéria orgânica é diluída em água e sofre um processo de fermentação anaeróbica, resultando na produção de um efluente líquido, biofertilizante, que pode ser utilizado na adubação de culturas produtoras de grãos, fruticultura, pastagem, reflorestamento e recuperação de áreas degradadas. Outro produto obtido do biodigestor é o gás metano (biogás), o que permite a tal empreendimento gerar projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) (MCT, 2013).

O biogás é composto basicamente por metano e dióxido de

³ Para mais detalhes acerca do funcionamento de biodigestores, consultar Oliver et al. (2008), Oliveira et al. (2011), Herrero e Cipriano (2012), Rizzoni et al. (2012), Viancelli et al. (2013), González et al. (2013).

carbono, 55-65% de CH₄, e 33-38% de CO₂, sendo o restante N₂O, H₂S e vapor d'água (FONSECA *et al.*, 2009).

Segundo MCT (2013), o MDL permite a certificação de projetos de redução de emissões nos países em desenvolvimento via aprovação da Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima - CIMGC, órgão brasileiro responsável pela aprovação ou não dos mesmos e a posterior venda das reduções certificadas de emissões (RCEs) ou créditos de carbono para os países desenvolvidos como modo suplementar para cumprir suas metas de redução de emissão.

Conforme destacam Fonseca *et al.* (2009), a atividade suinícola desempenha papel fundamental no cenário agropecuário brasileiro, tanto por seus aspectos econômicos (volumes financeiros significativos para balança comercial), mas também pelas variáveis sociais, gerando renda e emprego em toda a cadeia produtiva. No entanto, segundo os mesmos autores, a referida atividade é extremamente poluidora, já que os sistemas intensivos de confinamento produzem grandes quantidades de dejetos que, pelo manejo inadequado dos mesmos, promovem a contaminação dos rios, lençóis freáticos, solo e ar, além de produzir odor desagradável nas proximidades e emitir gases de efeito estufa, como metano e dióxido de carbono.

Com a necessidade de conservação do meio ambiente (manejo dos resíduos provenientes da suinocultura) e da diversificação da matriz energética brasileira (maior participação de biocombustíveis), verifica-se que no Brasil existe potencialidade para a implantação de biodigestores com o propósito de gerar energia elétrica. Conforme destacam Magno (2009) e Gaspar (2003), tal tecnologia apresenta diversas vantagens para a suinocultura, tais como tratamento dos dejetos animais, geração de subprodutos como o biogás e o biofertilizante, que poderão ser integrados no processo produtivo, reduzindo custos e aportando marketing positivo para os produtos da empresa agrícola, devido ao fato de ela estar de acordo com as normas ambientais. Além desses benefícios, Porto (2006) ressalta ainda a possibilidade de receber créditos de carbono ou Certificação de Redução de Emissões (RCEs), que podem ser negociados no Mercado Brasileiro de Redução de Emissões (MBRE).

Neste sentido, buscando a análise da viabilidade econômica de tais tipos de projetos, este trabalho trata de um estudo de caso da Granja Piglândia, situada no município de Coimbra, Minas Gerais (MG). A escolha foi feita devido à granja ter um biodigestor anaeróbico tubular e os equipamentos necessários para a geração de energia elétrica, fornecida para sua fábrica de ração.

Dessa forma, o objetivo geral do presente trabalho foi verificar a viabilidade econômica de implantação do biodigestor para geração de energia, utilizando como insumo os resíduos suínos da Granja Piglândia,

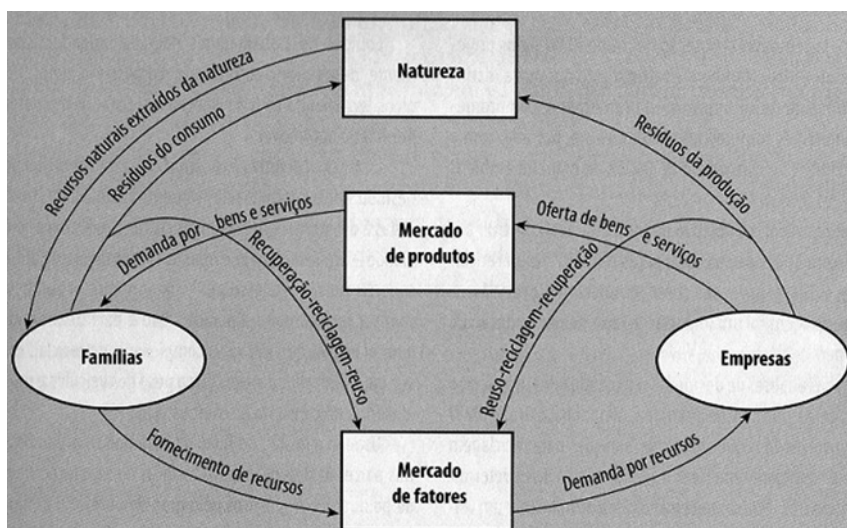
situada no município de Coimbra - MG. Especificamente, procurou-se: a) levantar o fluxo de caixa do projeto de implantação do biodigestor; b) calcular os indicadores tradicionais de viabilidade para a análise de investimento considerada; e c) identificar as variáveis para as quais o projeto apresenta maior sensibilidade em termos de retorno.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Essa seção tem o intuito de mostrar a importância do biodigestor na mitigação de impactos ambientais gerados pela suinocultura a partir do Modelo de Balanço de Materiais (MEM), cuja descrição se baseia em Callan e Thomas (2007).

Tal modelo parte do fluxo circular da renda da Escola Clássica, que representa o sistema econômico através do fluxo real de bens e fatores de produção e do fluxo nominal pelo pagamento desses últimos entre famílias e empresas. Entretanto, diferentemente desse modelo, o modelo estudado incorpora a ligação entre o meio ambiente e as atividades econômicas. As decisões das famílias e firmas, atividades de consumo e produção são baseadas na quantidade que o ambiente pode ofertar de recursos naturais, sendo que tais atividades podem contaminar e comprometer a natureza. Isso significa que as decisões das empresas são diretamente conectadas aos problemas ambientais. Dessa forma, Figura 1, o MEM mostra a posição do fluxo circular da renda dentro de um esquema maior, apresentando conexões entre a economia e o meio ambiente.

Figura 1 – Modelo de balanço de materiais



Fonte: Callan e Thomas (2007).

Um vetor único no sentido anti-horário representa o fluxo de materiais ou recursos naturais que se estende desde o ambiente até a economia, sendo a natureza responsável pelo seu abastecimento para a produção de bens e serviços. Este fluxo descreve como as atividades econômicas se baseiam no estoque de recursos naturais do meio ambiente, como solo, minerais e água. No MEM, considera-se que, assim como os demais fatores de produção, trabalho e capital, os recursos naturais são de propriedade das famílias, que os vendem às empresas no mercado de fatores.

Na direção oposta do vetor anterior, tem-se um fluxo vindo da economia para o meio ambiente, ilustrando como os recursos naturais entram no sistema e são retornados à natureza como produtos ou resíduos, tanto do consumo como da produção. Ressalta-se que alguns resíduos são naturalmente absorvidos pela capacidade de assimilação do meio ambiente. Porém, se o montante desses recursos retornados à natureza for maior do que tal assimilação, gera-se poluição. Por isso, é necessário práticas de recuperação e reciclagem dos resíduos. Nesse sentido, dois fluxos (resíduos do consumo e da produção) voltam para o mercado de fatores através da recuperação, reciclagem e da reutilização.

O MEM está sujeito às duas leis da termodinâmica, que, em conjunto, mostram que os recursos naturais são exauríveis no longo prazo e que, uma vez extraídos da natureza, se transformam em resíduos que podem danificar o meio ambiente. Além disso, a habilidade da natureza em converter resíduos em recursos novamente utilizáveis para o sistema econômico é limitada, não sendo capaz de assimilar todos os resíduos do consumo e da produção.

Nesse sentido, de acordo com o MEM, a implantação de biodigestores torna-se importante para o tratamento de dejetos suínos, que, uma vez trabalhados, podem ser lançados de volta à natureza sem prejudicá-la, melhorando a capacidade de assimilação do meio ambiente. Adicionalmente, tem-se a possibilidade de utilizar o biogás como fonte de energia, aumentando a disponibilidade de recursos energéticos. No caso da suinocultura, o recurso mais afetado é a água, sendo que as firmas são as granjas, e os resíduos, tanto da produção, quanto do consumo, são compostos orgânicos e vegetais. Tal atividade aumenta a quantidade de DBO presente na água, fazendo com que a capacidade de assimilação do ambiente se torne impossível. Por isso, o biodigestor aparece como tecnologia viável não só para reciclar resíduos, como também para produzir biogás e biofertilizante.

3. METODOLOGIA

3.1. MODELO ANALÍTICO

Nessa seção, primeiramente é apresentada uma breve descrição de conceitos fundamentais para análise de projetos, posteriormente, são discutidos os

critérios determinísticos mais utilizados para análise de rentabilidade de um projeto. Tais métodos são classificados dessa forma por se considerar que os valores do fluxo de caixa, pelos quais eles são calculados, são conhecidos com certeza. No entanto, o risco é parte inerente ao investimento, devendo, dessa forma, ser incorporado na análise. No presente estudo, a questão do risco foi tratada por meio da técnica conhecida como análise de sensibilidade, também descrita nessa seção, que é encerrada, apresentando a fazenda utilizada como fonte de dados.

Gido e Clemente (2007), Woiler e Mathias (1996) e Thiry-Cherques (2008), entre outros, propõem várias definições para projeto, sendo que, em síntese, ele pode ser entendido como um modelo que procura incorporar, dentro do possível, todas as informações relevantes para auxiliar a tomada de decisão a respeito de determinada opção de investimento.

Seguindo taxonomia proposta por Woiler e Mathias (1996) para o presente estudo, o projeto de implantação do biodigestor para geração de energia, utilizando como insumo os resíduos suínos da Granja Piglândia – MG, pode ser classificado como agrícola em função do setor econômico, da implantação (aquisição de novos bens de capital) sob o ponto de vista microeconômico e da viabilidade, pois a análise foi feita a nível interno da própria empresa, a fim de testar a viabilidade do projeto em termos de rentabilidade.

Quanto aos indicadores de viabilidade, foram utilizados nesse trabalho os principais existentes, conforme Bordeaux-Rêgo *et al.* (2006), Woiler e Mathias (1996) e Buarque (2008). São eles: período de payback descontado (PPD), valor presente líquido (VPL), índice do valor atual (IVA), taxa interna de retorno (TIR) e índice de lucratividade (IL).

O PPD é o período de tempo necessário, geralmente medido em anos, para que o investimento inicial seja integralmente recuperado pelo lucro líquido acumulado (fluxos de caixa líquidos gerados) do projeto. Sua importância reside no fato de informar o prazo necessário para que o montante de recursos investidos no projeto seja recuperado. A fórmula de cálculo do PPD é dada conforme segue:

$$PPD = t, \text{ tal que } -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} = 0,$$

em que I é o investimento inicial; t, período de tempo; FC_t , fluxo de caixa no período t; e i, a taxa de juros de desconto.

O VPL pode ser definido como o somatório dos saldos do fluxo de caixa, descontada a uma taxa de juros predeterminada. Matematicamente:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t}$$

A decisão de investimento com base no VPL é resumida por Bordeaux-Rêgo et al. (2006) da seguinte forma: $VPL > 0$, o projeto é aceito, sendo rejeitado, caso contrário. Quando o VPL é positivo, tem-se que, na data zero, o valor presente de todos os futuros fluxos de caixa é superior ao investimento inicial, sendo que, dessa forma, o projeto gera acréscimo de riqueza para a empresa. É exatamente essa informação trazida pelo VPL que torna o seu cálculo relevante, em comparação ao resultado obtido pelo critério do PPD. Isso porque, enquanto este leva em conta apenas o período de tempo em que o saldo acumulado se torna positivo, aquele leva em conta todos os fluxos de caixa, permitindo obter uma medida de riqueza adicionada ($VPL > 0$) ou perdida ($VPL < 0$) com o projeto em questão.

Para calcular o IVA, quociente entre o valor atual das entradas (receitas) e o valor absoluto atual das saídas (investimento inicial mais os custos) do fluxo de caixa do projeto analisado, usa-se a fórmula de cálculo dada por:

$$IVA = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+i)^t}}{I + \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}},$$

em que R_t e C_t , são, respectivamente, a receita gerada e os custos incorridos no período t .

O critério de decisão com base no IVA é realizar o projeto quando seu valor for maior do que um e rejeitá-lo, caso contrário. Embora o IVA forneça praticamente a mesma informação que o VPL, Woiler e Mathias (1996) destacam que o fato de ele ser um índice o torna mais intuitivo do que a informação de que o valor atual da empresa tenha variado em certo montante.

Quanto à TIR, ela é definida como a taxa de juros que torna iguais o valor presente das receitas e os desembolsos do projeto, fazendo com que o valor presente líquido desse último seja igual a zero. Matematicamente:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i^*)^t} = 0,$$

em que i^* é a taxa interna de retorno.

Conforme destaca Machado (2002), a TIR isoladamente não fornece decisão importante para o investidor, devendo ser comparada com uma taxa mínima de atratividade, também denominada taxa de desconto. De acordo com Woiler e Mathias (1996), essa última taxa é obtida a partir do custo do capital investido, que pode ser entendido como o custo de oportunidade em termos de juros de aplicação financeira do montante empregado no projeto; o custo de capital de terceiros na forma de em-

préstimos; o custo do capital de risco ou ainda uma média ponderada dos três. Dessa forma, a interpretação da TIR é a seguinte: i) se a empresa se defrontar com custo de capital menor do que a TIR, o VPL é positivo e o projeto deve ser aprovado, pois seu retorno é superior ao custo adotado como referência para o valor do capital investido; ii) caso contrário, ou seja, custo de capital maior do que a TIR, o VPL é negativo e o projeto deve ser rejeitado.

Por fim, o IL é uma medida relativa entre o valor presente dos fluxos de caixa recebidos e o investimento inicial, sendo dado por:

$$IL = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t}}{I}$$

Segundo Bordeaux-Rêgo *et al.* (2006), os resultados do IL podem ser interpretados conforme segue: i) $IL > 1$ significa que, para cada unidade de investimento, o valor presente dos futuros fluxos de caixa recebidos é maior do que 1, de forma que no projeto o primeiro é totalmente recuperado, além de haver aumento de riqueza. Nessa circunstância, o projeto deve ser aprovado, já que tal resultado é equivalente a um VPL positivo; ii) Caso contrário, $IL < 1$, o projeto deve ser abandonado.

Apresentando agora o tratamento desse trabalho em relação ao risco do projeto, discute-se a análise de sensibilidade que, segundo Buarque (2008), permite conhecer de que forma mudanças em cada uma das variáveis do projeto pode influenciar na rentabilidade esperada desse último. A referida técnica tem como objetivo identificar variáveis estratégicas do empreendimento e medir em que magnitude uma alteração prefixada em uma delas, tudo o mais constante, altera o resultado do projeto. No presente estudo, foram escolhidas como variáveis-chave as receitas do empreendimento (energia elétrica e créditos de carbono) e os custos que apresentam maior peso percentual sobre o investimento inicial (para critério de seleção desses custos, optou-se por aqueles que representam participação igual ou superior a 6% do montante investido).

Woiler e Mathias (1996) sugerem que na análise de sensibilidade sejam definidos cenários com base nas variáveis escolhidas a partir de variações positivas ou negativas no valor dessas últimas em 10 pontos percentuais. Nesse sentido, seria possível analisar como a rentabilidade do projeto seria alterada em função de tais mudanças. Como indicadores de rentabilidade, os autores sugerem a utilização da TIR e do VPL, conforme feito no presente estudo. Destaca-se ainda que foi considerado como cenário otimista uma elevação em 10 pontos percentuais na receita ou diminuição nessa mesma magnitude nas variáveis de custo selecionadas. Por outro lado, o cenário pessimista foi traçado supondo queda

de 10 pontos percentuais na receita ou aumento idêntico nas variáveis de custo adotadas.

3.2. FONTE DE DADOS E CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

O Sítio Boa Vista, onde está situada a Granja Piglândia, do Sr. José Lúcio dos Santos, está localizado na Zona Rural do município de Coimbra – MG, a 500 metros por estrada de terra vicinal da rodovia Viçosa-Coimbra - km 13,5. A atividade principal é a suinocultura. A fazenda está em atividade desde 1992, com área total da propriedade de 43,92 hectares (ha), distribuídos em 8,79 ha destinados à reserva legal e 17,67 ha de Área de Preservação Permanente, sendo o restante ocupado por vias de acesso à granja e demais instalações, como galpões, fábrica de ração, lagoas e outras. O empreendimento tem galpões com características específicas conforme a fase dos animais, contando ainda com 54 funcionários na suinocultura. A atividade exercida compreende todas as etapas de produção, desde a maternidade até a entrega de suínos nos frigoríficos (classificada como ciclo completo), contando com 15.000 animais. O sistema de tratamento dos efluentes líquidos é composto por um tanque equalizador de resíduos, duas células biodigestoras, duas lagoas anaeróbias e uma lagoa aeróbia (com aeradores mecânicos), escada de aeração, quatro lagoas de maturação e escada de aeração para posterior lançamento em curso d'água (Córrego do Latão). Os dejetos passam por células biodigestoras e permanecem por um período aproximado de 30 dias. Após a geração do gás, o efluente segue para o sistema de lagoas (anaeróbias e de maturação), dimensionadas para uma retenção de aproximadamente 37 dias. Antes, o efluente passa por uma escada de aeração para corrigir os níveis de DBO para aqueles aceitáveis pela legislação ambiental. Com a queima deste gás gerado no biodigestor, reduz-se a ação das emissões de efeito estufa, transformando o CH₄ em CO₂, que é menos ativo como agente de efeito estufa. O sistema de tratamento dos dejetos suínos tem também mecanismo de separação dos sólidos com duas peneiras, que é utilizado somente quando há problemas ou na manutenção dos biodigestores.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. INVESTIMENTO INICIAL

Com base nas necessidades da fazenda, o projeto dimensionado demandou investimento inicial, conforme Quadro 1.

O Quadro 1 apresenta 3 subgrupos de custos, que são aqueles com o biodigestor, com o conjunto gerador e com a validação das RCEs. O primeiro refere-se aos custos para implantação do biodigestor, aplicado para o tratamento de dejetos, geração e queima do biogás. Já o segundo subgrupo refere-se aos materiais e sistemas integrados para a geração de

eletricidade através do biogás gerado. O terceiro grupo condiz com os gastos para a geração e certificação dos créditos de carbono.

Quadro 1 – Investimento inicial por itens do projeto em estudo, 2011

Investimento do projeto	Preço	Quant	Total	%
Biodigestor tubular 50X15 (vinimanta 1mm)	48250	2	96500	0,17
Diária instalação	750	14	10500	0,02
Manta geotextil (m2)	4,5	1600	7200	0,01
Lagoa aeróbia (vinimanta 0,80 mm) (8 um.)	9375	8	75000	0,13
Válvula de alívio (un.)	250	4	1000	0,00
Flange 6 polegada (um.)	48	16	768	0,00
Caixa de alvenaria (um.)	5000	2	10000	0,02
Tubulação flexível 2 polegadas (un.)	10	80	800	0,00
Frete do material	3	700	2100	0,00
Medidor biogás (un.)	14000	1	14000	0,03
Flare (un.)	9500	1	9500	0,02
Motor bomba (un.)	3556	3	10668	0,02
Caixa d'água (un.)	12000	1	12000	0,02
Manômetro (un.)	256	1	256	0,00
Caixas de filtro (un.)	300	3	900	0,00
Mão de obra auxiliar (un.)	45	8	360	0,00
Terraplanagem (hora)	130	80	10400	0,02
Aluguel escavadeira (hora)	80	112	8960	0,02
Aluguel caminhão (hora)	90	68	6120	0,01
Subtotal (investimento biodigestor)			277032	0,50
Conjunto aerador 5 cv alta rotação (un.)	6.000	6	36000	0,06
Motor gerador de energia mecânica (un.)	5236	1	5236	0,01
Motor gerador de energia elétrica à biogás (un.)	44340	1	44340	0,08
Compressor (un.)	14000	1	14000	0,03
Cimento, areia e pedra (gasto total)	8974	1	8974	0,02
Quadro de comando (un.)	8348	2	16696	0,03
Analisador de combustão e de emissões de poluentes (un.)	12000	1	12000	0,02
Transformador trifásico (un.)	14500	1	14500	0,03
Sistema de agitação interna (un.)	8500	1	8500	0,02
Sistema de purificação de biogás (un.)	19500	1	19500	0,04
Tubulação PVC (m)	17	150	2550	0,00

Tubo de aço galvanizado não corrosivos (m)	40	50	2000	0,00
Poste de concreto cônico (un.)	670,59	2	1341,18	0,00
Material elétrico (tomadas, fios, interruptores, fusíveis, etc)	1623,53	1	1623,53	0,00
Tijolo maciço cerâmico (un.)	0,39	25000	9750	0,02
Subtotal (investimento conjunto gerador)			197010,71	0,35
Visita ao local do empreendimento	1500	1	1500	0,00
Elaboração do Documento de Concepção do Projeto (DCP)	10000	1	10000	0,02
Validação da Entidade Oficial Designada (EOD)	33000	1	33000	0,07
Monitoramento trimestral ano 2 e ano 3	12000	1	12000	0,02
Verificação anual (EOD)	23000	1	23000	0,04
Subtotal (investimento validação RCE)			79500	0,15
INVESTIMENTO TOTAL DO PROJETO			R\$ 553.542,71	1

Fonte: Dados da pesquisa.

As porcentagens mostradas na última coluna do Quadro 1 foram utilizadas para a definição das variáveis-chave de custo utilizadas na análise de sensibilidade, que foram aquelas destacadas em negrito pelo critério de participação de 6% ou mais no investimento inicial.

Antes de prosseguir com as demais informações do projeto do biodigestor, devem ser observados alguns aspectos. O tempo de vida útil do biodigestor é de aproximadamente 15 anos, após os quais seriam necessários novos investimentos em decorrência do uso e da depreciação dos equipamentos. Outro ponto é que todos os cálculos foram feitos com base no ano comercial (360 dias). A taxa de desconto utilizada nos critérios de viabilidade (7,2297%) foi a poupança acumulada dos meses de junho de 2010 a julho de 2011, obtida na Associação Brasileira de Entidades de Crédito e Poupança - Abecip (2011). Em relação às conversões de moeda utilizadas, as cotações foram obtidas no BCB (2011), utilizando a média de 6 meses, compreendidos entre 09/12/2010 e 09/05/2011. Tais cotações foram utilizadas no cálculo dos custos e dos benefícios do projeto. No primeiro, houve a conversão de R\$ 1,65 por dólar americano das taxas cobradas pelo elaborador do projeto e no segundo, de R\$ 2,28 por euro das RCEs negociadas no mercado europeu.

4.2. ESTIMATIVA DOS CUSTOS OPERACIONAIS

Os custos operacionais foram compostos por cinco tipos para o presente caso. Os dois primeiros são os custos iniciais, que estão presentes desde o início da operação do projeto, sendo o custo de manutenção do biodigestor e motor gerador, Tabela 1, e o custo financeiro referente ao

empréstimo tomado pelo sítio (Tabela 2).

Tabela 1 – Custos anuais de manutenção do biodigestor e conjunto gerador

Custo de manutenção anual	Preço	Quant.	Total
Manutenção biodigestor (semestral)	400	2	800
Manutenção motor, gerador, mão de obra técnica (média mensal)	700	12	8.400
Custo de manutenção total por ano			R\$ 9.200

Fonte: Dados da pesquisa.

O empréstimo adquirido via capital de terceiros foi o valor integral do investimento inicial, a ser quitado em sete anos, utilizando o Sistema de Amortização Constante (SAC). Nesse último, as amortizações são constantes e os juros da linha de financiamento do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) automático são calculados sobre o valor do saldo devedor.

Já os três custos seguintes referem-se à validação dos créditos de carbono, contabilizados no fluxo de caixa a partir do quarto ano⁴, dado que o tempo médio de registro e validação das RCEs é de 3 anos, válidos por 10 anos.

Tabela 2 – Sistema de amortização do empréstimo tomado pelo sítio para financiamento integral do investimento inicial (taxa de juros de 12% ao ano)

Ano	Prestação	Juros	Amortização	Saldo devedor
0	-	-	-	553.542,71
1	145.502,66	66.425,13	79.077,53	474.465,18
2	136.013,35	56.935,82	79.077,53	395.387,65
3	126.524,05	47.446,52	79.077,53	316.310,12
4	117.034,74	37.957,21	79.077,53	237.232,59
5	107.545,44	28.467,91	79.077,53	158.155,06
6	98.056,14	18.978,61	79.077,53	79.077,53
7	88.566,83	9.489,30	79.077,53	-
Total	819.243,21	265.700,50	553.542,71	

Fonte: Dados da pesquisa.

O primeiro desses custos é aquele relacionado à certificação anual

⁴ O mesmo se aplica aos benefícios provenientes das RCEs do projeto.

das RCEs, composto por validação da Entidade Oficial Designada – EOD (R\$30.000), custo do monitoramento trimestral em um ano (R\$6.000) e verificação anual da EOD (R\$23.000), totalizando R\$59.000,00. O segundo diz respeito ao custo da taxa a ser paga pelo formulador do projeto: R\$2.490,00 no primeiro ano e R\$2.973,33 nos demais. Por fim, o terceiro representa o custo ONU, referente à cobrança de 2% dos créditos de carbono gerados anualmente para a ajuda dos países afetados pelas mudanças climáticas.

4.3. ESTIMATIVA DOS BENEFÍCIOS

Os benefícios do projeto estão divididos em duas partes: as receitas dos créditos de carbono e as decorrentes da diminuição dos gastos com energia elétrica.

Conforme Fonseca *et al.* (2009), a produção de 1 m³ de biogás requer 12 kg de dejetos suínos. Portanto, a produção de biogás estimada para o projeto é de 1.057.500 m³ por ano (quantidade anual de esterco da fazenda, 12.690.100 kg, dividida por 12). Brondani (2010) ressalta que a produção de 110 m³ de biogás é igual a um crédito de carbono (RCE), equivalente a uma tonelada de CO₂. Dessa forma, a produção anual calculada é de 9.613,64 toneladas de CO₂. Segundo relatório da empresa Ideacarbon (2010), especializada em mercado de créditos de carbono, estima-se o preço médio da RCE negociada antes de 2013 em 10,04 euros por tonelada. Dessa forma, dada a taxa de câmbio considerada de R\$ 2,28 por euro, tem-se a receita de R\$ 220.104,33 em créditos de carbono por ano⁵.

Passando agora para a diminuição dos gastos decorrentes com energia elétrica, tem-se que 1 m³ de biogás equivale em média a 1,428 kWh (ALMEIDA et al., 2008). Dessa forma, o potencial anual de energia elétrica do projeto é de 1,51 GWh por ano.

De acordo com Souza et al. (2004), para calcular a redução do custo operacional em kWh com o aproveitamento do biogás, é necessário conhecer o custo médio por kWh consumido na rede elétrica e o custo da energia elétrica produzida proveniente do biogás gerado na granja. Essa diferença representa a receita da geração de energia elétrica. Fazendo tal cálculo para o presente projeto, obtém-se o custo de energia elétrica produzida via biogás de aproximadamente R\$ 0,1854 por kWh. Como o custo médio do kWh consumido na rede elétrica pela granja é de R\$ 0,68, a utilização da energia proveniente do biodigestor permite diminuição nos gastos de R\$0,4946 por kWh consumido.

A partir de informações obtidas pelo fabricante do motor gerador de energia elétrica movido a biogás, verificou-se que a produção de energia elétrica por hora é em torno de 76 kWh. Levando em consideração que o

⁵ Os valores da produção anual e da taxa de câmbio apresentados no texto foram arredondados para duas casas decimais e por esse motivo, o valor da receita total de créditos de carbono apresentado não coincide exatamente com a multiplicação direta dos referidos valores.

projeto da Granja Piglândia prevê funcionamento diário do motor gerador de 14 horas, tem-se uma produção de energia elétrica de 383.040 kWh por ano, correspondente à receita (diminuição dos custos operacionais) de R\$189.448,83 (383.040 x 0,4946). O primeiro ano de funcionamento do projeto tem a produção de energia elétrica estimada em 50% do total, por ser um período de adaptação, treinamento e conhecimento do processo produtivo.

4.4. ANÁLISE DE VIABILIDADE

Com base no fluxo de caixa elaborado a partir do investimento inicial, custos operacionais e benefícios (receitas) apresentados e discutidos anteriormente, foram obtidos os indicadores de viabilidade descritos na metodologia.

Iniciando pelo PPD, observa-se que o tempo necessário para recuperar o investimento feito no projeto de implantação do biodigestor para a Granja Piglândia é de 6 anos, 3 meses e 25 dias. Destaca-se que tal prazo pode ser entendido como um ponto de mudança do valor atual, o qual passa a ser positivo após o PPD calculado. Conforme destacam Woiler e Mathias (1996), tal critério de viabilidade deve ser utilizado da seguinte forma: aceitar os projetos cujo tempo de retorno do investimento inicial é menor ou igual a um prazo limite definido pelo investidor. Para o presente estudo, no qual a maior parcela da receita durante 10 anos do projeto (receita com crédito de carbono, equivalente a 53,74% do total) é obtida apenas no ano 4 do projeto, tem-se que o PPD encontrado é razoável.

Quanto ao VPL, o do presente projeto foi de R\$1.203.309,26, indicando que ele acrescenta riqueza para o sítio no referido montante. Destaca-se que o VPL encontrado é significativo, uma vez que representa 2,17 vezes o valor do investimento inicial, indicando elevado potencial de retorno. No mesmo sentido, o IVA foi de 2,60, indicando que, a cada R\$1,00 gasto no projeto somando investimento inicial e despesas operacionais, se obtém de receita R\$2,60.

A TIR encontrada para o projeto foi de 23,50% ao ano, sendo maior que o custo de capital (taxa de 12% ao ano cobrada pelo BNDES em razão do financiamento concedido) e a taxa de desconto considerada (taxa anual de poupança de 7,2297%), entendida como o custo de oportunidade em termos de juros da aplicação financeira do montante investido no projeto. Dessa forma, a rentabilidade do projeto em estudo mostra-se adequada em comparação ao custo do capital envolvido, rendendo para o sítio taxa de juros composta de 23,50% ao ano, ao longo do período de vida útil do investimento.

Por fim, o IL obtido foi de 3,17, indicando que, para cada real investido no projeto, obtém-se R\$3,17 em termos de valor presente dos futuros fluxos de caixa. Nesse sentido, o montante despendido pelo sítio no projeto, além de totalmente recuperado, permite acumulação de riqueza.

Dessa forma, observa-se que, por meio de análise determinística do projeto, ele se mostrou altamente viável, já que todos os indicadores utilizados sugerem que a implementação do biodigestor é rentável. Esses resultados vão ao encontro de Oliveira et al. (2011), Martins e Oliveira (2011), Fonseca *et al.* (2009), Cuadros *et al.* (2011), González *et al.* (2013).

4.5. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Nessa seção, foi feita a análise de sensibilidade para o VPL e a TIR do projeto (Quadros 2 e 3). Para cada item, verificou-se o impacto em tais indicadores para seu aumento e sua diminuição em 10 pontos percentuais, tudo o mais no projeto mantido constante. Para auxiliar na interpretação dos resultados, utilizou-se o conceito de elasticidade, que indica a resposta em pontos percentuais do VPL e da TIR para uma alteração em 10 pontos percentuais do item em questão.

Começando pelas variáveis de receita, têm-se as respostas dos indicadores do projeto a alterações em 10 pontos percentuais para cima (cenário otimista) ou para baixo (cenário pessimista) da receita proveniente do gerador elétrico e da receita oriunda dos créditos de carbono.

Quadro 2 – Análise de sensibilidade considerando os itens da receita para o projeto em estudo, 2011

ITEM 1	cenário inicial	cenário otimista	cenário pessimista
Receita gerador elétrico	189.448,83	208.393,71	170.503,95
VPL	1.203.309,26	1.364.548,57	1.042.069,86
TIR	23,50%	25,54%	21,45%
Elasticidade VPL		13,400	23,633
Elasticidade TIR		8,663	16,002
ITEM 2	cenário inicial	cenário otimista	cenário pessimista
Receita crédito de carbono	220.067,67	242.074,44	198.060,90
VPL	1.203.309,26	1.324.669,04	1.081.544,44
TIR	23,50%	24,73%	22,21%
Elasticidade VPL		10,086	18,354
Elasticidade TIR		5,231	10,177

Fonte: Resultados da pesquisa.

Para os dois itens analisados, observou-se a mesma tendência nos resultados, ou seja, a rentabilidade do projeto é mais sensível a alterações negativas nas receitas em comparação a suas mudanças positivas. Dito de outra forma, o VPL e a TIR são mais elásticos a perdas do que a ganhos em termos dos benefícios do projeto. Na comparação entre os dois critérios,

verificou-se que o VPL, em relação à TIR, apresentou maiores mudanças em resposta às variações dos itens de receita da análise de investimento em estudo. Ainda com base nas elasticidades, é importante destacar que elas foram maiores para a receita proveniente do gerador elétrico, indicando que a rentabilidade do projeto é mais sensível a esse benefício do que aquele proveniente dos créditos de carbono.

Discutindo os itens do investimento inicial, que representam 6% ou mais do montante investido, Quadro 3, verificou-se que o projeto é pouco sensível a suas variações, já que todas as elasticidades calculadas a partir de mudanças em 10 pontos percentuais para cima ou para baixo nesses itens foram menores do que -5. Isso significa que tanto reduções (cenário otimista) como aumentos (cenário pessimista) nos valores dos principais itens que compõem o investimento inicial do projeto teriam impacto pequeno na sua rentabilidade. Dito de outra forma, para cada aumento (redução) em 10 pontos percentuais nos referidos itens, o VPL e a TIR de interesse sofreriam redução (aumento) inferior a 5 pontos percentuais.

5. CONCLUSÕES

A importância da conservação do meio ambiente juntamente com a necessidade de manter e ampliar a matriz energética brasileira fazem com que a implantação de biodigestores para a geração de energia elétrica surja como uma análise de investimento a ser considerada. Especificamente para a suinocultura, o biodigestor apresenta vantagens para a empresa na forma de subprodutos como o biogás e o biofertilizante, que poderão ser integrados no processo produtivo, além da possibilidade de gerar créditos de carbono a serem negociados no MBRE. Do ponto de vista ambiental, a importância do biodigestor reside no tratamento dos dejetos animais, que, por serem bastante nocivos ao meio ambiente, prejudicam sua capacidade de assimilação. Adicionalmente, tem-se a possibilidade de utilizar o biogás como fonte de energia, aumentando a disponibilidade de recursos energéticos. Dessa forma, conforme o MEM, o referido projeto contribui de forma eficiente para a diminuição dos impactos ambientais causados pela suinocultura, além de possibilitar a geração de energia para a própria atividade ou até mesmo para outros setores econômicos.

Nesse sentido, buscando analisar a viabilidade econômica de tais tipos de projetos, este trabalho realizou um estudo de caso na Granja Piglândia, situada no município de Coimbra (MG).

Utilizando os principais indicadores de viabilidade sugeridos pela literatura, concluiu-se que, para o sítio em questão, o projeto de implantação do biodigestor para geração de energia utilizando como insumo os resíduos suínos da Granja Piglândia, MG, mostrou-se altamente viável. Em relação

aos principais métodos de análise de investimento, VPL e TIR, verificou-se que o primeiro apresentou valor positivo expressivo, cerca de duas vezes o valor do investimento inicial. Já o segundo se mostrou superior ao custo de capital considerado, sendo aproximadamente o dobro da taxa de juros cobrada pelo financiamento do investimento inicial do projeto e o triplo do custo de oportunidade em termos de juros da aplicação em poupança do montante investido.

Para considerar o risco, procedeu-se a uma análise de sensibilidade. Os resultados de tal abordagem apontaram que os indicadores selecionados, VPL e TIR, estiveram acima do mínimo exigido para que o projeto fosse viável. Dessa forma, concluiu-se pela sua aceitabilidade, assim como já havia ocorrido na análise determinística, também em condições de risco.

Quadro 3 – Análise de sensibilidade considerando os itens do investimento inicial que representam 6% ou mais do montante investido para o projeto em estudo, 2011

ITEM 3	cenário inicial	cenário otimista	cenário pessimista
Biodigestor tubular (vinimanta 1 mm)	96.500,00	86.850,00	106.150,00
VPL	1.203.309,26	1.229.231,70	1.177.386,81
TIR	23,50%	24,07%	22,95%
Elasticidade VPL		-2,171	-4,218
Elasticidade TIR		-2,418	-4,639
ITEM 4	cenário inicial	cenário otimista	cenário pessimista
Lagoa aeróbia (vinimanta 0,8 mm)	75.000,00	67.500,00	82.500,00
VPL	1.203.309,26	1.223.456,23	1.183.162,28
TIR	23,50%	23,94%	23,07%
Elasticidade VPL		-1,691	-3,293
Elasticidade TIR		-1,875	-3,624
ITEM 5	cenário inicial	cenário otimista	cenário pessimista
Conjunto aerador	36.000,00	32.400,00	39.600,00
VPL	1.203.309,26	1.219.416,98	1.187.201,53
TIR	23,50%	23,79%	23,21%
Elasticidade VPL		-1,356	-2,642
Elasticidade TIR		-1,248	-2,435
ITEM 6	cenário inicial	cenário otimista	cenário pessimista
Motor gerador biogás	44.340,00	39.906,00	48.774,00
VPL	1.203.309,26	1.223.148,60	1.183.469,01
TIR	23,50%	23,86%	23,14%

Elasticidade VPL		-1,666	-3,244
Elasticidade TIR		-1,537	-2,991
ITEM 7	cenário inicial	cenário otimista	cenário pessimista
Validação entidade oficial	33.000,00	29.700,00	36.300,00
VPL	1.203.309,26	1.210.423,63	1.196.194,89
TIR	23,50%	23,67%	23,33%
Elasticidade VPL		-0,608	-1,176
Elasticidade TIR		-0,730	-1,425

Fonte: Resultados da pesquisa.

Portanto, projetos dessa natureza devem ser incentivados pelas agências e bancos públicos de fomento, pois, além de contribuírem para a preservação do meio ambiente, se bem dimensionados e administrados, podem ser altamente rentáveis para o investidor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABECIP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENTIDADES DE CRÉDITO IMOBILIÁRIO E POUPANÇA. *Caderneta de poupança*. Disponível em: <http://www.abecip.org.br/m22.asp?submenu=sim&cod_pagina=648&cod_pai=430>. Acesso em: jun. 2011.
- ALMEIDA, S. C. A.; FRANÇA, V. C.; JUNIOR, L. M. Estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental de utilização de biodigestores em uma fazenda no Recreio dos Bandeirantes In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ENERGIA NO MEIO RURAL, 7, 2008, Fortaleza, CE. *Anais...* Fortaleza, CE: AGRENER, 2008.
- BCB – BANCO CENTRAL DO BRASIL. *Cotação taxa de câmbio*. Disponível em: <<http://www4.bcb.gov.br/pec/taxas/port/ptaxnpsq.asp?id=txcotacao>>. Acesso em: maio 2011.
- BORDEAUX-RÊGO, R.; PAULO, G. M.; SPRITZER, I. M. P. A.; ZOTES, L. P. *Viabilidade econômico-financeira de projetos*. Rio de Janeiro: FGV, 2006. 161 p.
- BRONDANI, J. C. *Biodigestores e biogás: balanço energético, possibilidades de utilização e mitigação do efeito estufa*. 2010. 119 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.
- BUARQUE, C. *Avaliação econômica de projetos*. São Paulo: Elsevier, 2008. 266 p.
- CALLAN, S. J.; THOMAS, J. M. *Environmental economics and management*. 4. ed. Mason, Ohio: Editora Thomson/ South-Western, 2007. 454 p.

- CUADROS, F.; RODRÍGUEZ, F. L.; CELMA, A. R.; RUBIALES, F.; GONZÁLEZ, A. G. Recycling, reuse and energetic valuation of meat industry wastes in Extremadura (Spain). *Resources, Conservation and Recycling*. v. 55, n. 4, p. 393-399, feb. 2011.
- FONSECA, F. S. T.; ARAÚJO A. R. A.; HENDGES, T. L. Análise de viabilidade econômica de biodigestores na atividade suinícola na cidade de Balsas-MA: um estudo de caso. In: CONGRESSO SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 47, 2009, Porto Alegre, RS. *Anais...* Porto Alegre, RS: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2009.
- GASPAR, R. M. B. L. *Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo - PR*. 2003. 106 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Estratégia Organizacional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- GIDO, J.; CLEMENTE, J. P. *Gestão de projetos*. São Paulo: Thomson Learning, 2007. 451 p.
- GONZÁLEZ, A. G.; CUADROS, F.; CELMA, A. R.; RODRÍGUEZ, F. L. Energy-environmental benefits and economic feasibility of anaerobic co-digestion of Iberian pig slaughterhouse and tomato industry wastes in Extremadura (Spain). *Bioresource Technology*. v. 136, n. 2, p. 109-116, feb. 2013.
- HERRERO, J. M.; CIPRIANO, J. Design methodology for low cost tubular digester. *Bioresource Technology*. v. 108, n. 3, p. 21-27, mar. 2012.
- IDEACARBON. *Ideacarbon PCER Index™ Results*. n. 100, mar. 2010. 2 p.
- MACHADO, J. S. P. *Projetos econômicos: uma abordagem prática de elaboração*. São Paulo: Nobel, 2002. 182 p.
- MAGNO, A. A. *Biodigestão anaeróbia da cama de frango de corte com ou sem separação das frações sólidas e líquidas*. 2009. 160 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias e Veterinárias) – Universidade do Estado de São Paulo, Jaboticabal, 2009.
- MARTINS, F. M.; OLIVEIRA, P. A. V. Análise econômica da geração de energia elétrica a partir do biogás na suinocultura. *Engenharia Agrícola*. v. 31, n. 3, p. 477- 486, maio/jun. 2011.
- MCT – MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. *Status atual das atividades de projeto do MDL no Brasil e no mundo*. Disponível em<http://www.mct.gov.br/upd_blob/0211/211805.pdf>. Acesso em: abr. 2013.
- OLIVEIRA, S. V. W. B.; LEONETI, A. B.; CALDO, G. M. M. OLIVEIRA, M. M. B. Generation of bionergy and biofertilizer in a sustainable rural property. *Biomass and Bioenergy*. v. 35, n. 7, p. 2608-2618, jul. 2011.
- OLIVER, A. P. M.; SOUZA NETO, A. A.; QUADROS, D. G.; VALLADARES, R. E. *Manual de treinamento em biodigestão*. 2. ed. São Paulo: Win-

- rock International Brasil, 2008. 23 p.
- PORTO, G. A. *Viabilidade de implantação de contratos futuros de carbono no Brasil*. 2006. 52 p. Monografia (Bacharelado em Ciências Econômicas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- RIZZONI, L. B.; TOBIAS, A. C. T.; DEL BIANCHI, M.; GARCIA, J. A. Biodigestão anaeróbia no tratamento de dejetos suínos. *Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária*. v. 1, n. 18, jan. 2012.
- RODRIGUES, G. R. *Evolução da produção de carne suína no Brasil. Uma análise estrutural-diferencial*. Viçosa: Minas Gerais 2009. 343 p. Monografia (Bacharelado em Gestão do Agronegócio) – Universidade Federal de Viçosa, 2009.
- SOUZA, S. N. M.; PEREIRA W. C.; NOGUEIRA, C. E. C.; PAVAN, A. A.; SORDI, A. Custo da eletricidade gerada em conjunto motor-gerador utilizando biogás da suinocultura. *Acta Scientiarum Technology*, v. 26, n. 2, p. 127-133, jul./dez. 2004.
- THIRY-CHERQUES, H. R. *Modelagem de projetos*. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2008. 265 p.
- UN – UNITED NATIONS. *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. New York: United Nations, 1998. 20 p.
- VIANCELLI, A.; KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; KICH, J. D.; CANAL, C. W.; COLDEBELLA, A.; ESTEVES, P. A.; BARARDI, C. R. M. Performance of two swine manure treatment systems on chemical composition and on the reduction of pathogens. *Chemosphere*. v. 80, n. 4, p. 1539-1544, jan. 2013.
- WOILER, S.; MATHIAS, W. F. *Projetos: planejamento, análise e elaboração*. São Paulo: Atlas, 1996. 294 p.

Recebido em: 03/05/2013

Aceito em: 15/08/2013