

<https://doi.org/10.31533/pubvet.v13n12a470.1-16>

## Viabilidade econômica na construção e implantação de biodigestor e esterqueira na suinocultura

Esther Ramalho Afonso<sup>1</sup>, Rafael Araujo Nascimento<sup>1\*</sup>, Laya Kannan Silva Alves<sup>1</sup>, Julio Cesar Pascale Palhares<sup>2</sup>, Augusto Hauber Gameiro<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Pós-graduando(a) da Universidade de São Paulo, Departamento de Nutrição e Produção Animal. Pirassununga-SP Brasil.

<sup>2</sup> Pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste. São Carlos-SP Brasil.

<sup>3</sup> Professor da Universidade de São Paulo, Departamento de Nutrição e Produção Animal. Pirassununga-SP Brasil.

\*Autor para correspondência: [rafael.nascimento@usp.br](mailto:rafael.nascimento@usp.br)

**Resumo.** O objetivo deste trabalho foi avaliar os custos de implantação de biodigestor e esterqueira revestidos por geomembrana em PVC ou PEAD, para o armazenamento de dejetos suínos estimados para três escalas de produção de suínos em ciclo completo, representativas para o estado de São Paulo (unidade produtiva de suínos de pequeno porte: 300 matrizes alojadas; unidade produtiva de suínos de médio porte: 650 matrizes alojadas; e unidade produtiva de suínos de grande porte: 1000 matrizes alojadas). Para a construção das simulações, foram utilizados dados da literatura científica e levantamento do custo de itens na região de Campinas, SP. A taxa mínima de atratividade utilizada foi de 10% a.a. e o horizonte temporal de 20 anos. Por meio do fluxo de caixa, foram determinadas a avaliação econômico-financeira, a taxa interna de retorno (TIR), o valor presente líquido (VPL), o *payback* e a taxa de lucratividade para cada situação. A análise econômico-financeira dos sistemas de tratamento de dejetos demonstrou que a implantação de esterqueira é economicamente mais viável para propriedades suínícolas de pequeno porte quando comparada à implantação de biodigestor. No entanto, para unidades produtoras de suínos de médio e grande porte, os resultados demonstram que a implantação de biodigestores é mais economicamente viável, devido à maior produção de dejetos em sistemas de produção maiores, o que proporciona, além da produção de fertilizante, a produção de biogás que pode ser transformado em energia elétrica, gerando maior receita para este sistema de produção. No entanto, se consideramos a valoração dos dejetos suínos com equivalência aos fertilizantes comerciais, até o sistema de armazenamento de dejetos menos economicamente viável torna-se viável por agregar o devido valor ao seu potencial fertilizante.

**Palavras chave:** custo, simulação, sistema de armazenamento de dejetos

## *Economic feasibility in the build and implantation of biodigester and deep pit in pig production*

**Abstract.** The aim of this study was evaluating the build and implantation costs of biodigester and deep pit recovered by PVC or PEAD geomembrane, to store the swine waste and use it to generate extra revenue for the system. Three swine production scale representatives to São Paulo state (small pig production size: 300 housed sows; medium pig production size: 650 housed sows; large pig production size) was simulated to estimate the waste pig production and biogas as well as electric power. To simulation development, were used scientific literature and cost identification of biodigester and deep pit build items from mesoregion of Campinas, SP. The base attractive rate used was 10% a year and the time frame were 20 years. By the cash flow were determinate the internal rate of return (IRR), net present value, payback and the profitability rate to each situation. The economic

analysis of waste management systems demonstrated that deep pit implantation was most cost-effective to small pig production size when compared to biodigester implantation. However, to medium and large pig production size the simulation results showed that biodigester implantation was better due to higher waste production in higher pig production systems. This provided higher fertilizer and biogas production than can be turned in electric power; result in revenue for these production systems. However, if considered the pig manure valuation as equity to commercial fertilizer, until the easiest pig manure storage system become cost-effective due to add its greatness value by your fertilizing potencial.

**Keywords:** cost, simulation, waste management systems

## *Viabilidade econômica em construção e implementação de biodigestores e lagunas de oxidação em la porcicultura*

**Resumen.** El objetivo de este trabajo fue evaluar y comparar el costo de implementación de un sistema biodigestor o laguna oxidativa de geomembrana a base de Policloruro de vinilo (PVC) y polietileno de alta densidad (PEAD), para el almacenamiento de desechos orgánicos generados en tres escalas de producción de porcinos de ciclo completo, en el estado de São Paulo (SP) - Brasil (unidad productiva pequeña: 300 matrices alojadas, unidad productiva mediana: 650 matrices alojadas y unidad productiva grande: 1000 matrices alojadas). En la simulación de cada escenario, fueron empleados datos de revistas científicas y costos de la región de Campinas – SP. La Tasa mínima atractiva de retorno (TMAR) utilizada fue de 10% anual y um horizonte de temporal de 20 años. A través del flujo de caja se realizó el estudio de viabilidade económica y financiera, por medio de la tasa interna de retorno (TIR), valor presente neto (VPN), retorno de capital (payback) y la tasa de rentabilidad para cada uno de los escenarios evaluados. El análisis económico-financiero demostró que la implementación de la laguna de oxidación presento una mayor viabilidade económica, comparado con la implementación del biodigestor en unidades productivas pequeñas; sin embargo, en unidades productivas medianas y grandes los resultados demostraron una mayor viabilidade en la implementación de biodigestores, producto de la generación de mayores cantidades de desechos orgánicos, logrando proporcionar mayor producción de fertilizantes y biogás, pudiendo transformar este último en energía eléctrica, generando mayores ingresos para estos sistemas productivos. No obstante, si consideramos que la valorización de los desechos porcinos es equivalente al valor de los fertilizantes comerciales, incluso el sistema de almacenamiento de estiércol menos economicamente viable se vuelve economicamente viable, al agregar el valor debido a su potencial fertilizante.

**Palabras claves:** almacenamiento de residuos, costo, simulación

### **Introdução**

A intensificação da produção animal é uma das principais responsáveis pela elevação da disponibilidade de nutrientes potencialmente poluidores por meio dos dejetos gerados (Galloway et al., 2004; Liu et al., 2006). Ainda, o grande volume de dejetos suínos, quando destinados de forma desordenada, apresenta alto potencial de impacto ambiental negativo, como deposição irregular de nutrientes inorgânicos e emissões gasosas. Todavia, quando distribuídos de forma ordenada, tem a capacidade de atuar como adubos, devido seu alto poder fertilizante (Talamini & Santos Filho, 2017).

Antes da disposição dos dejetos suínos no solo, faz-se necessária a estabilização da matéria orgânica bem como a redução da carga microbiana dos dejetos. Para tanto, é necessário um período de armazenamento em sistemas de armazenamentos específicos (Giroto & Chiochetta, 2004). Os sistemas de armazenamento e tratamento de dejetos suínos mais comumente encontrados em propriedades produtoras de suínos são esterqueiras e biodigestores (Kunz et al., 2004; Lindemeyer, 2008; Rodrigues et al., 2019). Por um lado, os biodigestores permitem não apenas a utilização dos dejetos como fertilizantes orgânicos, como também uma agregação de valor ao resíduo. Por outro lado, as esterqueiras são uma opção de baixo custo para os produtores, desde que tenham uma área de cultivo suficiente para

utilizar o fertilizante orgânico (Kunz et al., 2005). O custo de implantação de biodigestores e esterqueira são os mais variados possíveis (Calza et al., 2016; Kunz et al., 2004). No entanto, modelos que simulem e confrontem a viabilidade econômica de biodigestores e esterqueiras são escassas. Ainda, para nosso conhecimento, modelos que considerem em suas simulações a inclusão da geração de renda por meio da geração de energia pelos dejetos suínos, são inexistentes.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo simular a viabilidade econômica na construção e implantação de biodigestor e esterqueira para granjas suínas de ciclo completo.

## Material e métodos

### *Estimativa da produção de dejetos de suínos e biogás*

Três escalas de produção distintas foram sugeridas para representar o sistema de produção de suínos de ciclo completo no estado de São Paulo de acordo com a Associação Brasileira dos Criadores de Suínos e o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (ABCS & SEBRAE, 2016). As simulações foram desenvolvidas para unidade suinícola de ciclo completo de pequeno porte, considerando o alojamento de 300 matrizes; médio porte considerando o alojamento de 650 matrizes; e grande porte, considerando o alojamento de 1.000 matrizes.

Para estimar a produção de dejetos nas escalas de produção de suínos mencionadas foram considerados cálculos e volumes de dejetos produzidos nos setores de gestação, maternidade e creche de acordo com Kunz et al. (2005). A produção estimada foi de: 16,2 L/animal/dia para fêmeas em gestação; 27,0 L/animal/dia para a maternidade; 9,0 L/animal/dia para machos reprodutores e; 1,4 L/animal/dia para leitões em creche. Para o setor de recria e terminação, foram considerados os volumes de 1,7 L/animal/dia como sugerido por Palhares et al. (2009). Considerou-se o fluxo de animais nas unidades de produção de acordo com os índices de desempenho zootécnicos propostos por Martins et al. (2012), sendo 2,4 partos/porca/ano; 11,22 suínos terminados/matriz/ano; e razão reprodutor:matriz de 1:20.

Os dados de produção de dejetos resultante foram acrescidos de 20% do volume produzido diariamente, simulando a adição de águas pluviais, manejos produtivos e lodo depositado ao fundo do sistema de armazenamento (Palhares et al., 2009; Segnanfredo & Giroto, 2004). Os dados referentes ao volume de dejetos produzidos nas diferentes escalas de produção encontram-se na [Tabela 1](#).

**Tabela 1.** Volume de dejetos produzido e armazenados<sup>1</sup> em esterqueira e biodigestor nas três escalas de produção propostas<sup>2</sup>

|                                     | Dejetos |
|-------------------------------------|---------|
| 300 matrizes (m <sup>3</sup> /ano)  | 1346,74 |
| 650 matrizes (m <sup>3</sup> /ano)  | 2917,94 |
| 1000 matrizes (m <sup>3</sup> /ano) | 4493,62 |

<sup>1</sup>Produção e armazenamento anual estimados. <sup>2</sup>Considerado três e um esvaziamento por ano para esterqueira e biodigestor, respectivamente.

Para estimar a produção de biogás, utilizou-se o modelo de cálculo proposto por Oliver (2008), em que se considera a produção de 0,075m<sup>3</sup> de biogás para cada kg de dejetos suíno. A partir deste número, obteve-se a quantidade de kWh/ano multiplicando-se o valor encontrado pela constante 5,5 (5,5kWh/m<sup>3</sup>).

$$VB = Vtd_i \times 0,075 \quad (1)$$

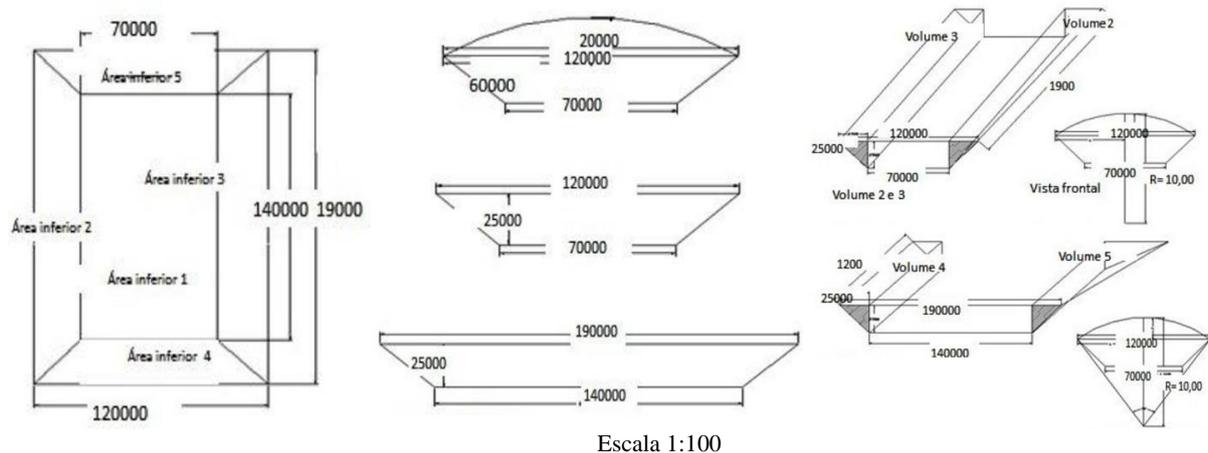
VB: volume de biogás (kg/ano); Vtd: volume total de dejetos na escala *i* (kg);

$$QE_i = VB \times 5,5 \quad (2)$$

Em que QE<sub>*i*</sub> é quantidade de energia gerada (KWh); VB é o volume de biogás (m<sup>3</sup>/ano);

## Cálculos para a construção das estruturas

Foram considerados os investimentos na implantação de dois sistemas de tratamento de dejetos suínos: biodigestor modelo canadense (*plug-flow*) Deganutti et al. (2002) e esterqueira em formato retangular com revestimento em geomembrana em PVC ou PEAD. A [figura 1](#) mostra cortes esquemáticos da implantação do biodigestor.



**Figura 1.** Corte esquemático da construção dos sistemas do tratamento de dejetos suínos para 300 matrizes alojadas

Para o correto dimensionamento da base dos sistemas de tratamento de dejetos, foi considerado a capacidade de produção de dejetos com a utilização da equação sugerida por Kunz et al., (2004)

$$V = VD * Ta * 1,4 \quad (3)$$

Em que,  $VD$  é o volume total de dejetos produzidos ( $m^3/dia$ ); e  $Ta$  é o tempo de tratamento, estimado em 120 dias para esterqueira, tempo preconizado para as regiões Centro-Oeste e Sul do Brasil e 30 dias para biodigestor (Konzen, 2006; Kunz et al., 2004); 1,4: constante referente à profundidade do nível líquido do sistema. Ainda, foram considerados valores de altura de 7 m, profundidade de 2,5 m e base de 12 m para a escala de produção de pequeno porte (300 matrizes), e posteriormente estimou-se o volume total necessário para o armazenamento total do dejetos e a quantidade de geomembrana a serem utilizadas nesta e nas estruturas das demais escalas de produção de suínos (650 e 1000 matrizes).

$$V1 = altura \times profundidade \times Ldfv \quad (4)$$

Em que  $V1$  é volume produzido;  $Ldfv$  é largura definida para a parte inferior.

$$Tal = \frac{2,5 \times 2,5}{2} * \frac{Ldfv + Cfc}{2} \times 2 \quad (5)$$

Em que  $Tal$  é o talude; e  $Cfc$  é o comprimento do fundo da parte inferior da estrutura;

$$V2 = \frac{2,5 \times 2,5}{2} * \frac{base + altura}{2} * 2 \quad (6)$$

$$Vti = V1 + Tal + V2 \quad (7)$$

Em que  $V2$  é volume produzido; e  $Vt$  é o volume total produzido.

A quantidade estimada das geomembranas utilizadas nas estruturas simuladas foram determinadas a partir dos cálculos citados abaixo:

$$Caf = \frac{2 * \alpha * \pi * R}{180} \quad (8)$$

$$MSi = Caf * Cfc \quad (9)$$

$$MI = altura * Ldfv \quad (10)$$

Em que  $MS$  é a geomembrana superior; e  $MI$  é a geomembrana inferior.

### Determinação dos custos de implantação dos sistemas de tratamento

Na Tabela 2 são apresentados os preços dos materiais utilizados bem como os serviços prestados para a implantação de biodigestor e esterqueira. Os itens de custos foram adquiridos com base na literatura científica, websites especializados em construção civil e de acordo com a experiência prévia dos pesquisadores. Os preços dos itens de custo para a construção dos sistemas de tratamento de dejetos foram cotados no mercado da Mesorregião de Campinas/SP.

Os dados de Zanin et al. (2009) para utilização do biogás foram utilizados neste estudo devido a semelhança entre o volume de dejetos proposto pelo estudo em questão e o estimado por este. A

descrição da potência nominal (420 kVa) bem como o custo do conjunto motor-gerador (R\$ 113.550,00) seguiram de acordo com valor proposto por Avaci et al. (2013).

**Tabela 2.** Preço praticado pelos itens para a implantação de biodigestor e esterqueira

| Serviços iniciais   | Biodigestor | Esterqueira |
|---|-------------|-------------|
| Escavação (terraplanagem) (R\$/m <sup>3</sup> )                         | 12,69       | 12,69       |
| Locação da obra (R\$/m <sup>2</sup> )                                   | 16,63       | 16,63       |
| <b>Montagem do biodigestor</b>  |             |             |
| Tubulação da granja ao sistema (R\$/ml)                                 | 288,00      | 288,00      |
| Tubulação da granja para a esterqueira (PVC 50mm)                       | 9,60        | 9,60        |
| Geomembrana PVC 1,00 mm superior (R\$/m <sup>2</sup> )                  | 22,50       | -           |
| Geomembrana PVC 0,80 mm inferior (R\$/m <sup>2</sup> )                  | 19,50       | 19,50       |
| Geomembrana PEAD 1,00 mm superior (R\$/m <sup>2</sup> )                 | 18,00       | -           |
| Geomembrana PEAD 0,80 mm inferior (R\$/m <sup>2</sup> )                 | 14,00       | 14,00       |
| <b>Casa de máquinas</b>   |             |             |
| Alvenaria/madeira (Parede/cobertura) (R\$/m <sup>2</sup> )              | 1.213,00    | -           |
| Porta (R\$/un)  | 95,00       | -           |
| Concreto e piso para as calçadas (15 Mpa) (R\$/m <sup>3</sup> )         | 330,00      | -           |
| Compressor (Soprador de ar)   | 6.000,00    | -           |
| Caixa d'água 150 L (R\$/un)   | 150,00      | -           |
| Registro 50 mm (R\$/un)   | 33,70       | -           |
| Tubulação PVC 50 mm (R\$)   | 9,60        | -           |
| Estrutura complementar de armazenagem dos dejetos (R\$/m <sup>3</sup> ) | 10,45       | -           |
| Conjunto limpeza biogás (un)*   | 24,820      | -           |
| Conjunto secador biogás (n/d) *   | 38,960      | -           |
| Rede de alta tensão (n/d) *   | 9,600       | -           |
| Acessório de controle (n/d) *   | 28,716      | -           |
| Quadro de comando (un)*   | 12,400      | -           |
| Conjunto motor-gerador (420 kVa)  | 113.550     | -           |

<sup>1</sup>Preços praticados no varejo da Mesorregião de Campinas/SP para os meses de janeiro a dezembro de 2013. \*Dados referentes a levantamento de literatura científica.

Para a análise econômico-financeira do empreendimento foram consideradas taxa de juros de 10% a.a. e período de vida útil das estruturas de 20 anos. A avaliação econômico-financeira do empreendimento se iniciou com a construção do fluxo de caixa descontado tomando como entradas e saídas apenas os agentes que tangem o sistema de armazenamento e tratamento de dejetos, como um centro de custos independente às possíveis demais instalações de uma granja produtora de suínos (e.g. galpões, escritórios etc). Dessa forma, entradas e saídas decorrentes de e.g. venda de animais, compra de insumos, depreciação de instalações adjacentes e maquinários, dentre outros, não foram considerados na construção do fluxo de caixa descontado e, portanto, não influenciaram as simulações propostas.

Para a simulação com preço fixo de venda do fertilizante, foram consideradas como entradas no fluxo de caixa a receita da venda anual do dejetos suíno como fertilizante, tanto para a esterqueira quanto para o biodigestor. Para tanto, considerou-se o valor de venda dos dejetos praticado a R\$ 25,00/m<sup>3</sup> como fertilizante para ambos os sistemas de tratamento de dejetos (Diniz Filho et al., 2007; Kiehl, 2004). Para a simulação com valoração dos dejetos suínos, foram consideradas como entradas no fluxo de caixa a receita com a venda anual do dejetos suíno, sendo seu potencial fertilizante considerado a partir de sua composição química e em equivalência aos adubos comerciais (ureia: 45% de N; superfosfato simples: 18% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; e cloreto de potássio: 60% de K<sub>2</sub>O).

Considerou-se nível de N: 7,92%; P: 0,10%; K: 0,48% contidos nos dejetos. Ainda, considerou-se valor de R\$ 1,90, R\$ 1,41 e R\$ 1,90 por kg de fertilizante comercial para ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente, referentes ao valor praticado no mercado para o ano de 2017. Os volumes dos dejetos, utilizados na simulação estão descritos na Tabela 1 (Rasmussen et al., 2011).

Para estimar o valor dos dejetos, considerou-se o potencial fertilizante para cada elemento de interesse nele contido ( $VLR_m$ ; N, P e K) sendo a valoração do potencial fertilizante total ( $VLT$ ) a soma dos valores de cada elemento em cada escala de produção, sendo o valor expresso em R\$ por ano.

$$VLR_m = \left( \frac{QD * MP_m}{\alpha_{mf}} \right) * PF_f \quad (11)$$

$$VLT = \sum_m \left( \frac{QD * MP_m}{\alpha_{mf}} \right) * PF_f \quad (11)$$

Em que  $QD$  é a quantidade ou volume de dejetos produzidos pelos animais;  $MP_m$  é a composição percentual do elemento  $m$  contido nos dejetos;  $\alpha_{mf}$  é o coeficiente técnico que representa o percentual do elemento de interesse na composição do fertilizante comercial  $f$ ; e  $PF_f$  é o preço de mercado do fertilizante comercial  $f$ .

Para o sistema de tratamento composto por biodigestor, considerou-se também a venda da energia excedente em (kWh/ano). Para tanto, foi adotada a tarifa de R\$ 0,42/KWh, na modalidade tarifária convencional, categoria B2 Rural, praticado pela Elektro na mesorregião de Campinas, São Paulo. O consumo de energia em kWh foi estimado a partir de uma granja comercial de suínos em ciclo completo com 3.700 matrizes alojadas, para o mês de fevereiro de 2019, estimado em 13,0 kWh/matriz. Para esta estimativa foram considerados apenas os consumos de energia referentes aos galpões de produção de matrizes suínas em gestação e maternidade, bem como as instalações de creche, crescimento e terminação, desconsiderando instalações adjacentes como fábricas de ração, escritórios, etc.

O excedente de energia gerada foi estimado a partir do modelo proposto abaixo:

$$Ex = (QE - (NA * Kwh/A)) * 0,42 \quad (12)$$

Em que  $Ex$  é a energia excedente;  $QE$  é a quantidade de energia gerada (KWh/mês);  $NA$  é o número de animais (matrizes);  $Kwh/A$  é o consumo de energia/fêmea (KWh/animal/mês); 0,42 é a tarifa adotada (R\$/KWh) para a modalidade tarifária convencional, categoria B2 Rural, praticado pela Elektro na mesorregião de Campinas, São Paulo.

Já como saídas no fluxo de caixa, foram considerados os custos oriundos das taxas de manutenção e operação anuais dos dois sistemas. Para tanto, foram consideradas taxa de manutenção e operação anual de 1,5% do valor do investimento para a esterqueira; e taxa de manutenção e operação anual de 2,5% do valor do investimento para o biodigestor. O custo de manutenção anual do conjunto motor-gerador foi estimado em 12,7% do valor do motor-gerador (Calza et al., 2016; Martins & Oliveira, 2011). Nas simulações, foi considerado a geração autossuficiente das granjas com biodigestor com a venda do excedente. Para o sistema de armazenamento de dejetos composto por esterqueira foi incluso como saídas do fluxo de caixa gastos referentes ao pagamento de energia elétrica (13kWh/matriz/mês).

### Índices econômico-financeiros do investimento

A partir do fluxo de caixa descontado, foram estimados o *payback* financeiro, valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR) descontada bem como na perpetuidade, além da taxa de lucratividade do empreendimento. O *payback* descontado é o período de tempo necessário para recuperar o capital investido em determinado empreendimento (Gitman, 1997). Neste ponto, estima-se o tempo de retorno do investimento que por meio da geração de benefícios, foi capaz de cobrir os custos a uma taxa mínima de atratividade, retornando com o valor inicial ao investidor, sendo este método complementar à TIR e ao VPL (Sviech & Mantovani, 2013).

A TIR representa a rentabilidade interna de um projeto, obtida por meio do desconto do fluxo de caixa, observados no período de análise e que anule o valor do investimento inicial (Sviech & Mantovani, 2013). Esta pode, ainda, ser apresentada como taxa de retorno do investimento ao investidor. Ou seja, se a TIR é maior que a taxa mínima de atratividade empregada na simulação, é indicativo de rentabilidade positiva; do contrário, descarta-se o investimento.

A TIR é dada pela seguinte fórmula:

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(I+r)^t} - I \quad (12)$$

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(I+r)^t} - I \quad (12.1)$$

$$I = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(I+r)^t} \quad (12.2)$$

Em que  $I$  é o investimento inicial;  $FC_t$  é o fluxo de caixa líquido na data  $t$ ;  $r$  é o custo de capital.

Conceitualmente, o VPL é considerado como a soma algébrica de fluxos de caixa, trazidos para o tempo presente, descontados a uma taxa de juros  $i$  (Sviech & Mantovani, 2013). O VPL resultante pode ser tanto maior, quanto menor ao valor do investimento inicial, sendo este o critério de decisão para aceitar ou rejeitar o investimento em um dado empreendimento. Ou seja, quando maior ao investimento inicial, é indicativo de resultados positivos para o investimento, e o contrário, indicando resultados negativos, ou rejeição do projeto.

O VPL foi dado por:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(I+r)^t} \quad (13)$$

Em que  $I$  é o investimento inicial;  $FC_t$  é o fluxo de caixa líquido na data  $t$ ;  $r$  é o custo de capital; e  $VR$  é o valor residual do projeto ao final do período de análise.

De acordo com Damodaran (2007) devido a imprevisibilidades pertinentes ao horizonte de tempo, não é possível estimar fluxos de caixa pela eternidade. Em geral, finaliza-se a avaliação com um fluxo de caixa descontado, encerrado em algum momento no tempo, e calcula-se o valor terminal referindo a um possível valor daquela empresa no ponto determinado. Uma das formas de se calcular este valor terminal para empreendimentos que tendem a continuar infinitamente no mercado é por meio do cálculo dos fluxos de caixa futuros da perpetuidade, trazidos a valores presentes. Por meio da avaliação do VPL na perpetuidade, podemos estimar o valor terminal dos sistemas de tratamento, imaginando sua permanência no sistema de produção de suínos.

O fluxo de caixa na perpetuidade foi definido a partir do oitavo ano devido à incerteza dos anos consecutivos. O VPL na perpetuidade (VPLp) foi calculado considerando a ausência de crescimento de sua lucratividade, sendo projetada por meio da equação sugerida por Assaf Neto (2003), descrita abaixo:

$$VPL^2 = \frac{FC1}{K} \quad (14)$$

Em que  $FC1$  é o fluxo de caixa para a perpetuidade;  $K$  é a taxa de desconto aplicada ao fluxo de caixa (% a.a.);  $g$  é a taxa de crescimento constante.

A taxa de lucratividade (TL) foi definida por meio do cálculo abaixo:

$$TL = \frac{VPL^2_i - In_i}{In_i} \quad (15)$$

Em que  $In$  é o valor investido para a construção do sistema de tratamento de dejetos  $i$ ;  $VPL^2$  é o valor presente líquido na perpetuidade do tratamento  $i$ .

A TIR é tida como uma referência a ser utilizado para validar ou não um projeto. Assim, a TIR é uma taxa que torna nulo o valor do VPL.

### Custos com a produção de biogás e energia elétrica

O custo com geração do biogás (R\$/m<sup>3</sup>) e o custo com a geração da energia elétrica (R\$/kWh) foram determinados pelo modelo de cálculo proposto por Fonseca et al. (2009) e Avaci et al. (2013):

$$C_e = \frac{CAG + CAB}{PE} \quad (16)$$

Em que  $C_e$  é o custo de energia elétrica produzida via biogás (R\$/kWh);  $CAG$  é o custo anualizado do investimento no conjunto motor-gerador (R\$/ano);  $CAB$  é o gasto anual com biogás, (R\$/ano);  $PE$  é a produção de eletricidade pela planta de biogás (kWh/ano);

$$CAG = CIG * FRC + \frac{CIG * OM}{100} \quad (17)$$

Em que  $CIG$  é o custo do investimento no motor-gerador (R\$);  $OM$  é o custo com organização e manutenção, (%/ano);  $FRC$  é o fator de recuperação de capital;

$$CAB = CB * CNB \quad (18)$$

Em que  $CB$  é o custo do biogás (R\$/m<sup>3</sup>);  $CNB$  é o consumo de biogás pelo conjunto motor-gerador (m<sup>3</sup>/ano);

$$PE = Pot * T \quad (19)$$

Em que  $Pot$  é a potência nominal da planta (kW);  $T$  é a disponibilidade anual da planta, (h/ano);

$$FRC = \frac{j * (1 + j)^n}{(1 + j)^{n-1} - 1} \quad (20)$$

Em que  $j$  é a taxa de desconto, (% / ano);  $n$  é a taxa de desconto (% / ano);

$$CB = \frac{CAB}{PAB} \quad (21)$$

Em que  $CAB$  é o custo anualizado do investimento no biodigestor (R\$/ano);  $PAB$  é a produção anual de biogás (m<sup>3</sup>/ano)

$$CAB = CIB * FRC + \frac{CIB * OM}{100} - CC \quad (22)$$

Em que  $CAB$  é o custo anualizado do investimento no biodigestor (R\$/ano);  $CIB$  é o custo de investimento no biodigestor (R\$);  $FRC$  é o fator de recuperação de capital;  $OM$  é o custo com organização e manutenção, (%/ano);  $CC$  Ganho com venda de energia (R\$/ano).

## Resultados e discussão

### *Custo de implantação do biodigestor e esterqueira*

Os sistemas de tratamento de dejetos que utilizaram geomembrana em PVC apresentaram maior custo de implantação quando comparado aos sistemas de tratamento recobertos por geomembrana de PEAD devido ao maior custo de aquisição da geomembrana em PVC quando comparada à geomembrana de PEAD na região em que os itens foram cotados (Tabela 3).

A tabela 3 mostra a estratificação dos custos de acordo com o sistema de armazenamento e tratamento de dejetos bem como a escala de produção.

O custo de implantação dos sistemas de tratamento de dejetos variou de acordo com o as escalas de produção dos animais. À medida que se aumenta o número de animais, tem-se maior volume de dejetos produzidos, se necessitando de maior estrutura de armazenamento e tratamento dos dejetos.

Para todas as escala de produção, o custo de implantação do biodigestor apresentou-se maior quando comparado ao custo de implantação da esterqueira, variando em 84,7% quando revestido em geomembrana em PVC e 85,4% quando revestido em geomembrana de PEAD na menor escala de produção (300 matrizes); 68,5 e 70,7% para escala de produção média (650 matrizes); e 54,5 e 57,6% para propriedades de grande porte (1.000 matrizes). Como esperado, este maior valor apresentado na implantação do biodigestor se deve aos custos adicionais aos serviços de escavação, locação de obra e geomembranas, comuns aos dois sistemas de tratamento e armazenamento, empregado para converter o biogás em eletricidade. Nesta simulação, 94% do valor total para a implantação do biodigestor representaram os custos com estes serviços e equipamentos adicionais em propriedades de pequeno porte. Já para propriedades de médio e grande porte, estes custos representaram 88 e 90%; 83 e 85% dos custos totais de implantação, de acordo com os revestimentos em PVC e PEAD, respectivamente.

Com o aumento na escala de produção, os custos com a implantação do biodigestor apresentaram redução quando comparados ao custo de implantação da esterqueira. É fato que o maior custo em todas as escalas de produção é devido ao custo com os itens necessários para o aproveitamento do biogás. De forma geral, os custos fixos de implantação são mantidos em ambas as escalas de produção.

**Tabela 3.** Custo total de implantação de dois sistemas de tratamento de dejetos suínos (esterqueira e biodigestor) de acordo com o material de revestimento (PVC e PEAD) em três escalas de produção de suínos (300, 650 e 1000 matrizes)

| Serviços iniciais                         | 300 matrizes |            |             |           |             |            | 650 matrizes |           |             |            |             |            | 1000 matrizes |            |             |           |  |  |
|---|--------------|------------|-------------|-----------|-------------|------------|--------------|-----------|-------------|------------|-------------|------------|---------------|------------|-------------|-----------|--|--|
|   | Biodigestor  |            | Esterqueira |           | Biodigestor |            | Esterqueira  |           | Biodigestor |            | Esterqueira |            | Biodigestor   |            | Esterqueira |           |  |  |
|   | PVC          | PEAD       | PVC         | PEAD      | PVC         | PEAD       | PVC          | PEAD      | PVC         | PEAD       | PVC         | PEAD       | PVC           | PEAD       | PVC         | PEAD      |  |  |
| Escavação (terraplanagem)                 | 6,579.70     | 6,579.70   | 28,711.43   | 28,711.43 | 14,256.02   | 14,256.02  | 62,208.10    | 62,208.10 | 21,954.98   | 21,954.98  | 21,954.98   | 21,954.98  | 95,800.47     | 95,800.47  | 95,800.47   | 95,800.47 |  |  |
| Locação da obra                           | 1,663.00     | 1,663.00   | 1,663.00    | 1,663.00  | 1,663.00    | 1,663.00   | 1,663.00     | 1,663.00  | 1,663.00    | 1,663.00   | 1,663.00    | 1,663.00   | 1,663.00      | 1,663.00   | 1,663.00    | 1,663.00  |  |  |
| Montagem do biodigestor                   |              |            |             |           |             |            |              |           |             |            |             |            |               |            |             |           |  |  |
| Tubulação da granja ao biodigestor        | 288.00       | 288.00     | -           | -         | 288.00      | 288.00     | -            | -         | 288.00      | 288.00     | -           | -          | 288.00        | 288.00     | -           | -         |  |  |
| Tubulação da granja para a esterqueira    | -            | -          | 288.00      | 288.00    | -           | -          | 288.00       | 288.00    | -           | -          | 288.00      | 288.00     | -             | -          | 288.00      | 288.00    |  |  |
| Geomembrana PVC 1,00 mm superior          | 5,501.93     | -          | -           | -         | 12,451.73   | -          | -            | -         | -           | 17,084.93  | -           | -          | -             | -          | 30,264.50   | -         |  |  |
| Geomembrana PVC 0,80 mm inferior          | 3,178.50     | -          | 12,694.50   | -         | 7,302.75    | -          | 27,421.88    | -         | 9,784.13    | -          | -           | -          | -             | -          | -           | -         |  |  |
| Geomembrana PEAD 1,00 mm superior         | -            | 4,401.54   | -           | -         | -           | 9,034.74   | -            | -         | -           | 13,667.94  | -           | -          | -             | -          | -           | -         |  |  |
| Geomembrana PEAD 0,80 mm inferior         | -            | 2,282.00   | -           | 9,114.00  | -           | 4,595.50   | -            | 19,687.50 | -           | 7,024.50   | -           | -          | 42,154.13     | -          | -           | -         |  |  |
| Casa de máquinas                          |              |            |             |           |             |            |              |           |             |            |             |            |               |            |             |           |  |  |
| Alvenaria/madeira (Parede/cobertura)      | 14,556.00    | 14,556.00  | -           | -         | 14,556.00   | 14,556.00  | -            | -         | 14,556.00   | 14,556.00  | -           | -          | 14,556.00     | 14,556.00  | -           | -         |  |  |
| Porta (R\$/un)                            | 95.00        | 95.00      | -           | -         | 95.00       | 95.00      | -            | -         | 95.00       | 95.00      | -           | -          | 95.00         | 95.00      | -           | -         |  |  |
| Concreto e piso para as calçadas (15 Mpa) | 1,597.27     | 1,597.27   | -           | -         | 1,597.27    | 1,597.27   | -            | -         | 1,597.27    | 1,597.27   | -           | -          | 1,597.27      | 1,597.27   | -           | -         |  |  |
| Compressor (Soprador de ar)               | 6,000.00     | 6,000.00   | -           | -         | 6,000.00    | 6,000.00   | -            | -         | 6,000.00    | 6,000.00   | -           | -          | 6,000.00      | 6,000.00   | -           | -         |  |  |
| Caixa d'água 150 L                        | 150.00       | 150.00     | -           | -         | 150.00      | 150.00     | -            | -         | 150.00      | 150.00     | -           | -          | 150.00        | 150.00     | -           | -         |  |  |
| Registro 50 mm                            | 67.40        | 67.40      | -           | -         | 67.40       | 67.40      | -            | -         | 67.40       | 67.40      | -           | -          | 67.40         | 67.40      | -           | -         |  |  |
| Tubulação PVC 50 mm                       | 288.00       | 288.00     | -           | -         | 288.00      | 288.00     | -            | -         | 288.00      | 288.00     | -           | -          | 288.00        | 288.00     | -           | -         |  |  |
| Estrutura complementar de armazenagem     | 5,807.40     | 5,807.40   | -           | -         | 5,807.40    | 5,807.40   | -            | -         | 5,807.40    | 5,807.40   | -           | -          | 5,807.40      | 5,807.40   | -           | -         |  |  |
| Conjunto limpeza biogás                   | 24,820.00    | 24,820.00  | -           | -         | 24,820.00   | 24,820.00  | -            | -         | 24,820.00   | 24,820.00  | -           | -          | 24,820.00     | 24,820.00  | -           | -         |  |  |
| Conjunto secador biogás                   | 38,960.00    | 38,960.00  | -           | -         | 38,960.00   | 38,960.00  | -            | -         | 38,960.00   | 38,960.00  | -           | -          | 38,960.00     | 38,960.00  | -           | -         |  |  |
| Rede de alta tensão                       | 9,600.00     | 9,600.00   | -           | -         | 9,600.00    | 9,600.00   | -            | -         | 9,600.00    | 9,600.00   | -           | -          | 9,600.00      | 9,600.00   | -           | -         |  |  |
| Acessório de controle                     | 28,716.00    | 28,716.00  | -           | -         | 28,716.00   | 28,716.00  | -            | -         | 28,716.00   | 28,716.00  | -           | -          | 28,716.00     | 28,716.00  | -           | -         |  |  |
| Quadro de comando                         | 12,400.00    | 12,400.00  | -           | -         | 12,400.00   | 12,400.00  | -            | -         | 12,400.00   | 12,400.00  | -           | -          | 12,400.00     | 12,400.00  | -           | -         |  |  |
| Conjunto motor-gerador                    | 113,550.00   | 113,550.00 | -           | -         | 113,550.00  | 113,550.00 | -            | -         | 113,550.00  | 113,550.00 | -           | -          | 113,550.00    | 113,550.00 | -           | -         |  |  |
| Total                                     | 273,818.20   | 271,821.31 | 43,356.93   | 39,776.43 | 292,568.57  | 286,444.33 | 91,580.98    | 83,846.60 | 307,382.11  | 301,205.49 | 139,905.60  | 128,015.97 |               |            |             |           |  |  |

Com o aumento do número de animais, os custos fixos foram diluídos, reduzindo assim o custo total de implantação. No entanto, o aumento na escala de produção não foi suficiente para equiparar os custos de implantação do biodigestor aos custos de implantação da esterqueira devido ao alto custo de investimento em equipamentos para o aproveitamento e conversão do biogás em eletricidade, tidos como custos fixo no modelo. Dessa forma, os custos fixos apresentaram-se maiores na implantação do biodigestor quando comparado à esterqueira.

### Estimativa da produção de biogás e eletricidade

Na [tabela 4](#) apresenta-se a quantidade estimada de produção de biogás (m<sup>3</sup>), bem como a eletricidade (kWh) gerada pelo biogás, de acordo com Oliver (2008), em cada escala de produção.

**Tabela 4.** Estimativa da produção de biogás (m<sup>3</sup>/ano) e energia elétrica (KWh) dos sistemas de tratamento de dejetos suínos (esterqueira e biodigestor) para três escalas de produção de suínos (300, 650 e 1000 matrizes)

| Escala de produção | Biogás**              | Eletricidade | Eletricidade excedente* |
|--------------------|-----------------------|--------------|-------------------------|
|                    | (m <sup>3</sup> /dia) | (kWh/mês)    | (R\$/dia)               |
| 300 matrizes       | 280,57                | 255,79       | 107,43                  |
| 650 matrizes       | 607,90                | 554,20       | 232,76                  |
| 1000 matrizes      | 936,17                | 853,91       | 358,64                  |

\* Valor da tarifa estimada a R\$ 0,42 para o mês de fevereiro de 2019 para a mesorregião de Campinas, de acordo com a Elektro na modalidade tarifária convencional, definida na categoria B2 Rural. \*\*De acordo com modelo de cálculo proposto por Oliver (2008).

Os resultados indicam um excedente na produção de energia que pode vir a se tornar receita para o sistema produtivo. A estimativa sugere que, caso o biogás seja aproveitado e convertido em energia elétrica, este teria o potencial de suprir a demanda de energia elétrica dos sistemas de produção sugeridos e ainda, caso o excedente seja comercializado a taxas de R\$ 0,42 como proposto, ter um incremento mensal na receita nos valores de R\$ 3.222,96, 6.982,87 e 10.759,23 para granjas de pequeno, médio e grande porte, respectivamente. Por sua vez, este incremento poderia ser empregado na amortização do maior investimento na implantação do biodigestor e, posteriormente, em benfeitorias na propriedade. Com o aumento da escala de produção animal, tem-se maior produção de dejetos e, conseqüentemente, maior produção de biogás e potencial de geração de energia elétrica. Dessa forma, tem-se a possibilidade de aumentar os ganhos econômicos em decorrência à geração de biogás a partir dos aumentos no número de matrizes alojadas, uma vez que os custos com os investimentos na produção de energia são fixos, ou seja, independe ao número de animais, volume de dejetos ou biogás produzidos.

### Custo do biogás e geração de energia elétrica

A simulação demonstra que o biogás gerado a partir dos sistemas de produção seria capaz de produzir energia elétrica por 5, 11 e 18 horas diárias, para granjas de pequeno, médio e grande porte, respectivamente ([Tabela 5](#)). Para gerar energia por 24 horas, seriam necessários 438.000m<sup>3</sup>/ano de biogás, o que só seria possível com 1.300 matrizes alojadas no sistema de produção.

**Tabela 5.** Estimativa de custo de energia elétrica produzida via biogás (R\$/kWh) em função da quantidade de horas de funcionamento do motor-gerador e estimativa de produção em 24 horas

| Escala de produção | Biodigestor com revestimento | Horas de funcionamento |      |       |       |
|--------------------|------------------------------|------------------------|------|-------|-------|
|                    |                              | 5                      | 11   | 18    | 24*   |
| 300 matrizes       | Biodigestor + PVC            | 8,65                   | -    | -     | 41,41 |
|                    | Biodigestor + PEAD           | 8,54                   | -    | -     | 40,88 |
| 650 matrizes       | Biodigestor + PVC            | 4,32                   | 9,47 | -     | 20,62 |
|                    | Biodigestor + PEAD           | 4,21                   | 9,24 | -     | 20,12 |
| 1.000 matrizes     | Biodigestor + PVC            | 3,02                   | 6,61 | 10,79 | 14,38 |
|                    | Biodigestor + PEAD           | 2,91                   | 6,38 | 10,43 | 13,89 |

Ausência de produção de energia na escala de produção na quantidade de horas exigidas; B+PVC: Biodigestor com revestimento em geomembrana de PVC; B+PEAD: Biodigestor com revestimento em geomembrana de PEAD; \*valor estimado para o custo de produção de energia elétrica a partir do biogás;

O custo estimado com a geração do biogás por matriz para granjas de pequeno, médio e grande porte, respectivamente é apresentado na [Tabela 6](#).

**Tabela 6.** Estimativa de custo do biogás (R\$/m<sup>3</sup>)

| Biodigestor com revestimento | Escala de produção |              |               |
|------------------------------|--------------------|--------------|---------------|
|                              | 300 matrizes       | 650 matrizes | 1000 matrizes |
| Biodigestor + PVC            | 62,90              | 31,30        | 21,82         |
| Biodigestor + PEAD           | 62,10              | 30,55        | 21,08         |

B+PVC: Biodigestor com revestimento em geomembrana de PVC; B+PEAD: Biodigestor com revestimento em geomembrana de PEAD

A partir das horas 5, 11 e 18 para granjas de pequeno, médio e grande porte, respectivamente, em que o volume de biogás produzido por cada escala de produção é capaz de atender ao consumo de biogás descrito para o conjunto motor-gerador, o custo da geração da energia elétrica é de 0,30, 0,02 e 0,01 por matriz. Apesar dos custos por kWh de energia elétrica gerada a partir de o biogás ser crescentes de acordo com o aumento na escala de produção de suínos, o custo da geração de energia elétrica por matriz reflete o contrário. Este é reduzido com o aumento na escala de produção. Fonseca et al. (2009) encontraram custo do biogás de R\$ 1,03/matriz em um sistema de produção de suínos com 26 matrizes. Tal fato possivelmente é decorrente do baixo número de animais presentes no sistema de produção estudado pelos autores. Isso reforça que a opção por esta tecnologia de tratamento deverá considerar a realidade produtiva de cada sistema de produção. Se o motor-gerador trabalhasse em pleno funcionamento, ou seja, em 24 horas por dia, haveria redução dos custos da geração de energia elétrica gerada a partir do biogás, o que refletiria em um custo/matriz de R\$ 0,14, 0,03 e 0,01 para granjas de pequeno, médio e grande porte, respectivamente, independente ao tipo de geomembrana de revestimento. Fonseca et al. (2009) observaram custo de R\$ 0,02/matriz para energia elétrica gerada a partir de biogás com motor-gerador em funcionamento por três horas diárias. Valor semelhante ao encontrado por Calza et al. (2016) em que observaram custo de geração de energia elétrica a partir do biogás de dejetos suínos de R\$ 0,02/kWh para 100 animais alojados. Ainda, os autores observaram ganho em escala de produção com a redução do custo da geração da energia elétrica.

O aumento na escala de produção demonstrou redução dos custos com a geração de energia elétrica a partir do biogás, em que, os menores valores foram apresentados por granjas de grande porte (1.000 matrizes). Com isso, a utilização do biogás na geração de energia elétrica é uma opção, devendo considerar o ganho de escala evidenciado pela redução dos custos com a geração de energia elétrica devido à diluição dos custos fixos para a geração de energia.

### **Análise econômico-financeira dos investimentos**

A [Tabela 7](#) mostra a análise econômico-financeira do empreendimento em um horizonte temporal de 20 anos.

Os resultados encontrados para o VPL na perpetuidade correspondem à projeção de um provável rendimento do capital de investimento, empregado na construção dos sistemas de tratamentos, a uma taxa mínima de atratividade de 10% a.a. No entanto, pelo conceito, o VPL na perpetuidade é aplicado à empreendimentos que não se conhece ao certo a data de encerramento ou que não espere que este chegue a um fim, ou seja, empreendimentos “infinitos”. No entanto, sabe-se que a vida útil de um biodigestor é de 20 anos, tornando-o um empreendimento “finito”. Dessa forma, os autores acreditam que o maior enfoque para esta atividade deve se dar ao VPL descontado.

Neste estudo, quando consideramos os resultados do VPL descontado para as simulações em que os dejetos foram vendidos a preços fixos, podemos observar que ambos os projetos apresentaram retorno positivos para o valor investido. Somado a isso e considerando os resultados apresentados pela TIR, observamos que todos os resultados apresentaram valor maior que a taxa mínima de atratividade utilizada para as simulações (10% a.a.). Logo, podemos afirmar que todos os sistemas de tratamento de dejetos são economicamente viáveis, independente ao tipo de revestimento.

**Tabela 7.** Análise econômico-financeira (payback financeiro, TIR, VPL e TL) na perpetuidade da implantação de dois sistemas de tratamento de dejetos suínos (esterqueira e biodigestor) de acordo com o material de revestimento, analisado no horizonte temporal de 20 anos e na perpetuidade\*

|                           | Preço de comercialização fixo <sup>†</sup> |              |              |              | Valoração econômica dos dejetos suínos** |               |               |               |               |
|---------------------------|--|--------------|--------------|--------------|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                           | Esterqueira                                |              | Biodigestor  |              | Biodigestor                              |               | Esterqueira   |               |               |
|                           | 300 matrizes                               | PVC          | PEAD         | PVC          | PEAD                                     | PVC           | PEAD          | PVC           | PEAD          |
| TIR (%)                   |  | 30           | 33           | 16           | 16                                       | 107           | 108           | 588           | 641           |
| VPL (R\$)                 |  | 69.419,73    | 90.116,93    | 321.661,41   | 309.662,29                               | 5.196.301,41  | 5.208.300,53  | 5.587.382,56  | 5.608.079,76  |
| TL (R\$:R\$)              |  | 0,60         | 1,27         | -2,17        | -2,14                                    | 17,98         | 18,16         | 127,87        | 139,99        |
| TIR <sub>p</sub> (%)      |  | 36           | 40           | 14           | 15                                       | 112           | 112           | 588           | 641           |
| VPL <sub>p</sub> (R\$)    |  | 355.329,31   | 394.875,19   | 262.924,13   | 286.168,04                               | 14.645.456,82 | 14.668.700,74 | 14.737.862,00 | 14.777.407,88 |
| TL <sub>p</sub> (R\$:R\$) |  | 7,20         | 8,93         | -0,04        | 0,05                                     | 52,49         | 52,96         | 338,92        | 370,51        |
| Payback descontado (anos) |  | 3            | 2            | 5            | 5  | 1             | 1             | 1             | 1             |
| 650 matrizes              |  |              |              |              |  |               |               |               |               |
| TIR (%)                   |  | 31           | 34           | 46           | 47                                       | 227           | 230           | 603           | 659           |
| VPL (R\$)                 |  | 164.047,86   | 208.756,64   | 1.505.720,95 | 1.530.141,62                             | 13.461.320,51 | 13.485.741,18 | 12.119.647,42 | 12.164.356,20 |
| TL (R\$:R\$)              |  | 0,79         | 1,49         | 4,18         | 4,34                                     | 45,34         | 46,08         | 131,34        | 144,08        |
| TIR <sub>p</sub> (%)      |  | 37           | 41           | 55           | 55                                       | 227           | 231           | 603           | 659           |
| VPL <sub>p</sub> (R\$)    |  | 795.940,30   | 881.364,79   | 5.093.114,04 | 5.140.420,16                             | 36.255.303,22 | 36.302.609,35 | 31.958.129,49 | 32.043.553,98 |
| TL <sub>p</sub> (R\$:R\$) |  | 7,69         | 9,51         | 16,53        | 16,95                                    | 123,80        | 125,74        | 347,96        | 381,17        |
| Payback descontado (anos) |  | 3            | 2            | 2            | 2  | 1             | 1             | 1             | 1             |
| 1000 matrizes             |  |              |              |              |  |               |               |               |               |
| TIR (%)                   |  | 31           | 35           | 71           | 73                                       | 334           | 341           | 608           | 666           |
| VPL (R\$)                 |  | 260.652,60   | 331.045,80   | 3.339.073,98 | 3.376.188,82                             | 21.750.666,12 | 21.787.780,96 | 18.672.244,74 | 18.742.637,94 |
| TL (R\$:R\$)              |  | 0,86         | 1,59         | 9,86         | 10,21                                    | 69,76         | 71,34         | 132,46        | 145,74        |
| TIR <sub>p</sub> (%)      |  | 38           | 42           | 79           | 80                                       | 334           | 341           | 608           | 666           |
| VPL <sub>p</sub> (R\$)    |  | 1.242.107,91 | 1.376.607,29 | 9.939.601,70 | 10.011.498,14                            | 57.929.291,77 | 58.001.188,22 | 49.231.797,99 | 49.366.297,36 |
| TL <sub>p</sub> (R\$:R\$) |  | 7,88         | 9,78         | 31,34        | 32,24                                    | 187,46        | 191,56        | 350,89        | 385,50        |
| Payback descontado (anos) |  | 3            | 2            | 1            | 1  | 1             | 1             | 1             | 1             |

TIR: taxa interna de retorno; VPL: valor presente líquido; TL: taxa de lucratividade; VPL<sub>p</sub>: valor presente líquido na perpetuidade sem crescimento; TIR<sub>p</sub>: Taxa interna de retorno na perpetuidade sem crescimento; TL<sub>p</sub>: taxa de lucratividade na perpetuidade sem crescimento; Entrada no fluxo de caixa consideraram a venda de fertilizante para ambos os sistemas de tratamento (R\$ 25,00/m<sup>3</sup> de acordo com Cavaletti, 2014) e venda de energia elétrica excedente para o biodigestor (tarifa de R\$ 0,42 de acordo com Elektro); as saídas no fluxo de caixa consideraram a taxa de manutenção de 1,5% e 2,5% a. a. do investimento para esterqueira e biodigestor, e custo de manutenção de 12,7% para o conjunto motor-gerador para os sistemas com biodigestor de acordo com Martins & Oliveira (2011) e Calza et al. (2015); \*Considerou-se o fluxo de caixa descontado na perpetuidade a partir do nono ano da projeção; †Preço de venda de R\$25,00/m<sup>3</sup> de acordo com Cavaletti (2014); \*\*Valoração dos dejetos suínos em equivalência aos fertilizantes comerciais ureia (45% de N), superfosfato simples (18% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e cloreto de potássio (60% K<sub>2</sub>O). Considerou-se nível de N: 7,92%; P: 0,10%; K: 0,48% contidos nos dejetos. Ainda, considerou-se valor de R\$ 1,90, R\$ 1,41 e R\$ 1,90 por kg de fertilizante para ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente. Os volumes dos dejetos são descritos na Tabela 1 (Rasmussen et al., 2011).

No entanto, quando comparamos o VPL das simulações para a menor escala de produção (300 matrizes), notamos que a esterqueira apresentou maior retorno percentual para o valor investido (valores 60 e 127% acima do valor investido para PVC e PEAD, respectivamente) quando comparado ao biodigestor (valores 17 e 14% acima do valor investido para PVC e PEAD, respectivamente). Da mesma forma, a TIR referente ao investimento na implantação da esterqueira apresentou valor de 30 e 33%, três vezes acima da taxa mínima de atratividade. Enquanto, para o biodigestor, a TIR apresentou valor 0,6% acima da taxa mínima de atratividade utilizada no estudo, sendo inferior ao outro sistema de tratamento de dejetos estudado. Ainda, quando avaliamos o *payback* descontado na menor escala simulada para a produção de suínos, notamos que o investimento na implantação de esterqueira requer menor tempo necessário para recuperação do capital investido (3 e 2 anos PVC e PEAD, respectivamente), quando comparado ao biodigestor (5 anos).

A taxa de lucratividade, que representa uma relação entre o capital investido no valor presente e o retorno financeiro em reais (R\$), apresentou valores negativos para o investimento na implantação do biodigestor. Ou seja, as simulações indicam que, para cada R\$ 1,00 investido, ter-se-ia o prejuízo de R\$ 2,17 e R\$ 2,14.

Com isso, os resultados da simulação apontam a esterqueira como o sistema de maior viabilidade econômico-financeira para propriedades produtoras de suínos em ciclo completo de pequeno porte.

Quando consideramos as simulações para granjas de médio e grande porte, há uma inversão na viabilidade econômico-financeira entre os sistemas de tratamento de dejetos.

A TIR apresentada anteriormente para sistema de produção de pequeno porte (300 matrizes) é três vezes menor quando comparada ao sistema de produção de médio porte (650 matrizes), e seis vezes menor se compararmos à maior escala de produção simulada (1000 matrizes). No entanto, este crescimento não é observado na TIR da implantação da esterqueira. Nesta condição, o crescimento apresentou valor de 1% entre a menor escala de produção e a maior escala de produção de suínos.

A mesma resposta é observada quando comparamos a taxa de lucratividade dos empreendimentos. Se compararmos o retorno financeiro apresentado pelo biodigestor, para cada R\$ 1,00 investido neste sistema de tratamento, temos aumento da taxa de lucratividade de R\$ 6,35 e R\$ 12,03; e 6,48 e 12,35, para estruturas revestidas em PVC e PEAD, nas escalas 650 e 1.000, respectivamente, quando comparadas à menor escala de produção simulada, saindo de um retorno negativo para positivo. No entanto, quando avaliamos a mesma situação para a esterqueira, observamos aumento da taxa de retorno de R\$ 0,19 e R\$ 0,26; e R\$ 0,22 e R\$ 0,32. Assim, de acordo com os resultados das simulações desenvolvidas, é correto afirmar que o biodigestor responde melhor ao aumento na escala de produção de suínos, uma vez que este apresentou maiores taxas interna de retorno e de lucratividade dentre as comparações com os resultados apresentados pela esterqueira.

É possível que a maior resposta do biodigestor seja decorrente da possibilidade do multiretorno financeiro. Se por um lado, para esterqueira, o ganho financeiro é obtido apenas pela venda do resíduo como fertilizante, por outro lado, com o biodigestor, tem-se a possibilidade de aquisição de renda extraem decorrência da venda de energia elétrica e redução no gasto com energia elétrica.

Ainda, sabe-se que os custos fixos para a implantação do biodigestor são altos quando se compara aos custos da esterqueira. Nas simulações estudadas, o sistema produtivo de suínos em pequena escala não conseguiu produzir entradas no fluxo de caixa com volume suficiente para atender às saídas de caixa, devido ao baixo volume de dejetos produzidos e de biogás gerado. No entanto, é fato que, devido a sua matriz líquida, a comercialização dos dejetos suínos torna-se de alto custo e alto risco, desestimulando produtores que se interessam em comercializá-los como fertilizante, tornando a estratégia impraticável a campo.

Uma alternativa para estes dejetos seria demonstrar sua equivalência aos fertilizantes comerciais convencionalmente utilizados na adubação de culturas, substituindo-os. Esta substituição tende a ser benéfica tanto econômica quanto ecologicamente, uma vez que 1) recicla-se os nutrientes não aproveitados pelos animais via dieta e 2) reduz-se o custo de produção das lavouras, evitando a compra de fertilizantes e gastos com transporte dos mesmos por longas distâncias. Dessa forma, a estratégia apresentada neste trabalho pode ser utilizada como uma medida econômica, visto que, para a fertilização das áreas adjacentes à propriedade, necessitar-se-ia de valores econômicos semelhantes aos apresentados.

Comparando os resultados das simulações entre preço fixo de comercialização dos dejetos e a valoração dos dejetos suínos em equivalência aos fertilizantes comerciais, notamos que o biodigestor apresenta o maior VPL para ambas as escalas de produção. No entanto, ao analisarmos a TIR e a TL, observamos melhores resultados para a esterqueira. Tal fato pode ser explicado pelo maior investimento simulado para a construção do biodigestor, pensando no aproveitamento dos gases emitidos para a geração de eletricidade, o que confere a este o maior custo de implantação do sistema, interferindo negativamente na viabilidade econômica do empreendimento.

Na comparação entre as simulações, podemos observar que o VPL da construção da esterqueira apresentam valores 80 e 63 vezes maiores para o revestimento em PVC e PEAD, respectivamente, para a equivalência dos dejetos aos fertilizantes comerciais, quando comparados aos valores apresentados à comercialização dos dejetos a preço fixo, com aumento proporcionalmente gradativo nos valores do VPL da comparação entre as escalas de produção estudadas.

Já para o biodigestor, apesar dos valores do VPL serem maiores quando comparados à esterqueira, os resultados apresentam redução na resposta ao aumento na escala de produção (18, 8 e 6 vezes

maiores) quando comparados à simulação a preço fixo de comercialização. Ainda, a diferença entre o tipo de revestimento não interferiu drasticamente nos resultados, como observados para a esterqueira. Da mesma forma apresentaram-se os resultados da TIR e o TL, em que os investimentos voltados para a implantação da esterqueira apresentaram aumento proporcional ao aumento na escala de produção, enquanto que, para o biodigestor, os resultados para TIR e TL apresentaram redução ao aumento na escala de produção de suínos.

A aplicação da metodologia demonstrada dependeria basicamente da extensão das áreas agricultáveis adjacentes à propriedade. Ou seja, propriedades com pequenas extensões de terra, cuja aplicação dos dejetos excederia sua capacidade de ciclagem de nutrientes, necessitariam de maiores extensões de terra para conseguir distribuir o resíduo de forma ambientalmente segura, respeitando as exigências nutricionais das culturas produzidas bem como a capacidade de absorção do solo. Com isso, a formação de acordos e parcerias entre propriedades vizinhas às unidades produtoras de suínos seria uma alternativa para correta destinação dos dejetos suínos (e.g. redução no preço de comercialização dos dejetos; parceria na compra ou divisão nos custos com equipamentos para distribuição dos dejetos), reduzindo custos de produção de lavouras, bem como impactos negativos ao meio ambiente.

Em resumo, o estudo apresenta duas situações diferentes para a valoração dos dejetos suínos: uma considerando a venda dos dejetos a um valor fixo de comercialização; e outro considerando a valoração dos dejetos suínos com equivalência aos fertilizantes comerciais, comumente utilizados para a adubação de culturas (ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio). Sabendo que a comercialização dos dejetos não é uma realidade a campo, visto a dificuldade de seu transporte, a valoração mostra-se como uma ferramenta de eleição, não por almejar diretamente sua venda, mas sim, em uma forma de redução dos custos agrícolas com a compra de fertilizantes comerciais para a adubação.

Os resultados demonstraram que, se considerarmos a valoração do dejetos suíno em equivalência aos fertilizantes comerciais, até o mais simples sistema de armazenamento, na menor escala de produção de suínos sugerida, torna o investimento economicamente viável.

Ainda, pensando na comercialização dos dejetos a preços fixos, o estudo aponta a esterqueira como o sistema de armazenamento economicamente mais viável para a menor escala de produção (300 matrizes), sendo o biodigestor o sistema economicamente mais viável para as demais escalas de produção estudadas. No entanto, se considerarmos a valoração dos dejetos em equivalência aos fertilizantes comerciais, até o sistema de armazenamento mais simples torna-se o mais viável, devido ao alto valor que pode ser agregado aos dejetos suínos.

Diante da constante pressão pública referente à preocupação com os aspectos ambientais da produção animal, na escolha de um ou outro sistema de manejo dos dejetos suínos, não basta apenas considerar os aspectos econômicos da implantação, mas também devemos ponderar os benefícios ambientais para os quais este ou aqueles conduzirão. Ainda, deve-se atentar para que os biodigestores não sejam divulgados como solução definitiva, mas sim como mais uma opção para auxiliar na viabilidade ambiental dos sistemas de produção, haja vista que toda tecnologia tem vantagens e desvantagens que devem ser consideradas para cada realidade produtiva. Além disso, deve-se ter em mente que o processo de operação de um biodigestor possui uma série de rotinas técnicas que devem ser de domínio dos operadores para que a produção do biogás seja eficiente e eficaz.

## Conclusão

Os sistemas de tratamento de dejetos suínos revestidos por geomembrana em PEAD apresentaram o menor custo de implantação. A utilização do biogás na geração de energia elétrica é uma opção, devendo considerar o ganho de escala, evidenciado pela redução dos custos com a geração de energia elétrica devido à diluição dos custos fixos para a geração de energia.

Diante de duas simulações para a comercialização dos dejetos suínos (venda dos dejetos com equivalência aos fertilizantes comerciais; ou comercialização dos dejetos a preço fixo) os resultados apresentaram-se de formas distintas. Por um lado, a comercialização dos dejetos como fertilizante a preço fixo, demonstrou que a implantação de biodigestores em granjas produtoras de suínos em ciclo completo de médio e grande porte (650 e 1000 matrizes, respectivamente) é economicamente mais viável quando comparado à esterqueira, devido ao maior volume de dejetos produzidos no sistema, e a

receita gerada pela venda estimada de coprodutos, sendo a esterqueira a melhor opção para produtores de suínos de pequeno porte (300 matrizes). Por outro lado, a valoração dos dejetos suínos com equivalência aos fertilizantes comerciais torna economicamente viável até o sistema de armazenamento de dejetos mais simples, por agregar valor fertilizante aos dejetos suínos.

### Referências bibliográficas

- Assaf Neto, A. (2003). *Contribuição ao estudo da avaliação de empresas no Brasil – uma aplicação prática*. Tese (Livre docência). Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil.
- ABCS & SEBRAE. (2016). *Associação Brasileira dos Criadores de Suínos & Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas*. Mapeamento da suinocultura brasileira. (1st ed.) ABCS, Brasília, DF, Brasil.
- Avaci, A. B., de Souza, S. N. M., Chaves, L. I., Nogueira, C. E. C., Niedzialkoski, R. K. & Secco, D. (2013). Avaliação econômico-financeira da microgeração de energia elétrica proveniente de biogás da suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi*, 17(4):456-462.
- Calza, L. F., Lima, C. B., Nogueira, C. E. C., Siqueira, J. A. C. & Santos, R. F. (2015). Avaliação dos custos de implantação de biodigestores e da energia produzida pelo biogás. *Engenharia Agrícola*, 35(6):990-997.
- Cavaletti, L. B. (2014). *Avaliação do sistema de compostagem mecanizada para dejetos suínos*. Centro Universitário Univates. Tese (Monografia). Centro Universitário Univates, Lajeado, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Damadaran, A. (2007). *Avaliação de empresas*. São Paulo, São Paulo, Brasil: Pearson Prentice Hall.
- Deganutti, R., Palhaci, M. C. J. P. & Rossi, M. (2002). *Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada*. Paper presented at the Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural, Campinas.
- Diniz Filho, E. T., Mesquita, L. d., Oliveira, A. d., Nunes, C. G. F. & Lira, J. F. B. (2007). A prática da compostagem no manejo sustentável de solos. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 2(2):27-36.
- Fonseca, F. S. T., Araújo, A. R. A. & Hendges, T. L. (2009). *Análise de viabilidade econômica de biodigestores na atividade suinícola na cidade de Balsas-MA: Um estudo de caso*. Paper presented at the Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil., Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Galloway, J., Dentener, F., Capone, D., Boyer, E. & Howarth, R. (2004). Nitrogen cycles: past, present, and future. *Biogeochemistry*, 70153-226.
- Giroto, A. F. & Chiochetta, O. (2004). Aspectos econômicos do transporte e utilização dos dejetos. *Embrapa Suínos e Aves*.
- Gitman, L. J. (1997). *Princípios de administração financeira*. São Paulo, São Paulo, Brasil: Harbra.
- Kiehl, E. J. (2004). *Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto* (Vol. 1). Piracicaba: Degaspari.
- Konzen, E. A. (2006). *Viabilidade ambiental e econômica de dejetos de suínos*. Concórdia, Santa Catarina, Brasil: Embrapa.
- Kunz, A., Chiochetta, O., Miele, M., Giroto, A. F. & Sangoi, V. (2005). Comparativo de custos de implantação de diferentes tecnologias de armazenagem/tratamento e distribuição de dejetos de suínos. *Embrapa Suínos e Aves*, 421-16.
- Kunz, A., Oileira, P. A. V., Higarashi, M. M. & Sangoi, V. (2004). Recomendações para uso de esterqueiras para armazenagem de dejetos de suínos. *Embrapa Suínos e Aves-Comunicado Técnico*, 3611-4.
- Lindemeyer, R. M. (2008). *Análise da viabilidade econômico-financeira do uso do biogás como fonte de energia elétrica*. Santa Catarina.
- Liu, X., Ju, X., Zhang, Y., He, C., Kopsch, J. & Fusuo, Z. (2006). Nitrogen deposition in agroecosystems in the Beijing area. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 113(1-4):370-377.

- Martins, F. M. & Oliveira, P. A. V. (2011). Análise econômica da geração de energia elétrica a partir do biogás na suinocultura. *Engenharia Agrícola*, 31477-486.
- Martins, F. M., Santos Filho, J. I., Sandi, A. J., Miele, M., Bertol, T. M., Amaral, A. L., . . . Dalla Costa, O. A. (2012). Coeficientes técnicos para o cálculo do custo de produção de suínos. *Embrapa Suínos e Aves-Comunicado Técnico*, 5061-10.
- Oliver, A. P. M. (2008). Manual de treinamento em biodigestão. (<https://docplayer.com.br/3948560-Manual-de-treinamento-em-biodigestao.html>). Accessed on 22 Jan. 2019.
- Palhares, J. C. P., Miele, M. & Lima, G. J. M. M. (2009). *Impacto de estratégias nutricionais no custo de armazenagem, transporte e distribuição de dejetos de suínos*. Paper presented at the I Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos de Animais, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
- Rasmussen, C. N., Ristow, P. & Ketterings, Q. M. (2011). *Whole Farm Nutrient Balance Calculator: user's manual*. Ithaca, New York, USA: Cornell University.
- Rodrigues, N. S., Blans, N. B. & Scindwein, M. M. (2019). Use of biodigestors to impulse environmental sustainability. *Brazilian Journal of Development*, 5(1):462-487.
- Seganfredo, M. A. & Giroto, A. F. (2004). Custos de armazenagem e transporte de dejetos suínos usados como fertilizante do solo. *Embrapa Suínos e Aves-Comunicado Técnico*, 3741-3.
- Sviech, V. & Mantovani, E. A. (2013). Análise de investimentos: controvérsias na utilização da TIR e VPL na comparação de projetos. *Percurso*, 1(13):270-298.
- Talamini, D. & Santos Filho, J. I. (2017). Atualidades da suinocultura brasileira. *Embrapa Suínos e Aves*, 27916-23.
- Zanin, A., Bagatini, F. M. & Pessatto, C. B. (2009). Viabilidade econômico-financeira de implantação de biodigestor-uma alternativa para reduzir os impactos ambientais causados pela suinocultura. *Custos e @gronegocio*, 6121-139.

**Recebido:** 21 de agosto, 2019.

**Aprovado:** 5 de novembro, 2019.

**Publicado:** 17 de janeiro, 2020.

**Licenciamento:** Este artigo é publicado na modalidade Acesso Aberto sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 (CC-BY 4.0), a qual permite uso irrestrito, distribuição, reprodução em qualquer meio, desde que o autor e a fonte sejam devidamente creditados.