

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

FELIPPE MARTINS DAMACENO

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA APLICADO A UMA
GRANJA DE SUÍNOS LOCALIZADA EM MAMBORÊ, PARANÁ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2015

FELIPPE MARTINS DAMACENO

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA APLICADO A UMA
GRANJA DE SUÍNOS LOCALIZADA EM MAMBORÊ, PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de Engenharia Ambiental do Departamento Acadêmico de Ambiental (DAAMB), do Câmpus Campo Mourão, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Maria Cristina Rodrigues Halmeman

CAMPO MOURÃO

2015



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Ambiental - DAAMB
Curso de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA APLICADO A UMA GRANJA DE SUÍNOS
LOCALIZADA EM MAMBORÊ, PARANÁ**

por

FELIPPE MARTINS DAMACENO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 01 de dezembro de 2015 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Prof^ª. Dr^ª. MARIA CRISTINA RODRIGUES HALMEMAN

Prof^ª. Dr^ª. MORGANA SUSZEK GONÇALVES

Prof^ª. Dr^ª. FLÁVIA VIEIRA DA SILVA MEDEIROS

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao Paulo Sergio Damaceno (pai), à Aparecida Martins Damaceno (mãe) e ao Matheus Martins Damaceno (irmão), por sonharem o meu sonho, possibilitando que ele se concretizasse neste ato.

AGRADECIMENTOS

Gratidão a Deus, é o que sinto ao refletir sobre este texto. E não poderia ser diferente, pois tudo o que me foi necessário para chegar até aqui, Ele me concedeu. Recebi bom-ânimo, paciência e persistência em meio as dificuldades associadas aos desafios proporcionados por um curso de Engenharia. Recebi pessoas boas que me instruíram e auxiliaram no decorrer da trajetória. Recebi a oportunidade de crescer como ser humano e como profissional. Tudo isso, creio que foi graça recebida dEle.

À minha família, meu exemplo e alicerce desde sempre. Uma força que sempre me impulsionou a alçar voos mais altos. Um amor incondicional.

Ao Izael Roberto Duenha Aseda, aqui representando a minha família de Campo Mourão, que estimo como um pai por ter me acolhido de prontidão em seu lar e me ensinado tanto por meio de seu testemunho de vida. Deste grande ser humano, permanecerão sempre vivos em meu coração, o amor e as boas recordações. Durante quatro anos e dez meses ele desejou, com todo carinho, me ver formado, e certamente está vendo de um lugar lindo, com vista privilegiada – do céu!

Aos meus amigos, Rafaela Agrela dos Reis, Carla Carolina da Cunha, Santiago Pereira Neto e Vinicius de Oliveira Lima, que estiveram ao meu lado durante os cinco anos de graduação, proporcionando alegrias, descontrações, parcerias, momentos de comunhão e de companheirismo. Desejo que essa amizade transcenda aos cinco anos e perdure por toda vida. Aos colegas de sala, pelo convívio diário.

Aos amigos que deixei em minha cidade natal, pelo apoio e palavras de incentivo, sobretudo no início da graduação.

À minha professora, orientadora e amiga, Maria Cristina Rodrigues Halmeman, pela confiança depositada em minha capacidade, parceria no desenvolvimento desta pesquisa e ensinamentos técnicos-científicos e humanos.

Ao Mailson Kloster, pela oportunidade concedida para o desenvolvimento desta pesquisa em sua propriedade, estando sempre disposto a ajudar.

Por fim, a todos os professores, por terem me transmitido ensinamentos valiosos.

EPÍGRAFE

“Hoje acordei cedo, contemplei mais uma vez a natureza.
A chuva fina chegava de mansinho.
O encanto e aroma matinal traziam um ar de reflexão.
Enquanto isso, o meio ambiente pedia socorro.
Era o homem construindo e destruindo a sua casa.
Poluição, fome e desperdício deixam o mundo frágil e degradado.
Dias mais quentes aquecem o “planeta água”.
Tenha um instante com a paz e a harmonia.
Refleta e preserve para uma consciência coletiva.
Ainda há tempo, cuide bem da natureza.”

Gleudson Melo

RESUMO

DAMACENO, Felipe M. **Estudo de viabilidade econômica aplicado a uma granja de suínos localizada em Mamborê, Paraná.** 2015, 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

A suinocultura é uma atividade agroindustrial em expansão que tem influenciado positivamente a economia brasileira. Contudo, quando manejada de forma inadequada, causa significativos impactos adversos ao meio ambiente em decorrência da geração de efluentes ricos em carga orgânica, nutrientes, sólidos e patógenos. Instala-se aí, um desafio à atividade: conciliar o viés socioeconômico com o ambiental. O objetivo deste trabalho foi analisar a viabilidade econômica da implantação de um biodigestor de fluxo tubular e de um motorizador em uma granja suinícola localizada no município de Mamborê, Paraná, considerando o biofertilizante e a energia elétrica, subprodutos passíveis de serem gerados na propriedade, de modo a auferir receitas operacionais. Para atingir este objetivo, a metodologia foi segmentada na quantificação dos subprodutos gerados a partir das águas residuárias e nas análises de viabilidade econômica. Primeiramente, foi estimado o volume gerado de águas residuárias, determinada a concentração de sólidos voláteis e estimada a produção de biofertilizante, biogás e energia elétrica. De posse destas informações, o segundo momento consistiu na realização de um orçamento completo da instalação da tecnologia e no levantamento de custos pertinentes ao projeto, pois estes foram confrontados com as possíveis receitas advindas dos subprodutos associados. Tal confronto foi intermediado por métodos determinísticos de investimentos – Valor Presente Líquido, Valor Anual Uniforme Equivalente e Taxa Interna de Retorno, e analisado mediante a projeção de um cenário realista e outro pessimista. Estima-se que a granja em estudo produz 16.835,63 m³ de águas residuárias por ano, apresentando concentração média de 6,5432 kg.m⁻³ de sólidos voláteis, o que proporcionaria 17.677,4 kg de N, 13.468,5 kg de P₂O₅ e 10.101,4 kg de K₂O anualmente, 164,43 m³ de biogás por dia e 85.826,1 kWh de energia elétrica por ano. O investimento necessário para o projeto foi orçado em R\$160.321,43. Com base nos custos operacionais e na receita operacional oriunda do biofertilizante e da energia elétrica, foi realizado o fluxo de caixa sobre um horizonte de uma década. A partir deste, no cenário realista, o VPL, o VAUE e a TIR convergiram à adesão do projeto, resultando em R\$193.413,37, R\$26.278,68 e 12,393%, respectivamente. Nas condições definidas para o cenário pessimista, o investimento não se apresenta rentável.

Palavras-chave: suinocultura, sustentabilidade rural, biofertilizante, biogás, rentabilidade.

ABSTRACT

DAMACENO, Felipe M. **Economic feasibility study applied to a pig farm located in Mamborê, Paraná.** 2015, 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

The pig farming is an agribusiness activity expanding, which has positively influenced in economics in Brazil. However, when handled improperly, cause significant adverse impacts on the environment due to the generation of effluents rich in organic load, nutrients, solids and pathogens. It settled there, a challenge to the activity: to reconcile with the environmental socioeconomic bias. The objective of this study was to analyze the economic feasibility of implementing a tubular flow digester and a motor-generator in a pig farm located in the municipality of Mamborê, Paraná, considering the biofertilizer and electricity, by-products that can be generated on the property earning operating income. To achieve this goal, the methodology has been segmented into: by-products generated from the wastewater and economic analysis waters. First, we estimated the volume of wastewater generated was determined the concentration of volatile solids and estimated production of bio-fertilizer, biogas and electricity. With this information, the second stage consisted of a full budget for the installation of technology and survey of relevant costs to the project, as they were confronted with the possible revenues from the associated by-products. Such confrontation was brokered by deterministic methods of investments - VPL, VAUE and TIR, and analyzed by projecting a realistic scenario and one pessimistic. It is estimated that the farm in study generates 16,835.63 m³ of wastewater per year, with an average concentration of 6.5432 kg.m³ volatile solids, which would provide 17677.4 kg of N, 13468.5 kg P₂O₅ and 10101.4 kg K₂O annually 164.43 m³ biogas per day and 85826.1 kWh of electricity per year. The investment required for the project was budgeted at R\$ 160,321.43. Based on operating costs and operating revenues derived from the bio-fertilizer and electricity, it was held the cash flow in a horizon of ten years. From this, the realistic scenario VPL, VAUE and the TIR earned the project is viable and profitable, resulting in R\$ 193,413.37 R\$ 26,278.68 and 12,393% respectively. The conditions set for the worst case scenario, the investment would be profitable only if it occurred in a period of 15 years.

Keywords: swine, rural sustainability, biofertilizer, biogas, profitability.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores mínimos, máximos e médios de alguns parâmetros físicos-químicos de águas residuárias da suinocultura.....	17
Tabela 2 – Composição química média (%) de efluentes agroindustriais brutos de bovino e de suíno, e do biofertilizante originado a partir destes.....	24
Tabela 3 – Constituintes do biogás e suas respectivas concentrações segundo.....	26
Tabela 4 – Comparação entre biogás e outros combustíveis.....	28
Tabela 5 – Resultados obtidos na avaliação econômico-financeira da implantação de sistemas de biodigestores em duas granjas distintas na região de Toledo, Paraná.....	31
Tabela 6 – Contribuição de diferentes fontes formadoras de águas residuárias em função de diferentes tipos de produção, expressa em L/matriz.dia.....	36
Tabela 7 – Equações utilizadas para calcular a geração de águas residuárias, a produção de metano, biogás e energia elétrica.....	38
Tabela 8 – Contribuição diária, mensal e anual de diferentes fontes formadoras de águas residuárias suinícolas na granja.....	40
Tabela 9 – Concentrações médias das quintuplicatas obtidas no ensaio de sólidos.....	41
Tabela 10: Taxa de crescimento máximo específico dos micro-organismo para águas residuárias suinícolas em diferentes temperaturas.....	43
Tabela 11 - Cálculo da taxa de crescimento máximo específico dos micro-organismos, da taxa de produção de metano e produção de biogás, passíveis de serem obtidos na granja estudada.....	44
Tabela 12 – Variação da taxa de crescimento máximo específico dos micro-organismos (μm) e da produção de metano com o aumento da temperatura em tempos de retenção hidráulica (θ) de 22 e 30 dias.....	44
Tabela 13 – Equivalência de alguns combustíveis com o biogás gerado na granja estudada em um dia.....	46
Tabela 14 – Orçamento concedido pela empresa Byoenergy contemplando o sistema completo de biodigestor e conversão do biogás em energia elétrica.....	47
Tabela 15 - Fluxo de caixa referente contemplando a implantação do projeto (biodigestor e moto-gerador) na granja em estudo, compreendendo o horizonte de dez anos para o cenário realista.....	50
Tabela 16 – Indicadores econômicos referentes a implantação do biodigestor e do moto-gerador na granja estudada.....	51
Tabela 17 - Fluxo de caixa referente contemplando a implantação do projeto (biodigestor e moto-gerador) na granja em estudo, compreendendo o horizonte de dez anos para o cenário pessimista.....	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	13
3.1 SUINOCULTURA BRASILEIRA: HISTÓRICO E UNIDADES PRODUTIVAS.....	13
3.2 PANORAMA ECONÔMICO DA SUINOCULTURA	15
3.3 IMPACTOS AMBIENTAIS DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS SUINÍCOLAS	17
3.4 DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	19
3.5 BIODIGESTORES	21
3.5.1 Biofertilizante	23
3.5.2 Biogás	25
3.6 BIOMASSA RESIDUAL COMO FONTE DE ENERGIA	26
3.7 ANÁLISE ECONÔMICA DE INVESTIMENTOS.....	29
3.7.1 Métodos Determinísticos de Investimentos: Abordagem na Suinocultura	30
4 MATERIAL E MÉTODOS	33
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E DA GRANJA	33
4.2 LEVANTAMENTO DOS SUBPRODUTOS GERADOS	36
4.3 ANÁLISE ECONÔMICA	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1 GERAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS	40
5.2 SÓLIDOS TOTAIS, SÓLIDOS VOLÁTEIS E SÓLIDOS FIXOS.....	41
5.3 PRODUÇÃO DE BIOFERTILIZANTE	42
5.4 PRODUÇÃO DE BIOGÁS	43
5.5 APROVEITAMENTO DO BIOGÁS.....	46
5.6 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA.....	47
5.6.1 Cenário Realista.....	47
5.6.2 Cenário Pessimista.....	52
5.6.3 Cenário Realista X Cenário Pessimista	54
6 CONCLUSÃO	55
REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial exerce fortes pressões nos setores alimentícios, visto que implica diretamente no aumento da demanda por alimentos, sobretudo de grãos e carnes produzidos em sistemas agropecuários. A suinocultura, por sua vez, está entre as cadeias produtivas de maior representatividade no segmento agroindustrial, pois atualmente a carne suína é a proteína animal mais consumida no mundo (MERLINI et al., 2014). No Brasil, a atividade tem apresentado perspectivas promissoras, devido ao seu potencial de expansão (NOGUEIRA, 2015).

De acordo com a Associação Brasileira de Proteína Animal (2014), a produção nacional de carne suína passou de 2.621 para 3.472 mil toneladas de 2004 a 2014. Tal expressividade atribui ao Brasil a posição de 4º lugar no *ranking* dos países que produzem e exportam carne suína no mundo. Salienta-se ainda que, 20,04% do abate de 2014 ocorreu no Paraná - terceiro maior produtor de suínos do país.

Em decorrência dessa expansão produtiva, benefícios à economia brasileira podem ser verificados por meio de indicadores socioeconômicos, como por exemplo, a geração de empregos diretos e indiretos, a própria participação no mercado nacional e o volume de exportação (GONÇALVES; PALMEIRA, 2006). Segundo Carvalho e Viana (2011), o plantel brasileiro de suínos além de movimentar negócios da ordem de 358 milhões de dólares, ainda gera renda a cerca de 2,7 milhões de brasileiros.

A fim de suprir a demanda crescente, a estrutura da suinocultura passou por uma modernização, na qual os animais são mantidos confinados em pequenas áreas, com intuito de que ganhem peso em pouco tempo. Tal alteração, além de intensificar a produção, também fez com que grandes volumes de águas residuárias fossem concentrados em pequenas áreas, ampliando o potencial de contaminação e degradação do meio ambiente (ASSIS; MURATORI, 2007).

O lançamento de águas residuárias suínícolas sem prévio tratamento, causa perturbações diretas sobre os recursos hídricos, solo, atmosfera e organismos vivos, inclusive o homem, visto que esse efluente é rico em contaminantes como sólidos, matéria orgânica, macronutrientes (fósforo e nitrogênio) e micronutrientes (zinco, manganês, cobre e ferro), patógenos e elementos tóxicos (KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2005).

Para Cruz et al. (2007), a poluição ambiental associada aos dejetos de suínos, pode ser minimizada com a utilização de tecnologias que realizem o tratamento do objeto nocivo de

modo sustentável, abrangendo a utilização conservacionista do solo, da água, dos recursos energéticos, animais e vegetais, de forma que as atividades não degradem o meio ambiente, sejam tecnicamente apropriadas, socialmente aceitas e viáveis economicamente. Deste modo, a implantação da tecnologia de sistemas biodigestores anaeróbios se enquadraria como um instrumento promovedor da sustentabilidade aos produtores de suínos (DIAS et al., 2013).

Refosco (2011) explica que a utilização dos biodigestores se destaca no meio rural por causa dos aspectos sanitários e energéticos, além de estimular a reciclagem de matéria orgânica e de nutrientes, contribuindo para a integração e a sustentabilidade rural. Isso, pois, tanto o biogás quanto o biofertilizante são dotados de valor econômico. O biogás, dependendo da sua composição, possui propriedades que o tornam uma fonte atrativa à geração de energia térmica, mecânica e elétrica. O biofertilizante pode ser utilizado no solo, tornando-o mais fértil às culturas vegetais (ZANIN; BAGATINI; PESSATTO, 2010).

Mesmo diante de todos os seus benefícios, a implantação de biodigestores rurais e sistemas de conversão do biogás em energia elétrica ainda esbarram em alguns empecilhos. A suinocultura brasileira é predominantemente composta por pequenos produtores, que, ante a escassez de recursos e a burocracia imposta pelas instituições financeiras que concedem empréstimos, são desestimulados ao emprego de tais tecnologias (GASPAR, 2003).

Portanto, antes de tomar uma decisão, é mais que justificável recorrer a estudos de viabilidade econômica lastrados em bases seguras, para não incorrer a erros irreparáveis que se traduzem em prejuízos com o passar do tempo, de modo a reduzir a probabilidade de resultados insatisfatórios.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho consiste em analisar a viabilidade econômica da implantação de um biodigestor anaeróbio de fluxo tubular e de um sistema de conversão do biogás em energia elétrica, em uma granja de suínos localizada no município de Mamborê, Paraná.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a viabilidade econômica da implantação de um biodigestor anaeróbio de fluxo tubular e de um sistema de conversão do biogás em energia elétrica, em uma granja de suínos localizada no município de Mamborê, Paraná.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a área da granja estudada;
- Estimar o volume de águas residuárias gerado na granja;
- Estimar a quantidade de biofertilizante e biogás produzidos a partir das águas residuárias geradas;
- Estimar a quantidade de energia elétrica que poderia ser produzida a partir do biogás obtido na granja;
- Levantar orçamento para a implantação de um biodigestor de fluxo tubular que atenda a necessidade da granja e de um sistema de conversão do biogás gerado em energia elétrica;
- Realizar um estudo de viabilidade econômica da implantação da tecnologia, considerando o aproveitamento do biofertilizante e do biogás.

3. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

3.1 SUINOCULTURA BRASILEIRA: HISTÓRICO E UNIDADES PRODUTIVAS

Os porcos, ancestrais mais próximos dos suínos atuais, foram trazidos da Europa, Ásia e África ao Brasil por volta de 1530, com o início da colonização. A princípio, a criação extensiva desses animais surgiu de modo rudimentar, pois eram simplesmente soltos no ambiente natural e caçados pelo homem. Posteriormente, passou-se a manter os animais em mangueiras e/ou chiqueiros, alimentando-os basicamente com milho, abóbora e mandioca. Nos primórdios da criação, esses animais eram bastante apreciados pela banha que forneciam para fins culinários, como fritura e conserva de alimentos, e não tanto pela carne (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2013).

Entretanto, a partir de meados de 1950, a “criação de porcos” se tornou “suinocultura”, momento onde iniciou-se a sofisticar a forma de criar os animais, visando ampliar a produção cárnea para comercializá-la no mercado interno e externo. De 1960 a 1980 ocorreram avanços na genética, nutrição, manejo, sanidade e ambiência dos suínos, que marcaram a modernização da suinocultura no Brasil (ATZINGEN, 2010).

Ainda de acordo com Atzingen (2010), neste intervalo de tempo, devido à diversidade de origens, costumes, tradições e interesses dos produtores, várias maneiras de criar suínos se estabeleceram, e existem até hoje, algumas em maior e outras em menor número. No contexto atual, vale destacar o Sistema de Criação ao Ar Livre (SISCAL) e o Sistema Intensivo de Suínos Confinados (SISCON), por suas características atrativas.

O SISCAL apresenta satisfatório desempenho técnico e baixo custo de implantação e manutenção em virtude do reduzido número de edificações, da simplicidade exigida às instalações e da redução no uso de medicamentos. Segundo Carvalho e Viana (2011), o SISCAL, em decorrência de suas vantagens, tem atraído não somente o produtor tradicional, como também o produtor industrial, que antes, era adepto da produção intensiva em confinamento. No sistema de criação ao ar livre, os animais são mantidos em terrenos com boa cobertura vegetal, delimitados por cercas eletrificadas. Neste espaço lhes são ofertados alimentação, água para dessedentação e abrigo.

No SISCON, os animais são mantidos em pequenas áreas sob regime confinado, uma vez que a finalidade do sistema é fazer com que o suíno atinja o máximo de ganho de peso em

um curto intervalo de tempo, acelerando, desta forma, a produtividade. Os aspectos negativos associados a esse manejo confinado intensivo são dois: a concentração de elevado volume residual em pequenos espaços e os incômodos ao bem-estar dos animais (CARVALHO; VIANA, 2011).

Para conceber maior dinamismo e organização ao sistema produtivo e adequar o manejo dos animais para cada etapa de seu crescimento, foram convencionadas as fases do ciclo criatório de suínos, sendo divididas em: reprodução, gestação, maternidade, creche e terminação. Sartor, Souza e Tinoco (2004), descrevem tais fases do seguinte modo:

- Setor de reprodução (pré-cobrição e cobrição): as fêmeas já podem ser selecionadas para reprodução logo ao nascerem, desde que apresentem peso corporal maior ou igual a 1,4 kg. No quinto mês de vida, as fêmeas selecionadas, geralmente entram no cio, e ao sétimo mês de idade, quando apresentam peso corporal entre 100 e 110 kg, estão aptas à reprodução. Então, são encaminhadas ao setor em questão, onde são cobertas (fecundadas) e permanecem até a confirmação da prenhez.

- Unidade de gestação: baias coletivas ou gaiolas individuais em que as fêmeas prenhas permanecem até uma semana antes do parto. A gestação dura aproximadamente 114 dias.

- Maternidade: uma semana antes do parto, as fêmeas são encaminhadas à maternidade (gaiolas individuais com abrigo para proteção dos leitões), local em que permanecem até o fim da fase de amamentação dos filhotes. No momento em que os leitões desmamam, normalmente entre 21 a 28 dias de idade, são encaminhados para a creche e as porcas retornam para o setor de reprodução.

- Creche ou unidade de crescimento inicial: projetada para abrigar os leitões desmamados, até que atinjam 25 kg de peso corporal, o que ocorre por volta de 65 dias de idade. A instalação pode possuir gaiolas para 10 leitões ou baias para grupos de 20 leitões.

- Unidade de crescimento e terminação: baias coletivas onde ficam os animais com peso corporal entre 25 e 60 kg (aproximadamente, 65 a 110 dias de idade). Quando os suínos atingem de 60 a aproximadamente 100 kg, são encaminhados para o abate.

A partir da década de 90, a suinocultura passou a adotar a verticalização da produção, ou seja, o suinocultor se especializou em sistemas de criação baseados nas fases de vida do suíno.

Os principais sistemas de produção estão apresentados no Quadro 1.

SISTEMAS DE PRODUÇÃO	DESCRIÇÃO
Unidade de Ciclo Completo (UCC)	Caracterizada por contemplar, em um único sítio, todas as etapas do ciclo de vida do animal, desde a aquisição do material genético até a engorda e entrega dos suínos aos frigoríficos para o abate.
Unidade de Produção de Leitões (UPL)	Se além apenas ao processo reprodutivo, abrangendo a reprodução, o nascimento dos leitões e o crescimento inicial (até que saiam da creche).
Unidade Produtora de Terminação (UPT)	É um sistema que recebe os suínos vindos da UPL e segue com as fases de crescimento e terminação para o abate.

Quadro 1 – Principais sistemas de produção de suínos.

Fonte: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2006) e Sinotti (2005).

3.2 PANORAMA ECONÔMICO DA SUINOCULTURA

A suinocultura está entre as cadeias produtivas mais difundidas do setor agroindustrial, visto que a carne suína é a principal fonte de proteína animal consumida no mundo, mesmo existindo países cujo consumo cárneo predominante não é o suíno. Assim acontece no Brasil, por exemplo, onde a carne mais consumida atualmente é a bovina (GERVÁSIO, 2013).

Ainda assim, o abate de suínos tem aumentado progressivamente no Brasil. Enquanto que em 2010, foram abatidas 29.072.584 cabeças de suínos, em 2013 foram abatidas 31.989.130 cabeças (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL, 2014). Ainda de acordo com a Associação Brasileira de Proteína Animal (2014), o país exportou em 2013, 517.333 toneladas de carne suína.

Estes valores cada vez mais representativos atribuem ao país posição de 4º lugar no *ranking* dos países que produzem e exportam carne suína no mundo (GERVÁSIO, 2014). Ao que concerne à produção mundial, o Brasil fica atrás da China, União Europeia (representada por 27 países) e Estados Unidos, ao passo que no tocante à exportação, o Brasil fica atrás dos Estados Unidos, União Europeia (representada por 27 países) e Canadá (Gráfico 1).

O Brasil ocupa tal posição de destaque diante do cenário mundial devido ao avanço científico e tecnológico voltado ao setor, que contribuíram para aprimoramentos e melhorias em diversos aspectos, sendo os principais: sanidade, nutrição, bom manejo da granja, produção integrada e, sobretudo, o aprimoramento gerencial dos produtores. Muito embora,

essas boas práticas não se aplicam plenamente à totalidade dos criadores de suínos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL, 2014).

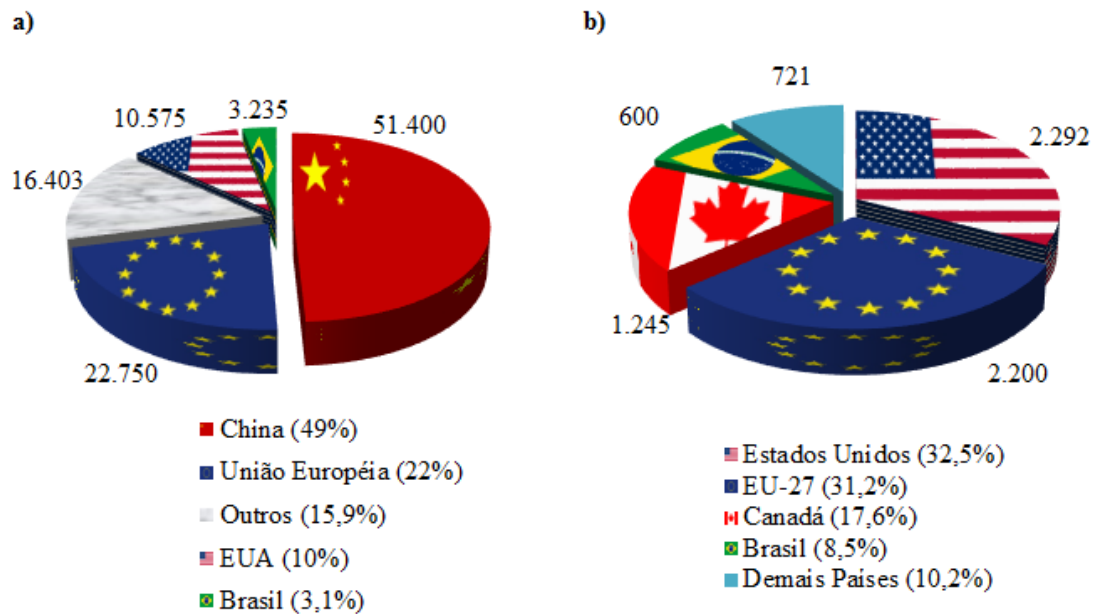


Gráfico 1 – a) Produção e b) exportação de suínos a nível mundial em 2013, em mil toneladas.
Fonte: Adaptado de Gervásio (2014) e Associação Brasileira de Proteína Animal (2014).

Em decorrência desse engajamento, benefícios à economia brasileira podem ser verificados por meio de indicadores socioeconômicos, como por exemplo, a geração de empregos diretos e indiretos, a participação no mercado nacional e o volume de exportação (GONÇALVES; PALMEIRA, 2006). De acordo com Carvalho e Viana (2011), o plantel brasileiro de suínos além de movimentar negócios da ordem de 358 milhões de dólares, ainda gera renda a cerca de 2,7 milhões de brasileiros.

O rebanho nacional de suíno possui maior significância na região sul do país, totalizando 979.653 cabeças de matrizes industriais. Deste montante, 32% do são criados no Rio Grande do Sul, 41% em Santa Catarina e 27% no Paraná (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL, 2014). No Sul, a suinocultura se concentra majoritariamente em pequenas propriedades rurais, propiciando renda, alimento e empregos indiretos e diretos (CASAGRANDE, 2003).

3.3 IMPACTOS AMBIENTAIS DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS SUINÍCOLAS

Segundo Konzen (1983), dejetos é todo resíduo oriundo do processo criatório de suínos, tais como: biomassa residual (fezes e urina), água utilizada para a higienização dos galpões, água perdida nos bebedouros, pêlos, poeiras e restos de ração. Em outras palavras, o termo dejetos refere-se às águas residuárias da suinocultura.

Konzen (1980) afirma que as águas residuárias suinícolas podem apresentar grandes variações em seus componentes, devido ao sistema de manejo adotado e, principalmente, da quantidade de água e nutrientes em sua composição (Tabela 1).

Tabela 1 – Valores mínimos, máximos e médios de alguns parâmetros físicos-químicos de águas residuárias da suinocultura.

Parâmetros	Mínimo	Máximo	Médio
pH	6,5	9,0	7,75
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)	5.000	15.500	10.250
Demanda Química de Oxigênio (mg/L)	12.500	38.750	25.625
Sólidos Totais (mg/L)	12.697	49.432	22.399
Sólidos Voláteis (mg/L)	8.429	39.024	16.389
Sólidos Fixos (mg/L)	4.268	10.408	6.010
Sólidos Sedimentáveis (mg/L)	220	850	429
Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L)	1.660	3.710	2.374
Fósforo Total (mg/L)	320	1.180	578
Potássio Total (mg/L)	260	1.140	536

Fonte: Konzen (1980).

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) são parâmetros utilizados para estudar sistemas de tratamento, verificar o grau de poluição orgânica de recursos hídricos e averiguar cargas poluidoras. Ambos parâmetros possibilitam isso a partir da mensuração da concentração de oxigênio consumido (por via biológica – DBO, ou química – DQO) para oxidar/estabilizar a matéria orgânica carbonácea. Quanto maior o consumo de oxigênio, maior a quantidade de matéria orgânica presente (PEREIRA, 2006).

De acordo com von Sperling (1996), esgotos domésticos brutos apresentam concentração de DBO da ordem de 300 mg.L⁻¹. Segundo Konzen (1980), conforme apresentado na Tabela 1, a concentração média da DBO em águas residuárias suinícolas é de 10.250 mg.L⁻¹, ou seja, é cerca de 34 vezes superior ao esgoto doméstico. Assim, fica

evidente que as águas residuárias de suinocultura têm elevado poder de poluição quando comparada com o esgoto doméstico.

A destinação inadequada das águas residuárias oriunda da criação de animais tem sido razão de profundas inquietações, pois quando estes resíduos são dispostos no meio ambiente sem o devido tratamento, provocam não somente prejuízos imensuráveis à água, solo e ar, mas também afetam negativamente a sociedade e a economia devido aos riscos à saúde pública (BARBOSA; LANGER, 2011). Por isso, aqueles que praticarem tal ato, estarão sujeitos a responder por infração de legislações ambientais (como a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 - Lei de Crimes Ambientais).

O lançamento do efluente suíno bruto sobre o solo pode saturá-lo pelo excesso de macronutrientes como fósforo (P) e nitrogênio (N), e micronutrientes como zinco (Zn), manganês (Mn), cobre (Cu) e ferro (Fe), provenientes da suplementação mineral oferecida aos animais pela ração. Esses componentes, além de inibir o desempenho das plântulas, também causam queimaduras nas plantas mais desenvolvidas (PERDOMO; LIMA; NONES, 2001).

A disposição das águas residuárias da suinocultura sem tratamento em corpos hídricos implica em alterações nas propriedades químicas, físicas e biológicas da água, pois tal efluente é rico em contaminantes como sólidos, matéria orgânica, nutrientes, patógenos e elementos tóxicos (DIESEL; MIRANDA; PERDOMO, 2002). Todas essas perturbações limitam o uso das águas e degradam o ecossistema aquático, afetando assim, não apenas a biota, mas o homem também (KOTZ; MARTIELLO; SCHMITZ, 2011).

Pinto et al. (2014) mencionam que as águas residuárias da suinocultura, por possuírem em sua composição nitrogênio e fósforo, apresentam risco de eutrofização às águas superficiais, seguido de depleção e oxigênio dissolvido e mortandade da biota aquática aeróbia.

No que tange a emissões atmosféricas, todo o metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) gerados no processo de degradação anaeróbia, são emitidos à atmosfera atuando diretamente no efeito estufa e, conseqüentemente, em mudanças climáticas, visto que estes gases têm potencial capacidade de retenção de calor. Dentre os demais gases emitidos, o gás sulfídrico (H₂S) apresenta odor desagradável característico a podridão e potencial à corrosão. Barbosa e Langer (2011) mencionam que alguns dos gases emitidos pelos dejetos sem tratamento podem, ainda, causar a destruição da camada de ozônio que protege a Terra contra as radiações ultravioletas.

Frente a estas questões, utilizando o conceito de equivalente populacional, tem-se que o volume residual gerado por um suíno, é 3,5 vezes mais poluente que o esgoto gerado

por um ser humano (LINDNER, 1999, *apud* CASTRO et al., 2013). Assim sendo, um plantel de 5.000 suínos, equivale a um núcleo populacional com aproximadamente 17.500 mil habitantes, no que concerne ao volume de dejetos gerados.

3.4 DIGESTÃO ANAERÓBIA

Digestão anaeróbia, biometanização, ou simplesmente, biodigestão, são termos utilizados para designar o processo natural em que consórcios de bactérias, por meio de complexas reações bioquímicas de fermentação e respiração, metabolizam a matéria orgânica disponível no meio, seguindo quatro etapas sequenciais, todas ocorrendo na ausência de oxigênio livre. Durante este processo metabólico, ocorre a liberação de alguns gases e a modificação dos compostos orgânicos até sua estabilização, dando origem ao biogás e ao biofertilizante (LIMA, 2011).

A digestão anaeróbia é uma forma eficaz de tratamento da matéria orgânica presente em resíduos sólidos e águas residuárias de diversas origens, tais como: fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, efluentes líquidos, dejetos da agropecuária e da agroindústria, esgoto doméstico, lodos, carcaças de animais, entre outros (RICARDO, 2012).

Felizola, Leite e Prasad (2006) comentam que o tratamento de biomassas residuárias intermediado pela biodigestão anaeróbia, se intensificou nas últimas décadas por ser uma alternativa tecnológica de aproveitamento energético e de redução de impactos ambientais.

Ricardo (2012) coloca a biodigestão como uma alternativa tecnológica que remove elevadas concentrações de matéria orgânica, implicando em redução da demanda química e bioquímica de oxigênio, bem como de sólidos totais e voláteis, gerando um efluente rico em nutrientes e um gás combustível. O mesmo autor ainda comenta que o uso da biodigestão tem aumentado significativamente devido aos benefícios econômicos associados, pela busca por fontes renováveis de energia e pelas legislações ambientais mais restritivas.

Carreas (2013) comenta que a comunidade científica, ao explorarem a degradação anaeróbia, seja em estudos bioquímicos ou microbiológicos, comumente organizam tal bioprocessos em quatro fases ou etapas distintas, sendo estas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (processo apresentado na Figura 1 e descrito no Quadro 2).

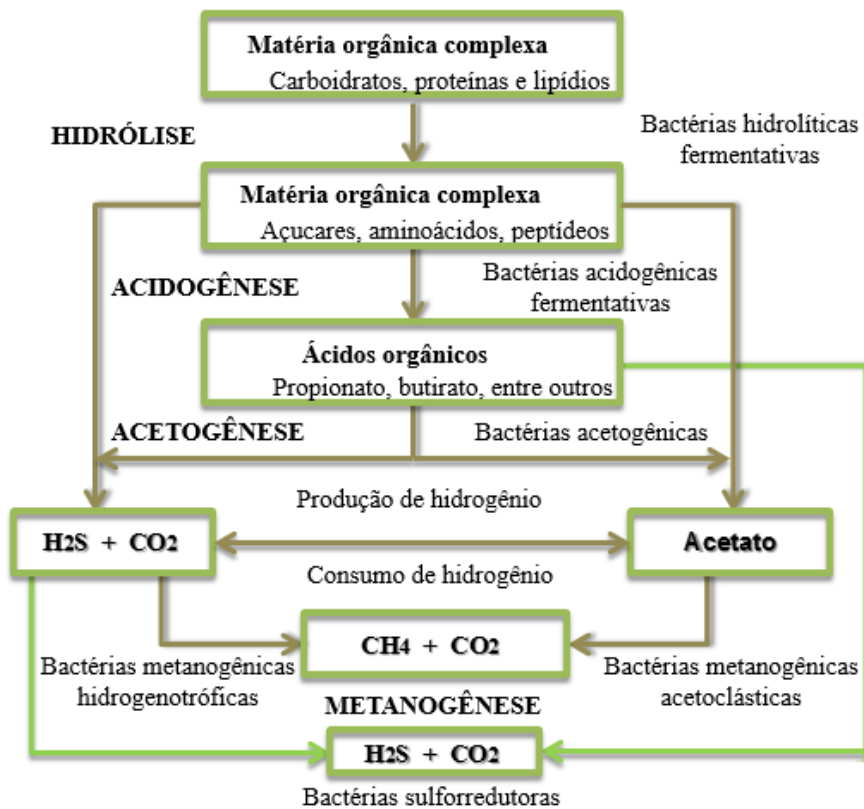


Figura 1 – Esquematização da digestão anaeróbia
Fonte: Adaptado de Lettinga, Hulshof e Zeeman (1996).

Etapas	Descrição
Hidrólise	A matéria orgânica se solubiliza e microrganismos hidrolíticos produzem enzimas extracelulares que quebram as ligações químicas dos compostos orgânicos complexos, transformando-os em substâncias menores, ou seja, carboidratos, proteínas e lipídios são convertidos em monossacarídeos, aminoácidos e ácidos graxos, respectivamente.
Acidogênese	O meio se torna mais ácido, favorecendo as bactérias acidogênicas fermentativas, responsáveis pela oxidação dos compostos orgânicos solubilizados anteriormente, convertendo-os em substâncias mais simples, tais como ácidos graxos de cadeia curta (acetato, propionato e butirato), álcoois, ácido láctico, gás carbônico, água, hidrogênio, amônia, sulfeto de hidrogênio, dentre outras.
Acetogênese	Os produtos da acidogênese são metabolizados e convertidos por bactérias acetogênicas em substâncias que formarão o metano (hidrogênio, gás sulfídrico, dióxido de carbono e ácido acético).
Metanogênese	O grupo de bactérias metanogênicas hidrogenotróficas vão converter o hidrogênio e o dióxido de carbono em metano, e o grupo de bactérias metanogênicas acetoclásticas produzirá metano pela oxidação do acetato.

Quadro 2 – Descrição das etapas da digestão anaeróbia.
Fonte: Adaptado de Chernicharo (1997).

A biodigestão anaeróbia está condicionada a alguns fatores como ausência de oxigênio, temperatura, acidez e alcalinidade, teor de água, relação C/N, e tempo de detenção hidráulica.

As condições de anaerobiose devem ser mantidas, impedindo a presença de oxigênio no sistema, pois a degradação em ambiente aeróbio produz dióxido de carbono ao invés de metano. A temperatura ideal às bactérias envolvidas no bioprocessamento varia entre 35 e 45°C. A acidez e alcalinidade podem ser fatores limitantes aos micro-organismos e atrair moscas, por isso o ideal é manter o pH entre 6,5 e 8. O volume de água no biodigestor deve variar entre 60 e 90%. Recomenda-se que a relação C/N seja mantida entre 20:1 e 30:1, e o tempo de detenção hidráulica do substrato no biodigestor deve ser em torno de 30 dias (BRITES; GAFERIA, 2007; CARREAS, 2013).

Essas condições são mais facilmente obtidas quando a biodigestão ocorre em biodigestores. De acordo com Carreas (2013), o objetivo básico do biodigestor é proporcionar a máxima atividade bacteriana possível. Por outro lado, a quantidade de micro-organismos retidos depende da configuração e desenho do digestor. Para que o processo se realize com a máxima eficácia, deve-se manter a máxima atividade dos micro-organismos, manter uma concentração mínima de produtos intermediários e aumentar a velocidade das reações do processo.

3.5 BIODIGESTORES

Biodigestores ou biorreatores são estruturas físicas projetadas para proporcionar condições favoráveis às bactérias que, por meio da digestão anaeróbia, realizam o tratamento da matéria orgânica, substrato ou biomassa, como é o caso dos dejetos suínos. Basicamente, biodigestores rurais constituem-se de uma câmara hermeticamente fechada que recebe a carga orgânica em solução aquosa para ser degradada biologicamente, e um gasômetro ou campânula responsável por capturar o biogás formado no bioprocessamento (NISHIMURA, 2009). Barreira (2011) diz que o biodigestor, como toda grande ideia, é genial por sua simplicidade.

Refosco (2011) cita que o emprego dos biodigestores se destaca no meio rural por causa dos aspectos sanitários e energéticos, além de estimular a reciclagem de matéria orgânica e de nutrientes, contribuindo para a integração e a sustentabilidade no campo. Isso, pois, o produtor rural pode se tornar autossuficiente em energia elétrica utilizando o biogás e

economizar em fertilizante químico em culturas vegetais utilizando o biofertilizante, ou ainda vender esses subprodutos e adquirir receitas com isso.

Considerando a frequência de carga em que operam, os biodigestores podem ser classificados, basicamente, em descontínuo (batelada) e contínuo. O tipo descontínuo funciona com base em retroalimentação periódica e sucessiva, ou seja, o reator é alimentado, ocorre a digestão e, posteriormente, é descarregado e o ciclo recomeça. O modelo contínuo é mais difundido e se adapta à maioria das biomassas; como o próprio nome sugere, esses tipos de biorreatores atuam em fluxo constante, pois a alimentação, a digestão e a descarga dos subprodutos ocorrem concomitantemente (CARREAS, 2013).

Existem vários modelos de biodigestores, dentre eles se destacam, pelo pioneirismo e larga difusão, o modelo indiano e o modelo chinês, ambos contínuos. A Índia e a China foram os países precursores no uso de biodigestores, tanto que atualmente detêm as melhores tecnologias relacionadas a este setor (COLDEBELLA, 2006).

Coldebella (2006) também evidencia que os modelos de biodigestores, chinês e indiano, têm aplicações distintas na China e na Índia, conforme a necessidade de cada país. Enquanto a China, país que possui uma densa população, aprecia mais o biofertilizante por ser indispensável na produção de alimentos; a Índia, país com déficit energético, valoriza mais a geração do biogás.

Outro tipo de biodigestor contínuo que emergiu recentemente e tem conquistado espaço no Brasil é o modelo canadense. No Quadro 3 são apresentadas as principais características destes três modelos.

De acordo com Ricardo (2012), nos três modelos mencionados, a biomassa se move pela diferença do potencial hidráulico entre o substrato que entra no sistema e o biofertilizante e biogás que saem do biodigestor. O autor ainda explica que o tempo de detenção hidráulica varia entre 30 e 50 dias, dependendo da temperatura ambiente, mas ressalva que esse prazo pode ser reduzido por mecanismos de agitação e/ou aquecimento.

Atualmente, o biodigestor modelo canadense é o mais utilizado no Brasil, sobretudo na região sul do país, visto que, em comparação com o modelo chinês e indiano, apresenta custos mais atrativos e é facilmente implantado (OLIVEIRA, 2012).

Modelo indiano (ou modelo com campânula flutuante)	
<p>Possui uma campânula utilizada como gasômetro, moderadamente imersa na biomassa em fermentação, ou em um selo d'água externo. A parede interna, ao centro, permite que o material circule por todo o interior da câmara de fermentação. É de fácil construção, porém é mais caro pela campânula, que geralmente é metálica e, por isso precisa de manutenções periódicas (GASPAR, 2003).</p>	
Modelo chinês (ou modelo de cúpula fixa)	
<p>Utiliza prensa hidráulica como princípio de funcionamento, de modo que o aumento de pressão interna (pela formação do biogás) desloque o efluente do tanque de digestão para a caixa de saída, e em sentido contrário quando ocorre descompressão. Há uma perda de biogás pela caixa de saída, por isso não são utilizadas para instalações de grande porte. Sua construção é complexa, entretanto é mais barato que o modelo indiano (GASPAR, 2003).</p>	
Modelo canadense (ou modelo de fluxo tubular)	
<p>É um modelo tipo horizontal constituído por uma caixa de carga em alvenaria ou geomembrana e uma cúpula (material maleável de PVC ou PEAD) que infla com a produção do biogás. Por sua largura ser maior que a profundidade, a área de exposição ao sol é ampliada, apresentando maior eficiência na produção de biogás devido à radiação solar. O biogás pode ser enviado para um gasômetro separado, permitindo maior controle do sistema. O biofertilizante segue para uma lagoa de equalização, onde é polido para poder ser aplicado no solo (RICARDO, 2012).</p>	

Quadro 3 – Principais características dos biodigestores indiano, chinês e canadense.
Fonte: Adaptado de Gaspar (2003) e Ricardo (2012).

3.5.1 Biofertilizante

O solo compõe uma fina e essencial camada da superfície terrestre. É sobre ele que o homem realiza suas principais atividades econômicas, cultiva seus alimentos e constrói moradia. Para a produção de alimentos, o solo necessita de boas condições físico-químicas e biológicas. Regiões que já sofreram exploração intensa exigem elevadas doses de fertilizantes e corretivos para produzirem. Isso se deve, ou à retiradas de colheitas sem se atentar com a

reposição dos nutrientes, ou à perda da fertilidade por terem ficado sujeitos a erosão (KONZEN, 1983).

O biofertilizante é um dos subprodutos da biodigestão anaeróbia e pode ser aplicado como fertilizante de solos agricultáveis. Este composto possui propriedades nutritivas superiores ao resíduo que lhe deu origem (Tabela 2). A composição do biofertilizante varia entre 85% de matéria orgânica, 1,8% de nitrogênio, 1,6% de fósforo, 1% de potássio, 11,6% de outros constituintes. Além de melhorar a química do solo, esse efluente tratado também melhora a física, biologia e pode corrigir sua acidez (SGANZERLA, 1983).

Tabela 2 - Composição química média (%) de efluentes agroindustriais brutos de bovino e de suíno, e do biofertilizante originado a partir destes.

Efluente bruto	Nitrogênio	Fósforo	Potássio
Bovino	0,60	0,15	0,45
Suíno	0,60	0,25	0,12
Biofertilizante	N total	P ₂ O ₅	K ₂ O
Bovino	1,5 – 1,8	1,1 – 2,2	0,8 – 1,2
Suíno	1,8 – 2,5	1,2 – 2,0	0,8 – 1,5

Fonte: FAO (1977) *apud* Pinto et al. (2014).

O processo de oxidação da matéria orgânica quebra os compostos complexos, tornando-os mais disponíveis às plantas e, ainda, solubiliza parcialmente os nutrientes, possibilitando o reestabelecimento do teor de húmus do solo. Outro aspecto interessante do biofertilizante diz respeito ao seu baixo impacto devido às suas boas condições sanitárias (CORTEZ et al., 2008).

Sganzerla (1983) ainda comenta que o biofertilizante possui sólidos coloidais com cargas negativas que tornam seu poder de fixação de sais superior ao das argilas, beneficiando a planta e o solo, pois dificultam a lixiviação dos nutrientes, proporcionam maior resistência à ação desagregadora da água e aceleram a absorção de chuvas, dificultando a erosão.

O biofertilizante pode ser utilizado na fertirrigação e adubação de diversas plantações, tais como: culturas produtoras de grãos, fruticultura, pastagem, reflorestamento e recuperação de áreas degradadas, desde que sejam cumpridos os aspectos técnicos exigidos para manter a conservação ambiental e não cause contaminação ao vegetal (CORRÊA et al., 2011).

Um dos desafios da agricultura moderna remete ao aumento da produtividade simultaneamente à redução dos custos. Haja vista que aproximadamente 40% dos custos

arcados na produção agrícola correspondem ao uso de fertilizantes químicos, o biofertilizante oriundo da suinocultura se apresenta como um insumo alternativo e interessante do ponto de vista econômico (SEIDEL et al., 2010).

Um estudo desenvolvido pela Embrapa Milho e Sorgo em Patos de Minas (MG), mostrou que a aplicação de biofertilizante de suinocultura em uma plantação de café propiciou 15% de aumento na produtividade. Aplicando de 180 a 210 m³ de biofertilizante por hectare foi verificado que a produtividade passou de 35 sacas/ha para 45 sacas/ha num período de três anos. Além disso, constatou-se que o biofertilizante auxiliou como um bioinseticida, levando à eliminação da praga do bicho-mineiro (NASCIMENTO, 2010).

De modo análogo, Seidel et al. (2010) estudaram a aplicação de biofertilizante de suínos em cultura de milho cultivado em sistema de plantio direto e concluíram que o biofertilizante, em quantidades ideais, pode superar insumos químicos inorgânicos em produtividade, pois quando aplicaram 50m³.ha⁻¹ de biofertilizante no plantio de base de milho, obtiveram 8.339 kg de grãos.ha⁻¹ e, quando aplicaram o mesmo volume por área de fertilizante químico inorgânico (NPK), produziu-se 7.324 kg de grãos.ha⁻¹.

3.5.2 Biogás

O biogás pode ser produzido naturalmente em ambientes anaeróbios que sejam ricos em matéria orgânica biodegradável, ou de modo induzido em biodigestores. O biogás foi observado pela primeira vez em pântanos, por Thomas Shirley em 1667. Naquela época foi chamado de gás de pântano. Desde então, muito se descobriu sobre este componente gasoso e muitas foram suas aplicações ao longo da história, devido ao seu caráter energético (HILBERT, 1992; NOGUEIRA, 1986; SGANZERLA, 1983).

Este componente gasoso é produto da biodigestão anaeróbia, pois na degradação da matéria orgânica há a formação de carbono em sua forma oxidada – dióxido de carbono (CO₂), ou em sua forma reduzida - metano (CH₄), ou seja, os principais componentes do biogás são o metano e o dióxido de carbono. Deste modo, é possível estabelecer a seguinte relação: quanto mais carbono reduzido, maior será a concentração de metano e menor a de dióxido de carbono (MATIELLO, 2008).

Devido à peculiaridade de cada etapa do bioprocessamento e à característica da biomassa, o biogás produzido possui concentrações diversificadas (Tabela 3).

Tabela 3 – Constituintes do biogás e suas respectivas concentrações.

Composto	Fórmula química	Concentração no biogás (%)			
		Torres, Pedrosa e Moura (2012)	Poulsen (2003)	Nogueira (1986)	Fry e Merrill (1973)
Metano	CH ₄	50 a 75	40 a 70	55 a 75	54 a 70
Dióxido de carbono	CO ₂	25 a 40	30 a 60	25 a 45	27 a 45
Hidrogênio	H ₂	1 a 3	0 a 1	0 a 2	1 a 10
Nitrogênio	N ₂	0,5 a 2,5	Não cita	0 a 3	0,5 a 3
Oxigênio	O ₂	0,1 a 1	Não cita	0 a 0,1	0,1
Gás sulfídrico	H ₂ S	0,1 a 0,5	0 a 3	0 a 1	Traços
Amônio	NH ₃	0,1 a 0,5	0 a 2	Não cita	Não cita
Monóxido de carbono	CO	0 a 0,1	Não cita	Não cita	0,1
Água	H ₂ O	Variável	Não cita	Não cita	Não cita

Fonte: Adaptado de Fry e Merrill (1973), Nogueira (1986), Poulsen (2003) e Torres, Pedrosa e Moura (2012).

O gás metano, principal componente do biogás, não apresenta cor, sabor ou odor e é pouco solúvel. Além disso, por ser inflamável e possuir elevado poder calorífico, o metano é responsável por atribuir o caráter energético ao biogás. Quanto maior a concentração de metano, mais puro será o biogás (SOUZA et al., 2008).

O gás sulfídrico é outro constituinte do biogás que merece atenção, pois além de ser responsável pelo odor pútrido característico, ele também é corrosivo e, por isso, deve ser removido quando o biogás for destinado à geração de energia elétrica para evitar a danificação dos motores (MATIELLO, 2008).

3.6 BIOMASSA RESIDUAL COMO FONTE DE ENERGIA

Inúmeros avanços foram conquistados com o advento da energia elétrica, culminando assim em melhorias na qualidade de vida do homem. Por ser a principal fonte de luz, calor e força utilizada no mundo moderno, tal recurso se tornou indispensável no contexto global atual (SOUZA; FERREIRA; SOUZA, 2011).

De acordo com Ferreira e Filho (2004), frente ao crescimento populacional e industrial, retroceder no consumo da energia elétrica é praticamente impossível e, por isso, se faz necessário ampliar sua geração.

Diante da necessidade de atender à crescente demanda energética nas diversas localizações sem causar grandes impactos ambientais e sociais, se torna relevante à

exploração de fontes de energia alternativas que sejam de cunho renovável, como a biomassa (COLDEBELLA, 2006).

Segundo a AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (2008), ANEEL, além de a biomassa ser uma das fontes de energia que apresentam maior potencial de crescimento nacional e internacional para a posteridade, ela também é considerada uma das principais alternativas à diversificação da matriz energética, implicando em menor dependência de combustíveis fósseis.

Sobre perspectiva energética, considera-se biomassa toda forma de recurso renovável oriundo de matéria orgânica vegetal ou animal, que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2008). Sganzerla (1983) sobre uma ótica biológica considera biomassa qualquer material que seja passível de ser degradado por atividade microbiológica (bactérias).

Refosco (2011) relata que a eficiência energética dos combustíveis fósseis é superior a da biomassa, todavia, a segunda, além de ser renovável é menos poluente e permite aproveitamento direto por combustão em caldeiras, fornos e motores, por exemplo. Com o aperfeiçoamento das tecnologias disponíveis e o aumento da eficiência de conversão, têm-se conseguido maior aproveitamento do sistema e maior interesse na cogeração. O referido autor complementa dizendo, que essas são algumas das razões que atribuem possibilidade de maior participação da biomassa na matriz energética brasileira e mundial.

Em dezembro de 2015, segundo a ANEEL, a potência instalada no Brasil era de 139.476.197 kW advindos de 4.362 empreendimentos em operação e importação (Paraguai, Argentina, Venezuela e Uruguai). A multidiversidade e a grande riqueza de recursos naturais do país fazem com que mais de 75% da matriz energética brasileira seja composta por fontes renováveis - 8,94% biomassa, 4,73% eólica, 61,72% hídrica e 0,01% solar. Dentre as fontes renováveis, 11,85% corresponde à biomassa, que está dividida em: agroindustriais (bagaço de cana de açúcar, casca de arroz, biogás e capim elefante), biocombustíveis líquidos (óleos vegetais), floresta (gás de alto forno, resíduos da madeira, licor negro e carvão vegetal), resíduos animais (biogás) e resíduos sólidos urbanos (biogás). A ANEEL insere o biogás advindo da digestão anaeróbia de águas residuárias da suinocultura em “resíduos animais”.

Porém, a divisão feita entre as biomassas não segue um padrão na literatura, pois a classificação e categorização das biomassas de acordo com sua origem divergem conforme o autor. O Ministério de Minas e Energia (1982), diferentemente da ANEEL, divide biomassa em vegetais não-lenhosos (sacarídeos, celulósicos, amiláceos e aquáticos), vegetais lenhosos

(madeiras), resíduos orgânicos (agrícolas, urbanos e industriais) e biofluidos (óleos vegetais), estando os dejetos de suínos inseridos em resíduos orgânicos agrícolas.

Roya et al. (2011) são alguns dos vários autores que categorizam o biogás como um combustível renovável passível de ser empregado na geração de energia elétrica, térmica e mecânica. O que determinará sua utilidade é a pureza desse biogás.

Em outras palavras, o que confere ao biogás características de combustível é a porcentagem de metano presente, uma vez que tal componente possui elevado poder calorífico. O biogás apresenta poder calorífico entre 5.000 a 7.000 kcal/m³ (BARREIRA, 2011). No entanto, Refosco (2011) explica que quando o biogás passa por processo de purificação, seu poder calorífico pode atingir 12.000 kcal/m³. Deste modo, o biogás pode ser comparado com outros combustíveis (Tabela 4).

Tabela 4 - Comparação entre biogás e outros combustíveis.

Combustíveis	Equivalência a 1m ³ de biogás	Combustíveis	Equivalência a 1m ³ de biogás
Gasolina	0,613 L	Lenha	1,536 kg
Querosene	0,579 L	Carvão mineral	0,735 kg
Óleo diesel	0,553 L	Álcool desidratado	0,790 L
Gás de cozinha (GLP)	0,454 L	Eletricidade	1,428 kWh

Fonte: Barreira (2011) e Sganzerla (1983).

Coldebella (2006) afirma que um biogás com teor de metano oscilando de 50 a 80% de metano apresenta um poder calorífico inferior entre 4,95 e 7,92 kWh.m⁻³.

Embora o biogás seja uma fonte energética já explorada no Brasil, ele poderia ser muito mais utilizado, garantindo retornos econômicos e redução do metano na atmosfera. De acordo com INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2015), só o estado do Paraná, em 2014, possuía 6.920.787 cabeças de suínos. Oliveira (1993) explica que os suínos (de 90 kg) produzem no mínimo 2,3 kg de dejetos por dia, com produção de biogás de 0,079 m³.kg⁻¹ de dejetos. Segundo Sganzerla (1983), 50 a 70% da composição do biogás oriundo de dejetos suínos correspondem ao metano, e 1 m³ de metano gera 1,428 kW de energia elétrica. Considerando esses dados, um cálculo básico demonstra que apenas os dejetos de suínos do estado do Paraná, em 2014, poderiam ter gerado um equivalente de 628.753,5 m³ de metano diariamente, ou seja, 897.860 kW por dia.

Uma casa popularmente brasileira, com quatro pessoas, costuma consumir 350 kW.mês⁻¹ de energia elétrica. Desta forma, teoricamente, em 2014, os suínos do Paraná produziram em um dia o necessário para um mês de energia em 2.565 residências.

3.7 ANÁLISE ECONÔMICA DE INVESTIMENTOS

O ato de investir implica no comprometimento ou aplicação de recursos, sob a expectativa de obter benefícios ou lucros futuros. Uma proposta é dita rentável, quando proporciona retorno superior ao investimento requerido. A análise econômica de investimento avalia os prós e contras, atuais e futuros, de uma ou mais possibilidades, de modo a evidenciar a melhor alternativa. Essa análise econômica é delineada por modelagens matemáticas baseadas em princípios da engenharia econômica, cujos resultados auxiliam na tomada de decisão (COSTA, 2012).

Hirschfeld (2011) define decisão como a “alocação de recursos a uma das alternativas econômicas, possibilitando sua execução”, e ainda alerta sobre a importância da cautela no julgamento das opções econômicas, pois, uma vez iniciada a alocação de recursos, geralmente, ela é irreversível.

Portanto, antes de tomar uma decisão, é mais que justificável recorrer a estudos de viabilidade econômica lastrados em bases seguras para não incorrer a erros irreparáveis que se traduzem em prejuízos com o passar do tempo, de modo a reduzir a probabilidade de resultados insatisfatórios.

Shikida et al. (2008) comentam que tomar uma decisão de investimento nem sempre é fácil, visto que envolvem riscos e, geralmente, exigem desembolso de capital no presente com retorno proporcionado somente a longo prazo.

É natural que se tenha incertezas sobre o futuro quanto o assunto se trata de investimentos. Uma maneira de atenuar impactos financeiros associados à eventos inesperados, é a simulação de cenários, haja vista que por meio deles é possível realizar previsões de ocorrências futuras (SOUZA; ROJO, 2010). Casarotto e Kopittke (2008) recomendam que seja elaborado ao menos dois cenários sobre um investimento, sendo um cenário “pessimista” e outro “otimista”.

A decisão da implantação de um novo projeto deve considerar critérios econômicos (rentabilidade do investimento), critérios financeiros (disponibilidade de recursos) e critérios imponderáveis (fatores não conversíveis em dinheiro) (CASAROTTO; KOPITTKKE, 2008).

3.7.1 Métodos Determinísticos de Investimentos: Abordagem na Suinocultura

Existem diversos trabalhos científicos nos quais os autores se dedicaram a estudar a viabilidade econômica da implantação de sistemas de biodigestores, considerando a utilização dos subprodutos da suinocultura como receitas. A maioria destes trabalhos utilizam ferramentas da engenharia econômica, como Prazo de Recuperação do Capital – *Payback*, Valor Presente Líquido – VPL, Taxa Interna de Retorno – TIR, entre outros, para de fato averiguar de modo concreto a rentabilidade dos projetos (JUNGES et al., 2009, MARTINS; OLIVEIRA, 2011, RICARDO, 2012).

O método do *Payback*, consiste simplesmente na determinação do número de períodos necessários para recuperar o capital investido. Porém não é recomendável usá-lo como único método determinístico (e sim em conjunto com outros), pois ele não considera a desvalorização do dinheiro no tempo e, por isso, não é uma base segura para avaliações de viabilidade econômico-financeira (MARQUEZAN; BRONDANI, 2006).

O VPL é uma técnica matemática-financeira muito utilizada para tomada de decisões em investimentos, pois ele considera a desvalorização do dinheiro ao longo do tempo. Em outras palavras, essa técnica possibilita o cálculo do valor presente de uma série de pagamentos futuros, descontando uma taxa de custo de capital estipulada. Todo investimento que apresentar um VPL igual ou superior a zero pode ser entendido como atrativo; e quanto maior esse valor for, maior também será a riqueza propiciada pelo projeto (CASAROTTO; KOPITTKKE, 2008).

A TIR é uma das formas mais sofisticadas de se avaliar propostas de investimentos de capital. Ela representa a taxa de desconto que iguala, num único momento, os fluxos de entrada com os de saída de caixa; ou seja, é a taxa que produz um VPL igual a zero. Na ótica econômica, todo investimento que apresente TIR maior ou igual à Taxa Mínima de Atratividade é considerado atraente (MARQUEZAN; BRONDANI, 2006).

Quando se estuda uma possibilidade de investimento deve ser cogitado o fato de se estar perdendo a oportunidade de adquirir retornos pela aplicação do mesmo capital em outras

alternativas – o que na economia é chamado de custo de oportunidade. Assim, para que a proposta seja interessante, deve render, ao menos, a taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações correntes e de pouco risco (por exemplo, a taxa de juros da caderneta de poupança, para pessoas físicas). Nesse sentido, a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) é a taxa mínima a ser alcançada em determinado projeto (CASAROTTO; KOPITTKKE, 2008).

Junges et al. (2009) avaliaram a viabilidade econômico-financeira da implantação de sistemas biodigestores em duas granjas produtoras de suínos, no município de Toledo, Paraná. A granja A situa-se em Três Bocas e a granja B localiza-se próxima ao Rio São Francisco, a três quilômetros da cidade de Toledo. As granjas possuem configurações distintas, o que influenciou diretamente nas avaliações econômico-financeiras (Tabela 5).

Tabela 5 – Resultados obtidos na avaliação econômico-financeira da implantação de sistemas de biodigestores em duas granjas distintas na região de Toledo, Paraná.

PARÂMETROS	GRANJA A	GRANJA B
Sistema produtivo	Ciclo Completo	Unidade de Terminação
Composição da granja	450 matrizes e 15 cachaços que reproduzem 11.000 leitões por ano.	15.000 leitões
Volume de águas residuárias geradas	12.778,65 m ³ . ano ⁻¹	38.325,00 m ³ . ano ⁻¹
Investimento no sistema de biodigestor	R\$163.120,50	R\$256.031,91
Receitas	*R\$29.449,94.ano ⁻¹	**R\$234.000,00.ano ⁻¹
Custos com a manutenção do sistema	R\$4.576,26.ano ⁻¹	R\$15.666,18.ano ⁻¹
Tempo de vida útil do projeto	10 anos	10 anos
TMA	8%	8%
VPL	- R\$59.182,20	R\$ 733.592,81
TIR	negativo	45,47%

*R\$11.999,94.ano⁻¹ com energia elétrica, R\$15.000,00.ano⁻¹ com fertirrigação e R\$2.450,00.ano⁻¹ com ração para peixes.

**R\$36.000,00.ano⁻¹ com energia elétrica, R\$18.000,00.ano⁻¹ com venda do biogás e R\$180.000,00.ano⁻¹ com fertirrigação.

Fonte: Adaptado de Junges et al. (2009).

Comparando os resultados obtidos entre as granjas A e B, os autores argumentam dizendo que o menor volume de águas residuárias da granja A, influenciou nos resultados econômico-financeiros negativos, uma vez que haveria menor quantidade de biogás e biofertilizante sendo gerados, o que reflete em receitas pouco expressivas diante do valor investido e custos associados.

O investimento realizado pela granja B, em detrimento da granja A, apresentou-se muito rentável, haja vista que o VPL foi positivo e maior que zero, angariando ao proprietário uma riqueza de R\$ 733.592,81. A TIR também converge para resultados promissores, visto que resultou em 45,47%, ou seja, 37,47% acima da TMA estabelecida.

Ricardo (2012) em estudo similar, avaliou do ponto de vista econômico, a inserção de um biodigestor e um moto-gerador de energia elétrica em uma granja com 3.600 suínos (em ciclo completo). O autor observou que seria necessário um investimento de R\$294.806,00 ao projeto. Ademais, foi estipulado um custo operacional de R\$43.475,02 por ano proveniente da soma dos custos variáveis, manutenções e depreciação. Para a análise de rentabilidade foi utilizado 10 anos como horizonte de investimento, TMA de 6% ao ano, receita anual R\$57.130,01 auferida da produção de energia elétrica e biofertilizante. Os resultados convergiram para a implantação do projeto, visto que o VPL foi de R\$11.413,56, a TIR foi de 7% ano e o período de recuperação do capital empregado foi de oito anos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E DA GRANJA

O estudo foi desenvolvido em uma granja suinícola, localizada no município de Mamborê, ao centro-oeste do estado do Paraná. A propriedade fica situada geograficamente entre a latitude 24°20'40" Sul e longitude 52°32'47" Oeste, possuindo aproximadamente 138 hectares destinados à suinocultura e à agricultura.

O clima de Mamborê, de acordo com Maack (2002), é classificado como Cfa: clima subtropical úmido mesotérmico. Desta forma, os verões são quentes e as geadas pouco frequentes, com tendência de concentração de chuvas no verão, não apresentando estação seca definida. Segundo o Instituto Agrônomo Paranaense (2000), a média de precipitação anual da cidade oscila entre 1600 a 1800 mm e umidade relativa anual varia entre 75% a 80%. Apresenta ainda temperatura média anual de 21°C, sendo que em épocas mais frias (junho, julho e agosto) as temperaturas chegam a 16/17°C, e em épocas mais quentes (dezembro, janeiro e fevereiro) as temperaturas chegam a 26/27°C.

A granja estudada possui cinco galpões edificadas em alvenaria, com piso de concreto, pilares de sustentação de concreto armado e cobertura de telhas metálicas. Os suínos são mantidos em regime confinado em baias e gaiolas.

No primeiro semestre de 2015, o plantel abrigava 370 porcas em gestação e 80 em lactação, totalizando 450 matrizes, com média de 2,2 partos por ano (cada matriz com média de 13 leitões). Além disso, haviam 900 leitões, 5 cachaços e 3.500 suínos na fase de crescimento e terminação (entre 25 e 100 kg). Logo, ao todo, a propriedade abriga 4.855 suínos.

Desta forma, fica evidente que a granja adota o sistema de produção de ciclo completo (UCC), caracterizado por contemplar, em um único sítio, todas as etapas do ciclo de vida do animal (reprodução, gestação, maternidade, creche e terminação), até entrega-los aos frigoríficos para o abate (SINOTTI, 2005).

Esses animais são distribuídos de acordo com a fase de vida em que se encontram e pela função que desempenham. O primeiro galpão abriga uma parte da maternidade (Figura 2a) e a creche (Figura 2b). O segundo galpão, destina-se apenas à maternidade. O terceiro galpão, além de comportar os suínos em gestação (Figura 2c) e os cachaços (Figura 2d),

também é destinado para a pré-cobrição e cobrição. Para os dois últimos galpões são encaminhados os suínos para crescimento e terminação – engorda (Figura 2e).



Figura 2 – Fases dos suínos na granja estudada ilustrando a unidade produtora de ciclo completo. (a) Lactação na maternidade; (b) creche; (c) gestação; (d) cachaço; e (e) engorda.

A água utilizada na granja advém de uma nascente próxima à propriedade. O referido recurso é usado para dessedentação dos animais em bebedouros tipo chupeta e cocho, para higienização do recinto e, durante o verão, os galpões de maternidade e engorda, acionam um sistema de conforto térmico, onde água é gotejada sobre os animais.

Os comedouros são do tipo cocho, automático e semiautomático. Os suínos consomem aproximadamente 5,5 toneladas de alimento diariamente. Esta base nutricional é preparada na própria propriedade, sendo composta por milho, farelo de soja, núcleo de suplementação alimentar (40kg/ton.), aditivo adsorvente de micotoxinas, Neobiotic® P325 (usado para o controle de disenterias causadas por bactérias), Ivermectina (controle de parasitas, vermes).

Com intuito de assegurar sanidade aos animais, a higienização dos galpões é realizada periodicamente e leva em conta a unidade. A creche e a engorda são lavadas duas vezes por dia, o galpão de pré-cobrição e cobrição é higienizado três vezes por dia e a maternidade é limpa após defecação. Com exceção da creche, onde os animais ficam em suporte elevado do piso, nos demais galpões, os excrementos são conduzidos em canaletas periféricas com água, externas às baias e gaiolas (no caso da gestação).

Toda água residuária gerada nos galpões segue até uma esterqueira (Figura 3a) e, na sequência, com auxílio de uma bomba, esse o efluente é recalcado para um sistema de tratamento que consiste em quatro lagoas, todas revestidas por geomembrana, sendo a última uma lagoa de polimento (Figura 3b).



Figura 3 – Vista frontal da (a) esterqueira e da (b) lagoa de polimento, ilustrando o início e o fim do tratamento das águas residuárias da granja estudada.

4.2 LEVANTAMENTO DOS SUBPRODUTOS GERADOS

A estimativa do volume de águas residuárias gerado na granja estudada, foi realizada com o auxílio de um estudo desenvolvido por Perdomo, Oliveira e Kunz (2003), devido à forte similaridade entre ambos no que concerne aos sistemas de higienização e dessedentação dos animais. Os autores mencionados estudaram o volume de água residuária suinícola que é gerado em diferentes sistemas de produção, levando em conta a biomassa residual (fezes e urina), higienização dos galpões e perda de água nos bebedouros (Tabela 6).

Tabela 6 – Contribuição de diferentes fontes formadoras de águas residuárias em função de diferentes tipos de produção, expressa em L/matriz.dia.

Sistema de produção	Fezes e Urina	Higienização	Perda nos bebedouros	Total
UPL	19,0	16,0	7,9	42,9
UPT	6,8	2,8	1,3	10,9
UCC	55,0	32,0	15,5	102,5

UPL – Unidades Produtoras de Leitões; UPT – Unidades Produtoras de Terminados; UCC – Unidade Produtora de Suínos em Ciclo Completo.

Fonte: Perdomo, Oliveira e Kunz (2003).

Ressalta-se que todas as equações que serão mencionadas neste tópico, estão apresentadas na Tabela 7.

Sabendo que a unidade produtora de suínos estudada adota ciclo completo, o volume total de águas residuárias produzido no local, será quantificado por meio da Equação (1).

Segundo Sganzerla (1983), em águas residuárias suinícolas com 2,0% de matéria seca, há em média, 2,1 kg/m³ de Nitrogênio (N), 1,6 kg/m³ de Fósforo (P₂O₅) e 1,2 kg/m³ de Potássio (K₂O). Portanto, a partir da porcentagem dos sólidos totais presentes nas águas residuárias gerada na granja em estudo, os nutrientes mencionados foram ponderados, a fim de quantificá-los (em kg/m³) para atribuir um valor monetário a eles (receita operacional da análise econômica), por meio de pesquisas de mercado.

Para a obtenção da concentração de sólidos, uma alíquota de efluente suíno bruto foi coletada diretamente da esterqueira da propriedade com o intuito de realizar ensaios de sólidos totais, sólidos voláteis e sólidos fixos, em quintuplicata, adotando a metodologia descrita por Piveli e Kato (2005). A alíquota foi levada às dependências do Laboratório de

Saneamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Campo Mourão, Paraná, para a realização dos ensaios.

Visando determinar a produção de gás metano por meio da digestão anaeróbia das águas residuárias, foram empregadas modelagens matemáticas que expressam a cinética desta bioconversão. Tais modelagens foram desenvolvidas por Andrew G. Hashimoto (1979), e foram citadas por diversos pesquisadores, dentre eles, Poulsen (2003) e Lima (2011).

Utilizando a Equação (2), modelada particularmente para dejetos suínos, foi calculado o coeficiente cinético (k), também conhecido como fator de inibição. Para tal, foi utilizada a concentração de sólidos voláteis (S_o) em kg.m^{-3} , pois esta variável representa a fração orgânica dos sólidos, cuja qual será convertida pela digestão anaeróbia em biogás (SINOTTI, 2005).

A temperatura da biomassa é um fator condicionante para a atividade microbológica responsável pelo processo de degradação da matéria orgânica, seguida da formação de biogás e biofertilizante. Por isso foi utilizada a Equação (3) para calcular a taxa de crescimento máximo específico dos micro-organismos, na qual considerou-se temperaturas de 20°C , 25°C e 30°C (por serem passíveis de ocorrência natural na região geográfica da granja).

Por meio da Equação (4), que expressa a cinética da fermentação anaeróbia, será calculada a taxa de produção de metano.

Para efetuar este último cálculo, foi utilizado um valor padrão para projetos de aproveitamento de créditos de carbono de 0,45 para B_0 (UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, 2010) e tempos de retenção hidráulica de 22 e 30 dias.

A estimativa de biogás produzido na propriedade foi obtida pela Equação (5), considerando que 65% da composição do biogás corresponde ao gás metano (NISHIMURA, 2009).

Para determinar o volume interno do biodigestor, recorreu-se a Equação (6), descrita por Oliver et al. (2008).

Conhecido o volume de biogás produzido, a quantidade de energia elétrica gerada foi estimada pela Equação (7), adaptada de Sganzerla (1983), uma vez que o fornecedor do motor-generador alega que um sistema de conversão de biogás em energia elétrica de 60 kVA (quilovolt-ampere), com cerca de 23% de eficiência de conversão, gera 1,45 kWh de energia elétrica por m^3 de biogás.

Tabela 7 – Equações utilizadas para calcular a geração de águas residuárias, a produção de metano, biogás e energia elétrica.

Numeração	Equações	Variáveis	Fonte
Equação (1)	$V_t = V_{UCC} * N_m$	V_t = Volume total de águas residuárias (L/dia); V_{UCC} = Volume de águas residuárias gerado por UCC (L/matriz.dia); N_m = Número de matrizes (matriz);	Perdomo; Oliveira; Kunz (2003)*
Equação (2)	$k = 0,6 + 0,00206. e^{0,051.S_0}$	k = coeficiente cinético ou fator de inibição microbiológico (adimensional); S_0 = concentração de SV do efluente (kg.m ⁻³);	Hashimoto (1979) <i>apud</i> Poulsen (2003)
Equação (3)	$\mu_m = 0,013. T - 0,129$	μ_m = taxa de crescimento máximo específico dos micro-organismos (dia ⁻¹); T = Temperatura (°C);	Hashimoto (1979) <i>apud</i> Poulsen (2003)
Equação (4)	$\gamma_v = \frac{B_0 \cdot S_0}{\theta} \cdot \left(1 - \frac{k}{\theta \cdot \mu_m - 1 + k}\right)$	γ_v = taxa de produção de metano (m ³ de CH ₄ .m ³ reator ⁻¹ .dia ⁻¹); B_0 = taxa máxima de produção de metano (m ³ de CH ₄ .kg de SV ⁻¹); S_0 = concentração de SV do efluente (kg.m ⁻³); θ = tempo de retenção hidráulica (dias); k = coeficiente cinético ou fator de inibição microbiológico (adimensional); μ_m = taxa de crescimento máximo específico dos microrganismos (dia ⁻¹);	Hashimoto (1979) <i>apud</i> Poulsen (2003)
Equação (5)	$PB = \frac{\gamma_v}{0,65}$	PB = Produção de biogás (m ³ biogás.m ⁻³ da câmara de digestão.dia ⁻¹); γ_v = taxa de produção de metano (m ³ de CH ₄ .m ³ reator ⁻¹ .dia ⁻¹).	Nishimura (2009)
Equação (6)	$VB = VC. \theta$	VB = volume do biodigestor (m ³); VC = volume de carga diária (m ³ .dia ⁻¹); θ = tempo de retenção hidráulica do projeto (dias).	Oliver et al. (2008)*
Equação (7)	$PE = 1,428. PB$	PE = potência elétrica (KWh. dia ⁻¹); PB = Produção de biogás (m ³ biogás.m ⁻³ da câmara de digestão.dia ⁻¹); 1,428 = coeficiente de conversão (1m ³ de biogás gera 1,428 KWh de energia elétrica).	Sganzerla (1983)

* Adaptado

4.3 ANÁLISE ECONÔMICA

Para realizar as análises de viabilidade econômica da implantação do biodigestor de fluxo tubular e do sistema de conversão do biogás em energia elétrica, foram levantados todos os custos, investimentos e receitas correlacionados com tais tecnologias, por meio de um orçamento solicitado a uma empresa especializada na prestação deste serviço e pesquisas bibliográficas e de campo.

Confrontando as possíveis receitas auferidas do biofertilizante e da produção de energia elétrica com os custos, foi elaborado o fluxo de caixa para verificar o fator de recuperação do capital (*Payback*).

O estudo ainda foi permeado por métodos determinísticos de investimento, a fim de verificar a rentabilidade do projeto. Assim, a partir do fluxo de caixa foram analisados: Valor Presente Líquido (VPL), Valor Uniforme Anual Equivalente (VAUE) e Taxa Interna de Retorno (TIR), descritos por Casarotto e Kopittke (2008).

Para calcular os indicadores supracitados, foi adotado um período de 10 anos (para coincidir com a vida útil da lona do biodigestor) e uma taxa mínima de atratividade de 6% ao ano (valor da aplicação em poupança com juros), em razão do custo de oportunidade (RICARDO, 2012).

Devido ao fato de o investimento ter um horizonte de uma década, foi utilizada a técnica de cenário, na qual simulou-se um cenário pessimista sobre o investimento. Além deste, a análise de investimento também foi realizada sobre um cenário realista.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 GERAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Com base na Tabela 4 e na Equação (1), foi estimado o volume diário, mensal e anual de águas residuárias geradas na propriedade, levando em consideração a biomassa residual gerada na granja, a água utilizada para a higienização dos galpões e a água perdida nos bebedouros (Tabela 8).

Tabela 8 – Contribuição diária, mensal e anual de diferentes fontes formadoras de águas residuárias suinícolas na granja.

Contribuição	Biomassa residual	Higienização	Perda nos bebedouros	Total
Volume diário (m ³ .dia ⁻¹)	24,75	14,40	6,975	46,125
Volume mensal (m ³ .mês ⁻¹)	742,50	432,00	209,25	1.383,75
Volume anual (m ³ .anual ⁻¹)	9.033,75	5.256,00	2.545,87	16.835,62

Um estudo desenvolvido em uma granja situada na região de Toledo, Paraná, que também adota o sistema produtivo em ciclo completo – composta por 450 matrizes – apresentou um volume diário de dejetos produzidos de aproximadamente 35.010 litros (77,8 L/matriz.dia), correspondendo a 12.778,65 m³/ano (SHIKIDA et al., 2008).

De modo análogo, Dartora, Perdomo e Tumelero (1998) estimaram a geração de águas residuárias em uma unidade produtora de suínos em ciclo completo, com 44 matrizes, em aproximadamente 3,7 m³ por dia, sendo que a geração diária de águas residuárias foi de 85 litros por matriz.

Sabe-se que a geração de biomassa residual é proporcional ao desenvolvimento ponderal e ao peso do animal. Suínos de 15 a 100 kg, geram valores decrescentes entre 4,9 e 8,5% de seu peso vivo de biomassa residual por dia (DIESEL; MIRANDA; PERDOMO, 2002).

Portanto, infere-se que as estimativas realizadas por Perdomo, Oliveira e Kunz (2003) (102,5 L/matriz.dia), Shikida et al. (2008) (77,8 L/matriz.dia) e por Dartora, Perdomo e Tumelero (1998) (85 L/matriz.dia), se diferem por causa do consumo de água na higienização dos galpões e na perda de água nos bebedouros. Cabe ainda a interpretação de

que, possivelmente, a diluição da biomassa residual do primeiro estudo é maior que a do segundo.

5.2 SÓLIDOS TOTAIS, SÓLIDOS VOLÁTEIS E SÓLIDOS FIXOS

A concentração de sólidos totais, pode ser conceituada como a soma entre a concentração de sólidos voláteis (teor orgânico) e de sólidos fixos (teor mineralizado) remanescentes em uma amostra após a remoção da umidade (VON SPERLING, 1996). As concentrações médias das quintuplicatas obtidas no ensaio de sólidos para sólidos totais, sólidos voláteis e sólidos fixos estão apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Concentrações médias das quintuplicatas obtidas no ensaio de sólidos.

Parâmetros	Valor (kg.m ⁻³)	Valor (mg.L ⁻¹)	Porcentagem (%)
Sólidos totais	10,5542	10.554,2	100
Sólidos voláteis	6,5432	6.543,2	62
Sólidos fixos	4,011	4.011,0	38

Em outras palavras, os sólidos totais representam cerca de 1,05% da composição das águas residuárias da granja.

Geralmente, a biomassa residual suinícola apresenta mais de 70% de sólidos voláteis e, por isso, possui um bom potencial energético em termos de produção de biogás, visto que em meios desprovidos de oxigênio livre, os micro-organismos anaeróbios degradam tal fração orgânica, convertendo-a no recurso energético (DIESEL, MIRANDA E PERDOMO, 2002). Porém, a concentração média de sólidos voláteis obtida nos ensaios, corresponde a 62% da concentração de sólidos totais, ou seja, porcentagem inferior àquela proposta pela literatura.

Acrescido a isso, os valores de sólidos totais, voláteis e fixos obtidos por meio dos ensaios foram inferiores aos valores mínimos apresentados por Konzen (1980) (Tabela 1).

Os dois fatos verificados e descritos acima, convergem a um motivo: significativa diluição dos sólidos. Isto é, está se gastando excessivo volume de água no sistema criatório dos animais.

De acordo com Oliveira et al. (2000), os principais fatores que influenciam na concentração de sólidos em águas residuárias suinícolas são: quantidade de animais, unidade

produtiva adotada, volume de água utilizada na higienização dos galpões e outros desperdícios periféricos de água.

Fernandes e Oliveira (2006) comentam que a adoção de sistemas confinados de produção e o uso intensivo da água para higienização das instalações, resultam em grandes quantidades de águas residuárias, com concentrações de 0,5 a 3,0% de sólidos totais (OLIVEIRA; DUDA, 2009).

Desta forma, se torna interessante a adesão de equipamentos de baixa vazão e alta pressão para a higienização dos galpões e a instalação de bebedouros que evitem o desperdício (FERNANDES, 2012).

Tais medidas, além de conterem o desperdício de água, também ampliariam o valor da concentração de sólidos voláteis, disponibilizando maior quantidade de matéria orgânica biodegradável aos micro-organismos anaeróbios e, conseqüentemente, aumentaria o potencial de geração de biogás (LIMA, 2011) e melhoraria a qualidade do biofertilizante.

5.3 PRODUÇÃO DE BIOFERTILIZANTE

De acordo com Sganzerla (1983), em águas residuárias suínolas com 2,0% de matéria seca, há em média, 2,1 kg/m³ de Nitrogênio (N), 1,6 kg/m³ de Fósforo (P₂O₅) e 1,2 kg/m³ de Potássio (K₂O). Sabendo-se que a concentração de sólidos totais foi de 10,5542 kg.m⁻³ (média da quintuplicata), verifica-se que os mesmos correspondem a 1,05% das águas residuárias geradas na granja.

Como a porcentagem de sólidos totais obtida foi praticamente a metade daquela apresentada por Sganzerla (1983), as quantidades de nutrientes foram reduzidas à metade. Assim, com base na geração anual de águas residuárias na granja estudada (16.835,62 m³), estima-se que seriam obtidos, a partir do biofertilizante, 17.677,4 kg de N, 13.468,5 kg de P₂O₅ e 10.101,4 kg de K₂O anualmente.

Por meio do levantamento feito por Refosco (2011) e de pesquisas de mercado realizadas em casas agropecuárias da região, os nutrientes N, P₂O₅, K₂O foram cotados à R\$ 1,40.kg⁻¹, R\$ 1,75.kg⁻¹ e R\$ 1,20.kg⁻¹, respectivamente. Portanto, calculou-se que seria possível uma receita anual de R\$60.440,00 de biofertilizante, utilizando o adubo NPK como base de cálculo.

5.4 PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Aplicando o valor de sólidos voláteis ($6,5432 \text{ kg.m}^{-3}$) na Equação (2), foi obtido um o coeficiente cinético (k) de 0,5044 (adimensional).

A taxa de crescimento máximo específico dos micro-organismo (μ_m) é dada em função da temperatura, pois tal grandeza influencia na cinética do metabolismo das bactérias envolvidas no processo da digestão anaeróbia, no equilíbrio iônico e na solubilidade dos substratos (especialmente de lipídios) e, conseqüentemente, na produção de biogás (CAMPOS, 1999; COLDEBELLA, 2006).

Com vistas à viabilidade econômica do sistema de tratamento, a possibilidade de aquecimento artificial do substrato no biodigestor tubular foi desprezada. Por isso, foram adotadas as temperaturas de 20, 25 e 30°C (Tabela 10), pois são passíveis de ocorrência natural na região de Mamborê, Paraná.

Tabela 10: Taxa de crescimento máximo específico dos micro-organismo para águas residuárias suinícolas em diferentes temperaturas.

Temperatura (T)	20° C	25° C	30° C
Taxa de crescimento máximo específico dos micro-organismo (μ_m)	0,131 dia ⁻¹	0,196 dia ⁻¹	0,261 dia ⁻¹

Nota-se que quando a temperatura do substrato aumenta de 20 para 30° C, o parâmetro μ_m praticamente dobra. Coldebella (2006) afirma que na faixa dos 35° C, os micro-organismos anaeróbios têm a temperatura ótima para se desenvolverem. Temperaturas variando entre 20 e 60°C, o valor da μ_m aumenta gradualmente, sendo que, acima deste valor, há uma tendência de diminuição brusca na taxa de crescimento dos micro-organismos (LIMA, 2011).

Campos (1999) acrescenta que a operação de biorreatores anaeróbios a temperaturas inferiores a 20° C deve ser cautelosamente analisada, uma vez que nestas temperaturas a solubilização de gorduras, material particulado e polímeros é lenta, podendo formar uma camada limite no meio, causando instabilidades no sistema. Em temperaturas inferiores a 15 °C, as bactérias metanogênicas começam a paralisar a produção de metano (OLIVEIRA, 1993).

A taxa de produção de metano e subsequente produção de biogás estão apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11 - Cálculo da taxa de crescimento máximo específico dos micro-organismos, da taxa de produção de metano e produção de biogás, passíveis de serem obtidos na granja estudada.

Temperatura (°C)	Taxa de Produção de Metano (m ³ de CH ₄ .m ³ reator ⁻¹ .dia ⁻¹)		Produção de Biogás (m ³ biogás.m ⁻³ da câmara de digestão.dia ⁻¹)	
	θ de 22 dias	θ de 30 dias	θ de 22 dias	θ de 30 dias
20	0,106	0,084	0,162	0,129
25	0,116	0,089	0,179	0,137
30	0,121	0,091	0,186	0,141

Dentro da faixa de temperaturas utilizadas para os cálculos (20, 25 e 30 °C), observa-se um aumento na produção de metano (e conseqüentemente, na produção de biogás) conforme a temperatura aumenta, pois, como explicado anteriormente, a temperatura é um fator condicionante aos micro-organismos responsáveis pela digestão anaeróbia. Além disso, observa-se ainda que o tempo de retenção hidráulica (θ) de 22 dias é mais atrativo à produção de metano, quando comparado ao de 30 dias.

Diferentemente da taxa de crescimento máximo específico dos micro-organismos, a produção de metano não aumenta linearmente com o aumento da temperatura. Realizando os cálculos de produção de metano com temperaturas variando de 20 a 60°C (Tabela 12), verifica-se que a produção de metano assume um comportamento análogo ao logarítmico – R² de aproximadamente 0,9 em ambas as curvas (Gráfico 2).

Tabela 12 – Variação da taxa de crescimento máximo específico dos micro-organismos (μ_m) e da produção de metano com o aumento da temperatura em tempos de retenção hidráulica (θ) de 22 e 30 dias.

Temperatura da biomassa (°C)	μ _m (dia ⁻¹)*	Produção de metano (m ³)	
		θ de 22 dias	θ de 30 dias
20	0,131	0,106	0,084
25	0,196	0,116	0,089
30	0,261	0,121	0,091
35	0,326	0,124	0,093
40	0,391	0,126	0,094
45	0,456	0,127	0,094
60	0,651	0,129	0,096

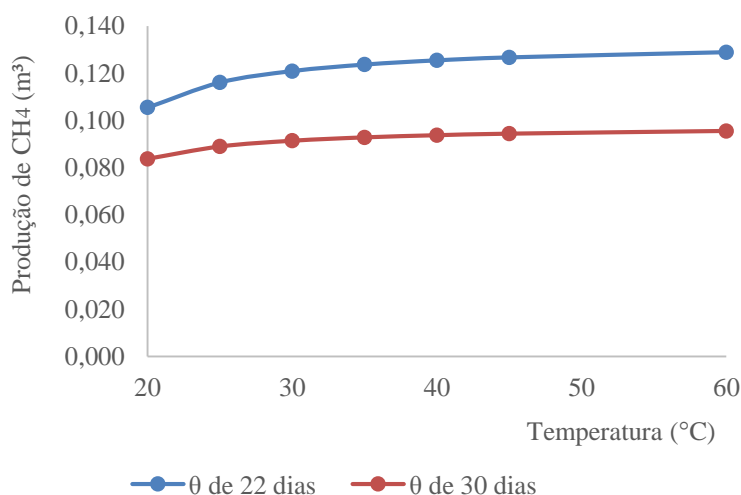


Gráfico 2 – Relação entre produção de metano e temperatura no intervalo de 20°C a 60°C, utilizando θ's de 22 e 30 dias.

O θ de 30 dias apresentou resultados menos satisfatórios em relação a produção de biogás, pois na medida que se prolonga o período de permanência do substrato no interior do biodigestor, a matéria orgânica biodegradável tende à escassez, devido a atividade de degradação microbológica (POULSEN, 2003).

Lima (2011) realizou uma simulação de produção de metano baseada nas modelagens matemáticas propostas por Hashimoto, e verificou que as taxas de produção de metano são ótimas quando: a temperatura se encontra na faixa mesotérmica (aproximadamente 40°C), o θ é de 10 dias e há a disponibilidade de grandes concentrações de sólidos voláteis no substrato.

Para os cálculos seguintes deste trabalho, utilizou-se a produção de biogás com o θ de 22 dias e a temperatura de 20°C, visto que o θ de 22 dias apresenta valores mais satisfatórios em termos de produção de metano e a temperatura média anual de Mamborê é de 21°C (INSTITUTO AGRONÔMICO PARANAENSE, 2000). Desta forma, tem-se que volume interno do biodigestor deve ser, no mínimo de 1.015 m³.

A partir do volume interno do biodigestor e da produção de biogás de 0,162 m³ biogás.m⁻³ da câmara de digestão.dia⁻¹ (temperatura de 20° C e θ de 22 dias), estima-se que, após a estabilização do sistema, a propriedade tenha capacidade de gerar 164,43 m³ biogás.dia⁻¹.

5.5 APROVEITAMENTO DO BIOGÁS

Com o intuito de apresentar a equivalência existente entre outras fontes de combustíveis e o volume de biogás gerado na granja estudada, elaborou-se a Tabela 13 com base no levantamento realizado por Barreira (2011).

Tabela 13 – Equivalência de alguns combustíveis com o biogás gerado na granja estudada em um dia.

Combustíveis	Equivalência a 1m ³ de biogás	Custo dos combustíveis	Respectivas equivalências a 164,43 m ³ .dia ⁻¹	Rendimento equivalente
Gasolina	0,613 L	R\$ 3,20.L ⁻¹	100,8 L.dia ⁻¹	R\$ 322,56 dia ⁻¹
Querosene	0,579 L	R\$ 2,15.L ⁻¹	95,2 L.dia ⁻¹	R\$ 204,68 dia ⁻¹
Óleo diesel	0,553 L	R\$ 2,77.L ⁻¹	90,9 L.dia ⁻¹	R\$ 251,79 dia ⁻¹
Gás de cozinha (GLP)	0,454 L	R\$ 1,96.L ⁻¹	74,6 L.dia ⁻¹	R\$ 146,22 dia ⁻¹
Lenha	1,536 kg	R\$ 2,30.kg ⁻¹	252,6 L.dia ⁻¹	R\$ 580,98 dia ⁻¹
Álcool desidratado	0,790 L	R\$ 2,40.L ⁻¹	129,9 L.dia ⁻¹	R\$ 311,76 dia ⁻¹

Fonte: Adaptado de Barreira (2011).

Sabendo que a granja estudada tem capacidade de gerar 164,43 m³ de biogás diariamente, seria possível a geração de 235 kWh.dia⁻¹ de energia elétrica, em outras palavras, 85.826,1 kWh.ano⁻¹ de energia elétrica.

Produções mais significativas de biogás e, conseqüentemente, de energia elétrica, seriam possibilitadas caso a concentração dos sólidos voláteis e a temperatura do sistema fossem superiores. Contudo, as águas residuárias geradas na granja possuem menos de 1% de sólidos voláteis e não se cogita a adesão de um aquecedor da biomassa, devido ao seu elevado custo associado.

Sabendo-se que o biogás gerado anualmente na granja em estudo, tem capacidade de ser convertido em 85.826,1 kWh.ano⁻¹ de energia elétrica, e que, a tarifa de energia elétrica cobrada pela concessionária local para propriedades rurais, é de R\$ 0,49232/kWh (COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA, 2015), poderiam ser economizados R\$ 42.253,90 anualmente por meio da cogeração.

O consumo anual de energia elétrica de toda a propriedade (granja e residência do proprietário), compreendendo a iluminação, o aquecimento, o sistema de tratamento automatizado e o bombeamento de água e de efluentes líquidos, gira em torno de 85.000

kWh.ano⁻¹, logo, caso a granja implantasse o sistema de conversão do biogás em energia elétrica, ela se tornaria autossuficiente nesse recurso e teria um excedente de 826,1 kWh.ano⁻¹.

5.6 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA

5.6.1 Cenário Realista

Como sugere o título (Cenário Realista), neste item é apresentada a análise econômica da implantação do biodigestor de fluxo tubular e do sistema de conversão de biogás em energia elétrica de modo factível, conforme as informações reais obtidas por meio de referências bibliográficas atualizadas e pesquisas de campo.

Os investimentos decorrentes da implantação das tecnologias supracitadas foram obtidos por meio de orçamento fornecido pela empresa *Byoenergy* (nome fictício) e estão relacionados na Tabela 14.

Tabela 14 – Orçamento concedido pela empresa *Byoenergy* contemplando o sistema completo de biodigestor e conversão do biogás em energia elétrica.

Item	Descrição dos produtos e/ou Serviços	Unid.	Qtde	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)	% do custo	Vida útil (anos)
Biodigestor 1130m³							
1	Geomembranas PEBDL 1,25mm	m ²	660,0	19,26	12.713,25	7,93	10
2	Geomembranas PEAD 0,8mm	m ²	770,0	13,63	10.493,18	6,55	10
3	Frete Geomembrana	m ²	1430,0	0,50	715,00	0,45	-
4	Escavação	m ³	1130,0	4,50	5.085,00	3,17	25
5	Serviços de retro-escavadeira	hora	25	120,00	3.000,00	1,87	25
6	Manutenção	meses	6	600,00	3.600,00	2,24	-
Total					35.606,43	22,21	
Transporte e queima de biogás							
1	Tubo pvc 150mm	unid	15	100,00	1.500,00	0,93	10
2	Tubo pvc 100mm	unid	15	45,00	675,00	0,42	10
3	Saídas de biogás	unid	2	350,00	700,00	0,43	10
4	Saídas de agitação e passagem	unid	4	350,00	1.400,00	0,87	10
5	Moto bomba recirculação dejetos	unid	1	1.500,00	1.500,00	0,94	10
6	Parte elétrica	unid	1	3.500,00	3.500,00	2,18	10
7	Casinha para gerador	unid	1	1.500,00	1.500,00	0,93	25
8	Outras peças e despesas	unid	1	1.000,00	1.000,00	0,62	-
Total					11.775,00	7,33	

Continua

Continuação

		Outras despesas					
1	Hospedagem	unid	50	52,00	2.600,00	1,62	-
2	Combustível	unid	600	2,65	1.590,00	0,99	-
3	Mão de Obra	unid	1	25.000,00	25.000,00	15,60	-
4	Alimentação	unid	50	25,00	1.250,00	0,78	-
5	ART	unid	1	500,00	500,00	0,31	-
6	Diárias mão de Obra Extra	unid	30	80,00	2.400,00	1,50	-
7	Gerador biogás 60 kva	unid	1	70.000,00	70.000,00	43,66	10
Total					103.340,00	64,46	
1	Impostos				9.600,00	6,00	
Preço total dos materiais					160.321,43	100,00	

A operação do sistema de tratamento das águas residuárias é diária e necessita da presença de dois funcionários responsáveis por sua higienização e zelo. Posto isso, considerou-se uma despesa anual de R\$42.000,00.ano⁻¹, em que cada indivíduo trabalhará 1.584 h.ano⁻¹ (seis horas.dia⁻¹ e cinco dias.semana⁻¹).

A empresa responsável pelo orçamento, também presta serviços de manutenções periódicas em biodigestores e no conjunto moto-gerador, cobrando para isto, um montante anual de R\$ 7.200,00.

Os custos de operação e manutenção preventiva do sistema de conversão do biogás em energia elétrica empregado na granja estudada, considerando óleo lubrificante, filtro de óleo, filtro do gás sulfídrico, filtro de ar, correia dentada e esticador, foram estimados tomando por base o estudo de Ricardo (2012), totalizando R\$12.000,00 por ano.

O fluxo de caixa do projeto (estimado sobre um horizonte de 10 anos) apresenta o fator de recuperação de capital, em que se considerou como entrada, a produção do biofertilizante e o aproveitamento da energia elétrica – receita operacional; e como saídas, tem-se o investimento inicial, a depreciação, o custo anual com funcionário e a manutenção do sistema - custos operacionais (Tabela 15).

Tabela 15 - Fluxo de caixa referente contemplando a implantação do projeto (biodigestor e moto-gerador) na granja em estudo, compreendendo o horizonte de dez anos para o cenário realista.

Dados	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Macroeconômicos	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Receita operacional	0	102.693,90	102.693,90	102.693,90	102.693,90	102.693,90	102.693,90	102.693,90	102.693,90	102.693,90	102.693,90
(+) Venda do biofertilizante		60.440,00	60.440,00	60.440,00	60.440,00	60.440,00	60.440,00	60.440,00	60.440,00	60.440,00	60.440,00
(+) Venda do biogás		42.253,90	42.253,90	42.253,90	42.253,90	42.253,90	42.253,90	42.253,90	42.253,90	42.253,90	42.253,90
(+) Valor residual	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Custo operacional	0	71.801,55	71.801,55	71.801,55	71.801,55	71.801,55	71.801,55	71.801,55	71.801,55	71.801,55	71.801,55
(-) Custos		61.200,00	61.200,00	61.200,00	61.200,00	61.200,00	61.200,00	61.200,00	61.200,00	61.200,00	61.200,00
(-) Funcionários		42.000,00	42.000,00	42.000,00	42.000,00	42.000,00	42.000,00	42.000,00	42.000,00	42.000,00	42.000,00
(-) Manutenções periódicas		7.200,00	7.200,00	7.200,00	7.200,00	7.200,00	7.200,00	7.200,00	7.200,00	7.200,00	7.200,00
(-) Manutenção e operação preventiva		12.000,00	12.000,00	12.000,00	12.000,00	12.000,00	12.000,00	12.000,00	12.000,00	12.000,00	12.000,00
(-) Depreciação		10.601,55	10.601,55	10.601,55	10.601,55	10.601,55	10.601,55	10.601,55	10.601,55	10.601,55	10.601,55
Saldo de caixa		30.892,35	30.892,35	30.892,35	30.892,35	30.892,35	30.892,35	30.892,35	30.892,35	30.892,35	30.892,35
(+) Depreciação	0	10.601,55	10.601,55	10.601,55	10.601,55	10.601,55	10.601,55	10.601,55	10.601,55	10.601,55	10.601,55
(=) Disponibilidade no caixa		41.493,90	41.493,90	41.493,90	41.493,90	41.493,90	41.493,90	41.493,90	41.493,90	41.493,90	41.493,90
(+) Recursos próprios	160.321,43										
(=) Fluxo de caixa	- 160.321,43	41.493,90	41.493,90	41.493,90	41.493,90	41.493,90	41.493,90	41.493,90	41.493,90	41.493,90	41.493,90
(=) Recursos acumulados	- 160.321,43	41.493,90	82.987,80	124.481,70	165.975,60	207.469,50	248.963,40	290.457,30	331.951,20	373.445,10	414.939,00
(=) Saldo	- 160.321,43	- 118.827,53	- 77.333,63	- 35.839,73	5.654,17	47.148,07	88.641,97	130.135,87	171.629,77	213.123,67	254.617,57

Observando o fluxo de caixa, verifica-se que do quarto ano em diante os saldos são positivos, o que leva a crer que o investimento se paga nesse período. Todavia, o fator de recuperação de capital ou *Payback*, não considera a variação do valor monetário ao longo do tempo.

Considerar essa variação é fundamental, afinal, o valor de R\$10.000,00 há 10 anos é completamente diferente do valor de R\$10.000,00 atualmente. O dinheiro perde valor com o passar do tempo devido a inflação (RUIJTER, 2007). Por isso se utiliza os métodos determinísticos de investimentos, pois estes levam em conta essa variação monetária no decorrer do tempo.

Mediante ao fluxo de caixa do projeto (Tabela 15), foram calculados os indicadores econômicos: valor presente líquido (VPL), valor uniforme anual equivalente (VAUE) e taxa interna de retorno (TIR) (Tabela 16).

Tabela 16 – Indicadores econômicos referentes a implantação do biodigestor e do moto-gerador na granja estudada.

Receita Operacional	VPL	VAUE	TIR
102.693,90	193.413,37	26.278,68	12,393%

Verifica-se por meio do VPL que o investimento é atrativo, pois o valor final foi maior que zero. Além do projeto pagar o valor investido dentro de quadro anos, ainda proporciona lucros superiores a taxa de 6% ao ano (valor de poupança), resultando em um valor presente ou riqueza absoluta de R\$193.413,37. De acordo com a interpretação de Botteon (2009), o investidor será R\$193.413,37 mais rico se optar pelo investimento em questão.

O VAUE também converge para a viabilidade do projeto e demonstra que o mesmo terá um lucro médio de R\$26.278,68 por ano ao longo da vida útil de 10 anos do projeto.

A TIR de 12,393%, embora não tenha significados mais incisivos sobre a análise de investimento, ela evidencia a viabilidade do projeto, pois apresentou resultado 6,393% acima dos 6% da taxa mínima de atratividade.

5.6.2 Cenário Pessimista

Para o cenário pessimista todos os custos, inclusive o investimento necessário à adesão das tecnologias, receberão acréscimos, de modo a simular adversidades econômicas.

A receita proveniente do biofertilizante sofrerá uma redução de 8,5% (passará a ser R\$55.304,31.ano⁻¹). A receita advinda da energia elétrica não será alterada (permanecerá R\$42.254,90.ano⁻¹), tendo em vista que na atual conjuntura do país, tudo indica que a energia elétrica se tornará mais cara e a ideia deste tópico é simular adversidades ao investimento. Assim, considerar uma redução na receita da energia elétrica não faria sentido.

Desta maneira, as receitas, no contexto do cenário pessimista, serão de R\$97.559,21.ano⁻¹.

Com um acréscimo de 10% no investimento, o mesmo passará a custar R\$176.353,60. A depreciação será mantida nos termos do cenário real (R\$ 10.601,55.ano⁻¹). Para a operação, zelo e higienização do sistema implantado, considerou-se a necessidade de dois funcionários, com um custo anual de R\$46.000,00. As manutenções periódicas terão um custo anual de R\$8.500,00. Por fim, os custos de operação e manutenção preventiva terá um valor anual de R\$14.000,00.

O horizonte temporal do fluxo de caixa permanecerá inalterado (10 anos) e a taxa de atratividade utilizada nos métodos determinísticos de investimentos continuará sendo de 6%. Assim o fluxo de caixa elaborado para o cenário pessimista está apresentado na Tabela 17.

Tabela 17 - Fluxo de caixa referente contemplando a implantação do projeto (biodigestor e moto-gerador) na granja em estudo, compreendendo o horizonte de dez anos para o cenário pessimista.

Dados	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Macroeconômicos	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Receita operacional	0	97.559,21	97.559,21	97.559,21	97.559,21	97.559,21	97.559,21	97.559,21	97.559,21	97.559,21	97.559,21
(+) Venda do biofertilizante e do biogás		97.559,21	97.559,21	97.559,21	97.559,21	97.559,21	97.559,21	97.559,21	97.559,21	97.559,21	97.559,21
(+) Valor residual	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Custo operacional	0	79.101,55	79.101,55	79.101,55	79.101,55	79.101,55	79.101,55	79.101,55	79.101,55	79.101,55	79.101,55
(-) Custos		68.500,00	68.500,00	68.500,00	68.500,00	68.500,00	68.500,00	68.500,00	68.500,00	68.500,00	68.500,00
(-) Funcionários		46.000,00	46.000,00	46.000,00	46.000,00	46.000,00	46.000,00	46.000,00	46.000,00	46.000,00	46.000,00
(-) Manutenções periódicas		8.500,00	8.500,00	8.500,00	8.500,00	8.500,00	8.500,00	8.500,00	8.500,00	8.500,00	8.500,00
(-) Manutenção e operação preventiva		14.000,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00	14.000,00
(-) Depreciação		10.601,55	10.601,55	10.601,55	10.601,55	10.601,55	10.601,55	10.601,55	10.601,55	10.601,55	10.601,55
Saldo de caixa	0	18.457,66	18.457,66	18.457,66	18.457,66	18.457,66	18.457,66	18.457,66	18.457,66	18.457,66	18.457,66
(+) Depreciação		10.601,55	10.601,55	10.601,55	10.601,55	10.601,55	10.601,55	10.601,55	10.601,55	10.601,55	10.601,55
(=) Disponibilidade no caixa		29.059,21	29.059,21	29.059,21	29.059,21	29.059,21	29.059,21	29.059,21	29.059,21	29.059,21	29.059,21
(+) Recursos próprios	176.353,60										
(=) Fluxo de caixa	- 176.353,60	29.059,21	29.059,21	29.059,21	29.059,21	29.059,21	29.059,21	29.059,21	29.059,21	29.059,21	29.059,21
(=) Recursos acumulados	- 176.353,60	29.059,21	58.118,42	87.177,63	116.236,84	145.296,05	174.355,26	203.414,47	232.473,68	261.532,89	290.592,10
(=) Saldo	- 176.353,60	-147.294,39	-118.235,18	-89.175,97	-60.116,76	-31.057,55	-1.998,34	27.060,87	56.120,08	85.179,29	114.238,50

Ao observar o fluxo de caixa apresentado nas Tabelas 17, tem-se a impressão de que o capital investido seria recuperado no sétimo ano. Contudo, como o *Payback* demonstra somente o prazo necessário para a recuperação do capital investido, sem considerar a desvalorização do dinheiro ao longo do tempo, se faz necessário a aplicação dos métodos determinísticos de investimentos mais sofisticados.

Adianta-se, porém, que quanto mais longo é o período para os fluxos se tornarem positivos, mais difícil é que o investimento se apresente rentável, pois quanto mais se prolonga os anos a tendência é que menos valor o dinheiro tenha.

Mediante as condições estabelecidas para a análise de viabilidade econômica no cenário pessimista, o investimento seria inviável, pois o VPL obtido no caso em questão é de R\$ - 400.233,04. Como o VPL encontrado no cálculo foi negativo, o retorno do projeto será menor que o investimento inicial, o que sugere que ele seja reprovado (CASAROTTO; KOPITTKKE, 2008).

Como o VPL resultante foi negativo, não faz sentido calcular o VAUE e o TIR, pois certamente também apresentarão resultados que confluem à reprovação do investimento.

Perante as condições estabelecidas para o cenário pessimista, o investimento só se apresentaria rentável caso o seu horizonte fosse de 15 ao invés de 10 anos. Pois o VPL seria de R\$6.5576,43, o VAUE seria de R\$8.909,74 e a TIR é de 7,146%. O problema dessa extrapolação é que ela excede o prazo de vida útil da maioria dos equipamentos.

5.6.3 Cenário Realista X Cenário Pessimista

Analisando os dois cenários de modo comparativo, caso as condições simuladas para o cenário pessimista ocorressem, o investimento seria inviável. Ao passo que, nas condições factuais levantadas no cenário realista, o investimento além de ser viável, é também lucrativo.

Vale frisar que no cenário pessimista, as condições simuladas foram pensadas de modo adversativo ao investimento.

Dentro do contexto atual, no qual a energia elétrica está supervalorizada, os cenários poderiam se tornar otimistas, do ponto de vista do investimento. Com a energia elétrica mais cara, o retorno financeiro seria ainda mais expressivo que aquele apresentado no cenário realista, uma vez que o proprietário não precisaria pagar por tal recurso, pois ele o produziria a partir da biomassa residual gerada em sua granja.

6 CONCLUSÃO

As águas residuárias geradas na granja em estudo possuem baixa concentração de sólidos, devido ao uso exagerado de água nas instalações. Em decorrência disso, a disponibilidade de matéria orgânica biodegradável (sólidos voláteis) também é pequena, o que reflete diretamente na produção de biogás e, conseqüentemente, na produção de energia elétrica.

Perante ao volume anual de águas residuárias, à geração de biogás oriunda desta e às condições estabelecidas, seria possível auferir um montante de R\$102.693,90 em receita anual, por meio da geração do biofertilizante e da energia elétrica.

Confrontando o montante supracitado com o investimento e os custos necessários para a implantação, manutenção e zelo do biodigestor de fluxo tubular e do moto-gerador, o Prazo de Recuperação do Capital materializado no fluxo de caixa, permitiu a obtenção de resultados que apontaram à rentabilidade econômica do projeto no cenário realista (recuperação de investimento em três anos, Valor Presente Líquido de R\$193.413,37, o Valor Uniforme Anual Equivalente de R\$26.278,68 e a Taxa Interna de Retorno de 12,393%).

Por fim, vale a pena ressaltar que, além do projeto ser rentável, sua adesão implicaria em benefícios ambientais como a utilização de uma fonte renovável de energia e reciclagem de nutrientes e de matéria orgânica por meio do biofertilizante. Ademais, como sugestão de trabalhos futuros, caberia a elaboração de projeto de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) à granja, de modo a auferir mais uma receita ao estudo de viabilidade econômica.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2008. 3ª ed. Brasília. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1689>. Acesso em: 24 abr. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Bando de informações de geração**. 2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=15>>. Acesso em: 10 dez. 2015.

ASSIS, Fabiola Oro; MURATORI, Ana Maria. Poluição hídrica por dejetos de suínos: um estudo de caso na área rural do município de Quilombo, Santa Catarina. **Revista Eletrônica Geografar**, Curitiba, v.2, n.1, p.42-59, jan./jun. 2007. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/geografar/article/view/8418/5894> >. Acesso em 12 out 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Estatísticas**. 2014. Disponível em: <<http://www.abipecs.org.br/>>. Acesso em: 09 mar. 2015.

ATZINGEN, Eduardo Von. **Sistema de produção**. S.O.S. Suínos, Informativo Técnico nº 90. Goiânia, 2010. Disponível em: <<http://www.sossuinos.com.br/Tecnicos/info90.htm>>. Acesso em: 06 mar. 2015.

BARBOSA, George; LANGER, Marcelo. Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental. **Unoesc & Ciência – ACSA**. Joaçaba, v.2, n.1, p.87-96, jan./jun. 2011. Disponível em: <http://editora.unoesc.edu.br/index.php/acsa/article/view/864/pdf_154>. Acesso em: 10 mar. 2015.

BARREIRA, Paulo. **Biodigestores – energia, fertilizantes e saneamento para a zona rural**. 2011. 3ª ed. Editora Icone. São Paulo.

BOTTEON, Claudia. **Indicadores de rentabilidade**. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão Secretaria de Planejamento e Investimentos Estratégicos, Brasília, 2009. Disponível em: <<http://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/0/35920/indicadores-portugues.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2015.

BRITES, Olavo; GAFFEIRA, Tiago. **Biogás**. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2007.

CAMPOS, José R. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rede Cooperativa de Pesquisas e Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB), Rio de Janeiro: ABES, 1999.

CARREAS, Nely. **O biogás**. Programa de Capacitação em Energias Renováveis. Observatório de Energias Renováveis para a América Latina e o Caribe. 2013.

CARVALHO, Pedro Luiz C.; VIANA, Eduardo F. Suinocultura SISCAL e SISCON: análise e comparação dos custos de produção. **Custos e @gronegocio on line**. Pernambuco, v.7, n.3, p.02-20, set/dez, 2011. Disponível em: <<http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero3v7/suinocultura.pdf>>. Acesso em: 09 mar. 2015.

CASAGRANDE, Luiz F. **Avaliação descritiva de desempenho e sustentabilidade entre uma granja suinícola convencional e outra dotada de um Biosistema Integrado (B.S.I.)**. 2003. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

CASAROTTO, Nelson F; KOPITTKKE, Bruno H. **Análise de investimentos: matemática financeira, Engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial**. 10. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

CASTRO, Bruna B.; COELHO, Fábio C.; SOARES, Rita T. R. N.; SILVA, Ederaldo A. Utilização de dejetos de suínos em fase de crescimento e terminação para Produção de Adubos Orgânicos. **Cadernos de Agroecologia**. Vol 8, n°. 2, Nov 2013. Disponível em: <<http://www.aba-agroecologia.org.br/revistas/index.php/cad/article/viewFile/14750/9626>>. Acesso em: 13 ago 2015.

CHERNICHARO, Carlos A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Reatores anaeróbios**. 1997. v. 5. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) - UFMG, Belo Horizonte.

COLDEBELLA, Anderson. **Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais**. 2006. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel-PR, 2006.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Taxas e tarifas**. 2015. Disponível em:<<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Ftarifas%2Fpagcope12.nsf%2Fverdocatual%2F23BF37E67261209C03257488005939E>>. Acesso em: 02 out. 2015.

CORRÊA, Juliano C.; NICOLOSO, Rodrigo S.; MENEZES, June F. S.; BENITES, Vinícius M. **Critérios técnicos para recomendação de biofertilizante de origem animal em sistemas de produção agrícolas e florestais.** Comunicado Técnico 486, EMBRAPA, Concórdia, SC. 2011. Disponível em: <http://www.mepel.ind.br/upload/download/down_0_5.pdf>. Acesso em 26 abr. 2015.

CORTEZ, Luís A. B.; SILVA, Andrés; JÚNIOR, Jorge L.; JORDAN, Rodrigo A.; CASTRO, Larissa R. Biomassa para energia. **Capítulo 15: Biodigestão de efluentes.** Campinas, SP. 1ª ed. Editora da UNICAMP. 2008.

COSTA, Daniel José A. **Aplicação de conceitos da análise econômica financeira de investimentos em uma cafeteria.** 2012. 29 f. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado (MBA em Gestão Empresarial) – Pós-Graduação *lato sensu*, Nível de Especialização, do Programa FGV Management, Maceió – AL, 2012.

CRUZ, Alathéia F.; WANDER, Alcido E.; SOUSA, Alexandre G.; SILVA JR., Renato P.; RIBEIRO, Francis L. Viabilidade econômica do uso do biodigestor na suinocultura. **Anais.** In: XLV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (SOBER): "Conhecimentos para Agricultura do Futuro". Londrina, 22 a 25 de julho de 2007. Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/222099868_Viabilidade_economica_do_uso_do_biodigestor_na_suinocultura>. Acesso em 15 mai. 2015.

DARTORA, V.; PERDOMO, C. C.; TUMELERO, I. L. **Manejo de dejetos de suínos.** Boletim Informativo de Pesquisa - Embrapa Suínos e Aves e Extensão, EMATER/RS, ano 7, nº 11. 1998.

DIAS, Maria I. A.; COLEN, Fernando; FERNANDEZ, Luis A.; SOUZA, Rogério M.; BUENO, Osmar C. Viabilidade econômica do uso do biogás proveniente da suinocultura, em substituição a fontes externas de energia. 2013. **Energia Agrícola**, Botucatu, vol. 28, n.3, p.155-164, julho-setembro, 2013.

DIESEL, Roberto; MIRANDA, Cláudio R.; PERDOMO, Carlos C. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos.** Concórdia, SC: Embrapa Suíno e Aves e Extensão, EMATER/RS, ano 10, nº 14, 2002, 31p. CNPSA. Documentos, 14. Disponível em: <http://docsagencia.cnptia.embrapa.br/suino/bipers/bipers_14.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **A suinocultura no Brasil.** Central de Inteligência de Aves e Suínos – Embrapa, 2013. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/cias/index.php?option=com_content&view=article&id=5:origem-dos-suinos&catid=4:suinos-publico&Itemid=19>. Acesso em: 30 out. 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Boas Práticas de Produção de Suínos**. Concórdia, SC. 2006. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/publicacao_k5u59t7m.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2015.

FELIZOLA, Cristina S.; LEITE, Valderi D.; PRASAD, Shiva. Estudo do processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás. **Agropecuária Técnica**, v.27, n.1, p.53–62, 2006. Disponível em: <http://www.cca.ufpb.br/revista/pdf/2006_1_8.pdf>. Acesso em 23 abr. 2015.

FERNANDES, Dangela M. **Biomassa e biogás da suinocultura**. 2012. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

FERNANDES, Gracie F.R; OLIVEIRA, Roberto A. Desempenho de processo anaeróbio em dois estágios (reator compartimentado seguido de reator UASB) para tratamento de águas residuárias de suinocultura, **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, jan./jun. 2006.

FERREIRA, Eliane F.; FILHO, Geraldo L. T. Agroenergia - um curso sobre fundamentos do uso da energia no meio rural. **Enc. Energ. Meio Rural**, Na. 5, 2004. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC000000022004000100006&script=sci_arttext>. Acesso em 23 abr. 2015.

FRY, John L.; MERRILL, Richard. **Methane digesters for fuel gas and fertilizer with complete instructions for two working models**. 1973. Santa Bárbara, Califórnia. Disponível em: <<http://large.stanford.edu/courses/2013/ph240/bechstein2/docs/fry.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2015.

GASPAR, Rita Maria 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 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GERVÁSIO, Edmar W. **Suinocultura - Análise da Conjuntura Agropecuária**. 2013. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/SuinoCultura_2012_2013.pdf>. Acesso em: 26 de ago. de 2014. Acesso em: 09 mar. 2015.

GERVÁSIO, Edmar W. **Suinocultura: Análise da conjuntura**. 2014. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/suinocultura_2013_14.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2015.

GONÇALVES, Rafael G.; PALMEIRA, Eduardo M. Suinocultura brasileira. Observatorio de la Economía Latinoamericana. 2006. **Revista académica de economia**. n.71, dez., 2006. Disponível em: <<http://www.eumed.net/coursecon/ecolat/br/06/rgg.htm>>. Acesso em: 10 mar. 2015.

HILBERT, Jorge A. **Manual para la produccion de biogás**. 1992. Disponível em: <<http://inta.gov.ar/documentos/manual-para-la-produccion-de-biogas>>. Acesso em: 25 abr. 2015.

HIRSCHFELD, Henrique. **Engenharia econômica e análise de custos**. 7ª ed. São Paulo: Atlas, 2011.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas Climáticas do Paraná**, 2000. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>>. Acesso em: 07 abr. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Números da pecuária paranaense**. 2015. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/npr.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2015.

JUNGES, Dóris M.; KLEINSCHMITT, Sandra C.; SHIKIDA, Pery F. A.; SILVA, Josemar R. Análise econômico-financeira da implantação do sistema de biodigestores no Município de Toledo (PR). **Revista de Economia**, v. 35, n. 1 (ano 33), p. 7-30, jan./abril 2009.

KONZEN, Egídio A. **Manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA. Circular Técnica, 6, 1983.

KONZEN, Egídio A. **Manejo e utilização dos dejetos de suínos em crescimento e terminação, manejos em forma líquida**. 1980. 56 f. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1980.

KOTZ, Aline; SCHMITZ, Mônica; MATIELLO, Sabrina. **Estimativa da produção de biogás a partir de dejetos suínos: avaliação da eficiência energética do metano e a geração de créditos de carbono**. 2011. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Medianeira, 2011.

KUNZ, Airton; HIGARASHI, Martha Mayumi; OLIVEIRA, Paulo Armando de. Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 22, n. 3, p. 651-665, set./dez. 2005.

LETTINGA, G.; HULSHOF POLL, W.; ZEEMAN, G. **Biological Wastewater Treatment. Part I: Anaerobic Wastewater treatment.** Lecture Notes. Wageningen Agricultural University, Ed. January, 1996.

LIMA, Heleno Q. **Avaliação dos modelos Hashimoto e AMS-III.D para produção de metano com dejetos de suínos.** 2011. 99 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do ABC, Santo André – SP, 2011.

MAACK, R. **Geografia Física do Estão do Paraná.** Curitiba: Imprensa Oficial do Paraná. 2002, 438 p.

MARQUEZAN, Luiz H. F.; BRONDANI, Gilberto. Análise de investimentos. **Revista Eletrônica de Contabilidade**, vol. III n. 1 jan./jun. 2006.

MARTINS, Franco M.; OLIVEIRA, Paulo A. V. Análise econômica da geração de energia elétrica a partir do biogás na suinocultura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.3, p.477-486, maio/jun. 2011.

MATIELLO, Alexandre M. **Análise do potencial de geração de energia utilizando-se biogás da suinocultura em Santa Catarina.** 2008. 120 f. Relatório de Estágio Supervisionado de Conclusão de Curso (para obtenção do título de Bacharel em Zootecnia) – Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC, Chapecó, SC. 2008.

MERLINI, Luiz Sérgio; FRASQUETTE, Lúcio Tomaz; SPOSITO, Paulo Henrique; DUTRA, Henrique Merlini; BEGOTTI, Ivan Lazzarim. Caracterização do consumidor e do mercado da carne suína no município de Umuarama – Paraná – Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.18; p. 833, 2014.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco energético nacional - BEN.** Brasília, Brasil: MME, 1982.

NASCIMENTO, R. C. O uso do biofertilizante em solos agrícolas do cerrado da região do Alto Paranaíba (MG). **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 30, n. 2, jul./dez. 2010.

NISHIMURA, Rafael. **Análise de balanço energético de sistema de produção de biogás em granja de suínos: implantação de aplicativo computacional.** 2009. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande-MS, 2009.

NOGUEIRA, A. C. L. Agricultura: o agronegócio da suinocultura brasileira. **Análise de conjuntura**. FIPE, abril 2015. Disponível em: <<http://www.fipe.org.br/pt-br/publicacoes/bif/>>. Acesso em: 12 mai. 2015.

NOGUEIRA, Luiz Augusto H. **Biodigestão: a alternativa energética**. São Paulo: Nobel, 1986.

OLIVEIRA, Roberto A.; DUDA, Rose M. Tratamento de águas residuárias de suinocultura em reator anaeróbio operado em batelada sequencial. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.14, n.4, out./dez. 2009.

OLIVEIRA, Matias M. **Estudo da inclusão de compartimentos em biodigestores modelo canadense**. 2012. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Área de Concentração em Desenvolvimento de Processos Agroindustriais e Ambientais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2012.

OLIVEIRA, Paulo A. V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. EMBRAPA-CNPSA, Documentos, n° 27, 1993.

OLIVEIRA, Rubens A.; CAMPELO, Paulo L. G.; MATOS, Antônio T.; MARTINEZ Mauro A.; CECON, Paulo R. Influência da aplicação de águas residuárias de suinocultura na capacidade de infiltração de um solo podzólico vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.2, 2000.

OLIVER, A. P. M.; NETO, A. A. S.; QUADROS, D. G.; VALLADARES, R. E. **Manual de treinamento em biodigestão**. Winrock International Brasil, 2008.

PERDOMO, Carlos C.; LIMA, Gustavo J. M. M.; NONES, Kátia. Suinocultura e meio ambiente. In: Seminário Nacional de Desenvolvimento da Suinocultura, 9, 2001, Gramado. **Anais**. Gramado: Embrapa Suínos e Aves, 2001 p.08-24. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/anais0104.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2015.

PERDOMONO, Carlos C; OLIVEIRA, Paulo A. V; KUNZ, Airton. **Sistemas de Tratamento de Dejetos Suínos: Inventário Tecnológico**. Embrapa Suínos e Aves. Concórdia-SC, 2003. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/preventiva/inventario_tecnologico_sistemas_tratamento.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2015.

PEREIRA, Edilaine R. **Qualidade da água residuária em sistemas de produção e de tratamento de efluentes de suínos e seu reuso no ambiente agrícola.** 2006. 130 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, SP. 2006.

PINTO, Luana P.; CABRAL, Ana C.; SCHNEIDER, Lara T.; AZEVEDO, Késia D.; FRIGO, Jianice P.; FRIGO, Elisandro P. Levantamento de dados sobre os dejetos suínos e suas características. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Palotina, v. 3, p. 179-187, 2014. PIVELI, Roque P.; KATO, Mario T.; Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos. **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental-ABES**, São Paulo-SP, 2005.

POULSEN, Tjalfe G. **Solid Waste Management – Chapter 5 Anaerobic Digestion.** 2003. Aalborg University. Disponível em: <http://agrienvarchive.ca/bioenergy/download/intwastech_5_poulsen_2003.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2015.

REFOSCO, Douglas. **Utilização de resíduos da suinocultura para produção de energia através do biogás e fertilizantes orgânicos estudo de caso: granja Marmentini – Dois Vizinhos – PR.** 2011. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Curitiba – PR, 2011.

RICARDO, C. M. **Avaliação econômica de biodigestor de fluxo tubular, com sistema de recirculação, no tratamento de dejetos de suínos.** 2012. 72 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 2012.

ROYA, Bruno; FREITAS, Eduardo; BARROS, Evandro; ANDRADE, Fábio; PRAGANA, Michael; SILVA, Djalma José A. Biogás – uma energia limpa. **Revista Eletrônica Novo Enfoque**, ano 2011, v. 13, n. 13, p. 142 – 149. Disponível em: <http://www.castelobranco.br/sistema/novofoque/files/13/artigos/12_BunoRoya_Biogas_Prof_Djalma_VF.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2015.

RUIJTER, Rudo. **Segredos do dinheiro, dos juros e da inflação.** 2007. Disponível em: <http://resistir.info/financas/secrets_of_money_p.html#asterisco>. Acesso em: 01 nov. 2015.

SARTOR, Valmir; SOUZA, Cecília F.; TINOCO, Ilda F. F. **Instalações para suínos.** Viçosa – MG. 2004. Disponível em: <<http://www.ufv.br/dea/ambiagro/arquivos/suinos.pdf>>. Acesso em: 06 mar. 2015.

SCHULTZ, Guilherme. **Boas Práticas Ambientais na Suinocultura**. Porto Alegre: SEBRAE/RS, 2007. 44 p. Disponível em: <[http://201.2.114.147/bds/bds.nsf/A4DEFB9FA25C1277832574570050C804/\\$File/suinocultura.pdf](http://201.2.114.147/bds/bds.nsf/A4DEFB9FA25C1277832574570050C804/$File/suinocultura.pdf)>. Acesso em: 20 mar. 2015.

SEIDEL, Edleusa P.; GONÇALVES JUNIOR, Affonso C.; VANIN, João P.; Leonardo STREY, Leonardo; SCHWANTES, Daniel; NACKE, Herbert. Aplicação de dejetos de suínos na cultura do milho cultivado em sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 113-117, 2010.

SGANZERLA, Edílio. **Biodigestores: uma solução**. Porto Alegre. Agropecuária, 1983.

SHIKIDA, Pery F. A.; JUNGES, Dóris M.; KLEINSCHMITT, Sandra C.; SILVA, Josemar R. Análise econômico-financeira da implantação do sistema de biodigestores no município de Toledo – Paraná. **Anais**. XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, Rio Branco – Acre, jul. 2008. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/9/33.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2015.

SINOTTI, Ana Paula S. **Avaliação do volume de dejetos e da carga de poluentes produzidos por suínos nas diferentes fases do ciclo criatório**. 2005. 85 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC. 2005.

SOUZA, Almir Ferreira de; ROJO, Claudio Antonio. Análise de investimentos por simulação de cenários baseada em variáveis críticas qualitativas compiladas com lógica Fuzzy. **Revista CAP**, Número 04 - Ano 4 - Volume 4 – 2010.

SOUZA, Cecília F.; CAMPOS, Josiane A.; SANTOS, Cláudia R.; BRESSAN, Waleska S.; MOGAMI, Crintina A. Produção volumétrica de metano – dejetos de suínos. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, vol.32 n°.1 Lavras jan./feb. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542008000100032>. Acesso em: 23 abr. 2015.

SOUZA, Francisco B.; FERREIRA, Rúbia S. A.; SOUZA, Valéria S. M. Desenvolvimento socioeconômico e energia elétrica - uma análise na comunidade rural do município Careiro da Várzea no estado do Amazonas. **Anais**. VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão. 2011. Disponível em: <http://www.excelenciaemgestao.org/portals/2/documents/cneg7/anais/t11_0355_1873.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2014.

TORRES, Aline; PEDROSA, João F.; MOURA, Johnson P. Fundamentos de implantação de biodigestores em propriedades rurais. 2012. **Revista Educação Ambiental em Ação**, n.40, ano XI, junho-agosto/2012. Disponível em: <<http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=1248>>. Acesso em: 22 abr. 2015.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. “**AMS–III.D. Methane recovery in animal manure management systems – Version 16**”.

Disponível em: <[http://cdm.unfccc.int/methodologies/SSC methodologies/approved](http://cdm.unfccc.int/methodologies/SSC%20methodologies/approved)>.

Acesso: 10 mar. 2015.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

ZANIN, Antônio; BEGATINI, Fabiana M.; PESSATTO, Camila B. Viabilidade econômico-financeira de implantação de biodigestor: uma alternativa para reduzir os impactos ambientais causados pela suinocultura. 2010. **Custos e @gronegocio on line**, v. 6, n. 1 – jan./abril – 2010. Disponível em: <<http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero1v6/Biodigestor.pdf>>. Acesso em: 02 mai. 2015.