



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE
BIODIGESTOR ANAERÓBIO EM UMA GRANJA SUINÍCOLA NO MUNICÍPIO DE
SETE LAGOAS - MG: ESTUDO DE CASO

PAULA DO NASCIMENTO FERREIRA

BELO HORIZONTE

2016

PAULA DO NASCIMENTO FERREIRA

ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE
BIODIGESTOR ANAERÓBIO EM UMA GRANJA SUINÍCOLA NO MUNICÍPIO DE
SETE LAGOAS – MG: ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas
Gerais como requisito parcial para obtenção do título
de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. M. Sc. André Luiz Marques Rocha

BELO HORIZONTE

2016

Ferreira, Paula do Nascimento

S--

Estimativa do potencial de produção de biogás a partir de biodigestor anaeróbio em uma granja suinícola no município de Sete Lagoas – MG: Estudo de caso / Paula do Nascimento Ferreira. – 2016

72f.; --cm

Orientador: André Luiz Marques Rocha

Trabalho de Conclusão de curso (Graduação) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2016

1. Dejetos suínos. 2. Biodigestores. 3. Biogás. 4. Aproveitamento energético. I. Ferreira, Paula do Nascimento. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III. Estimativa do potencial de produção de biogás a partir de biodigestor anaeróbio em uma granja suinícola no município de Sete Lagoas – MG: Estudo de caso.

CDD -----



Serviço Público Federal – Ministério da Educação
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENGENHARIA
AMBIENTAL E SANITÁRIA**

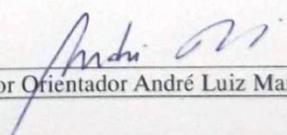
**ATA DE DEFESA FINAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II**

Ao um dia do mês de dezembro de 2016, no *campus* I do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, reuniram-se os professores **André Luiz Marques Rocha**, **Gisele Vidal Vimieiro** e **Daniel Brianezi**, para participarem da banca de avaliação do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “*Estimativa do potencial de produção de biogás a partir de biodigestor anaeróbio em uma granja suinícola no município de Sete Lagoas-MG: Estudo de Caso*” de autoria do(a) aluno(a) **Paula do Nascimento Ferreira**, do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária. Uma vez avaliado, o trabalho foi declarado:

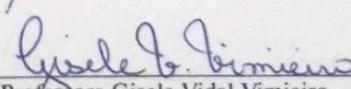
- Aprovado.
 Reprovado.

Belo Horizonte, 01 de Dezembro de 2016.

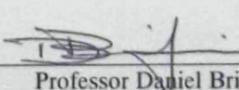
Banca Examinadora:



Professor Orientador André Luiz Marques Rocha



Professora Gisele Vidal Vimieiro



Professor Daniel Brianezi

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal
°C – grau Celsius
 C_a – concentração afluyente
 C_{DBO} – concentração de DBO
 CH_4 – Metano
CO – carga orgânica
 CO_2 – Gás Carbônico
 c_s – Coeficiente de segurança
Cu – Cobre
DN – Deliberação Normativa
DQO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Fe – Ferro
 f_{prod} – Produção específica de biogás
FT – Fósforo Total
 H_2S – Gás sulfídrico
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
kcal – Quilocaloria
kg – Quilograma
kWh – Quilowatt-hora
KT – Potássio Total
LAF – Lagoa Aerada Facultativa
 m_{sv} – Massa de sólidos voláteis
 m^3 – Metro cúbico
Mg - Manganês
MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
 η - Eficiência
 NH_3 – Amônia
NT – Nitrogênio Total
OG – Óleos e graxas
PB – produção de biogás
 PCI_{metano} – Poder calorífico inferior do metano

P_{metano} – Porcentagem de metano no biogás

PE – Produção de energia

SDT – Sólidos Dissolvidos Totais

SF – Sólidos Fixos

SISCAL – Sistema Intensivo de Suínos Criados ao Ar Livre

SS – Sólidos Sedimentáveis

SSP – Sólidos Suspensos

ST – Sólidos Totais

SV – Sólidos Voláteis

UPL – Unidade de Produção de Leitões

Zn - Zinco

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, pela graça a mim concedida de poder alcançar tantos marcos importantes e felizes em minha vida.

Aos meus pais, José Ricardo e Gorete, e às minhas irmãs, Ana Eliza e Marina, meus exemplos e alicerce, pelo carinho e apoio incondicional em todas as horas.

Ao Arthur, por todo carinho e paciência durante a realização deste estudo.

Ao professor André Luiz Marques Rocha, por toda orientação, ensinamentos e disponibilidade durante todo o período de orientação.

Ao CEFET-MG, em especial ao Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental e seus professores, que acrescentaram muito em meu crescimento profissional e humano.

Ao senhor José Arnaldo Cardoso Penna, por disponibilizar as informações do seu empreendimento, permitindo que este estudo fosse realizado, e por ceder seu tempo e sua atenção durante as visitas realizadas, estando sempre disposto a ajudar.

Aos amigos do CEFET, Débora, Ana Luisa, Thayrinne, Raissa, Patrícia, Taníse, Isabella, Jéssica e Paulo, que estiveram ao meu lado durante a graduação, dividindo momentos de alegrias, descontrações, parcerias e desesperos.

Àqueles que, embora não citados, contribuíram para a realização deste trabalho, muito obrigada.

RESUMO

FERREIRA, PAULA DO NASCIMENTO, Estimativa do *potencial de produção de biogás a partir de biodigestor anaeróbio em uma granja suinícola no município de Sete Lagoas – MG*. 2016. 80f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. Orientador: André Luiz Marques Rocha.

A suinocultura é uma atividade agroindustrial em expansão que tem influenciado positivamente a economia brasileira. Contudo, quando manejada de forma inadequada, causa significativos impactos ao meio ambiente, em decorrência da geração de efluentes ricos em carga orgânica, nutrientes, sólidos e patógenos. Como forma de minimização desses efeitos deletérios, a tecnologia de digestão anaeróbica em biodigestores é uma das possibilidades para o combate à poluição gerada pela suinocultura e que, ao mesmo tempo, agrega valor às propriedades rurais. Esse trabalho tem como objetivo principal avaliar o potencial de geração de biogás e aproveitamento energético ocasionados pela degradação anaeróbia dos dejetos de suínos em um biodigestor anaeróbio, em uma granja suinícola situada no município de Sete Lagoas, Minas Gerais. Para atingir este objetivo, realizaram-se visitas técnicas ao empreendimento e obtiveram-se os dados presentes no monitoramento realizado pelo proprietário da granja. A partir destes dados, estimou-se o potencial de produção de biogás e de energia da granja. Os resultados obtidos indicaram que a granja em estudo apresenta potencial de produção de biogás e de energia. Dessa forma, uma possível utilização seria no suprimento da demanda de aquecimento no galpão de creche e para movimentar aeradores mecânicos presentes na lagoa aerada facultativa. Além disso, a energia produzida pode ser empregada em equipamentos já existentes no local, como no acionamento de motores em outras unidades de tratamento e nos sistemas de refrigeração dos produtos e de iluminação.

Palavras-chave: Dejetos suínos. Biodigestores. Biogás. Aproveitamento energético.

ABSTRACT

FERREIRA, PAULA DO NASCIMENTO, *Estimation of the biogas production potential from anaerobic biodigester in a pig farm in the city of Sete Lagoas - MG.* 2016. 80f. Monograph (Graduate) – Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technology Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. Advisor: André Luiz Marques Rocha.

The swine production is an activity from the agroindustry, it has been expanding. The Brazilian economy has been influenced by this business, positively. However, when it is handled improperly can cause significantly impacts on the environment due to the generation of effluents rich in organic load, nutrients, solids and pathogens. In order to minimize these deleterious effects, the technology of anaerobic digestion in biodigesters is one of the possibilities for combating pollution generated by the swine production and, at the same time, adds value to rural properties. This work has the main purpose of estimate the potential of generation of biogas and also to analyze the energy use occasioned by the anaerobic degradation from swine in an anaerobic biodigester, locates in swine production farm in Sete Lagoas city, Minas Gerais. In order to achieve this goal, visits were made to the enterprise and data were obtained from the monitoring carried out by the farm owner. From these data it was able to estimate the potential of biogas and energy production of the farm. The results provided by the research indicate that the farm has potential of production of biogas and energy able enough to be used in the own property to provide the heating demand in the nursery hangar and to move mechanical aerators presents into the aerated facultative lagoon. Besides that, the energy produced can be used in equipment already on the property, such as in the drive of motors in other treatment plants and in the systems of refrigeration of products and lighting.

Key words: Pig manure. Biodigester. Biogas. Energy use.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Produção brasileira de carne suína, de 2000 a 2014	10
FIGURA 2 - Distribuição do plantel de suínos, por região, em Minas Gerais.....	11
FIGURA 3 - Diagrama geral da cadeia produtiva de carne suína	13
FIGURA 4 - Fluxograma do Sistema de Produção de Ciclo Completo.....	15
FIGURA 5 - Fluxograma do Sistema Unidade de Produção de Leitões	15
FIGURA 6 – Formas potenciais de poluição advindas da atividade suinícola	20
FIGURA 7 - Processo de geração de composto orgânico, em granja suinícola.....	22
FIGURA 8 - Processos de degradação da matéria orgânica em lagoa facultativa	23
FIGURA 9 – Biodigestor modelo chinês	26
FIGURA 10 – Biodigestor modelo indiano.....	26
FIGURA 11 – Biodigestor modelo canadense	27
FIGURA 12 – Etapas metabólicas da digestão anaeróbia.....	28
FIGURA 13 - Efeito da temperatura da biomassa sobre a produção de biogás	29
FIGURA 14 – Possibilidades de aproveitamento energético do biogás.....	31
FIGURA 15 - Purificação do biogás conforme uso final	32
FIGURA 16 - Localização do município de Sete Lagoas - MG	36
FIGURA 17 - Sólidos raspados do galpão de gestação.....	38
FIGURA 18 – Unidades do sistema de tratamento de efluentes: (A) Gradeamento (B) Tanque de equalização (C) “Ecco Filtro” (D) Tanque temporário.....	39
FIGURA 19 – Lagoa de maturação	39
FIGURA 20 - Localização das unidades de tratamento	8
FIGURA 21 - Esquema do sistema de tratamento de efluente proposto.....	47

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Número de empreendimentos e matrizes por Sistemas de Produção de Suinocultura no Estado de Minas Gerais.....	16
TABELA 2 – Temperatura ideal em cada fase de criação do suíno.....	16
TABELA 3 - Produção média diária de dejetos por animal por fase produtiva dos suínos.....	17
TABELA 4 - Volume de dejetos produzidos diariamente, de acordo com o sistema de produção	18
TABELA 5 - Características físico-químicas dos dejetos suínos obtidas pela Embrapa Suínos e Aves	18
TABELA 6 – Composição média do biogás	30
TABELA 7 – Resumo dos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores conforme a Resolução CONAMA n.º 430/2011 e DN COPAM/CERH-MG n.º 1/2008 (continua).....	34
TABELA 8 – Produção específica de biogás gerado por animal	43
TABELA 9 – Carga orgânica afluyente de DBO e DQO ao sistema de tratamento da Granja Barreirinho.....	45
TABELA 10 – Eficiência de remoção de DBO e DQO pelo sistema de tratamento na Granja Barreirinho.....	46
TABELA 11 – Largura da calha Parshall.....	51
TABELA 12 – Dimensões da calha Parshall	52
TABELA 13 – Coeficientes n e k.....	52
TABELA 14 – Parâmetros monitorados e frequência de monitoramento sugeridos	55
TABELA 15 – Investimento necessário para implantação do sistema de tratamento proposto	55
TABELA 16 - Sólidos voláteis presentes no efluente da Granja Barreirinho (kg/dia).....	56
TABELA 17 – Estimativa da produção de biogás por dia na Granja Barreirinho (m ³ /dia)	56
TABELA 18 – Estimativa da produção de energia a partir do biogás (kWh/dia).....	57
TABELA 19 – Sólidos totais presentes no efluente da Granja Barreirinho.....	68
TABELA 20 - Análise dos efluentes bruto e tratado nos períodos de fevereiro/2011, julho/2011, agosto/2013 e dezembro/2015.....	72
TABELA 21 - Análise dos efluentes bruto e tratado nos períodos de março/2013 e junho/2015	72

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	8
2	OBJETIVOS.....	9
2.1	Objetivo Geral.....	9
2.2	Objetivos Específicos.....	9
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
3.1	Contexto da suinocultura.....	10
3.2	Cadeia produtiva da suinocultura.....	12
3.2.1	Sistemas de Criação.....	13
3.2.2	Fases do ciclo de produção do suíno	14
3.2.3	Sistemas de Produção	15
3.2.4	Bem-estar animal.....	16
3.3	Caracterização dos dejetos suínos.....	17
3.4	Poluição ambiental gerada pelos dejetos suinícolas.....	19
3.5	Alternativas para tratamentos de dejetos de suínos.....	20
3.5.1	Processos Físicos	21
3.5.2	Processos Químicos.....	22
3.5.3	Processos Biológicos	22
3.6	Lagoas de Estabilização	23
3.7	Biodigestor anaeróbio	25
3.7.1	Tipos de Biodigestor.....	25
3.7.2	Digestão Anaeróbia	27
3.7.3	Fatores pertinentes à biodigestão anaeróbia	29
3.7.4	Produtos gerados na biodigestão	30
3.8	Legislação aplicada à disposição de efluentes líquidos em corpos hídricos	33
4	METODOLOGIA.....	36
4.1	Área de Estudo	36
4.1.1	Processo Produtivo	37

4.1.2	Manejo dos resíduos sólidos e líquidos	37
4.2	Caracterização dos efluentes líquidos e avaliação da eficiência do sistema de tratamento 42	
4.3	Estimativa do potencial de produção de biogás	42
4.4	Estimativa da produção de energia	43
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
5.1	Caracterização dos efluentes líquidos e eficiência do sistema de tratamento	45
5.2	Estimativa do potencial de produção de biogás	56
5.3	Estimativa de produção de energia	57
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	59
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
	APÊNDICE A – Memorial de cálculo Sólidos Totais	68
	APÊNDICE B – Detalhamento do Biodigestor	69
	APÊNDICE C – Detalhamento da Lagoa Aerada Facultativa	70
	APÊNDICE D – Detalhamento do Desarenador	71
	ANEXO A – Análises do efluente bruto e tratado da Granja Barreirinho	72

1 INTRODUÇÃO

A suinocultura possui grande importância no desenvolvimento econômico e social de muitos municípios brasileiros. Sua cadeia de produção garante empregos na indústria, no campo e nos setores de comércio e serviço (ABIPECS, 2012).

De acordo com a Associação Brasileira de Proteína Animal – ABPA (2016), o Brasil ocupava, em 2014, a 4ª posição no ranking mundial de produção e de exportação de carne suína. A partir de dados do IBGE (2013), pode-se dizer que Minas Gerais possui o quarto maior plantel brasileiro de suínos com, aproximadamente, 5 milhões de cabeças, representando 13,8% do plantel nacional.

A suinocultura é uma atividade que cresce no Brasil de forma contínua, desde o final da década de 1980. Com esse crescimento, aumentaram as degradações ao meio ambiente, já que os dejetos dos suínos ocasionam poluição das águas, dos solos, do ar e ainda há emissão de maus odores e proliferação de mosquitos (ZANIN et al, 2010). Os órgãos de controle ambiental consideram a suinocultura a atividade agropecuária de maior impacto ambiental (RIZZONI et al, 2012).

A estabilização dos dejetos de suínos através de biodigestores anaeróbios tem se mostrado uma alternativa eficiente em função dos aspectos sanitários e com potenciais na geração de energia renovável, além de oferecer condições econômicas de reciclagem orgânica e de nutriente. A digestão anaeróbica dos dejetos, através do biodigestor, produz biogás e biofertilizante (KONZEN, 2005; ZANIN et al, 2010; BARICHELLO et al, 2012).

De acordo com Gaspar (2003) e Oliveira (2004), o biogás gerado nos biodigestores é composto, principalmente, por metano - CH_4 , de 55 a 70%, e gás carbônico - CO_2 , de 27 a 45%. O poder calorífico do biogás, que varia de 5.000 a 7.000 kcal/m³, pode ser aproveitado como combustível de motores e também como fonte de energia térmica.

Para a geração de 1 m³ de biogás é necessário, aproximadamente, 12 kg de dejetos suínos, o que corresponde a 1,3 kWh de energia elétrica (COLATTO; LANGER, 2011).

Diante do exposto, o Trabalho de Conclusão de Curso mostra-se relevante devido à importância de se conhecer mecanismos que agregam valor a um passivo ambiental proveniente da suinocultura, uma atividade econômica importante no cenário brasileiro.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o uso de biodigestor anaeróbio para a geração de biogás, a partir de dejetos de uma granja suinícola localizada no município de Sete Lagoas – MG e propor melhorias, caso se mostre necessário.

2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Caracterizar os efluentes de uma granja suinícola.
- ✓ Avaliar a eficiência do sistema de tratamento dos dejetos suinícolas da granja.
- ✓ Propor melhorias no sistema de tratamento.
- ✓ Estimar o potencial de geração de biogás na granja suinícola selecionada.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

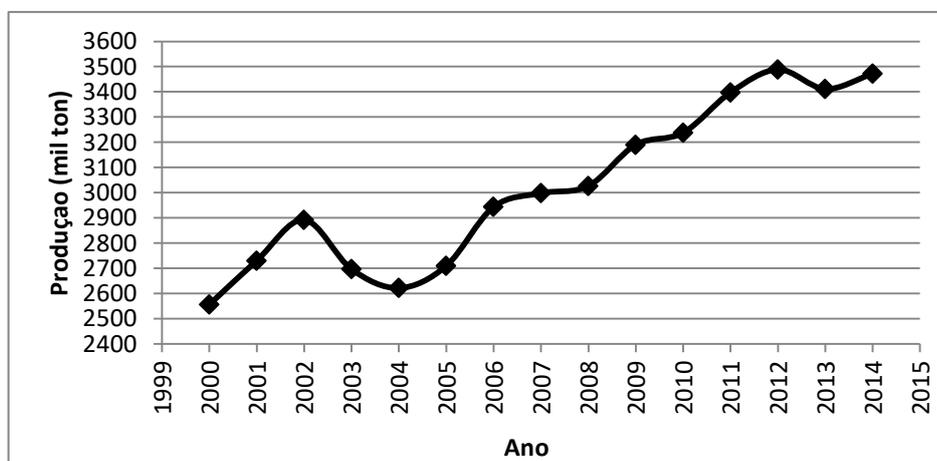
3.1 Contexto da suinocultura

A criação do suíno no Brasil começou na época do descobrimento, quando estes animais foram trazidos ao Brasil por Martim Afonso de Souza, em 1532. Com o processo de colonização, no século XVIII, no estado de Minas Gerais, devido ao interesse pela mineração, teve início o uso dos suínos para alimentação humana. Para tanto, era necessário somente fornecer a ele as sobras de alimentos. Os animais eram consumidos juntamente com os produtos nativos, como as bananas e inhames. Os suínos também eram criados devido à produção de banha, que servia como meio de conservação de alimentos. Esse cenário foi alterado quando se adotou o sistema intensivo de criação e o foco voltou-se para a produção de carnes, especialmente quando a refrigeração substituiu a banha para a conservação dos alimentos (ABCS, 2014; CNA, 2015).

Segundo dados do IBGE, em 2013, o Brasil apresentava um plantel de, aproximadamente, 37 milhões de cabeças. A região Sul do país detinha 48,8% desse plantel. Na sequência, aparecia a região Sudeste, com 18,8%. As regiões Nordeste, Centro Oeste e Norte representavam, respectivamente, 15,1%, 13,9% e 3,4% do plantel nacional.

A produção brasileira de carne suína teve uma expansão significativa, apresentando um crescimento de, aproximadamente, 15% entre os anos de 2008 e 2014 (Figura 1). Este crescimento deve-se, principalmente, à melhora nos sistemas produtivos e aos avanços tecnológicos envolvidos na produção (MIELE; MACHADO, 2006; ABCS, 2014).

FIGURA 1 - Produção brasileira de carne suína, de 2000 a 2014



Fonte: Adaptado de ABPA (2015)

Em 2014, 85,8% da carne suína produzida foram destinadas ao abastecimento do mercado interno, enquanto os 14,2% restantes, foram destinados ao abastecimento do mercado externo. Os maiores exportadores de carne suína, nesse período, foram os Estados da Região Sul do país, seguidos pelos Estados de Goiás e Minas Gerais (ABCS, 2014; ABPA, 2015).

De acordo com o IBGE (2013), o Estado de Minas Gerais tem se mantido como o quarto maior produtor brasileiro de carne suína nos últimos anos. A atividade suinícola mineira concentra-se nas regiões do Triângulo Mineiro, da Zona da Mata e do Alto Paranaíba, que juntos possuem mais da metade das matrizes do estado (Figura 2).

FIGURA 2 - Distribuição do plantel de suínos, por região, em Minas Gerais



Fonte: SEAPA, 2015

No cenário brasileiro, a suinocultura ocorre com grande variedade de formas organizacionais, já que existem desde pequenos produtores independentes, com fornecimento caseiro e consumo local, até infraestruturas agrícolas com integração vertical, que vendem nos mercados nacional e internacional. Em 2014, o valor bruto de produção do setor foi de mais de R\$ 12 bilhões (BARICHELLO, 2015; MAPA, 2015).

3.2 Cadeia produtiva da suinocultura

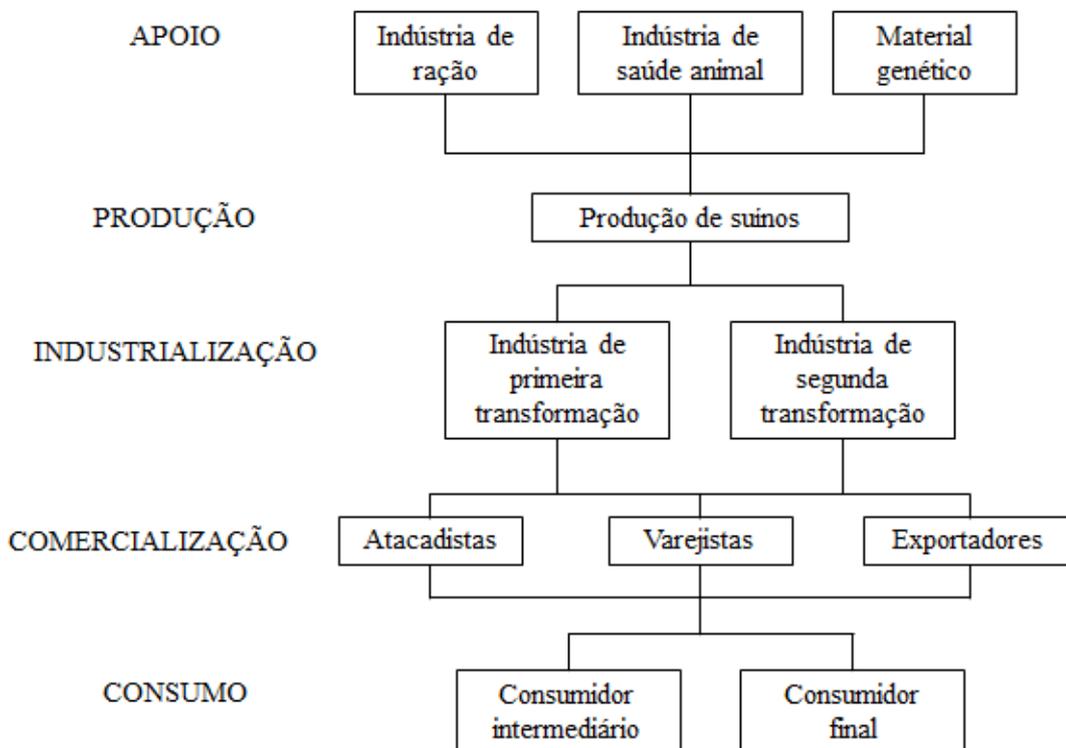
Uma cadeia produtiva é um conjunto de atividades econômicas que se articulam sucessivamente, desde a elaboração de um produto até o seu consumo, transformando e transferindo diversos insumos. Isso inclui um processo que parte das matérias-primas, passa pelo uso de máquinas e equipamentos, pela incorporação de produtos intermediários e chega até o produto final, distribuído por uma rede de comercialização (CASTRO JUNIOR, 2002; SEBRAE, 2008).

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA considera que a cadeia produtiva de carne suína é composta por cinco subsistemas: o de apoio, o de produção da matéria prima, o de industrialização, o de comercialização e o de consumo.

O sistema de apoio é formado por fornecedores de insumos básicos e sistema de transporte e abastecimento. A produção de suínos é caracterizada por empresas rurais que geram, criam e engordam os animais. A industrialização compreende indústrias de primeira ou segunda transformação. As indústrias de primeira transformação abatem os animais e adquirem as peças de carne para a comercialização, já as empresas de segunda transformação são aquelas que agregam valor aos produtos.

No subsistema de comercialização, os produtos podem ser comercializados para atacadistas, varejistas ou exportadores, que consumirão a carne de forma direta ou indireta. O último subsistema, o de consumo, é formado por consumidores intermediários, que consomem para revender ou agregar valor, e por consumidores finais, responsáveis pelo preparo e utilização final do produto. Na Figura 3 é apresentado um diagrama geral referente aos subsistemas da cadeia produtiva de carne suína.

FIGURA 3 - Diagrama geral da cadeia produtiva de carne suína



Fonte: Elaboração da autora

3.2.1 Sistemas de Criação

O sistema de criação de suínos pode ser classificado como extensivo, semi-intensivo e intensivo (ABCS, 2014). O sistema extensivo é caracterizado pela manutenção permanente dos animais no campo, durante todo o processo produtivo, sem utilização de qualquer tipo de instalação. Nesse sistema, existe pouco uso de tecnologia e baixo uso de capital e força de trabalho e é baseado no aproveitamento de recursos naturais e pelo material genético ativo. O sistema extensivo necessita de grandes extensões de terras, resultando em baixa produtividade (CARVALHO; VIANA, 2011).

O sistema semi-intensivo caracteriza-se por animais criados separados por categoria e por idade. Esse sistema prevê o uso de piquetes pelas fêmeas em cobertura ou gestação e para machos. Na fase de lactação, a porca fica confinada e os leitões, do nascimento até o abate, são mantidos em confinamento (PINHEIRO et al, 2009; SEBRAE, 2016).

O sistema intensivo de criação pode ser classificado em dois tipos distintos. O sistema intensivo de suínos criados ao ar livre (SISCAL) e o sistema intensivo de criação confinado.

O SISCAL é caracterizado pela manutenção dos animais de reprodução, maternidade e creche em piquetes, com boa cobertura vegetal, cercados com fios e/ou telas de arames eletrificados. Em cada um destes piquetes são instaladas cabanas para que os animais não fiquem expostos às mudanças climáticas e tenham um maior conforto. Nas fases de crescimento e terminação, os animais são confinados. O sistema apresenta baixo custo de implantação e manutenção da produção e o seu desempenho técnico é satisfatório (RICCI, 2013; ABCS, 2014).

No sistema intensivo de criação confinado é caracterizado pelo confinamento, em galpões especializados, em todas as fases do animal: reprodução, maternidade, creche, crescimento e terminação. Esse sistema apresenta as vantagens de se utilizar pequenas áreas e existir um controle sobre todos os aspectos do manejo. Porém, apresenta um elevado custo de implantação e manutenção e exige mão de obra especializada (CARVALHO; VIANA, 2011).

3.2.2 Fases do ciclo de produção do suíno

O ciclo de produção do suíno é formado pelas fases de cobertura/reprodução, maternidade, creche, crescimento e terminação. A fase de cobertura/reprodução pode ser realizada por monta natural, sendo necessário um macho para cada 20 matrizes, ou por inseminação artificial, com sêmen adquirido nas centrais de inseminação. Quando a reprodução ocorre por inseminação artificial, é preciso manter um macho para cada 75 matrizes, para estimular o cio e efetuar a cobrição se necessário. A maternidade é a fase em que as porcas permanecem desde uma semana antes do parto até terminar o aleitamento dos leitões (TALAMINI et al, 2006).

Creche é a fase em que os leitões permanecem desde o desmame, com peso corporal de, aproximadamente, 5 kg, até atingirem peso corporal próximo de 25 kg, o que ocorre próximo aos 65 dias de idade. A fase de crescimento se inicia após a fase de creche e vai até, aproximadamente, 110 dias, quando os animais atingem de 25 a 60 kg de peso corporal (APCS, 2014).

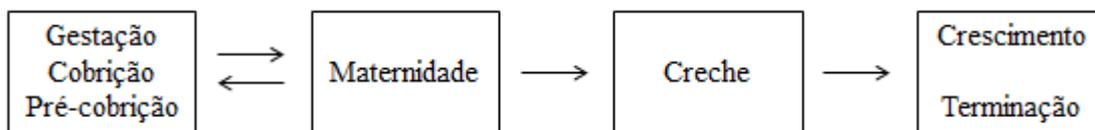
A fase de terminação é subsequente à fase de crescimento e vai até o abate, quando os animais pesam de 60 a 100 kg.

3.2.3 Sistemas de Produção

Os sistemas de produção são caracterizados a partir das fases do ciclo de produção do suíno. O produtor pode optar por uma produção que abranja todo o ciclo de produção ou por apenas uma ou outra fase do ciclo. Assim, a produção pode ser classificada em ciclo completo, unidade de produção de leitões e unidade de crescimento e terminação (PINHEIRO et al, 2009; ABCS, 2014).

A produção de ciclo completo engloba todas as fases de cobertura/reprodução, maternidade, creche, crescimento e terminação e tem por produto o suíno terminado (Figura 4). No final da gestação, as fêmeas são conduzidas à maternidade e retornam para a área de cobertura/gestação no período do desmame. Os leitões seguem para a creche, crescimento e terminação (EMBRAPA, 2004).

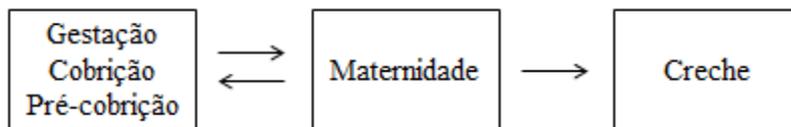
FIGURA 4 - Fluxograma do Sistema de Produção de Ciclo Completo



Fonte: EMBRAPA, 2004

A Unidade de Produção de Leitões – UPL apresenta as fases de cobertura/reprodução, maternidade e creche (Figura 5). A UPL é responsável pela reprodução e criação de leitões, tendo como produto final os leitões. Estes podem ser leitões desmamados ou leitões para a terminação (SILVA et al, 2015).

FIGURA 5 - Fluxograma do Sistema Unidade de Produção de Leitões



Fonte: Adaptado de EMBRAPA, 2004

A Unidade de Crescimento e Terminação – UT apresenta as fases de crescimento e terminação. O produtor recebe o leitão e faz a engorda até o peso de abate (TALAMINI et al, 2006).

No Estado de Minas Gerais, existem os três tipos de sistemas de produção. Na Tabela 1, pode ser visualizado o número de empreendimento em cada sistema de produção.

TABELA 1 – Número de empreendimentos e matrizes por Sistemas de Produção de Suinocultura no Estado de Minas Gerais

Sistema de Produção	Número de empreendimentos	Número de matrizes
Ciclo Completo	2151	856.742
Crescimento e Terminação	1225	1.269.518
Unidades de Produção de Leitões	275	130.414

Fonte: Adaptado de FEAM, 2015

3.2.4 Bem-estar animal

O bem-estar animal em uma granja suinícola deve considerar os princípios da boa alimentação (água e ração), do bom alojamento (local de descanso, facilidade de movimento e conforto térmico), da boa saúde (ausência de doenças, lesões e dor causada pelo manejo), evitar situações de estresse e também a possibilidade do suíno expressar um comportamento natural (VELONI et al, 2013).

Os animais não devem ficar sem ração por mais tempo que o estabelecido entre os arraçoamentos. Além disso, devem ter acesso a uma nutrição ajustável, garantindo a ingestão dos nutrientes dentro da exigência de cada fase. A água deve estar disponível constantemente, no volume adequado e ser de boa qualidade, incolor, sem odor e limpa (ABCS, 2014).

O conforto térmico no alojamento varia de acordo com cada uma das fases de criação, já que o suíno demanda diferentes temperaturas em cada uma dessas fases, conforme explicitado na Tabela 2 (ABCS, 2016).

TABELA 2 – Temperatura ideal em cada fase de criação do suíno

Fase	Temperatura ideal (°C)
Reprodução (fêmeas e machos)	18 a 25
Maternidade – porca	16 a 21
Maternidade – leitão	34 a 30 (decrecente ao logo da fase)
Creche	30 a 23 (decrecente ao logo da fase)
Terminação	18 a 23

Fonte: ABCS, 2016

Além da temperatura em si, é preciso minimizar a amplitude térmica ao longo do dia. Isso é possível utilizando-se equipamentos para climatização, que podem variar de soluções

simples até as de maior tecnologia. Dentre as soluções de menor tecnologia e eficiência, pode-se citar: sombreamento, cobertura vegetal nos arredores dos galpões, telhado com isolamento térmico, forro, cortinas e aquecimento a partir de campânula a gás e caldeira. Já as alternativas de maior tecnologia são os projetos automatizados de pressão negativa, como painel evaporativo, ventiladores, exaustores, fornos e cortinas (EMBRAPA, 2014).

De acordo com Dias et al (2011), os exaustores e o adequado manejo de cortinas são mecanismos necessários para se realizar a troca de ar, evitando o acúmulo de gases indesejáveis, que podem causar desconforto aos animais. Além disso, a ventilação é importante para a dissipação de poeira, umidade e microrganismos, sendo indispensável para a prevenção de doenças (ABCS, 2014).

O manejo correto dos dejetos e a destinação adequada dos resíduos biológicos, além de não agredir o meio ambiente, auxiliam no controle de moscas, na redução de gases tóxicos e na disseminação de doenças, protegendo, assim, a saúde do rebanho e atendendo aos princípios do bem-estar animal (ABCS, 2016).

3.3 Caracterização dos dejetos suínos

Os dejetos suínos são constituídos por fezes, urina, água desperdiçada pelos bebedouros e de higienização do local, resíduos de ração, pêlos, poeiras e outros materiais decorrentes do processo criatório. Já o esterco é constituído pelas fezes dos animais que se apresentam na forma pastosa ou sólida (PEREIRA, 2006).

Segundo EMBRAPA (2004), a quantidade total de dejetos produzida por um suíno varia de acordo com a fase produtiva em que se encontra. Na Tabela 3, é possível visualizar a produção diária média de dejetos de suínos, de acordo com as diferentes fases do sistema de criação, subdivididas em três composições: esterco, esterco e urina e dejetos líquidos.

TABELA 3 - Produção média diária de dejetos por animal por fase produtiva dos suínos

Categoria	Esterco (kg/dia)	Esterco + urina (kg/dia)	Dejetos Líquidos (litros/dia)
Suínos (25 – 100 kg)	2,30	4,90	7,00
Matrizes (reposição, cobrição e gestação)	3,60	11,00	16,00
Matrizes com leitões	6,40	18,00	27,00
Reprodutor	3,00	6,00	9,00
Leitões na creche	0,35	0,95	1,40
Média	2,35	5,80	8,60

Fonte: Adaptado de EMBRAPA, 2004

As características físico-químicas e a quantidade total de dejetos são influenciadas pelo conteúdo de água presente nos dejetos. O volume de dejetos líquidos produzidos diariamente pode ser calculado a partir do grau de diluição (RIZZONI et al, 2012; EMBRAPA, 2004). A Tabela 4 apresenta a produção de dejetos conforme o sistema de produção e o grau de desperdício de água na granja.

TABELA 4 - Volume de dejetos produzidos diariamente, de acordo com o sistema de produção

Tipo de Granja	Nível de diluição (L/matriz)		
	Pouca	Média	Muita
Ciclo Completo	100	150	200
Unidade Produção de Leitões	60	90	120
Unidade de Terminação	7,5	11,2	15

Fonte: Diesel et al, 2002

Na produção dos suínos, existe a preocupação em alcançar o maior desempenho individual do animal. Assim, as rações utilizadas são formuladas considerando o ganho de peso do animal, e o que é excretado por ele não é levado em consideração. As dietas empregadas resultam em uma quantidade excessiva de nutrientes excretados nas fezes e na urina (ZORDAN, 2008).

A composição dos dejetos suínos está relacionada ao sistema de manejo adotado e aos aspectos nutricionais, por isso existem grandes variações, entre as granjas, na concentração dos elementos dos dejetos (Tabela 5). Além disso, fatores ambientais como temperatura e umidade do ar também contribuem para a variação das características (PERDOMO et al, 2001; SOUZA, 2009).

TABELA 5 - Características físico-químicas dos dejetos suínos obtidas pela Embrapa Suínos e Aves

Variáveis	Mínimo (mg/L)	Máximo (mg/L)	Média (mg/L)
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	11.530,20	38.448,00	25.542,90
Sólidos Totais (ST)	12.697,00	49.432,00	22.399,00
Sólidos Voláteis (SV)	8.429,00	39.024,00	16.388,80
Sólidos Fixos (SF)	4.268,00	10.408,00	60.10,20
Sólidos Sedimentáveis (SS)	220,00	850,00	428,00
Nitrogênio Total (NT)	1.660,00	3.710,00	2.374,30
Fósforo Total (PT)	320,00	1.180,00	577,80
Potássio Total (KT)	260,00	1.140,00	535,70

Fonte: EMBRAPA, 2004

Os dejetos suinícolas possuem elevada concentração de DBO, oscilando entre 30.000 e 52.000 mg/L, em torno de 260 vezes superior ao efluente doméstico (OLIVEIRA, 1993). Também há elevada concentração de nutrientes (nitrogênio e fósforo), fazendo com que os dejetos sejam uma fonte de fertilizantes. Porém, isto os torna uma fonte potencial de poluição, quando não são tratados ou o manejo é feito de maneira inadequada (PEREIRA, 2006).

3.4 Poluição ambiental gerada pelos dejetos suinícolas

Os dejetos suínos, até a década de 1970, não constituíam um fator preocupante, já que a concentração de animais era pequena, o que favorecia sua utilização como adubo orgânico no solo. O desenvolvimento da suinocultura intensiva proporcionou o aumento na quantidade de dejetos que, por falta de tratamento adequado, se transformaram em uma das maiores fontes de poluição ambiental (KONZEN, 2005; SOUZA, 2009).

A capacidade poluente dos dejetos suínos, em termos comparativos, é superior a de outras espécies. De acordo com Lindner (1999), um suíno equivale, em média, a 3,5 pessoas. Assim, uma granja com 600 animais possui um poder poluente semelhante a um centro populacional de aproximadamente 2100 pessoas. A grande quantidade de animais e, conseqüentemente, de dejetos em uma mesma área, pode causar poluição do solo, ar e água (MIRANDA, 2007).

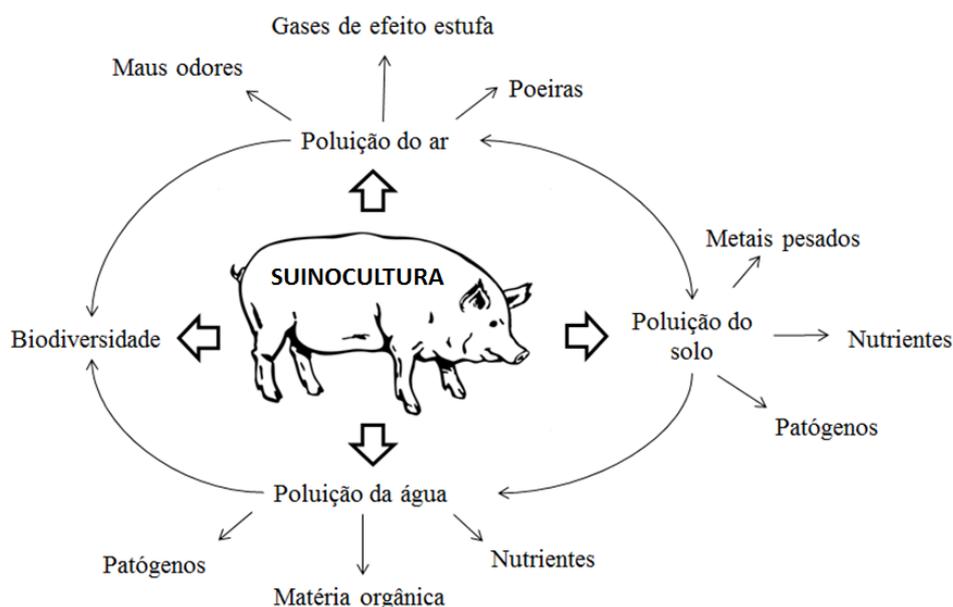
Os problemas ambientais agravam-se devido ao fato de a maior parte dos poluentes presentes nos dejetos serem solúveis em água, tais como o fósforo e o nitrogênio, podendo ser facilmente transportados para os recursos hídricos (FERNANDES, 2008). O nitrogênio e o fósforo, em quantidade inadequada, nos cursos d'água podem causar eutrofização (SOUZA, 2009; SILVA; BASSI, 2012). Para von Sperling (2014), a eutrofização causa interferências nos usos desejáveis do corpo d'água, como o abastecimento doméstico e industrial, a navegação e a recreação.

A disposição incorreta dos dejetos no solo propicia o acúmulo de metais como o cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e ferro (Fe) e a contaminação por patógenos. Estes elementos têm impacto negativo na lavoura, causando toxicidade nas plantas com desdobramento para saúde humana e animal. Além disso, há acúmulo de nitrogênio e, caso ocorra lixiviação no solo, o nitrogênio na forma de íon nitrato pode contaminar as águas subterrâneas (SILVA; BASSI, 2012).

A poluição do ar é causada pela emissão de gases de efeito estufa como metano, dióxido de carbono e amônia (NH₃). Além disso, os dejetos suínos provocam odor desagradável, quando retidos na armazenagem ou tratamento ou aplicados no solo como fertilizantes. O odor é provocado pela evaporação dos compostos voláteis, causando efeitos prejudiciais ao bem estar humano e animal (WALKER, 2009; SILVA; BASSI, 2012; SILVA et al, 2015).

A Figura 6 apresenta, de forma resumida, a problemática ambiental associada à atividade suinícola.

FIGURA 6 – Formas potenciais de poluição advindas da atividade suinícola



Fonte: Adaptado de Fernandes, 2008

3.5 Alternativas para tratamentos de dejetos de suínos

Os sistemas de tratamentos dos dejetos de suínos devem ser vistos como parte integrante da cadeia produtiva da suinocultura. Assim, antes de se pensar em qualquer sistema de tratamento deve-se analisar o sistema de produção, já que tudo o que for feito dentro das instalações influenciará o tratamento dos dejetos (PALHARES, 2004; KUNZ, 2005).

O tratamento, geralmente, utiliza processos físicos, químicos e biológicos para a transformação e/ou remoção da carga poluente presente no efluente (HIGARASHI et al, 2007). A escolha do processo que será adotado depende de fatores, como as características do dejetos e do local, operação e recursos financeiros (SILVA et al, 2015).

3.5.1 Processos Físicos

Os processos físicos promovem a separação da porção líquida da porção sólida do dejetos, aumentando a eficiência dos tratamentos posteriores. Com essa separação, são obtidos dois produtos: uma fração líquida mais fluída, que conserva a maioria dos nutrientes solúveis, e uma fração sólida, que se mantém agregada (RAMME; KUNZ, 2009). A separação entre as fases líquida e sólida pode minimizar os custos de implantação do tratamento (SILVA et al, 2015).

Durante a separação de fases, geralmente, não ocorre a decomposição efetiva do dejetos. Porém, a separação reduz a complexidade das frações, permitindo que cada uma delas possa ser destinada a tratamento e/ou armazenamento mais adequado (EMBRAPA, 2004; HIGARASHI et al, 2007).

Segundo Higarashi et al (2007), a separação de fases pode ocorrer através de decantação, gradeamento, centrifugação, peneiramento e/ou prensagem, desidratação por vento, ar forçado ou aquecido. Sendo que a decantação e o peneiramento são as tecnologias mais utilizadas.

Os decantadores são considerados os sistemas de separação mais eficientes, apresentando como vantagens o baixo custo e a facilidade de construção e operação. O processo de decantação consiste em separar os dejetos em função da diferença de densidade entre as partículas (HIGARASHI et al, 2007; MAPA 2016). Na decantação, há remoção da maior parte dos metais pesados, do fósforo orgânico e do nitrogênio orgânico presentes no efluente. Além disso, o decantador remove até 50% dos sólidos totais, nas condições de alta diluição. Entretanto, todos os elementos removidos do efluente ficam acumulados no lodo depositado no fundo do decantador. Essa acumulação de lodo representa a maior desvantagem dos decantadores, já que se torna necessário a retirada do lodo com posterior armazenagem em esterqueiras para estabilização (HIGARASHI et al, 2007).

No peneiramento, a separação dos sólidos ocorre por dimensões físicas, como diâmetro, tamanho e forma das partículas (RAMME; KUNZ, 2009). As principais vantagens das peneiras em relação aos decantadores são a velocidade da separação e o menor teor de umidade do sólido resultante, o que possibilita a sua compostagem. Contudo, a remoção dos sólidos totais nas peneiras é de 3 a 30%, menor que a remoção dos decantadores, nas condições de alta diluição (HIGARASHI et al, 2007).

3.5.2 Processos Químicos

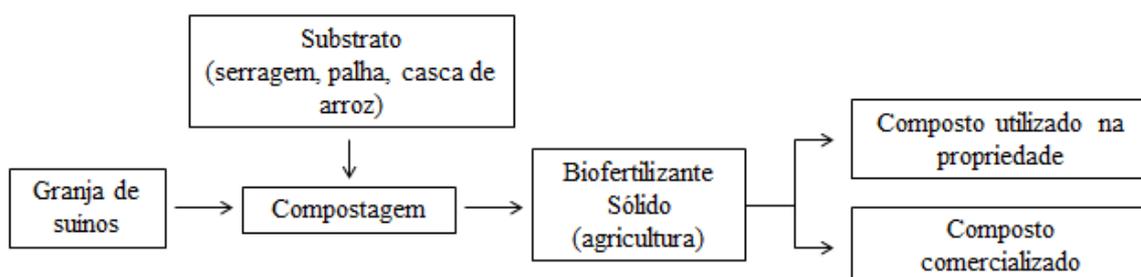
Os processos químicos visam aumentar a velocidade e a eficiência da separação de fases. O principal método empregado é a floculação, onde são utilizados agentes químicos que agregam as partículas em suspensão, formando flocos de maior dimensão, que podem ser mais facilmente separados, tanto pela decantação como pelas peneiras. Os floculantes mais utilizados são os sais inorgânicos de alumínio ou cálcio e ferro (HIGARASHI et al, 2007). Os processos químicos são eficientes para a remoção de fósforo e nitrogênio do efluente (FERNANDES, 2008).

3.5.3 Processos Biológicos

Os processos biológicos consistem na degradação dos dejetos por microrganismos anaeróbios e/ou aeróbios. Os dejetos sólidos podem ser degradados através da compostagem e os dejetos líquidos através de lagoas de estabilização, digestão e biodigestão (RIZZONI et al, 2012). A decomposição aeróbica dos dejetos apresenta maior eficiência no controle de patógenos enquanto que a decomposição anaeróbica preserva o valor fertilizante dos dejetos (EMBRAPA, 2004).

A compostagem é um processo de estabilização de resíduos orgânicos, promovida por microrganismos normalmente aeróbios, que utiliza uma fonte de carbono como substrato (serragem, palha, casca de arroz) nas leiras e tem como produto final um composto orgânico concentrado, que pode ser aplicado no solo para melhorar suas características físicas, químicas, físico-químicas e biológicas, melhorando sua qualidade (NUNES, 2009). Esse composto concentrado pode gerar renda para o produtor, já que pode ser utilizado na própria propriedade como fertilizante, substituindo os adubos químicos, ou pode ser comercializado para outros produtores (MAPA, 2016). A Figura 7 mostra o processo de geração do composto orgânico.

FIGURA 7 - Processo de geração de composto orgânico, em granja suinícola



Fonte: Adaptado de MAPA, 2016

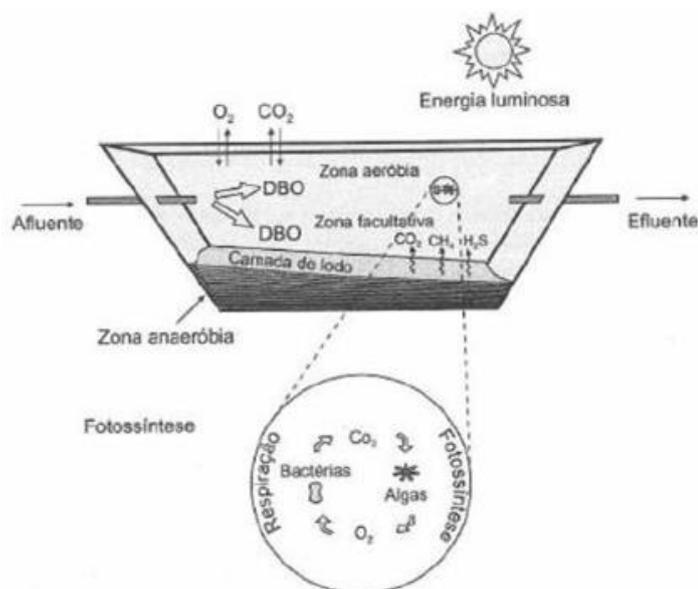
Segundo Kunz (2005), geralmente, para o tratamento dos dejetos suinícolas os sistemas biológicos mais utilizados são os lodos ativados, as lagoas de estabilização e os biodigestores. Será dado destaque para os sistemas de lagoas de estabilização e biodigestores em virtude da maior utilização no Brasil e no estudo de caso avaliado.

3.6 Lagoas de Estabilização

As lagoas de estabilização são consideradas como uma das técnicas mais simples de tratamento dos dejetos. Dependendo da área disponível e da topografia do terreno, podem ser empregados as seguintes variantes de lagoas de estabilização: lagoas facultativas, lagoas aeradas facultativas e lagoas de maturação (von SPERLING, 2014).

De acordo com Higarashi et al (2007), para o tratamento de dejetos suínos, a lagoa de estabilização mais empregada é a lagoa facultativa. Nas lagoas facultativas, a matéria orgânica dissolvida e em suspensão permanece dispersa no meio líquido. Na camada superficial, existem condições ideais para que a matéria orgânica seja oxidada através da respiração aeróbia, sendo o suprimento de oxigênio feito pela fotossíntese e pela dissolução atmosférica em um processo de simbiose entre algas e bactérias. O material sedimentado é degradado através de processos anaeróbios (HIGARASHI et al, 2007; von SPERLING, 2014). A Figura 8 representa os processos de degradação da matéria orgânica em uma lagoa facultativa.

FIGURA 8 - Processos de degradação da matéria orgânica em lagoa facultativa



Fonte: von Sperling, 2014

Os principais parâmetros de projeto das lagoas facultativas são a taxa de aplicação superficial, a profundidade, o tempo de detenção e a geometria da lagoa (von SPERLING, 2006). Segundo o autor, a taxa de aplicação superficial baseia-se na necessidade de se ter uma determinada área de exposição à luz solar na lagoa, para que o processo de fotossíntese ocorra, garantindo a demanda de oxigênio necessária para a estabilização da matéria orgânica. A taxa é expressa em termos da carga de DBO que pode ser tratada por unidade de área da lagoa. A taxa a ser adotada varia com a temperatura local, latitude, exposição solar, altitude, dentre outros. A faixa de profundidades adotadas no projeto situa-se entre 1,5 m a 3,0 m, permitindo a penetração da luz solar e, conseqüentemente, a atividade fotossintética. O tempo de detenção hidráulica da lagoa está relacionado ao volume e à vazão de projeto e varia entre 15 a 45 dias. A geometria da lagoa, razão entre comprimento e largura, mais frequentemente empregada nas lagoas facultativas é na faixa de 2,0 m a 4,0 m.

A lagoa aerada facultativa é utilizada quando se pretende ter um sistema predominantemente aeróbio, e de dimensões menores do que as lagoas facultativas. As lagoas aeradas facultativas diferem-se das lagoas facultativas devido ao suprimento de oxigênio, ao invés do oxigênio ser produzido por fotossíntese, é obtido por aeradores mecânicos. Os aeradores mecânicos usualmente empregados em lagoas aeradas são unidades de eixo vertical que, ao rodarem em alta velocidade, causam um grande turbilhamento na água, permitindo a penetração do oxigênio atmosférico na massa líquida, onde ele se dissolve. Para o dimensionamento das lagoas aeradas, não há requisitos de taxa de aplicação superficial já que o processo não depende da fotossíntese. O tempo de detenção adotado varia entre 5 e 10 dias. A profundidade adotada, comumente, é na faixa de 2,5 m a 4,0 m (von SPERLING, 2006; SABESP, 2016).

As lagoas de maturação são lagoas com profundidade entre 0,5 m a 2,5 m, que possibilitam a remoção de organismos patogênicos de forma mais eficiente devido à incidência da luz solar, já que a radiação ultravioleta atua como um processo de desinfecção (SABESP, 2016). As lagoas de maturação constituem-se em uma alternativa mais econômica à desinfecção do efluente por métodos mais convencionais, como a cloração (von SPERLING, 2006).

3.7 Biodigestor anaeróbio

A biodigestão é o processo de fermentação anaeróbia de matéria orgânica, realizado no interior de um reator, gerando biogás e biofertilizante. Esse processo é o mais comumente utilizado já que o dejetos suíno é um meio que apresenta condições ideais para o desenvolvimento de microrganismos anaeróbios. Com a biodigestão, há uma redução do potencial poluidor de 70 a 80% da carga orgânica (HIGARASHI et al, 2007; BARICHELLO, 2015).

Reis (2012) define os biodigestores anaeróbios como câmaras fechadas, nas quais é colocado o substrato orgânico para ser decomposto na ausência de oxigênio. A estabilização dos dejetos suínos em biodigestores tem recebido destaque pelo potencial de geração de energia, pelos aspectos de saneamento e por oferecer condições de reciclagem orgânica e de nutrientes (KOZEN, 2005).

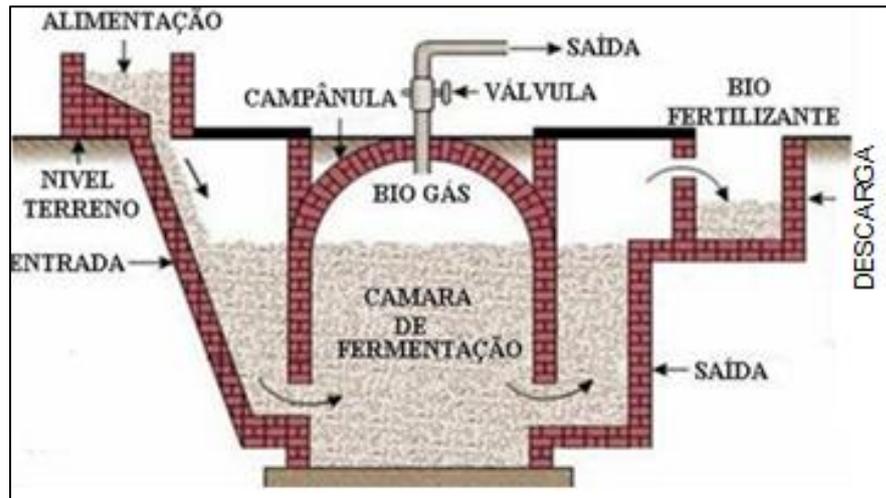
3.7.1 Tipos de Biodigestor

Os biodigestores podem ser classificados quanto à forma de abastecimento em: batelada ou contínuos. Nos biodigestores em batelada, a quantidade de material orgânico é colocada dentro do biodigestor, que é totalmente fechado, sendo reaberto somente após a produção do biogás. Quando a fermentação da biomassa é concluída, o biodigestor é aberto, limpo e carregado novamente com uma nova quantidade de material orgânico, iniciando um novo ciclo de produção de biogás. Esse modelo é pouco utilizado no Brasil (CASTANHO; ARRUDA, 2008; MAPA, 2016).

Nos biodigestores contínuos, o processo pode se desenvolver por um longo período, não havendo necessidade de abertura do equipamento. Esses biodigestores podem ser abastecidos diariamente, permitindo que o biofertilizante seja retirado à medida que o substrato orgânico é colocado no reator. Os modelos de biodigestores contínuos mais usados são o chinês, o indiano e o canadense (CASTANHO; ARRUDA, 2008; REIS, 2012).

O modelo chinês é rústico, normalmente, construído em alvenaria e enterrado no solo, para ocupar menos espaço. Neste tipo de biodigestor, uma parcela do gás formado na caixa de saída é liberada para a atmosfera, reduzindo parcialmente a pressão interna do gás (COLDEBELLA, 2006; BARICHELLO, 2015). A Figura 9 apresenta um modelo chinês de biodigestor.

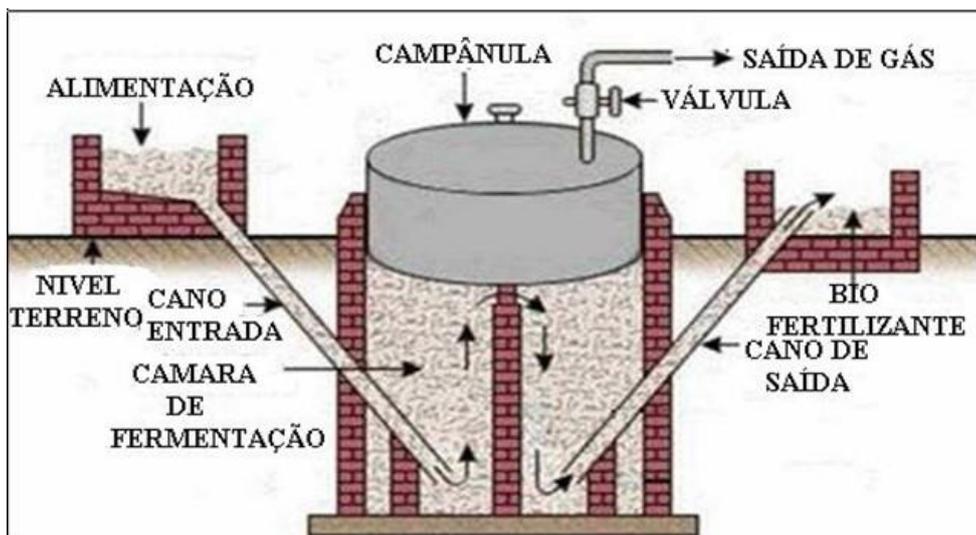
FIGURA 9 – Biodigestor modelo chinês



Fonte: Adaptado de Fonseca et al, 2009

O modelo indiano é constituído por uma cúpula móvel, de metal, onde o biogás gerado fica armazenado. À medida que a cúpula se enche de gás, a mesma vai subindo em torno de uma guia de metal, funcionando como um gasômetro. Nesse modelo, à medida que o volume de gás produzido não é consumido de imediato, o gasômetro tende a deslocar-se verticalmente, aumentando o volume da câmara, mantendo, assim, a pressão em seu interior constante (SOUZA; LAGE FILHO, 2014). A Figura 10 mostra um modelo indiano de biodigestor.

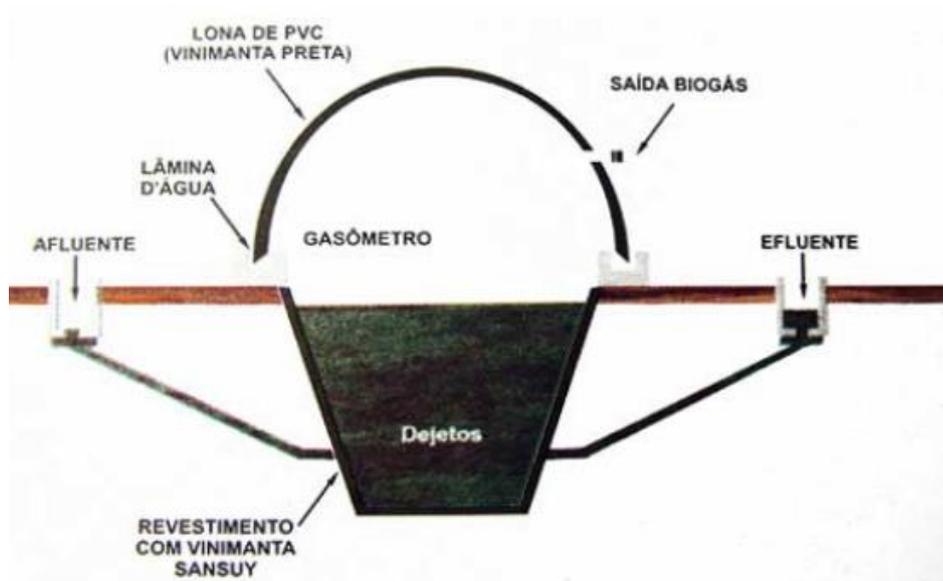
FIGURA 10 – Biodigestor modelo indiano



Fonte: Adaptado de Fonseca et al, 2009

O modelo canadense apresenta uma caixa de carga em alvenaria e com a largura maior que a profundidade, apresentando uma maior área de exposição ao sol, permitindo uma grande produção de biogás. A cúpula do biodigestor é feita de material plástico maleável, possibilitando que infle durante a produção de biogás. Esse é o biodigestor mais aplicado no Brasil (CASTANHO; ARRUDA, 2008; MAPA, 2016). A Figura 11 mostra um modelo canadense de biodigestor.

FIGURA 11 – Biodigestor modelo canadense



Fonte: Oliver et al, 2008

O volume da câmara de digestão do biodigestor pode ser estimado em função da vazão de efluentes e do tempo de retenção necessário para a produção de biogás, que normalmente é na faixa de 20 a 50 dias (PERDOMO, 2003).

3.7.2 Digestão Anaeróbia

A digestão anaeróbia é o processo mais viável para conversão de biomassa em energia, sendo uma alternativa para os produtores reduzirem os custos energéticos nas propriedades, principalmente os custos com o aquecimento de ambientes para produção animal (OLIVEIRA, 2004).

De acordo com Chernicharo (1997), o processo de digestão anaeróbia pode ser subdividido em quatro etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese.

A hidrólise é a etapa em que o material particulado complexo é convertido em compostos solúveis que podem, então, ser hidrolisados em monômeros simples que são

utilizados pelas bactérias que realizam a fermentação. Nessa fase as proteínas são transformadas em aminoácidos, os carboidratos em açúcares solúveis e os lipídeos em ácidos graxos de cadeia longa e glicerina (ZANETTE, 2009; SILVA; BRESCIANI, 2014).

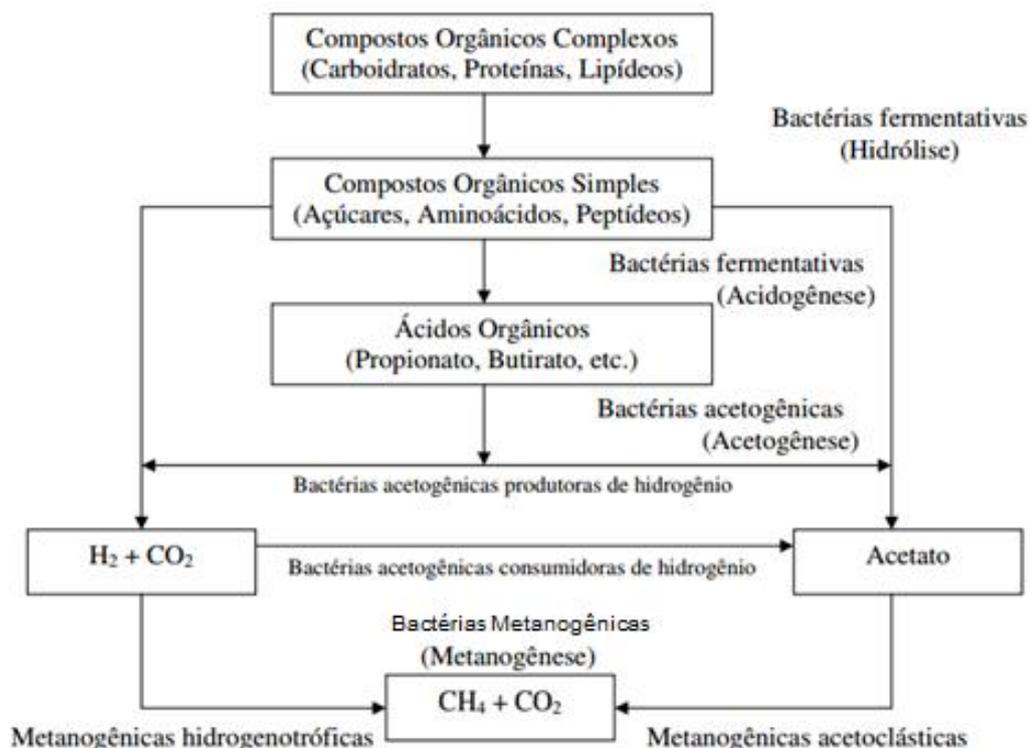
A acidogênese é a etapa da fermentação ácida, onde ocorre a degradação de aminoácidos, de açúcares e de alguns ácidos graxos. A partir dessa degradação são produzidos, principalmente, acetato, hidrogênio, gás carbônico, proprinato e butirato (ZANETTE, 2009).

Na terceira etapa, a acetogênese, ocorre a oxidação dos produtos gerados pela acidogênese, transformando-os em hidrogênio, dióxido de carbono e acetato, substratos apropriados para as bactérias metanogênicas (SILVA; BRESCIANI, 2014).

Na etapa final do processo de digestão anaeróbia, a metanogênese, as bactérias metanogênicas convertem os produtos gerados na terceira fase em metano e dióxido de carbono (RIZZONI et al, 2012).

A Figura 12 representa as etapas metabólicas do processo de biodigestão anaeróbica.

FIGURA 12 – Etapas metabólicas da digestão anaeróbia



Fonte: Chernicharo, 1997

3.7.3 Fatores pertinentes à biodigestão anaeróbia

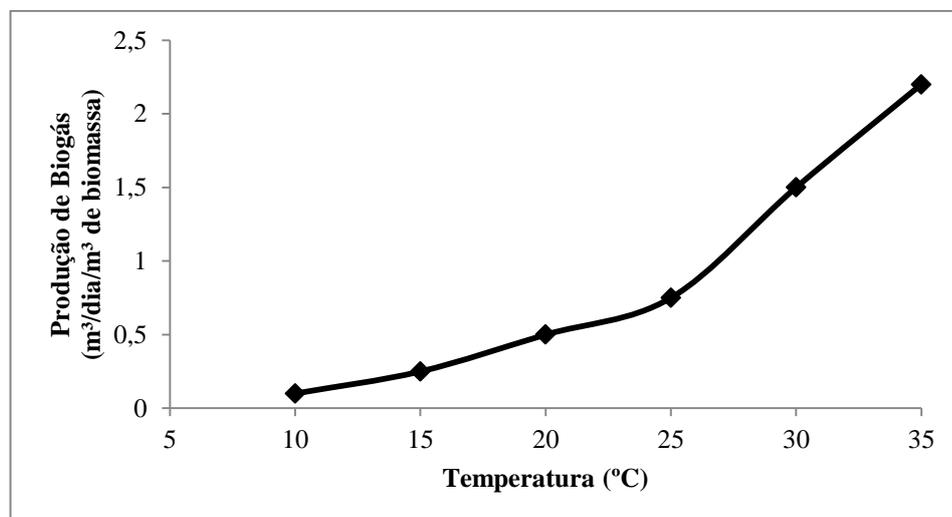
É necessário que se tenha condições favoráveis para que o processo de biodigestão anaeróbia ocorra. Fatores como pH, nutrientes, temperatura, umidade, anaerobiose restrita influenciam no processo de biodigestão (RIZZONI et al, 2012).

Os microrganismos desenvolvem suas atividades em um meio onde o pH seja neutro. De acordo com Miranda (2009), a produção ótima de biogás é obtida quando o valor médio do pH está entre 7,0 e 7,2.

Para que os processos biológicos sejam operados com sucesso, os nutrientes inorgânicos necessários para o crescimento e atividade dos microrganismos devem ser fornecidos em quantidades suficientes (MIRANDA, 2009). Segundo Chernicharo (1997), os nutrientes necessários à estimulação nutricional de bactérias metanogênicas são: nitrogênio, enxofre, fósforo, ferro, cobalto, níquel, molibdênio, selênio, riboflavina e vitamina B12.

As reações químicas e bioquímicas sofrem influência direta da temperatura, afetando o processo de digestão anaeróbia. Porém, mudanças bruscas na temperatura podem prejudicar o desempenho da biodigestão, já que os microrganismos produtores de metano são sensíveis à variação da temperatura. Assim, a temperatura interna do biodigestor é um fator decisivo para a produção de biogás e biofertilizante, devendo ser mantida constante, em torno dos 35°C, onde se tem a maior produção de biogás, conforme é mostrado na Figura 13 (MIRANDA, 2009; SOUZA; LAGE FILHO, 2014).

FIGURA 13 - Efeito da temperatura da biomassa sobre a produção de biogás



Fonte: Rizzoni et al, 2012

3.7.4 Produtos gerados na biodigestão

3.7.4.1 *Biogás*

O biogás é um gás inflamável composto principalmente de metano e dióxido de carbono, conforme mostrado na Tabela 6.

TABELA 6 – Composição média do biogás

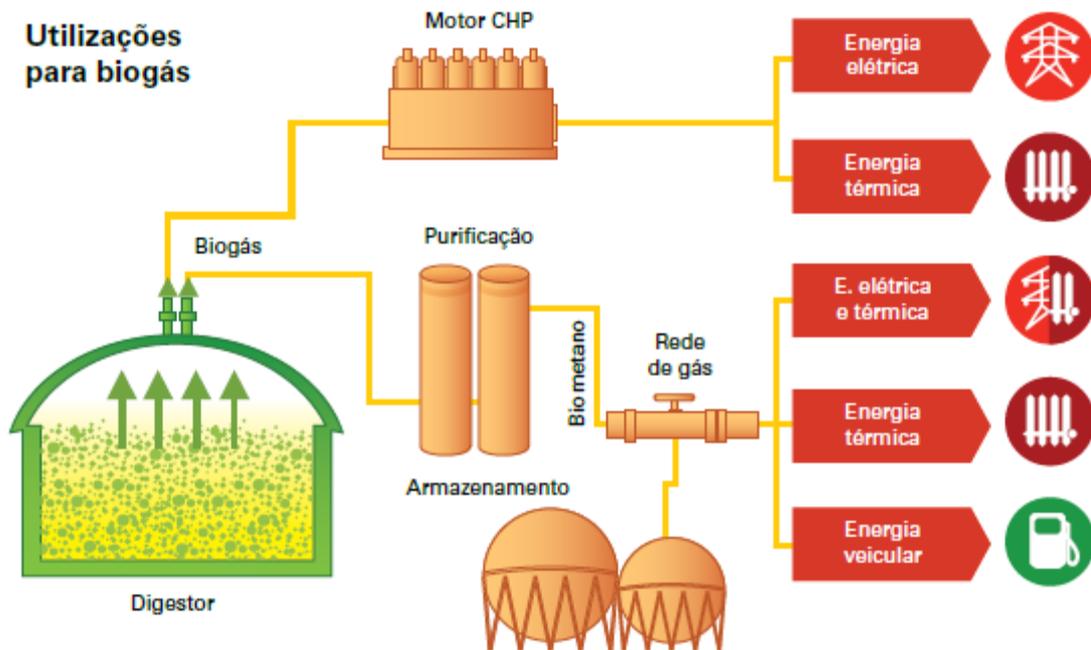
Composição de Gases	Porcentagem (%)
Metano (CH ₄)	55 – 70
Dióxido de Carbono (CO ₂)	27 – 45
Nitrogênio (N ₂)	3 – 5
Hidrogênio (H ₂)	1 – 10
Oxigênio (O ₂)	0,1
Monóxido de Carbono (CO)	0,1
Sulfeto de Hidrogênio (H ₂ S)	Traços

Fonte: Oliveira, 2004

Uma vantagem da produção de biogás, a partir de biodigestores, é que não há competição com a produção de alimentos em busca de terras disponíveis, diferentemente do que ocorre com outras formas de energia relacionadas à biomassa, como a produção do álcool da cana-de-açúcar, pois pode ser obtido a partir de resíduos agrícolas ou mesmo de excrementos animais. Assim, ao invés de ser um fator de poluição, transforma-se em auxiliar do saneamento ambiental (MIRANDA, 2009).

O biogás produzido pode ser utilizado em praticamente todas as aplicações desenvolvidas para o gás natural. As aplicações mais comuns para o biogás são o aquecimento e a geração de eletricidade. Além dessas aplicações, o biogás pode ser utilizado como combustível em caldeiras, fornos e estufas, combustível veicular e pode ser injetado na rede de gás natural (ZANETTE, 2009; FEAM, 2015). A Figura 14 apresenta um esquema de possíveis utilizações para o biogás.

FIGURA 14 – Possibilidades de aproveitamento energético do biogás



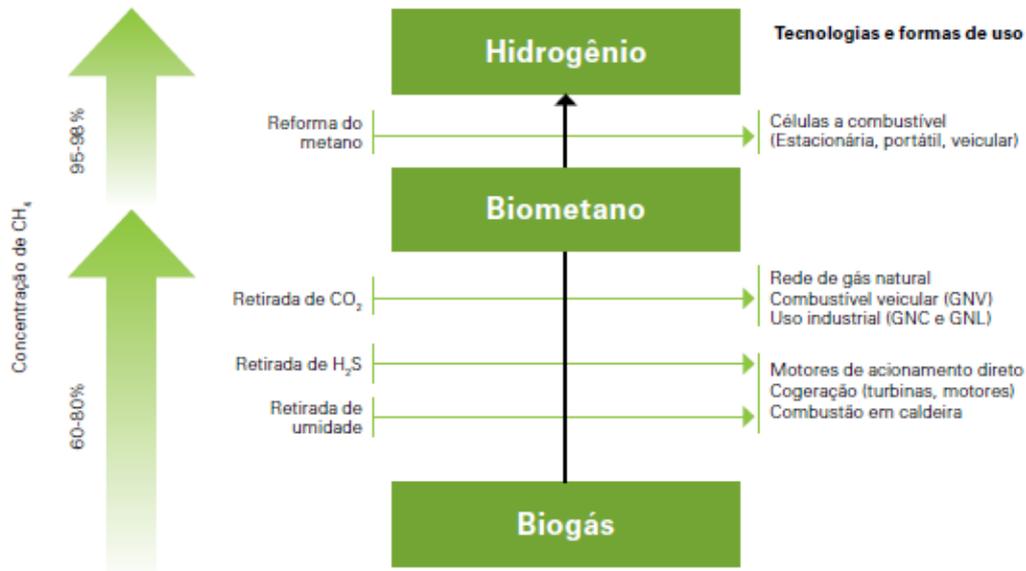
Fonte: Adaptado de FEAM, 2015

Por apresentar uma grande flexibilidade de uso, o biogás pode ser considerado uma fonte estratégica de energia, podendo se tornar um agente importante na ampliação da geração de energia elétrica distribuída no Brasil (FEAM, 2015).

A utilização do biogás como recurso energético deve-se, principalmente, ao metano, que quando puro e em condições normais de pressão (1 atm) e temperatura (0°C), tem um poder calorífico inferior de 9,9 kWh/m³. Assim, o biogás, com um teor de metano entre 55 e 70%, terá um poder calorífico inferior entre 5,45 e 6,93 kWh/m³ (COLDEBELLA, 2006).

A presença de dióxido de carbono e gases corrosivos no biogás *in natura* constitui um problema para a viabilização de seu armazenamento e para a produção de energia. Por isso, o biogás deve ser tratado para algumas aplicações, pois há diferenças entre os requerimentos para as aplicações estacionárias do biogás e como combustível ou para a distribuição em tubulações (OLIVEIRA, 2004; ZANETTE, 2009). Para a escolha da tecnologia de limpeza e condicionamento do biogás, deve-se analisar a composição do biogás e a composição que se necessita para o uso final do biogás, conforme mostrado no fluxograma da Figura 15 (FEAM, 2015).

FIGURA 15 - Purificação do biogás conforme uso final



Fonte: FEAM, 2015

A remoção de vapor d'água, H₂S e outros elementos através de filtros e dispositivos de resfriamento, condensação e lavagem são imprescindíveis para a viabilidade de uso em longo prazo de equipamentos tendo como combustível o biogás (OLIVEIRA, 2004).

3.7.4.2 Biofertilizante

O biofertilizante é a biomassa fermentada que deixa o interior do biodigestor, em sua maioria sob a forma líquida, rica em nutrientes, principalmente nitrogênio, fósforo, potássio e material orgânico (húmus), o que propicia poder de fertilização (COLDEBELLA, 2006).

Devido ao processo que ocorre na biodigestão, a matéria orgânica perde exclusivamente carbono, sob a forma de metano e gás carbônico, além de aumentar o teor de nitrogênio e outros nutrientes. O biofertilizante melhora as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, melhorando sua estrutura e deixando-o mais permeável e mais solto. Isso facilita a penetração das raízes, que conseguem absorver melhor a umidade do subsolo, permitindo que a planta tenha melhores condições para resistir a longos períodos de estiagem. Além disso, o biofertilizante tem a capacidade de tornar o solo mais resistente à erosão, permitindo o restabelecimento das características físicas e biológicas originais (WALKER, 2009; BARICHELLO, 2015).

3.8 Legislação aplicada à disposição de efluentes líquidos em corpos hídricos

O lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores deve seguir as exigências que estão dispostas na Resolução CONAMA n° 430/2011 (BRASIL, 2011).

A Resolução CONAMA n.º 430/2011 altera a Resolução CONAMA n.º 357/2005 e dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. A CONAMA 430 delega aos órgãos ambientais estaduais as funções de fiscalizar, orientar e punir as atividades potencialmente poluidoras, bem como definir diretrizes locais para emissão dos efluentes, caso necessário (BRASIL, 2011).

O disposto na referida norma, em termos de padrão de lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores, compreende:

- Potencial hidrogeniônico (pH): entre 5 e 9;
- Temperatura: inferior a 40 °C, sendo que a variação de temperatura do corpo hídrico receptor não deverá exceder a 3°C na zona de mistura;
- Sólidos sedimentáveis (SS): até 1 mL L⁻¹ com o teste em cone de Imhoff, durante 1 h. Para lançamento em lagos e lagoas, esses materiais deverão estar ausentes;
- Óleos e graxas (OG): até 20 mg L⁻¹ para óleos minerais e até 50 mg L⁻¹ para óleos vegetais e gorduras animais;
- Ausência de material flutuante;
- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor;
- Os efluentes não poderão conferir ao corpo hídrico receptor características em desacordo com o seu enquadramento.

No Estado de Minas Gerais, existe a Deliberação Normativa (DN) Conjunta COPAM/CERH-MG n°1/2008, que possui diretrizes similares àquelas apresentadas na Resolução CONAMA n.º 430/2011 (MINAS GERAIS, 2008).

Comparando-se a legislação adotada no Estado de Minas Gerais com a Resolução CONAMA n.º 430/2011, observa-se que os padrões de monitoramento apresentados na legislação mineira são muito similares aos padrões apresentados pela legislação nacional, como era de se esperar, já que as legislações estaduais devem ser mais restritivas do que a legislação federal.

Na DN 01/2008, observa-se que a DQO máxima para o lançamento de efluentes em corpos hídricos deve ser de até 180 mg/L ou, o sistema de tratamento deva apresentar uma eficiência de redução de DQO em no mínimo 70% e média anual igual ou superior a 75%, parâmetro este que não é mencionado na Resolução CONAMA 430/2011.

Na Tabela 7, estão apresentadas as condições de lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores, conforme a Resolução CONAMA n.º 430/2011 e Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG n.º 1/2008, para efeito de comparações iniciais quanto ao grau de restrição das mesmas.

TABELA 7 – Resumo dos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores conforme a Resolução CONAMA n.º 430/2011 e DN COPAM/CERH-MG n.º 1/2008 (continua)

Parâmetros	CONAMA 430/2011	COPAM /CERH MG 01/2008
Potencial Hidrogeniônico (pH)	5,0 - 9,0	6,0 – 9,0
Temperatura (T)	< 40°C	< 40°C
Sólidos sedimentáveis (SS)	Até 1mL L ⁻¹	Até 1mL L ⁻¹
Sólidos suspensos totais (SST)	n.c.	100 mg L ⁻¹
Substâncias solúveis em hexano (óleos e graxas)	Até 100 mg L ⁻¹ (valor para efluentes de sistemas de tratamentos de esgotos sanitários)	n.c.
Óleos e graxas: óleos minerais	20 mg L ⁻¹	20 mg L ⁻¹
Óleos e graxas: óleos vegetais e gorduras animais	50 mg L ⁻¹	50 mg L ⁻¹
Nitrogênio amoniacal total	20 mg L ⁻¹	n.c.
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	Remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do	Até 60 mg L ⁻¹ ou: a) Tratamento com eficiência de redução de DBO em no mínimo 60% e média anual igual ou

Parâmetros	CONAMA 430/2011	COPAM /CERH MG 01/2008
	<p>enquadramento do corpo receptor.</p> <p>Para o lançamento de efluentes de sistemas de tratamento de esgoto sanitário o valor máximo da DBO deverá ser de 120 mg L⁻¹, sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.</p>	<p>superior a 70% para esgotos sanitários e de percolados de aterros sanitários municipais.</p> <p>b) Tratamento com eficiência de redução de DBO em no mínimo 75% e média anual igual ou superior a 85% para os demais sistemas.</p>
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	n.c.	<p>Até 180 mg L⁻¹ ou:</p> <p>a) Tratamento com eficiência de redução de DQO em no mínimo 55% e média anual igual ou superior a 65% para esgotos sanitários e de percolados de aterros sanitários municipais.</p> <p>b) Tratamento com eficiência de redução de DQO em no mínimo 70% e média anual igual ou superior a 75% para os demais sistemas.</p>

Nota: n.c. - não consta na respectiva norma.

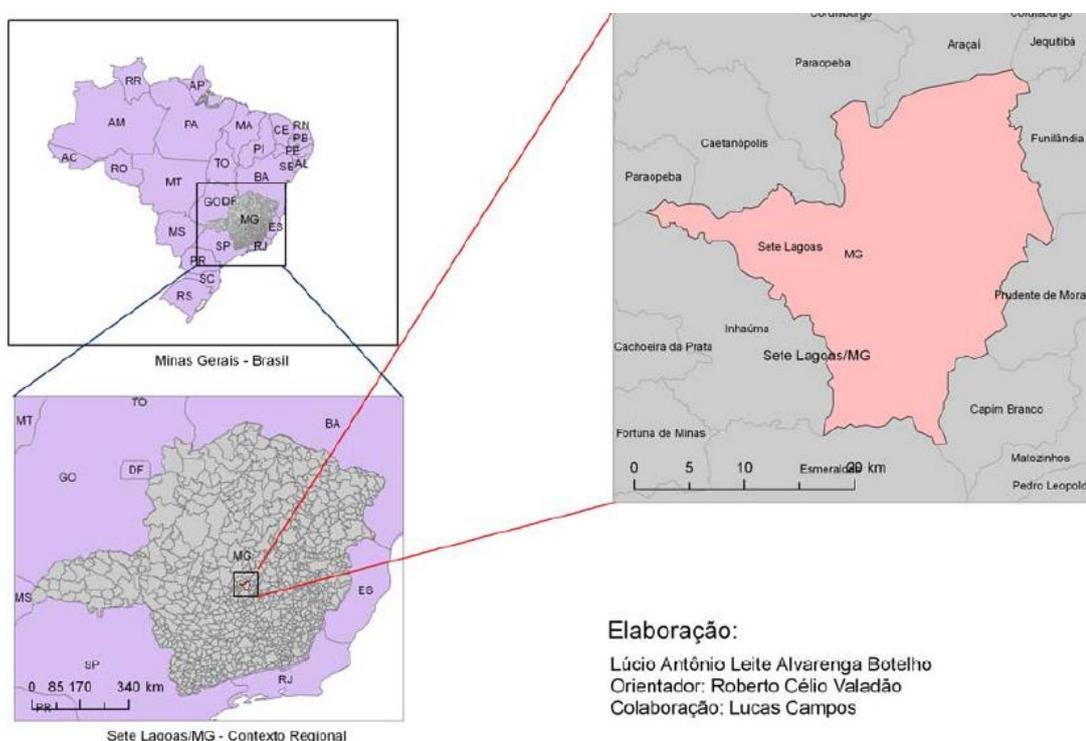
Fonte: Brasil, 2011; Minas Gerais, 2008.

4 METODOLOGIA

4.1 Área de Estudo

A Granja Barreirinho está situada no estado de Minas Gerais, no município de Sete Lagoas, que faz parte do chamado Colar Metropolitano de Belo Horizonte (Figura 16). De acordo com a Superintendência Regional de Meio Ambiente Central Metropolitana – SUPRAM CM (2009), a granja está localizada na zona rural do município, nas coordenadas UTM, fuso 23k: X 581.000 Y 7.855.800.

FIGURA 16 - Localização do município de Sete Lagoas - MG



Fonte: Botelho, 2008

A região do município de Sete Lagoas está caracterizada como clima tropical semi-úmido, com duas estações distintas: inverno ameno e seco, e verão chuvoso e quente. No inverno a temperatura média é de 18 °C e no verão é de 22 °C (SISEMA, 2013).

Segundo informações repassadas pelo proprietário e observadas em documentos internos da empresa, a fazenda ocupa área total de 133,6 ha, distribuídas em pastagens (100,0 ha), cultivo de cana de açúcar (15,0 ha), áreas de preservação permanente (6,5 ha) e outras benfeitorias (12,1 ha). A propriedade destaca-se pela produção de suínos e criação de bovinos de corte (confinado e extensivo). A atividade de suinocultura é desenvolvida em sistema de

confinamento total abrangendo ciclo completo – maternidade, creche, cria, recria e setores de reprodução (SUPRAM CM, 2009). O processo produtivo e características gerais dessa atividade serão descritos posteriormente, por ser o enfoque principal do presente estudo.

4.1.1 Processo Produtivo

O sistema de produção da granja é de ciclo completo, com, aproximadamente, 500 matrizes. Por isso, de acordo com a Deliberação Normativa do Conselho de Política Ambiental de Minas Gerais (DN COPAM) 74/2004, o empreendimento se enquadra como classe 3, sendo de médio porte e de médio potencial poluidor.

O sistema de criação é intensivo de confinamento total, onde as diferentes fases são desenvolvidas em galpões separados. Atualmente, existem 6.700 animais na granja, distribuídos em 12 galpões, sendo 1 galpão de gestação, 2 galpões de maternidade, 1 galpão de recria, 1 galpão de creche, 6 galpões de terminação e 1 galpão de reposição. Cada galpão apresenta dimensão de 90 m x 7,0 m x 2,5 m e sistema de ventilação natural, a partir de cortinas instaladas nas paredes.

De acordo com o proprietário, na granja são consumidos, aproximadamente, 90 m³ (90.000 L) de água por dia para a higienização dos galpões e para se realizar a hidratação dos animais, o que corresponde a 13,4 L/cabeça.dia. Apesar do valor encontrado de 13,4 L/cabeça.dia estar dentro da faixa de valores dos estudos realizados por Bonazzi (2001), ressalta-se que foi utilizado os valor de 8,6 L/cabeça.dia, que corresponde ao valor de produção média de dejetos líquidos gerados por suíno, propostos pela Embrapa (2004). Optou-se por estes valores para que fosse possível estimar as vazões máxima, mínima e média produzidas e, a partir destas vazões, realizar o dimensionamento das unidades, conforme descrito posteriormente.

4.1.2 Manejo dos resíduos sólidos e líquidos

Na Granja Barreirinho são produzidos efluentes domésticos e agroindustriais, que passam por tratamentos distintos. Os efluentes domésticos são encaminhados para fossas sépticas, seguindo posteriormente para sumidouros existentes no solo da propriedade, conforme informações fornecidas pelo proprietário. Com relação aos efluentes agroindustriais, será dado um enfoque ao sistema de tratamento dos efluentes gerados na granja suinícola, por ser a principal atividade agrícola desenvolvida na propriedade.

No decorrer do processo operacional da granja suinícola, são gerados resíduos sólidos e efluentes líquidos. Com intuito de facilitar o gerenciamento dos resíduos sólidos e líquidos da granja, os resíduos sólidos são raspados e coletados por meios de ferramentas manuais (pás, enxadadas), depositados em latões e colocados em carretinhas agrícolas (Figura 17), e em seguida, são destinados à compostagem. Posteriormente, o composto orgânico gerado no processo de compostagem é aproveitado como fertilizante orgânico em culturas agrícolas existentes na propriedade.

FIGURA 17 - Sólidos raspados do galpão de gestação



Fonte: Própria autora

Durante as visitas realizadas ao empreendimento, observou-se a existência de canaletas de drenagem de efluentes, localizadas nas extremidades laterais de cada galpão. Segundo o proprietário, nestas canaletas são mantidas lâminas d'água temporárias, que retêm o efluente proveniente da lavagem dos pisos. As lâminas d'água são removidas e trocadas a cada 2 dias.

Os efluentes líquidos gerados nos galpões são coletados por meio de instalações hidráulicas convencionais, armazenados em caixas coletoras e, em seguida, são direcionados ao sistema de tratamento. Este sistema é composto por uma unidade de gradeamento, tanque de equalização e mistura, por uma unidade de tratamento preliminar ("Ecco Filtro"), por uma unidade de tratamento secundário (biodigestor, com dimensões de 50 m x 20 m x 5 m) e, posteriormente, são encaminhados para um tanque temporário de alvenaria (Figura 18). Após

a passagem por este tanque, os efluentes são bombeados para uma lagoa de maturação (Figura 19) e, em seguida, aplicados no solo por um sistema de irrigação por aspersão, utilizando-se canhões hidráulicos.

FIGURA 18 – Unidades do sistema de tratamento de efluentes: (A) Gradeamento (B) Tanque de equalização (C) “Ecco Filtro” (D) Tanque temporário



Fonte: Própria autora

FIGURA 19 – Lagoa de maturação



Fonte: Própria autora

O “Ecco Filtro” funciona como uma peneira, reduzindo o acúmulo de lodo no interior do biodigestor, aumentando sua vida útil. Os sólidos retidos pelo peneiramento são encaminhados para a compostagem. Este equipamento apresenta um motor de 5 HP e funciona 3 vezes na semana, por um período de 6 horas por dia.

Durante as visitas realizadas na propriedade, foi possível observar rasgos e sinais de degradação na lona do biodigestor, sugerindo a necessidade de reparo ou troca da mesma. Além disso, desde que foi implantado, em 2007, não houve limpeza para remoção do lodo de dentro do biodigestor. Também se observou problemas na estrutura do tanque temporário, como rachaduras em suas paredes.

Na Figura 20, pode-se observar uma imagem de satélite com a localização das unidades de tratamento de efluentes presentes na Granja Barreirinho.

FIGURA 20 - Localização das unidades de tratamento



Fonte: Google Earth, 2016

4.2 Caracterização dos efluentes líquidos e avaliação da eficiência do sistema de tratamento

Os efluentes da granja suinícola selecionada foram caracterizados a partir dos dados presentes nos monitoramentos, que são realizados pelo proprietário devido à condicionante de licenciamento. Foram fornecidos os dados do efluente bruto, presente na entrada do sistema de tratamento, e do efluente tratado, presente na lagoa de tratamento (Anexo A). Os monitoramentos foram realizados nos períodos de fevereiro/2011, julho/2011, março/2013, agosto/2013, junho/2015 e dezembro/2015.

Os dados do efluente tratado foram comparados com os padrões de lançamento de efluentes exigidos pela DN Conjunta COPAM/CERH-MG 01/2008, a fim de avaliar se estão em acordo com a legislação vigente.

Nesta etapa também foi determinada a carga orgânica, utilizando-se a Equação 1.

$$CO = \frac{C_a \times Q}{1000} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: CO é a carga orgânica (kg/dia), C_a é a concentração afluyente de DBO e DQO (mg/L), Q é a vazão dos dejetos (m³/dia) e 1000 é o fator de conversão de mg/L para kg/m³.

A partir dos dados fornecidos pelo proprietário foi possível avaliar a eficiência do sistema de tratamento existente para a remoção de DBO e DQO presentes nos dejetos suinícolas.

A eficiência do tratamento dos dejetos foi calculada utilizando-se a Equação 2.

$$\eta = \left(\frac{C_a - C_e}{C_a} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: η é a eficiência do sistema (%), C_a é a concentração afluyente da característica analisada e C_e é a concentração efluente da característica analisada.

4.3 Estimativa do potencial de produção de biogás

O potencial de produção de biogás na granja selecionada foi estimado a partir da metodologia proposta por Farret (2010), expressa pela Equação 3.

$$PB = m_{SV} \times f_{prod} \quad (\text{Equação 3})$$

Em que: PB corresponde à vazão produzida de biogás diariamente por animal ($\text{m}^3 \text{d}^{-1}$), m_{SV} corresponde à massa de sólidos voláteis produzida diariamente por animal (kg SVd^{-1}) e f_{prod} corresponde à produção específica de biogás gerado por animal ($\text{m}^3 \text{biogás kg SV}^{-1}$).

A produção específica de biogás gerado por animal será determinada a partir da Tabela 8.

TABELA 8 – Produção específica de biogás gerado por animal

Animal	f_{prod} ($\text{m}^3 \text{biogás/ kg esterco}$)	f_{prod} ($\text{m}^3 \text{biogás/ kg SV}$)
Bovino	0,0038	0,094 – 0,310
Suíno	0,079	0,370 – 0,500
Aves	0,050	0,310 – 0,620

Fonte: Farret, 2010

A quantidade de sólidos voláteis presentes no efluente gerado pode ser determinada a partir da Equação 4 (GUSMÃO, 2008).

$$V_{SV} = V_{dejetos} \times V_{ST} \times P_{SV} \quad (\text{Equação 4})$$

Sendo que V_{SV} corresponde aos sólidos voláteis totais gerados por dia (kg/dia), $V_{dejetos}$ corresponde ao volume de dejetos produzidos por dia (m^3/dia), V_{ST} corresponde aos sólidos totais (mg/L) e P_{SV} corresponde à porcentagem de sólidos voláteis presente nos sólidos totais (%).

A partir dos dados fornecidos pelo suinocultor, calculou-se os sólidos totais presentes no efluente gerado (Apêndice A).

4.4 Estimativa da produção de energia

A produção de energia na granja foi estimada considerando-se a porcentagem de metano que o biogás apresenta em sua composição e o poder calorífico inferior do metano. Assim, a produção de energia pode ser calculada a partir da Equação 5.

$$PE = P_{metano} \times PCI_{metano} \times PB \quad (\text{Equação 5})$$

Onde: PE corresponde à produção de energia diária (kWh dia^{-1}), P_{metano} à porcentagem de metano presente no biogás, PCI_{metano} ao poder calorífico inferior do metano (kWh/m^3) e PB à vazão produzida de biogás diariamente por animal ($\text{m}^3 \text{d}^{-1}$).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caracterização dos efluentes líquidos e eficiência do sistema de tratamento

A partir dos dados fornecidos pelo proprietário e utilizando-se a Equação 1, foi possível obter a carga orgânica afluente ao sistema de tratamento presente na Granja Barreirinho, nos períodos de fevereiro/2011, julho/2011, março/2013, agosto/2013, junho/2015 e dezembro/2015 (Tabela 9).

TABELA 9 – Carga orgânica afluente de DBO e DQO ao sistema de tratamento da Granja Barreirinho

Período	Carga orgânica DBO (kg/dia)	Carga orgânica DQO (kg/dia)	Relação DQO/DBO
fev/11	250,76	426,39	1,70
jul/11	385,82	581,96	1,51
mar/13	233,25	518,58	2,22
ago/13	807,89	1135,11	1,41
jun/15	1014,41	1498,12	1,48
dez/15	398,88	731,77	1,83
Média	515,17	815,32	1,58

Fonte: Própria autora

A partir da Tabela 9, pode-se observar que a carga orgânica média afluente de DBO é 515,17 kg/dia e de DQO é 815,32 kg/dia. Os valores encontrados são baixos quando comparados com os obtidos por Oliveira (1993) e Embrapa (2004), em que a carga orgânica de DBO é de, aproximadamente, 2.000 kg/dia e a de DQO é 6.000 kg/dia. Esta diferença pode relacionar-se ao fato de os resíduos sólidos serem encaminhados à compostagem.

Porém, mesmo os valores encontrados sendo baixos quando comparados aos autores citados, existe a necessidade de tratamento do efluente antes de sua disposição no meio ambiente. Esse tratamento é importante para que se possa minimizar os impactos provocados ao se lançar o efluente no solo ou em corpos d'água.

A carga orgânica é um parâmetro importante para a seleção e dimensionamento de sistemas de tratamento de efluente. Segundo von Sperling (2014), a relação DQO/DBO permite inferir sobre a biodegradabilidade do efluente. A partir da Tabela 9, pode-se inferir que esta relação é de 1,6, aproximadamente, o que significa que a fração biodegradável é elevada. Dessa forma, é indicado um sistema biológico para o tratamento dos efluentes gerados na granja.

O sistema de tratamento presente na Granja Barreirinho apresenta, em média, uma eficiência de remoção de DBO e DQO de 85,44% e 81,71%, respectivamente (Tabela 10).

TABELA 10 – Eficiência de remoção de DBO e DQO pelo sistema de tratamento na Granja Barreirinho

Período	DBO (%)	DQO (%)
fev/11	94,60	83,11
jul/11	76,51	65,25
mar/13	82,87	85,09
ago/13	82,36	82,23
jun/15	88,16	87,92
dez/15	88,12	86,65
Média	85,44	81,71

Fonte: Própria autora

De acordo com a DN COPAM/CERH-MG 01/2008, para o lançamento de efluentes provenientes de granjas suínicas, direta ou indiretamente, nos corpos d'água, a eficiência de redução de DBO deve ser, no mínimo, de 75% enquanto que a remoção de DQO deve ser, no mínimo, de 70%. A partir da Tabela 8, pode-se inferir que essas condições de lançamento não foram atingidas para o parâmetro de DQO no mês de julho/2011, onde a eficiência de remoção foi de, aproximadamente, 65%. Embora o efluente gerado na granja estudada não tenha como destinação final um corpo d'água, é importante manter-se dentro dos padrões estabelecidos pela DN COPAM/CERH-MG 01/2008, caso o efluente seja direcionado para um corpo d'água no futuro.

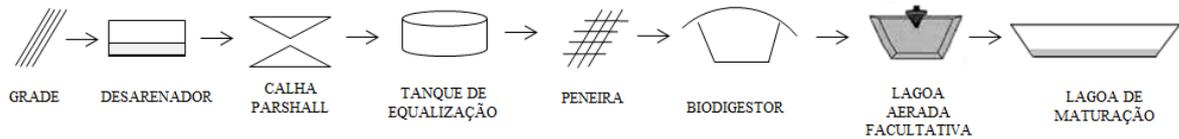
Apesar do sistema de tratamento ter apresentado uma eficiência média em torno de 85,44% (DBO) e 81,71% (DQO) e do atendimento à legislação, observou-se *in loco* problemas estruturais nas unidades de tratamento, como rachaduras nas paredes do tanque temporário e rasgos na lona do biodigestor.

O biodigestor, instalado em 2007, foi dimensionado para atender os dejetos gerados pelos 5.000 animais presentes na granja naquele ano, porém, atualmente, o plantel é 34% maior, com 6.700 animais. A partir disto, pode-se inferir que o biodigestor recebe um maior volume de água residuárias, podendo estar sobrecarregado.

Diante disto, viu-se a necessidade de se propor melhorias e redimensionamento no sistema de tratamento. O modelo idealizado seria composto por gradeamento, desarenador,

calha Parshall, tanque de equalização, peneira (“Ecco Filtro”), biodigestor, lagoa aerada facultativa e lagoa de maturação (FIGURA 21).

FIGURA 21 - Esquema do sistema de tratamento de efluente proposto



Fonte: Elaborado pela autora

O volume da câmara de biodigestão dos biodigestores é calculado a partir do da vazão do efluente gerado e do tempo de detenção hidráulica, conforme a Equação 6:

$$V_{CB} = Q_{média} \times TDH \quad (\text{Equação 6})$$

Sendo que V_{CB} é o volume da câmara de biodigestão (m^3), $Q_{média}$ é a vazão média do efluente gerado (m^3/dia) e TDH (dia) é o tempo de detenção hidráulica.

O tempo de detenção hidráulica do efluente deve ser entre 20 e 50 dias (PERDOMO, 2003).

Na Granja Barreirinho, não existe um medidor de vazão. Assim, as vazões máxima, mínima e média foram estimadas considerando-se o número total de suínos presente na propriedade, 6.700 animais, e os dejetos líquidos produzidos por animal em diferentes fases produtivas dos suínos, conforme a Tabela 3.

Para a vazão máxima ($Q_{máx}$) foi considerado os dejetos líquidos produzidos pelas matrizes (16 L/dia), para a vazão mínima ($Q_{mín}$) considerou-se os dejetos produzidos pelos suínos de 25 a 100 kg (7 L/dia) e para a vazão média ($Q_{média}$) foi utilizado o valor médio de dejetos produzidos (8,6 L/dia).

Assim, tem-se que:

$$Q_{máx} = 107,2 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$Q_{mín} = 46,9 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$Q_{média} = 57,62 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Como o biodigestor existente da Granja Barreirinho, apresenta dimensões de 50 m x 20 m x 5 m, o volume na câmara é de 5.000 m³. Deste modo, o tempo de detenção hidráulica, calculado a partir da Equação 6, é de:

$$TDH = 86,78 \text{ dias}$$

Esse tempo de detenção hidráulica é maior do que o recomendado por Perdomo (2003). Assim, seria prudente o dimensionamento de um novo biodigestor. Considerando-se um tempo de detenção hidráulica de 40 dias e a vazão média de efluentes gerados na granja, o novo volume da câmara de biodigestão seria de 2.305 m³, aproximadamente.

Recomenda-se a construção de dois biodigestores em paralelo, com dimensões de 20 m x 12 m x 5 m, cada. Assim, o volume de cada câmara de biodigestão é de 1.200 m³ e o tempo de detenção hidráulica é de 41,65 dias, que está dentro da faixa recomendada por Perdomo (2003).

A construção de biodigestores em paralelo facilita a manutenção nos equipamentos, já que suas dimensões são menores.

No APÊNDICE B é apresentado o detalhamento do biodigestor proposto.

O tanque temporário, presente na Granja Barreirinho, possui 24 m de comprimento, 10 m de largura e 2,5 m de profundidade. O tempo de detenção hidráulica do efluente no tanque temporário, atualmente, é de 2,3 horas. Com esse tempo de detenção, o tanque temporário está sendo usado apenas como um tanque de passagem do efluente, não contribuindo para remoção de DBO e DQO.

Uma alternativa para aumentar a eficiência de remoção nesta etapa seria transformar o tanque temporário em uma Lagoa Aerada Facultativa (LAF), visto que sua construção já atende aos critérios de projeto de uma LAF.

O tempo de detenção hidráulica recomendado por von Sperling (2006) para uma LAF varia entre 5 e 10 dias. Por isso, adotou-se um tempo de 8 dias para se calcular a quantidade de aeradores necessários para serem instalados na Lagoa Aerada Facultativa.

Considerando que os biodigestores em paralelo tenham uma eficiência de 50% para remoção de DBO e que a DBO afluente ao sistema de tratamento corresponda à média da

DBO presente no efluente bruto, segundo os dados do Anexo A, ou seja, 8.940,79 mg/L, a DBO afluente à lagoa aerada facultativa (S_o) é igual a 4.470,40 mg/L.

A DBO solúvel efluente pode ser calculada a partir da Equação 7 (von SPERLING, 2006).

$$S = \frac{S_o}{1 + kt} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde: S é a DBO solúvel efluente (g/m^3), S_o é a DBO afluente (g/m^3), k é o coeficiente de remoção de DBO em uma temperatura T (dia^{-1}) e t é o tempo de detenção (dia).

O coeficiente de remoção de DBO é calculado a partir da Equação 8.

$$k_t = k_{20} \times 1,085^{(T-20)} \quad (\text{Equação 8})$$

Sendo que k_t é o coeficiente de remoção de DBO em uma temperatura T (dia^{-1}) e k_{20} é o coeficiente de remoção na temperatura de 20°C, que pode variar entre 0,6 e 0,8 dia^{-1} .

Adotando k_{20} como 0,7 dia^{-1} e a temperatura T como 18°C, que é a temperatura média do município onde a Granja Barreirinho se localiza, temos que:

$$k_{18} = 0,82 \text{ dia}^{-1}$$

Assim, a DBO solúvel efluente é:

$$S = 588,79 \text{ g/m}^3$$

O requisito de oxigênio é a quantidade de oxigênio a ser fornecida pelos aeradores para a estabilização aeróbia da matéria orgânica e pode ser calculado a partir da Equação 9.

$$RO = \frac{a \times Q \times (S_o - S)}{1000} \quad (\text{Equação 9})$$

Onde: RO é o requisito de oxigênio (kgO_2/dia), a é o coeficiente de consumo de oxigênio ($\text{kgO}_2/\text{kg DBO}$), Q é a vazão afluente (m^3/dia), S é a DBO solúvel efluente (g/m^3) e S_o é a DBO afluente (g/m^3).

O coeficiente de oxigênio varia entre 0,8 e 1,2 $\text{kgO}_2/\text{kg DBO}$. Adotando-se 1 $\text{kg O}_2/\text{kg DBO}$ para o coeficiente de oxigênio e considerando a vazão sendo a vazão média do efluente gerado na granja, temos:

$$RO = 223,66 \text{ kgO}_2/\text{dia}$$

Segundo von Sperling (2006), a energia necessária para o suprimento dos requisitos dos aeradores é calculado com base no consumo de oxigênio (RO). O parâmetro que converte consumo de oxigênio em consumo de energia é a eficiência de oxigenação (EO). A eficiência de oxigenação teórica varia entre 1,2 a 2,0 kgO₂/kWh. Porém, nas condições reais de operação, a eficiência de oxigenação é menor, sendo calculada segundo a Equação 10.

$$EO_{campo} = EO_{teórica} \times \eta \quad (\text{Equação 10})$$

Sendo que EO_{campo} corresponde à eficiência de oxigenação nas condições reais (kgO₂/kWh) e η é taxa de variação que está entre 0,55 e 0,65.

A potência requerida pelos aeradores é dada pela Equação 11.

$$Pot = \frac{RO}{EO_{campo}} \quad (\text{Equação 11})$$

Onde Pot é a potencia requerida (kW), RO é o requisito de oxigênio (kg O₂/dia) e EO_{campo} corresponde à eficiência de oxigenação nas condições reais (kgO₂/kWh).

Adotando uma eficiência de oxigenação teórica de 1,2 kgO₂/kWh, uma taxa de variação de 0,55 e o requisito de oxigênio calculado anteriormente, temos que:

$$Pot = 14,12 \text{ kW}$$

Considerando que 1kW corresponde a 1,36 CV, a potência requerida pelos aeradores é de:

$$Pot = 19,20 \text{ CV}$$

Assim, é possível adotar 4 aeradores de 5 CV na Lagoa Aerada Facultativa.

A densidade de potência é a energia introduzida pelo aerador por unidade de volume do reator e, segundo von Sperling (2006), pode ser calculada a partir da Equação 12.

$$\phi = \frac{Pot}{V} \quad (\text{Equação 12})$$

Sendo ϕ a densidade de potência (W/m³), Pot a potencia requerida (kW) e V é o volume da lagoa (m³).

Considerando-se a potência requerida encontrada e o volume da lagoa, temos:

$$\phi = 23,53 W/m^3$$

No APÊNDICE C é apresentado o detalhamento da Lagoa Aerada Facultativa proposta.

A inclusão de um medidor de vazão e de um desarenador seria interessante. O medidor de vazão facilitaria a obtenção da vazão de efluente gerada na propriedade, visto que para a realização deste estudo houve dificuldade em se estimar esta vazão. Com o desarenador seria possível retirar resíduos alimentares e grãos de areia presentes no efluente.

A calha Parshall pode ser instalada como medidor de vazão, a montante ou a jusante das estações de tratamento de efluentes, e a principal vantagem desse medidor é sua capacidade de autolimpeza.

Segundo Azevedo Netto (1998), a largura da calha Parshall é um valor pré determinado, que depende das vazões máximas e mínimas do efluente gerado, conforme apresentado na Tabela 11.

TABELA 11 – Largura da calha Parshall

W (polegadas)	Vazões (L/s)	
	Mínima	Máxima
1	0,30	5,00
3	0,80	53,80
6	1,52	110,40

Fonte: Adaptado de Azevedo Netto, 1998.

A partir das vazões máximas e mínimas encontradas no APÊNDICE B, pode-se determinar que a largura da calha Parshall é de:

$$W = 1''$$

Para a largura encontrada de 1”, pode-se determinar as demais dimensões da calha Parshall a partir da Tabela 12.

TABELA 12 – Dimensões da calha Parshall

W (pol)	W	A	B	C	D	E	F	G	K	N	n	K
	(cm)										(Q em m³/h)	
1	2,5	36,3	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9	1,550	217,39
3	7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	38,1	15,2	30,5	2,5	5,7	1,547	633,60
6	15,2	62,3	61,0	39,4	40,3	61,0	30,5	61,0	7,6	11,4	1,580	1371,58

Fonte: Adaptado de Azevedo Netto, 1998.

A profundidade da água na calha Parshall pode ser calculada a partir da Equação 13 (AZEVEDO NETTO, 1998).

$$H = \left(\frac{Q}{k}\right)^{1/n} \quad (\text{Equação 13})$$

Onde: Q é a vazão do efluente (m³/h) e k e n são coeficientes que dependem da largura da calha Parshall e podem ser determinados através da Tabela 13.

TABELA 13 – Coeficientes n e k

W (pol)	n	K
1	1,550	217,390
3	1,547	633,600
6	1,580	1371,580

Fonte: Cavalcanti, 2012.

Assim, considerando-se a vazão máxima para o cálculo da profundidade máxima ($H_{m\acute{a}x}$) da calha Parshall e a vazão mínima para se determinar a profundidade mínima ($H_{m\acute{i}n}$), temos que:

$$H_{m\acute{a}x} = 0,082 \text{ m}$$

$$H_{m\acute{i}n} = 0,048 \text{ m}$$

De acordo com Azevedo Netto (1998), o cálculo do rebaixo da calha Parshall pode ser realizado a partir da Equação 14.

$$Z = \frac{Q_{m\acute{a}x} \times H_{m\acute{i}n} - Q_{m\acute{i}n} \times H_{m\acute{a}x}}{Q_{m\acute{a}x} - Q_{m\acute{i}n}} \quad (\text{Equação 14})$$

Sendo Z o rebaixo da calha Parshall (m), $Q_{m\acute{a}x}$ a vazão máxima (m³/s), $Q_{m\acute{i}n}$ a vazão mínima (m³/s), $H_{m\acute{a}x}$ a profundidade máxima da calha Parshall (m) e $H_{m\acute{i}n}$ a profundidade mínima da calha Parshall (m).

Assim, o rebaixo da calha Parshall é de:

$$Z = 0,02 \text{ m}$$

A remoção da areia através do desarenador evita a abrasão nos equipamentos e tubulações. Além disso, reduz a possibilidade de obstruções em tubulações, tanques e orifícios. O mecanismo de retirada da areia é o de sedimentação: os grãos de areia vão para o fundo do tanque, por serem maiores e mais densos, enquanto a matéria orgânica permanece em suspensão seguindo para as unidades a jusante, já que a sua sedimentação ocorre de maneira mais lenta (von SPERLING, 2014).

O desarenador deve ser dimensionado com largura suficiente para que a velocidade média do fluxo de efluente não ultrapasse 0,4 m/s, conforme estabelecido pela NBR 12.209/92 da ABNT.

Para o cálculo da largura do canal do desarenador deve-se levar em consideração a vazão máxima, a lâmina de água máxima e a velocidade do fluxo (Equação 15).

$$b = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{h_{m\acute{a}x} \times v_h} \quad (\text{Equação 15})$$

Sendo b a largura do desarenador (m), $Q_{m\acute{a}x}$ a vazão de consumo de água (m³/s), $h_{m\acute{a}x}$ a altura máxima do efluente no desarenador (m) e v_h a velocidade média do efluente.

A lâmina de água máxima no desarenador pode ser obtida a partir da profundidade máxima e do ressalto da calha Parshall (Apêndice D), conforme a Equação 16.

$$h_{m\acute{a}x} = H_{m\acute{a}x} - Z \quad (\text{Equação 16})$$

Onde: $h_{m\acute{a}x}$ é a altura máxima do efluente no desarenador (m), $H_{m\acute{a}x}$ é a profundidade máxima da calha Parshall (m) e Z é o ressalto da calha Parshall (m).

Considerando a velocidade média do efluente como sendo 0,30 m/s, a largura do canal do desarenador será de:

$$b = 0,07 \text{ m}$$

Porém, de acordo com a NBR 12.209/92 da ABNT, a largura mínima deve ser de 0,30 m, para o caso de limpeza manual.

O comprimento do desarenador é calculado a partir da Equação 17.

$$L = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{b \times v_s} \times c_s \quad (\text{Equação 17})$$

Em que L é o comprimento do desarenador (m), $Q_{m\acute{a}x}$ é a vazão de consumo de água (m^3/s), b é a largura do desarenador (m), v_s a velocidade de sedimentação (m/s) e c_s é o coeficiente de segurança.

O coeficiente de segurança é introduzido devido ao efeito de turbulência do efluente que prejudica a sedimentação. Normalmente, adota-se 1,5 para esse coeficiente.

Considerando 1,5 para o coeficiente de segurança e a velocidade de sedimentação como a velocidade de sedimentação do grão de areia (2,0 cm/s), o comprimento do desarenador é de:

$$L = 0,35 \text{ m}$$

De acordo com a NBR 12.209/92, a taxa de escoamento superficial de um desarenador por gravidade, como o que está sendo dimensionado, deve estar compreendida entre 600 a 1.300 $m^3/m^2.dia$. A taxa de escoamento superficial pode ser calculada a partir da Equação 18.

$$I = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{b \times L} \quad (\text{Equação 18})$$

Onde: I é a taxa de escoamento superficial ($m^3/m^2.dia$), $Q_{m\acute{a}x}$ é a vazão de consumo de água (m^3/dia), L é o comprimento do desarenador (m) e b é a largura do desarenador (m).

A partir do comprimento e da largura já calculados, tem-se que a taxa de escoamento superficial é

$$I = 1021 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$$

Recomenda-se a construção de duas unidades em paralelo, para permitir os trabalhos de limpeza sem interromper o fluxo do efluente.

No APÊNDICE D é apresentado o detalhamento do desarenador proposto.

A última etapa do processo de tratamento do efluente é a lagoa de maturação, que possibilita a desinfecção do efluente através da luz solar e, conseqüentemente, a remoção de

organismos patogênicos. Nesta lagoa, recomenda-se a retirada do lodo acumulado ao longo dos anos, o que permite maior penetração da luz solar.

Após a lagoa de maturação, o efluente é aplicado ao solo, por meio de fertirrigação. Apesar desta técnica apresentar benefícios, como redução dos custos com fertilizantes, deve-se ter precaução em relação à quantidade de nutrientes aplicados e aos riscos de contaminação por microrganismos. Assim, recomenda-se estudos mais aprofundados sobre essa questão.

Além das alterações nas unidades de tratamento, aconselha-se a implementação de um programa de monitoramento para os principais parâmetros que influenciam a operação do sistema de tratamento do efluente gerado, conforme explicitado pela Tabela 14.

TABELA 14 – Parâmetros monitorados e frequência de monitoramento sugeridos

Parâmetro	Frequência de monitoramento
Vazão	Diária
pH	Diária
Temperatura	Diária
Sólidos Sedimentáveis	Diária
DBO	Semanal
DQO	Semanal
Microrganismos	Semanal
Nutrientes (fósforo e nitrogênio)	Semanal

Fonte: Própria autora

Outros parâmetros podem e devem ser analisados, não apenas para atendimento à legislação, mas para o controle operacional do sistema de tratamento dos efluentes gerados.

Para a implantação do sistema de tratamento proposto é necessário um investimento de R\$ 204.480,50, conforme apresentado pela Tabela 15.

TABELA 15 – Investimento necessário para implantação do sistema de tratamento proposto

Item	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
Calha Parshall 1"	1 unidade	R\$ 610,50	R\$ 610,50
Escavação	2400 m ³	R\$ 76,20/m ³	R\$ 182.880,00
Lona PEAD	1600 m ²	R\$ 12,65/m ²	R\$ 20.240,00
Medidor de pH e temperatura	1 unidade	R\$ 750,00	R\$ 750,00
TOTAL			R\$ 204.480,50

Fonte: MFRural, 2016; SETOP, 2016

5.2 Estimativa do potencial de produção de biogás

O volume de dejetos produzidos por dia na propriedade pode ser estimado considerando-se que, em média, cada animal produz 8,6 litros de dejetos por dia (EMBRAPA, 2004). Portanto, os 6.700 animais presentes na Granja Barreirinho produzem, diariamente, 57,62 m³ de dejetos.

Para Diesel et al (2002), de 70 e 75% dos sólidos totais são constituídos pelos sólidos voláteis. Adotou-se o menor valor para a porcentagem de sólidos voláteis nos sólidos totais, para não haver sobredimensionamentos, dando maior segurança ao suinocultor.

Sendo assim, com base nos dados citados anteriormente, a Granja produz, em média, 341 kg de sólidos voláteis por dia (Tabela 16).

TABELA 16 - Sólidos voláteis presentes no efluente da Granja Barreirinho (kg/dia)

Período	fev/11	jul/11	ago/13	dez/15	média
Sólidos voláteis (kg/dia)	171,82	231,19	476,95	483,20	340,79

Fonte: Própria autora

Considerando-se a média de massa de sólidos voláteis produzida e adotando-se o menor valor para a produção específica de biogás (f_{prod}), a fim de não haver sobredimensionamentos, foi possível estimar que a granja produz, em média, 126 m³ de biogás por dia (Tabela 17).

TABELA 17 – Estimativa da produção de biogás por dia na Granja Barreirinho (m³/dia)

Período	fev/11	jul/11	ago/13	dez/15	média
Produção de biogás (m³/ dia)	63,57	85,54	176,47	178,78	126,09

Fonte: Própria autora

Estudo realizado por Tietz et al (2014) mostrou que a temperatura do biogás, ao sair do biodigestor, varia entre 28° e 35°. Desta maneira, o biogás pode ser utilizado para aquecer o galpão da creche durante o inverno e nos períodos da noite, visto que os leitões nesta fase não toleram grande amplitude térmica. É importante ressaltar que o biogás deve ser purificado, antes de ser utilizado para o aquecimento do galpão, visando a remoção do gás sulfídrico (H₂S). Esta remoção se faz necessária, pois o H₂S além de ser um gás tóxico, apresenta propriedades corrosivas quando em contato com partes metálicas.

5.3 Estimativa de produção de energia

A partir da estimativa de produção de biogás, a produção de energia na granja foi estimada considerando-se que o poder calorífico inferior do metano é de 9,90 kWh/m³ e que o biogás apresenta 70% de metano em sua composição, sendo mais uma vez adotado o menor valor, em relação à Tabela 5, para maior segurança do suinocultor.

Deste modo, na Granja Barreirinho, a produção média de energia é estimada em 686,58 kWh por dia (Tabela 18), totalizando 20.597 kWh por mês, aproximadamente.

TABELA 18 – Estimativa da produção de energia a partir do biogás (kWh/dia)

Período	fev/11	jul/11	ago/13	dez/15	média
Produção de energia (kWh/dia)	346,16	465,78	960,89	973,48	686,58

Fonte: Própria autora

Como o consumo médio mensal de energia elétrica de toda a propriedade é de, aproximadamente, 40.000 kWh, a granja não poderá ser autossuficiente em energia elétrica. Porém, sabendo-se que a tarifa de energia elétrica cobrada pela concessionária local, para propriedades rurais, nas condições favoráveis de geração de energia (bandeira verde), é de R\$ 0,37185/kWh (CEMIG, 2016), e considerando-se a produção média mensal, poderiam ser economizados R\$7.659,00 mensalmente.

Essa energia gerada pode ser utilizada na própria propriedade, para o funcionamento do “Ecco Filtro”. Considerando-se que este equipamento é ativado durante 18 horas por semana e que sua potência é de 5 HP, ele requer, aproximadamente, 269 kWh de energia por mês. Ao se utilizar a energia elétrica produzida para este fim, o produtor está utilizando cerca de 1,5% da energia elétrica produzida, a partir do biogás, em sua propriedade

Outra alternativa para aproveitar a energia produzida é usá-la para acionar os aeradores mecânicos da lagoa aerada facultativa, caso esta seja implantada no sistema de tratamento dos efluentes gerados na granja. Considerando que os aeradores trabalhem durante o mesmo período que o “Ecco Filtro”, ou seja, 18 horas por semana, e que cada aerador apresente uma potência de 5CV, cada aerador irá requerer, aproximadamente, 265 kWh de energia por mês. Portanto, para os 4 aeradores mecânicos será necessário cerca de 1059 kWh de energia por mês, o que representa 5% da energia elétrica produzida mensalmente na Granja Barreirinho.

Dessa forma, utilizando-se a energia produzida para o funcionamento do “Ecco Filtro” e dos aeradores, o produtor estaria empregando menos de 10% da energia total produzida por mês em sua propriedade, o que lhe permite direcionar o restante da energia para outro setor, como o de refrigeração e de iluminação.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir do estudo realizado, concluiu-se que o efluente gerado na Granja Barreirinho apresenta baixa carga orgânica de DBO e DQO quando comparados a estudos envolvendo dejetos suínicos. Porém, existe a necessidade de tratamento do efluente para se evitar contaminações quando disposto no meio ambiente.

O sistema de tratamento de efluente empregado na granja apresentou eficiência na redução dos parâmetros analisados, com diminuição de DBO (85,44%) e de DQO (81,71%). Entretanto, essa eficiência pode ser aumentada caso algumas unidades do sistema de tratamento sejam redimensionadas e sejam introduzidas outras unidades de tratamento. O redimensionamento do biodigestor é necessário, visto que a sua construção foi realizada quando o plantel de suínos presentes na propriedade era menor do que o atual. Dessa maneira o biodigestor está sobrecarregado, podendo ter sua eficiência de tratamento reduzida. Para contornar este problema, indicou-se a construção de dois biodigestores em paralelo, com dimensões de 20 m x 12 m x 5 m, cada um. Outra alternativa para se aumentar a eficiência do sistema de tratamento é substituir o tanque temporário por uma Lagoa Aerada Facultativa, que contenha 4 aeradores mecânicos de 5 CV cada. Aconselhou-se a introdução de uma calha Parshall de 1" e de um desarenador, para se realizar a medição de vazão e retirar resíduos alimentares e grãos de areia presentes no efluente, respectivamente.

Recomendou-se também a criação de um plano de monitoramento para os principais parâmetros que influenciam o sistema de tratamento dos efluentes gerados, não apenas para atendimento à legislação, mas para o controle operacional deste sistema.

A Granja Barreirinho apresentou o potencial de produção de 126 m³ de biogás por dia, a partir do biodigestor anaeróbio. Esse biogás pode ser utilizado no galpão de creche da propriedade, para reduzir a amplitude térmica, garantindo conforto térmico aos leitões.

Conclui-se também que esse biogás pode ser usado para aproveitamento energético na granja, já que se estimou uma produção de energia elétrica de 20.597 kWh por mês. Essa energia corresponde a, aproximadamente, 50% da energia total utilizada em toda a Granja Barreirinho. A energia produzida pode ser utilizada para o funcionamento da peneira mecanizada, "Ecco Filtro", existente no sistema de tratamento do efluente e, também, para acionar os quatro aeradores mecânicos que foram propostos para a Lagoa Aerada Facultativa. A energia elétrica requerida por estes dois equipamentos corresponde a menos de 10% da

energia total que é produzida, permitindo direcionar o restante para outros setores da Granja Barreirinho, como refrigeração e iluminação.

Diante de tudo isso, observou-se que o tratamento de dejetos suínicos, a partir de biodigestores anaeróbios, é um mecanismo que agrega valor a um passivo ambiental proveniente da suinocultura.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína – ABIPECS. **Relatório Anual 2012**. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/files/publicacoes/d58c2a0e028750489d80eab3c7b12a2.pdf>> Acesso em: 01 abr. 2016.

Associação Brasileira de Criadores de Suínos – ABCS. **Produção de suínos: teoria e prática**. Brasília, DF: 2014, 908 p.

_____. **Bem-estar animal na produção de suínos: toda granja**. Brasília, DF: 2016, 38p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13403: medição de vazão em efluentes líquidos e corpos receptores: escoamento livre**. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 12.209: projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, 1992.

Associação Brasileira de Proteína Animal – ABPA. **Relatório Anual de Atividades 2014**. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/files/publicacoes/c59411a243d6dab1da8e605be58348ac.pdf>> Acesso em: 01 abr. 2016.

AZEVEDO NETTO, José Martiniano de. **Manual de hidráulica**. São Paulo, Edgard Blücher, 1998. 670 p.

BARICHELLO, Rodrigo. **Concepção de condomínios de agroenergia: análise e proposta de metodologia para aplicação em áreas de concentração da suinocultura**. 231 p. 2015. Dissertação (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC.

BARICHELLO, Rodrigo. HOFFMANN, Ronaldo; CASAROTTO FILHO, Nelson; DEIMLING, Moacir Francisco. Pequeno condomínio de agroenergia a partir do biogás proveniente do tratamento de dejetos suínos: um estudo de caso. In: XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Anais**, Bento Gonçalves, RS. out. 2012.

BARRERA, Paulo. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural**. São Paulo: Ícone, 1993, 108 p.

BONAZZI, Giuseppe A. A. **Resíduos animais: manual para uso agrônomo**. Verona: Informante Agrário, 2001, 320 p.

BOTELHO, Lúcio Antônio Leite Alvarenga. **Gestão dos Recursos Hídricos em Sete Lagoas/MG: uma abordagem a partir da evolução espaço-temporal da demanda e da captação de água**. 131 p. 2008. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG.

BRASIL. Ministério de Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 15 mai. 2011.

CARVALHO, Pedro Luiz Costa; VIANA, Eduardo Faria Viana. Suinocultura SISCAL e SISCON: análise e comparação dos custos de produção. **Custos e @gronegocioon line**. Recife: v. 7, n.3, set./dez. 2011.

CASTANHO, Diego Solak; ARRUDA, Heder Jobbins. Biodigestores. In: VI Semana de Tecnologia em Alimentos. **Anais**, Ponta Grossa, PR. mai. 2008.

CASTRO JUNIOR, Fernando Gomes. Aspectos importantes da cadeia produtiva da carne suína. **Biológico**. São Paulo: v. 64, n. 2, p. 159-161, jul./dez. 2002.

CAVALCANTI, José Eduardo W. de A. **Manual de Tratamento de Efluentes Industriais**. São Paulo: Engenho Editora Técnica Ltda, 2012, 500p.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico em águas residuárias**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1997, 246p.

Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA. Suinocultura Brasileira avança no cenário mundial. **Boletim Ativos da Suinocultura**. Brasília: ano 1, edição 1. mai 2015.

COLATTO, Luciulla; LANGER, Marcelo. Biodigestor – resíduo sólido pecuário para produção de energia. **Unoesc & Ciência – ACET**. Joaçaba: v. 2, n. 2, p. 119-128, jul./dez. 2011.

COLDEBELLA, Anderson. **Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais**. 76 p. 2006. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel – PR.

Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP. **Norma Técnica Interna SABESP: NTS 013 – Sólidos**. São Paulo, SP: Sabesp, 1999, 8 p.

_____. **Tipos de tratamento**. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=61>>. Acesso em: 15 out. 2016.

Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG. **Valores de Tarifa e Serviços**. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx>. Acesso em: 26 out. 2016.

DIAS, Alexandre César; CARRARO, Bruno Zinato; DALLANORA, Djane; COSER, Fabiano José. **Manual Brasileiro de Boas Práticas Agropecuárias na Produção de Suínos**. Brasília, DF: ABCS; MAPA; Concórdia, SC: Embrapa Suínos e Aves, 2011, 140 p.

DIESEL, Roberto; MIRANDA, Cláudio Rocha; PERDOMO, Carlos Cláudio. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos de suínos**. Concórdia, SC: EMBRAPA – CNPSA/EMATER-RS, 2002. 31 p.

DILL, Matheus Dhein; JEAN, Philippe Palma Révillion; BARCELLOS, Júlio Otávio Jardim; CEOLIN, Alessandra Carla. Cadeia Produtiva da Carne Suína. In: 48º Congresso Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. **Anais**, Campo Grande, MS. jul. 2010.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Suínos: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa-SPI, 2004.

FARRET, Felix Alberto. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica**. 2. ed. rev. e ampl. Santa Maria, RS: Ed. UFSM, 2010. 242p.

FERNANDES, Gabriela Wendler. **Avaliação de processos para remoção química de fósforo de efluente de suinocultura**. 82 p.2008. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.

Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM. **Guia técnico ambiental de biogás na agroindústria**. Belo Horizonte, 111p. 2015.

FONSECA, Fernando Sergio de Toledo; ARAÚJO, Ana Régia Alves; HENDGES, Tiago Luiz. Análise de viabilidade econômica de biodigestores na atividade suinícola na cidade de Balsas – MA: um estudo de caso. **Anais**, Porto Alegre, RS. Jul. 2009.

GASPAR, Rita Maria Bedran Leme. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor**: um estudo de caso na região de Toledo-PR. 119 p. 2003. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC.

GUSMÃO, Maria Margarida Falcão e Cunha de Campos. **Produção de biogás em diferentes sistemas de criação de suínos em Santa Catarina**. 170 p. 2008. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC.

HIGARASHI, Martha Mayumi; KUNZ, Airton; OLIVEIRA, Paulo Armando Victória de. Redução da carga poluente: sistemas de tratamento. In: SEGANFREDO, Milton Antonio (Ed.). **Gestão Ambiental na Suinocultura**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 121 – 148.

KONZEN, Egídio Arno. Dejetos de suínos fermentados em biodigestores e seu impacto ambiental como insumo agrícola. In: II SIMPÓSIO GOIANO DE SUINOCULTURA, 2005, Goiânia. **Anais**, Goiânia: Avesui Centrooeste, 2005. p. 56 - 64.

KUNZ, Airton. **Tratamento de dejetos: desafio da suinocultura tecnificada**. Concórdia: EMBRAPA – CNPSA, 2005. 4p

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

MF RURAL. Disponível em: <<http://www.mfrural.com.br>> Acesso em: 29 nov. 2016

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Suinocultura de baixa emissão de carbono**: tecnologias de produção mais limpa e aproveitamento econômico dos resíduos da produção de suínos. Brasília: MAPA, 2016. 100 p.

MIELE, Marcelo; MACHADO, Jurandi Soares. **Levantamento sistemático da produção e abate de suínos-LSPS**: metodologia Abipecs-Embrapa de previsão e acompanhamento da suinocultura brasileira. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006.104 p.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM nº 74 de 9 de setembro de 2004. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ou

de licenciamento ambiental no nível estadual, determina normas para indenização dos custos de análise de pedidos de autorização e de licenciamento ambiental, e dá outras providências. **Diário do Executivo – “Minas Gerais”**, Belo Horizonte, MG, 02 out. 2004: Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM, 2004.

_____. Deliberação Normativa Conjunta COPMA/CERH-MG nº 01 de 5 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário do Executivo – “Minas Gerais”**, Belo Horizonte, MG, 13 mai. 2008: Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM; Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais – CERH-MG, 2008

MIRANDA, Adélia Pereira. **Suínos em diferentes fases de crescimento alimentados com milho ou sorgo: desempenho, digestibilidade e efeitos na biodigestão anaeróbia**. 147 p. 2009. Dissertação (Doutorado). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal – SP.

MIRANDA, Claudio Rocha de. Aspectos Ambientais da suinocultura brasileira. In: SEGANFREDO, Milton Antonio (Ed.). **Gestão Ambiental na Suinocultura**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 14 – 36.

NUNES, Maria Urbana Corrêa. **Compostagem de resíduos para produção de adubo orgânico na pequena propriedade**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009. 7 p. (Circular Técnica 59).

OLIVER, André de Paula Moniz; SOUZA NETO, Aurélio de Andrade; QUADROS, Danilo Gusmão; VALLADARES, Renata Everett. **Manual de treinamento em biodigestão**. Bahia, 2008. 23 p.

OLIVEIRA, Paulo Armando Victória de (Coord.). **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA – CNPSA, 1993. 188p.

_____. Produção e aproveitamento do biogás. In: _____. (Org.). **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. p. 43-56.

PALHARES, Julio Cesar Pascale. **Considerações Técnicas para a Viabilização Ambiental de uma Granja de Suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. 3 p. (Comunicado Técnico 354)

PERDOMO, Carlos Cláudio; LIMA, Gustavo J. M. M. De; NONES, Kátia. Produção de suínos e meio ambiente. In: 9º Seminário Nacional de Desenvolvimento da Suinocultura. **Anais**, Gramado, 2001. p. 8-24.

PERDOMO, Carlos Cláudio. **Sistemas de tratamento de dejetos suínos: inventário tecnológico**. Concórdia, SC: Embrapa Suínos e Aves, 2003. 83 p.

PEREIRA, Edilaine Regina. **Qualidade da água residuária em sistemas de produção e de tratamento de efluentes de suínos e seu reuso no ambiente agrícola**. 131 p. 2006. Dissertação (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP.

PESQUISA DA PECUÁRIA MUNICIPAL 2013. **Produção da Pecuária Municipal 2013**. Rio de Janeiro: IBGE v.41, p.1-108, 2013.

PINHEIRO, Marceo da Silveira Meireles; SANTOS, Luzimeire Corrêa dos Santos; KIRSCH, Heitor Marcos; MIGUEL, Giulianna Zilocchi; ANGREVES, Giselde Marques. Levantamento do perfil da suinocultura no município de Pontes e Lacerda – MT. In: 47º Congresso Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. **Anais**, Porto Alegre, RS. jul.2009.

RAMME, Marco Antônio; KUNZ, Airton. A utilização de peneiras na separação de fases sólido-líquido em dejetos suínos. **Agora Revista de divulgação científica**. Mafra: v. 16, n. 2, 2009. p. 28–36.

REIS, Alessandro dos Santos. **Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio**. 79 p. 2012. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru – PE.

RICCI, Gisele Dela; COSTA, Osmar Antônio Della; NETO, Messias A. T.; PIRES, Paula Gabriela da Silva; NASCIMENTO, Olivia C. Características do Sistema Intensivo de Suínos Criados ao Ar Livre (SISCAL): uma alternativa para produção. In: III Simpósio de Sustentabilidade e Ciência Animal. **Anais**. Pirassununga, 2013.

RIZZONI, Leandro Becalet; TOBIAS, Antônio Carlos Turcati; DEL BIANCHI, Margarete; GARCIA, José Antônio Dias. Biodigestão anaeróbia no tratamento de dejetos de suínos. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**. Garça: v. 9, n. 18, jan. 2012. p. 18-38.

Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – SEBRAE. **Suinocultura: carne in natura, embutidos e defumados**. Estudos de Mercado SEBRAE/ESPM. 42 p. Set. 2008.

_____. **Entenda a cadeia produtiva da suinocultura**. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/entenda-a-cadeia-produtiva-da-suinocultura,94f89e665b182410VgnVCM100000b272010aRCRD>> Acesso em: 20 abr. 2016.

Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento – SEAPA. Disponível em: <<http://www.agricultura.mg.gov.br/>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas – SETOP. Disponível em: <<http://www.setop.mg.gov.br/component/gmg/page/2240-consulta-a-planilha-preco-setop-regiao-central>>. Acesso em: 21 nov. 2016.

SILVA, Alexandre Gonçalves; BRESCIANI, Antônio Ézio. Produção de biogás a partir de dejetos de criação de suínos. **Revista Acadêmica Oswaldo Cruz**. São Paulo: ano 1, n. 3, jul./set. 2014. p. 18-29.

SILVA, Carlos Magno; FRANÇA, Marcos Tertuliano; OYAMADA, Graciela Cristiane. Característica da suinocultura e os dejetos causados ao ambiente. **Connection Line**. Várzea Grande: n. 2, abr. 2015. p. 44-59.

SILVA, Christian Luiz da; BASSI, Nádia Solange Schmidt. Análise dos impactos ambientais no Oeste Catarinense e das tecnologias desenvolvidas pela Embrapa Suínos e Aves. In: **VI Encontro Nacional da ANPPAS**. Belém – PA. set. 2012. p. 10-27

SILVA, Fábio Cruz Manhães. **Tratamento dos dejetos suínos utilizando lagoa de alta taxa de degradação em batelada**. 119p. 1996. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC.

Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos do Estado de Minas Gerais – SISEMA. **Análise comparativa dos Planos Diretores de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas do Rio das Velhas e do Rio Pará com os Planos Diretores Municipais dos cinco municípios com condição crítica de qualidade de água destas bacias**. Belo Horizonte, dez. 2013. 117 p.

SOUZA, Cecília de Fátima; CARVALHO, Cinara da Cunha Siqueira; CAMPOS, Josiane Aparecida; MATOS, Antônio Teixeira; FERREIRA, Williams Pinto Marques. Caracterização de dejetos de suínos em fase de terminação. **Revista Ceres**. Viçosa: v. 56, n. 2, mar./abr. 2009. p. 128-133.

SOUZA, Maria Luiza Borges; LAGE FILHO, Frederico de Almeida. Emprego de biodigestores anaeróbios no aproveitamento energético de resíduos animais e controle da poluição ambiental. **Revista Acadêmica Oswaldo Cruz**. São Paulo: ano 1, n. 3, jul./set. 2014. p. 20-32.

Superintendência Regional de Meio Ambiente – Central Metropolitana – SUPRAM CM. **Parecer único 379/2009 SUPRAM CM**. Disponível em: <http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/Robson/Velhas/14.7_pu_jose_arnaldo_cardoso.pdf>. Acesso em: 20 out. 2016

TALAMINI, Dirceu João Duarte; MARTINS, Franco Muller; ARBOIT, Ciênio; WOLOSIM, Nilso. Custos agregados da produção integrada de suínos nas fases de leitões e de terminação. **Custos e @gronegócio on line**. Recife: v. 6, ed. especial, out. 2006. p. 64-83.

TIETZ, Caroline Monique; ZENATTI, Dilcemara Cristina; FEIDEN, Armin; Lupatini, Karine Natani; CORRÊIA, Arlindo Fabrício. Influência da temperatura na produção de biogás a partir de dejetos da bovinocultura de leite. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**. v. 3, n. 2, mai. 2014, p. 80-96.

VELONI, Mariana Lourenço; PRADO, Paula Lisboa; ARSSUFFI, Bruna Maria; BALLESTERO, Mariana C. Manzolli; OLIVEIRA, Mariana Gesualdo de; ABREU, Priscila Barreto; OLIVEIRA, Luís Guilherme de. Bem-estar animal aplicado nas criações de suínos e suas implicações na saúde dos rebanhos. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**. Garça: v. 11, n. 21, jul. 2013. p. 1-21.

von SPERLING, Marcos. **Princípios do Tratamento biológico de águas residuárias: lagoas de estabilização**. 2 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2006, 196 p.

von SPERLING, Marcos. **Princípios do Tratamento biológico de águas residuárias: introdução a qualidade das águas e ao tratamento dos esgotos**. 4 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014, 472 p.

WALKER, Eliana. **Estudo da viabilidade econômica na utilização de biomassa como fonte de energia renovável na produção de biogás em propriedades rurais**. 107 p. 2009. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós - Graduação em Modelagem Matemática, Universidade Regional do Noroeste do estado do Rio Grande do Sul. Ijuí – RS.

ZANETTE, André Luiz. **Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil.** 105 p.2009. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ.

ZANIN, Antonio; BAGATINI, Fabiano Marcos; PESSATTO, Camila Batista. Viabilidade econômico-financeira de implementação de biodigestor: uma alternativa para reduzir os impactos ambientais causados pela suinocultura. **Custos e @gronegocioon line.** Recife: v. 6, n. 1, jan./abr. 2010. p. 121-139.

ZORDAN, Maria Salete; SALÉH, Bruno Botelho; MENDONÇA, Alencar. Monitoramento da eficiência na remoção de nutrientes em lagoas de estabilização da granja escola FESURV. **Global Science and Technology.** Rio Verde: v. 1, n. 6, dez./mar. 2008. p. 41-49.

APÊNDICE A – Memorial de cálculo Sólidos Totais

De acordo com a SABESP (1999), os sólidos totais presentes no efluente podem ser calculados a partir da Equação 6.

$$V_{ST} = SDT + SSP \quad (\text{Equação 6})$$

Onde: V_{ST} corresponde aos sólidos totais (mg/L), SDT corresponde ao sólidos dissolvidos totais (mg/L) e SSP corresponde aos sólidos suspensos (mg/L).

A partir dos dados presentes no Anexo A, calculou-se os sólidos totais presentes no efluente gerado na Granja Barreirinho (Tabela 19).

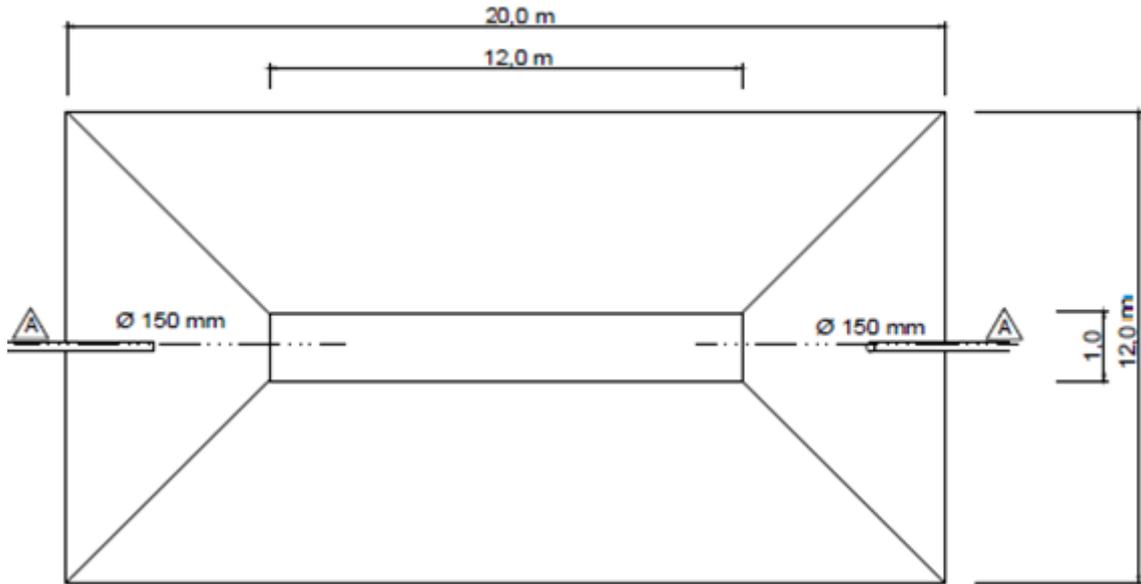
TABELA 19 – Sólidos totais presentes no efluente da Granja Barreirinho

Período	fev/11	jul/11	ago/13	dez/15	média
Sólidos totais (mg/L)	4260,00	5732,00	11825,00	11980,00	8449,25
Sólidos totais (kg/m³)	4,26	5,73	11,83	11,98	8,45

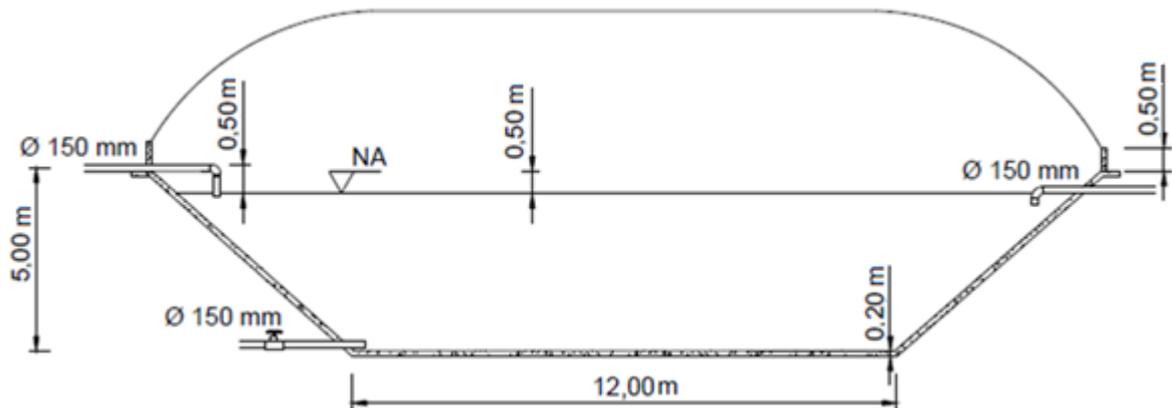
Fonte: Própria autora

É importante ressaltar que para o cálculo dos sólidos totais utilizou-se dados dos períodos que apresentam dados referentes aos sólidos dissolvidos totais e aos sólidos suspensos, ou seja, dados dos meses fevereiro/2011, julho/2011, agosto/2015 e dezembro/2015.

APÊNDICE B – Detalhamento do Biodigestor



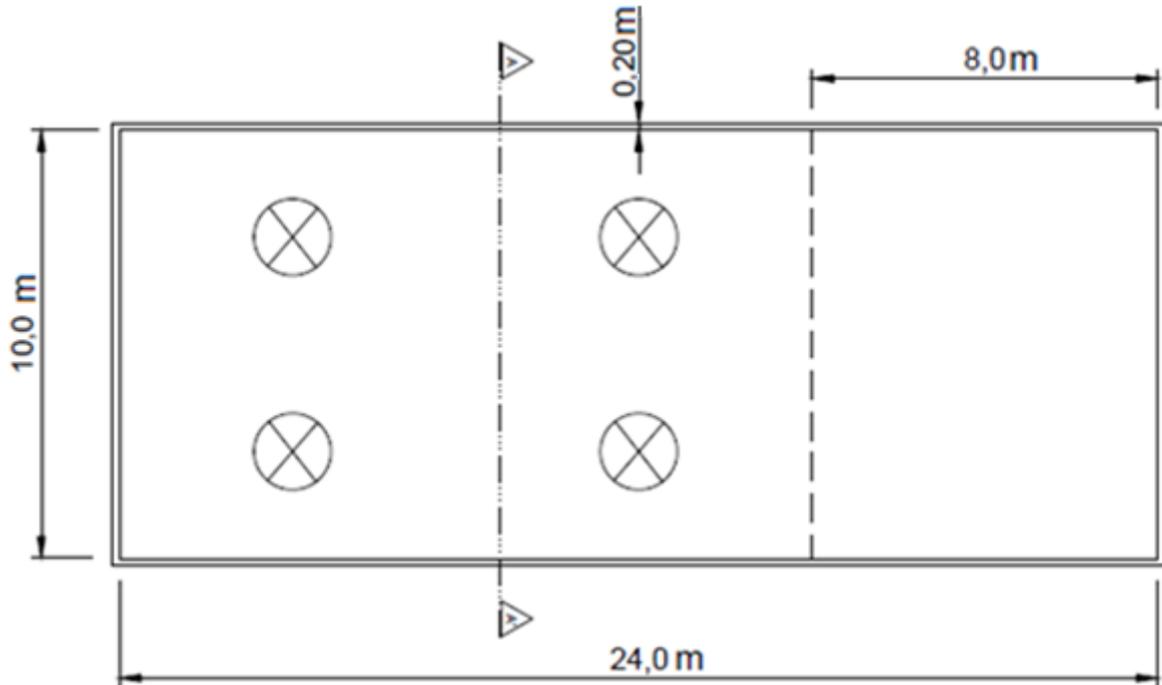
BIODIGESTOR
PLANTA BAIXA



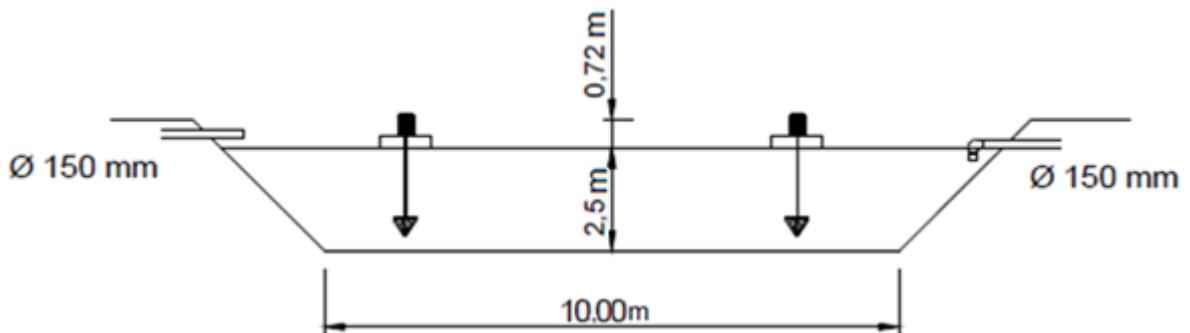
BIODIGESTOR
CORTE A-A

Fonte: Própria autora

APÊNDICE C – Detalhamento da Lagoa Aerada Facultativa



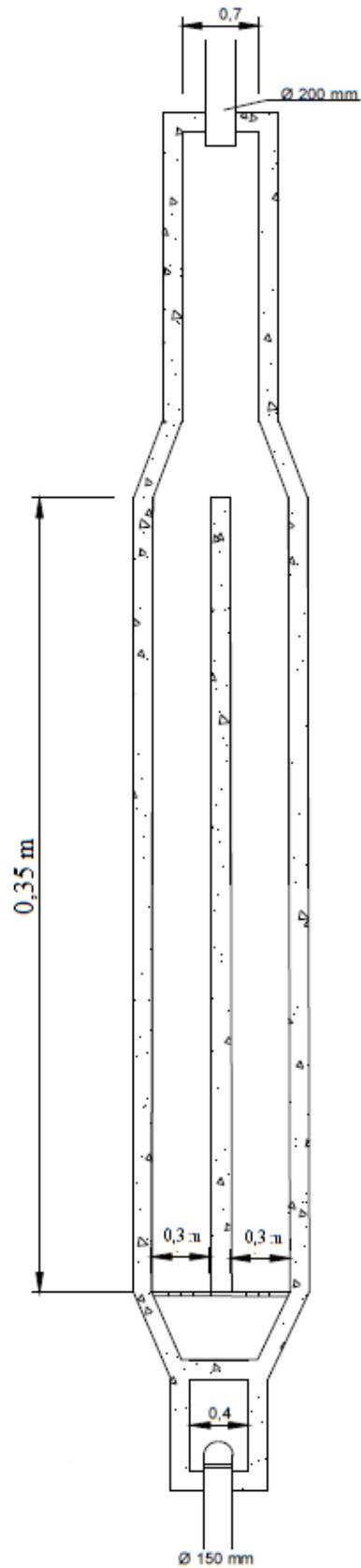
LAGOA AERADA FACULTATIVA
PLANTA BAIXA



LAGOA AERADA FACULTATIVA
CORTE A-A

Fonte: Própria autora

APÊNDICE D – Detalhamento do Desarenador



Fonte: Própria autora

ANEXO A – Análises do efluente bruto e tratado da Granja Barreirinho

TABELA 20 - Análise dos efluentes bruto e tratado nos períodos de fevereiro/2011, julho/2011, agosto/2013 e dezembro/2015

Parâmetros	Período							
	Fev./11		Jul./11		Ago./13		Dez./15	
	Bruto	Tratado	Bruto	Tratado	Bruto	Tratado	Bruto	Tratado
Físico-Químicos								
DBO (mg/L)	4352	235	6696	1572,74	14021	2473	6922,51	822,14
DQO (mg/L)	7400	1250	10100	3510	19700	3500	12700	1695
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	3340	2300	4179	4076	2033	2133,34	4,98 ⁽¹⁾	5,58 ⁽¹⁾
Sólidos em suspensão (mg/L)	920	100	1553	1093	9792	2396,66	7000	696,67
Sólidos sedimentáveis (mg/L)	0,5	0,2	76	50	300	100	170	0,7

(1) Na análise realizada a unidade é g/L

TABELA 21 - Análise dos efluentes bruto e tratado nos períodos de março/2013 e junho/2015

Parâmetros Físico-Químicos	Período			
	Mar./13		Jun./15	
	Bruto	Tratado	Bruto	Tratado
DBO (mg/L)	4048	693,23	17605,2	2085,31
DQO (mg/L)	9000	1342	26000	3140
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	1675	67	4,28	7,44
Sólidos suspensos voláteis (mg/L)	2610	430	10895	1685
Sólidos sedimentáveis (mg/L)	30	6,5	44	2,5

