

ARTIGO Nº 17073

ESTUDO DE VIABILIDADE DE CONSTRUÇÃO DE BIODIGESTORES A BAIXO CUSTO

Adolfo Chauale Inácio^(*), Albano Sãlzon Maparagem

Universidade Zambeze, Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade Zambeze, Beira, Moçambique

^(*)*Email:* aldafo.chauale@gmail.com

RESUMO

O objectivo deste trabalho é estudar a viabilidade de construção de biodigestores a baixo custo, na resposta da busca por fontes renováveis e limpas de energias como alternativa para reverter, controlar e mitigar os problemas causados pelos gases de efeito estufa (GEE). A biomassa sendo uma das maiores fontes de energia disponíveis nas áreas rurais e agro-industriais, a busca por tecnologias construtivas económicas para estender o uso dos biodigestores na sociedade torna-se um problema pertinente. Apresenta-se uma nova abordagem baseada num modelo de aproximação que simula simultaneamente o custo mínimo e máximo na implantação e funcionamento desses biodigestores.

Palavras-chave: biodigestores, biogás, dejetos, fertilizantes, energias renováveis, mudanças climáticas.

INTRODUÇÃO

O crescimento urbano acelerado, demanda maior cobertura de serviços básicos e de saneamento, em países desenvolvidos verifica-se uma efectividade na implementação dos sistemas de planeamento urbano. A possibilidade de criação de fontes de energias descentralizadas e em pequena escala é fundamental para o desenvolvimento sustentável. Desse modo, com as observações descritas acima e o crescente aumento da actividade suinícola no País e ainda o incremento tecnológico nos sistemas de produção resulta num aumento na geração de dejetos, ocasionando problemas de ordem sanitária causando perigo à saúde pela grande quantidade de organismos patogênicos presentes nesses resíduos, obtendo-se como **problema deste artigo**.

O tratamento desses dejetos por meio da biodigestão permite a obtenção do biogás e do biofertilizante, cujas disponibilidades contribuem para uma rápida amortização dos custos na instalação de um Biodigestor e da redução do perigo a saúde humana. Para a criação de sistemas de biodigestores, faz-se necessário uma análise teórica de um tipo de biodigestor económico instalado em vários cantos do mundo, especificamente na munhava para permitir a construção de instalações mais económicas e a recuperação dos investimentos de forma mais rápida. Desta forma obtém-se como **objectivo geral**, trazer a fundamentação teórica e pratica atendendo as condições económicas localizadas nas sociedades nas quais esses problemas são mais frequentes e todas as possibilidades viáveis de custos mais baixos na implementação e construção dos biodigestores.

DESENVOLVIMENTO

Na actualidade vivemos uma crise de combustível e não uma crise de energia como se costuma chamar. A Terra possui energia suficiente para sustentar o crescimento da humanidade, energia que muitas vezes não é bem aproveitada e também é desperdiçada pelo mau uso do homem. Com o crescimento da população é necessária a criação de novas formas de energia, e o desenvolvimento de equipamentos e máquinas para manutenção e utilização dessa energia (BARREIRA, 2011).

Embora a primeira instalação operacional destinada a produzir gás combustível só tenha surgido na segunda metade do século XIX, o biogás já era conhecido desde há muito tempo, pois a produção de gás combustível a partir de resíduos orgânicos não é um processo novo. Já em 1776, o pesquisador italiano Alessandro Volta descobriu que o gás metano já existia incorporado ao chamado “gás dos pântanos”, como resultado da decomposição de restos vegetais em ambientes confinados (NOGUEIRA, 1986).

Caracterização Epistemológica

Caracteriza-se por um Sistema contínuo de biomassa em suspensão híbrido dos modelos chinês, indiano e canadense, onde o volume de resíduos em suspensão no interior do biodigestor permanece constante ao longo do tempo. Consiste num tanque retangular, circular, quadrada, cilíndrica ou se poder ainda trapezoidal longo, com fundo prismático, circular, rectangular ou quadrada, constituído abaixo do nível do solo e dotado de uma cobertura de diferentes de materiais de alta Resistência e que seja impermeável ao biogás.

Existem dois tipos de biodigestores, os contínuos e os descontínuos. Os contínuos são compostos por uma caixa de carga, uma câmara de digestão e uma caixa de descarga. Assim, os dejetos são inseridos na caixa de carga, continuamente, que passa para a câmara, onde aconteceu a fermentação (HERRERO, 2008).

Vantagens e Desvantagens do Biodigestor

O biodigestor como todo equipamento possui vantagens e desvantagens (MENDES et.al 2018).

Dentre as vantagens citam-se:

1. Utilização do biogás para produção de energia;
2. Reduz a emissão de poluentes no meio ambiente;
3. Benefícios econômicos ao produtor.

Por outro lado, dentre as desvantagens incluem-se:

1. Investimento inicial e de manutenção;
2. Remoção periódica do lodo (caso seja um biodigestor descontínuo);
3. Variabilidade da produção de biogás em função do clima.

Importância Ambiental do Biodigestor

Os dejetos quando são direcionados a um biodigestor onde são decompostos através de digestão anaeróbica, reduz em até 60% sua carga poluente, Figura 1. Tendo alto teor nutriente, transformando em fertilizante natural para plantas, e servindo de alimento para a criação de peixes (MELO, 2002).



Fig. 1 – Contaminação do solo do esterco exposto ao meio ambiente (Quinta de senhor Machute).

Localização do Biodigestor

É importante pensar antes de decidir onde se vai montar o biodigestor, como:

1. Deve ficar ao sol e abrigado do vento dominante.
2. Não deve ficar a mais de 30 metros da casa.
3. Não deve ficar longe do estabulo.
4. Se o abastecimento de água for de poço, este deve ficar a distância de pelo menos 2 metros do biodigestor (SEIXAS et.al 2005).

Tipos de Biodigestores

Segundo SEIXAS (1981), os tipos mais comuns são os abaixo recomendados. Foram testados em milhares de casos e são aqui descritos:

1. Biodigestor tipo indiano “GOBAR” com câmara de gás flutuante;
2. Biodigestor tipo chinês de abobada fixa;
3. Biodigestor tipo Canadense.

Existem muitos outros tipos e sistemas de biodigestores, aptos para condições específicas. A título de informação mostra-se alguns tipos:

Biodigestor Horizontal, com câmara de gás móvel

1. Aconselhável quando o nível freático for alto ou haver fundo rochoso a pequena profundidade;
2. Construção simples;
3. Tem problemas para tornar estanque a parte superior do biodigestor.

Biodigestor com câmara separadas para líquido e gás

1. Aconselhável para volumes maiores;
2. Mais fácil de tornar estanque;
3. Custo mais elevado do que o anterior.

Biodigestor de duplo estagio, com câmara de gás integral e separador de água

1. A câmara de gás é conservada limpa;
2. A película de óleo na junta de água evita corrosão;
3. Custo, mas elevado ainda.

Biodigestor de grandes dimensões, com vários agitadores e câmara de gás integral

1. Fermentação segura sob o ponto de vista de higiene.

Escolha do tipo de Biodigestor

Na escolha do tipo de biodigestor (Indiano, chinês ou canadense) deve satisfazer as condições a seguir (SEIXAS et.al 2005):

1. Existe suficiente matéria orgânica disponível;
2. O biodigestor tem menos de 20 m³;
3. Existem os materiais de construção;
4. Tem água suficiente para diluir o material;
5. Tem mão-de-obra indispensável.

A Figura 2, mostra a vista frontal em corte do biodigestor, realçando os elementos fundamentais para sua construção (ORTOLANI et.al 1991).

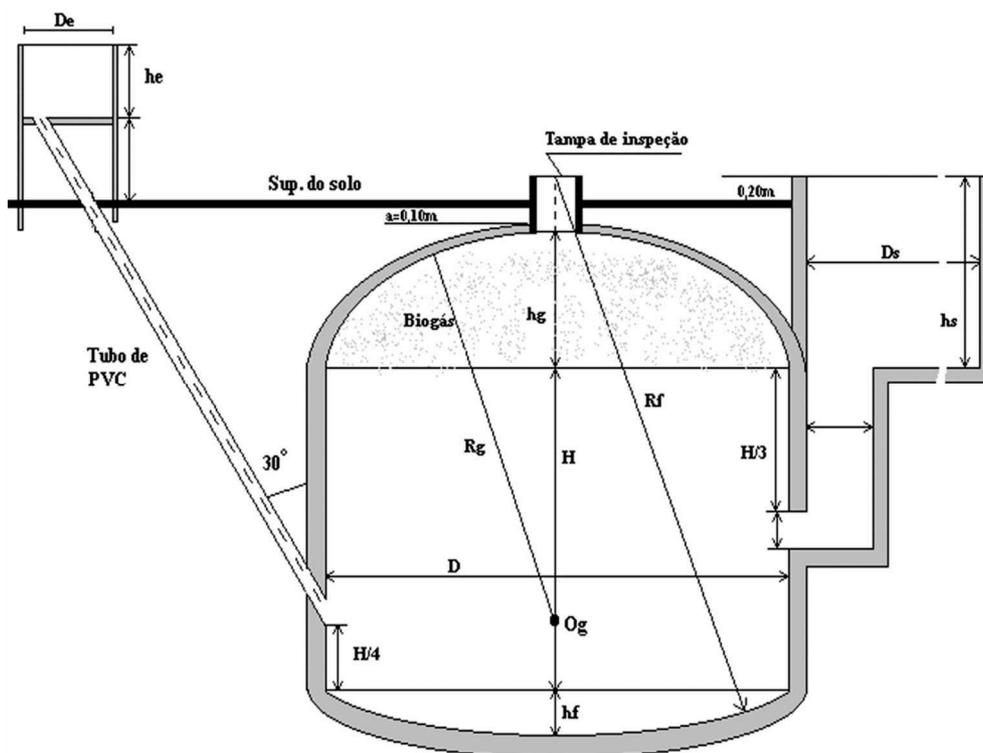


Fig. 2 – Modelo de um biodigestor chinês (ORTOLANI et.al , 1991).

Guia Para Escolha de tipo e Dimensões de um Biodigestor

A primeira pergunta a fazer é “de quanto gás vou precisar?” A esta pergunta pode-se responder a partir das seguintes constante:

a) Gás necessário para:

1. Cozinhar ≥ 250 l por pessoa por dia;
2. Iluminação ≥ 120 l por lâmpada por hora;
3. Motores ≥ 450 l por HP por hora.

b) Guia para cálculo do gás necessário:

1. Cozinhar: $0,25 \text{ m}^3 \times \text{número de pessoas} = \text{m}^3/\text{dia}$;
2. Iluminar: $0,12 \text{ m}^3 \times \text{número de lâmpadas} \times \text{número de horas} = \text{m}^3/\text{dia}$;
3. Motores: $0,45 \text{ m}^3 \times \text{HP} \times \text{número de horas} = \text{m}^3/\text{dia}$ (SEIXAS et.al 2005).

Geração de Gás

A pergunta a fazer é essa quantidade de gás atende as necessidades para os próximos 5 anos? Devemos agora calcular a possibilidade de produção de gás, a partir da informação que conta na tabela a seguir (tabela 1), demonstra a produção do gás por cada tipo de dejetos.

Tabela 1 – Produção de gás-valores-guias

Tipo de dejetos	Esterco Húmido/dia	Gás/kg	Gás/cabeça
Bovino	10 kg	36 litros	360 litros
Búfalo	15 kg	36 litros	540 litros
Porco (Aprox. 50 kg)	2,25 kg	78 litros	180 litros
Galinha (Aprox. 2,5 kg)	0,18 kg	62 litros	11,2 litros
Homem	0,4 kg	70 litros	28 litros

Fonte: SEIXAS et.al 1981.

Guia para possibilidade de produção de gás:

1. Número de Bovinos $\times 10 \text{ kg/dia} = \text{kg/dia} \times 36 \text{ litros} = \text{m}^3/\text{dia}$;
2. Número de Búfalos $\times 15 \text{ kg/dia} = \text{kg/dia} \times 36 \text{ litros} = \text{m}^3/\text{dia}$;
3. Número de Porco (50 kg) $\times 2 \text{ kg/dia} = \text{kg/dia} \times 78 \text{ litros} = \text{m}^3/\text{dia}$;
4. Número de Cavalos $\times 10 \text{ kg/dia} = \text{kg/dia} \times 35 \text{ litros} = \text{m}^3/\text{dia}$;
5. Número de Ovelha $\times 2 \text{ kg/dia} = \text{kg/dia} \times 50 \text{ litros} = \text{m}^3/\text{dia}$;
6. Número de Galinhas $\times 0,18 \text{ kg/dia} = \text{kg/dia} \times 62 \text{ litros} = \text{m}^3/\text{dia}$;
7. Número de pessoas (Humanos) $\times 0,4 \text{ kg/dia} = \text{kg/dia} \times 70 \text{ litros} = \text{m}^3/\text{dia}$;

Nota: pode-se fazer o cálculo simplesmente multiplicando o número de cabeças pela quantidade de gás produzido por cabeça, entre tanto, para se calcular o volume do biodigestor e necessário conhecer a carga diária em kg (SEIXAS et.al 1981).

Factores Que Influenciam o Tamanho do Biodigestor

Temperatura, que determina o período de fermentação. Esta fermentação tem um ciclo óptimo para cada temperatura e cada tipo de matéria orgânica. Tomando como típico o uso de esterco de gado, os períodos de fermentação variam com a temperatura média de cada região, com a variação diária. Como valores indicativos pode-se mencionar que o período de fermentação pode variar entre 30 a 60 dias no máximo (SEIXAS et.al 1981).

Quantidade de Material Carregado

O material orgânico deve ser carregado sob a forma líquida; caso contrário, poderá haver bloqueio na produção de gás. Em geral, a matéria orgânica sólida deve ser misturada com, pelo menos, igual volume de água (SEIXAS et.al 1981).

A percentagem precisa da mistura depende de uma análise dos materiais. Como orientação seguem os valores abaixo:

1. Esterco de vaca, fresco de 1:1;
2. Esterco de vaca, seco a superfície de 1:2;
3. Esterco de cavalo e ovelha de 1:1 e 1:3;
4. Esterco de galinha de 1:2;
5. Esterco de porco de 1:1;
6. Esterco humano de 1:1.

Dependendo do tipo de material orgânico disponível a quantidade a carregar por dia deve ser calculada:

1. Esterco de vaca _____ kg + _____ água = _____ litros;
 2. Esterco de porco _____ kg + _____ água = _____ litros;
- Total = _____ litros;

Dimensionamentos

Para não ocupar o biodigestor nas fases de produção mínima, na prática costuma-se dimensioná-lo para um período de produção de cinco a seis semanas. Como o objectivo maior do biodigestor é realizar o tratamento dos dejetos, o dimensionamento será realizado utilizando-se estimativas da quantidade de material a ser colocado no biodigestor tendo em conta a demanda de biogás ou de biofertilizante (Figura 2), (HERRERO 2008).

Volume do Biodigestor

De acordo com HERRERO (2008), o volume do biodigestor é dado por:

$$V_B = V_g + V_l \quad \text{Equação - 1.}$$

Onde:

V_B - volume do biodigestor.

V_l - Volume líquido.

V_g - Volume de gás.

Determinação do Volume de gás necessário

Segundo HERRERO (2008), o volume de gás necessário pode ser obtido pela relação:

$$Q_g = Q_c + Q_i + Q_m \quad \text{Equação - 2.}$$

Onde:

Q_c - Quantidade de gás de cozinhar.

Q_i - Quantidade de gás de iluminação.

Q_m -Quantidade de gás de motores.

Determinação do Volume liquido

Segundo HERRERO (2008), dependendo do tipo de material orgânico disponível a quantidade a carregar por dia é calculada pela expressão:

$$V_l = (E_c + \text{água}) * T_f \quad \text{Equação - 3.}$$

Onde:

E_c - Volume a carregar.

T_f - Tempo de fermentação.

Que de acordo com o autor, teremos que a quantidade de dejetos a carregar é obtida pela relação:

$$E_c = \sum_{i=0}^n E_i \quad \text{Equação - 4.}$$

Segundo SEIXAS et. al (2005), a quantidade de gás possível de produzir diariamente, obtém-se pela multiplicação de esterco produzido diariamente e quantidade de gás por cada animal, isto é:

$$P_g = E_c * \frac{\text{Gas}}{\text{kg}} \text{ de animal} \quad \text{Equação - 5.}$$

Determinação do tempo de fermentação

Segundo HERRERO (2008), em geral o período de digestão para os dispositivos aqui mostrados oscila entre 15 e 60 dias.

Técnica de Construção

Usando o manual determine o tamanho e a localização do biodigestor. Marque no chão as dimensões e cave completo com as caixas de carga e descarga. Também pode-se cavar os alojamentos das caixas de carga e descarga depois da construção do poço. Depois de feitas as paredes, compacta o solo imediatamente junto as mesmas para se obter um melhor isolamento térmico.

Materiais

- 1. Fundo do poço:** deve ser de concreto ou de tijolo, com 20-40 cm de espessura. Revista o fundo somente depois que o solo estiver compactado.
- 2. Paredes do poço:** devem ter de 15 a 30 cm de espessura. Pode-se usar tijolos, blocos de concreto, pedra, concreto pré-moldado;
- 3. Construção dos tubos de carga e Descarga:** deve ser feita a prova de água. Pode-se usar tubo (manilha) de 25 a 40 cm, inclinado a 50 ou 60°, e com reforço de cimento na ligação com o poço.

4. **Enchimento entre as paredes e o terreno:** encha o espaço entre as paredes e o terreno, compactando-o cuidadosamente.
5. **Reboco:** é um trabalho que deve ser feito com todo o cuidado, por pessoas capazes. O reboco deve ser aplicado em Camadas sucessivas até a espessura de 2 a 4 cm. A superfície deve ser a prova de água, use a seguinte proporção (1:3:2).
6. **Cobertura**
 1. ***Biodigestor feito com laje de Betão***

Na Figura 3 mostra-se um biodigestor de cobertura de laje de betão.



Fig. 3 – Biodigestor de laje de betão armado (ALER.org).

2. ***Biodigestor feito com lona plástica na cobertura***

Este tipo de biodigestor é aquele que apresenta na sua parte superior coberto de lona de polietileno, alguns são acompanhados de cordas para controlar a pressão exercida pelo gás e outros apoiados na base da lona para garantir a resistência da lona contra a pressão do gás (Figura 4).

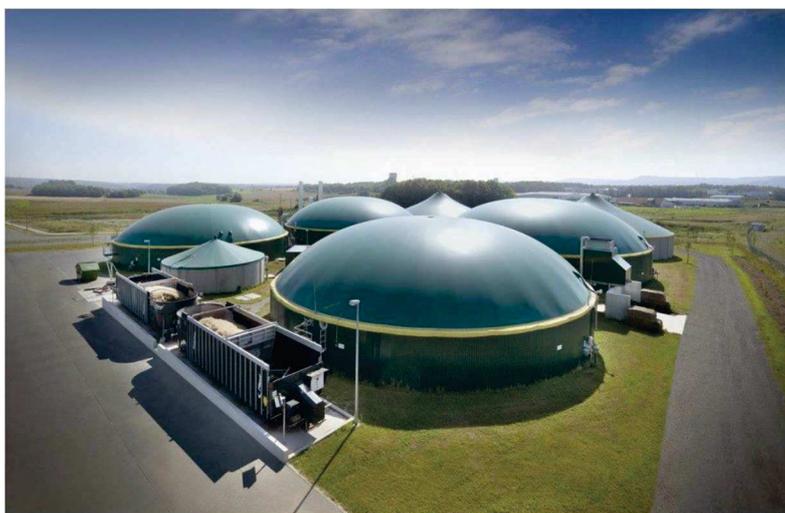


Fig. 4 – Biodigestor Alemão de cobertura de Lona (ALER.org/biodigestor).

3. *Biodigestor feito com tanque de plastex*

Este tipo de biodigestor é feito por tanque de plastex no seu corpo de cilindro, como mostra na Figura 5.

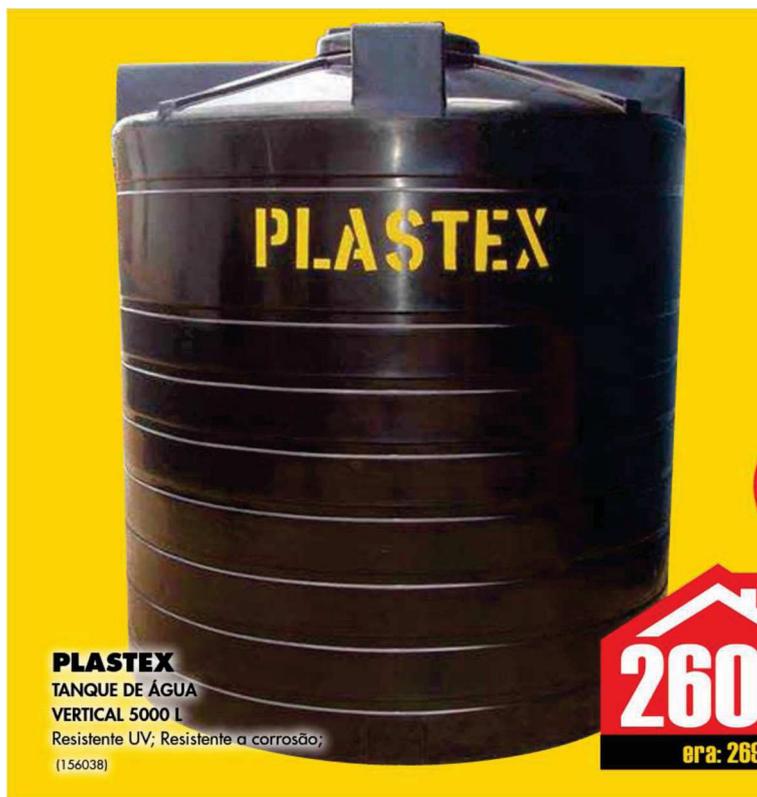


Fig. 5 – Tanque de plastex usado para o biodigestor (Builders warehouse).

Estudo de Caso

Para o dimensionamento e a estimativa do custo mínimo na implantação do biodigestor tipo, caseiro ou não, é necessário saber a quantidade de matéria orgânica necessária, quantidade que pode ser calculado segundo as recomendações de OLIVEIRA (2004), ou segundo HERRERO (2008). Com base na carga diária de matéria orgânica que será necessário para produção de gás, foi necessário fazer um estudo de mapeamento dos locais de criação de gados e apresentação do projecto tipo do biodigestor económico para o local.

1. Local de estudo

O estudo foi realizado em dois sectores de suiniculturas localizados ao redor da cidade da Beira, na quinta de Chambã, localizado na Antiga Rua Nacional Nº 06, km 16, Chamba-Inhamizua/Beira e na Manga Mascarenha, Rua de Aeroporto da Beira, Estrada Carlos Pereira, na Quinta de Senhor Machute, com uma residência tipo 3, que vivem em média de 6 pessoas. Este local foi escolhido por possuir uma granja de bovinos, com cerca de 50 bovinos, fazendo com que tenha uma grande quantidade de dejetos, que pode acarretar um impacto ambiental devido à quantidade de gados e deposição dos resíduos produzidos.

O clima da região é tropical, temperado quente, com temperatura média ambiente de 30 °C. A propriedade desenvolve diversas actividades, como criação de ovinos e suínos, em menor escala. Pelo facto de gerar grande quantidade de dejetos, com dificuldade de disposição no meio ambiente, foi seleccionada para o processo de biodigestão anaeróbia.

2. Dimensionamento do Biodigestor Tipo

Como base na quantidade de dejetos a serem utilizados provenientes do sector de suinocultura foram utilizados quatro bovinos, de raças não definidas. Os animais eram criados em sistema intensivo e alimentados duas vezes ao dia recebendo alimentação balanceada, a base de farelo de milho e de soja, de acordo com faixa etária. Para esse estudo fez-se apenas para a quinta de senhor Machute que se produz diariamente uma média de 50kg de esterco. Após saber a quantidade de esterco que era produzido diariamente na quinta, no caso de esterco bovino, para cada parte de dejetos tem uma parte de água, ou seja, 1:1. Assim, de acordo com os dados da Quinta, para suínos, caprinos seria necessário saber a quantidade de água pelo facto de produzirem esterco seco na maioria.

Depois de escolha do local, foi necessária a escolha do tipo de biodigestor mais viável para o local. No caso da quinta do senhor Machute, o biodigestor indiano ou chinês, pois ambos são biodigestor contínuo, seguro e apresenta poucas chances de escapamento do biogás.

Foi elaborado um biodigestor piloto através da quinta que tem maior oferta, pois para uma propriedade de menor produção de esterco satisfazerá o biodigestor. O biodigestor piloto foi essencial para a obtenção dos dados, e demonstração que realmente é um método eficaz para tratar resíduos.

Foram realizadas visitas na propriedade para fotografar e identificar a quantidade de animais que são criados, podendo assim calcular a quantidade de dejetos que estes produzem, e a destinação dos resíduos.

A escolha da base do biodigestor e secção geométrica depende do proprietário, mas o mais recomendável segundo Herreiro (2008), para um biodigestor económico ser de base circular. Assim, assumindo que o biodigestor será cilíndrico, de raio igual a 1,5 metros, e a altura de 2,5 metros.

O volume do biodigestor será dado pelo volume do cilindro, ou seja:

$$V_i = \pi \cdot \frac{\theta^2}{4} \cdot h = \pi \cdot \frac{3^2}{4} \cdot 2,5 = 17,6715 \text{ m}^3 = 17671,5 \text{ litros}$$

Com esse volume precisamos saber qual quantidade necessário de gás, que segundo a equação 2, esse valor é obtido por:

$$Q_g = 1500 \text{ litros} + 0 \text{ litros} + 0 \text{ litros} = 1500 \text{ litros} = 1,5 \text{ m}^3.$$

Sabendo o volume total do biodigestor e a quantidade de gás necessário pode-se determinar o volume a carregar, pela equação 1:

$$V_l = 1767,15 \text{ litros} - 1500 \text{ litros} = 267,15 \text{ litros} = 0,26715 \text{ m}^3$$

Segundo as informações descritas acima, o volume líquido do biodigestor deve-se ter em conta a quantidade de água que é adicionada para garantir a fluidez dos dejetos.

Com o tempo de retenção igual a 15 dias, a quantidade de esterco a carregar segundo a equação 4 será:

$$Ec = \frac{267,15}{15 \text{ dias}} = 17,81 \text{ Kg/dia}$$

De acordo com a equação 5, a possibilidade de produção de gás por dia será:

$$P_g = 17,81 \frac{Kg}{dia} * 36 \text{ litros} = 641,16 \text{ litros/dia} , \text{ para Bovinos.}$$

$$P_g = 17,81 \frac{Kg}{dia} * 78 \text{ litros} = 1389,18 \text{ litros/dia} , \text{ para Suínos.}$$

3. Quantificação dos materiais

Calculado o volume a carregar de esterco e volume de gás, o biodigestor no terreno geométrico para instalação, considerar-se-á para a escolha do local, a distância mais curta para a cozinha tendo em conta os aspectos já apresentados, a distância dos vasos sanitários, a altura do terreno e a estética.

Biodigestor feito com laje de Betão

No caso de um biodigestor de base e cobertura de laje de betão e assumindo um recobrimento adoptado de 3 cm:

1. Número de blocos de Betão

Para calcular o número de blocos necessário, primeiro devemos conhecer a área a ser construído o biodigestor e a área do bloco, (Figuras 6 e 7).



Fig. 6 – Bloco de betão de espessura 10cm. Fonte: www.bricon.co.mz/?product=bloco, acesso em: 14/05/2019.



Fig. 7 – Bloco de betão de espessura 15cm. Fonte: www.bricon.co.mz/?product=bloco, acesso em: 14/05/2019.

Como o biodigestor é cilíndrico então a área do biodigestor obtém-se pela equação:

$$A_C = \pi * r^2 = \pi * 1,5^2 = 7,07 \text{ m}^2$$

Para os blocos de betão, por ser de secção rectângular, então área é dada pela mesma equação:

$$A_B = 0,20 * 0,40 = 0,08 \text{ m}^2$$

Usando métodos empíricos, o número de bloco é obtido pela divisão da área de construção pela área de bloco. Usando aplicativos necessitamos apenas da área de construção. Assim o número de blocos de secção (10 cm x 20 cm x 40 cm) e de (15 cm x 20 cm x 40 cm) necessários para construir a base do biodigestor, considerando taxa de perda de 10%.

Para blocos maciços de secção (10 cm x 15 cm x 20 cm) apresentados na Figura 8:



Fig. 8 - Bloco maciço de 40cm, 30cm e 20 cm de comprimento. Fonte: precon.com.br/portal/blocos, acesso em: 14/05/2019.

Tabela 2 – Quantidade de blocos maciço de 20cm de comprimento

Dados Gerais		
Descrição	Valor	Unidade
Área Total	7,07	m ²
Esp. Junta Argam.	1,50	cm
Taxa de Perda	10,00	%

Total de Materiais		
Descrição	Qtde	Unidade
Blocos	362	un
Cimento	0,6	Sacos 50.0kg
Areia	0,189	m ³
	10,5	Latas 18L
Água	76,48	Litros

Fonte: própria (Concrete Mix Design).

Para a caixa de entrada e saída usaremos o mesmo procedimento aplicado para cálculo de blocos da base do biodigestor. Usando a equação da área do retângulo da caixa de entrada, será:

$$A_E = 1 * 1 = 1,0 \text{ m}^2$$

Com essa área chegamos aos resultados obtidos na Tabela 3.

Tabela 3 – Quantidade de materiais para caixa de entrada.

Material Selecionado (Larg. x Alt. x Comp.)		
Bloco: 9 x 19 x 39		
Dados Gerais		
Descrição	Valor	Unidade
Área Total	1,00	m ²
Esp. Junta Argam.	1,50	cm
Taxa de Perda	10,00	%
Total de Materiais		
Descrição	Qtde	Unidade
Blocos	14	un
Cimento	0,0	Sacos 50.0kg
Areia	0,009	m ³
	0,5	Latas 18L
Água	3,73	Litros

Fonte: própria (Concrete Mix Design).

O número de blocos da caixa de saída é duas vezes da caixa de entrada, assim a quantidade de materiais será também duas vezes a da caixa de entrada obtidos nas Tabelas 2 e 3, dependendo das dimensões do bloco.

Para blocos de secção igual a 14x19x9, a quantidade de matérias será o apresentado na Tabela 4. Lembrar que área corresponde apenas para a caixa de entrada e que para caixa de saída o critério é o mesmo descrito no paragrafo anterior.

Tabela 4 – Quantidade de materiais para caixa de entrada (14x19x9).

Material Selecionado (Larg. x Alt. x Comp.)		
Bloco: 14 x 19 x 9		
Dados Gerais		
Descrição	Valor	Unidade
Área Total	1,00	m ²
Esp. Junta Argam.	1,50	cm
Taxa de Perda	10,00	%
Total de Materiais		
Descrição	Qtde	Unidade
Blocos	52	un
Cimento	0,1	Sacos 50.0kg
Areia	0,027	m ³
	1,5	Latas 18L
Água	10,82	Litros

Fonte: Própria (Concrete Mix Design).

Cálculo do número de tijolos maciços



Fig. 9 – Tijolo maciço(10,5 X 5,5 X 21,5).

Fonte: www.bricon.co.mz/?product=tijolos, acesso em: 14/05/2019.

O número de tijolos, será necessário se o proprietário desejar usar tijolos na base do biodigestor, que usando o mesmo procedimento anterior, será (Tabelas 5 e 6):

Tabela 5 – Cálculo de número de tijolos maciços e outros materiais.

Material Selecionado (Larg. x Alt. x Comp.)		
Tijolo Maciço: 10,5 x 5,5 x 21,5		
Posição do Tijolo: Deitado		
Dados Gerais		
Descrição	Valor	Unidade
Área Total	7,07	m ²
Esp. Junta Argam.	1,50	cm
Taxa de Perda	10,00	%
Total de Materiais		
Descrição	Qtde	Unidade
Tijolos	484	un
Cimento	0,3	Sacos 50.0kg
Areia	0,113	m ³
	6,3	Latas 18L
Água	45,91	Litros

Fonte: própria (Concrete Mix Design).

Tabela 6 – Quantidade de materiais para tijolo maciço na caixa de saída

Material Selecionado (Larg. x Alt. x Comp.)		
Tijolo Maciço: 10,5 x 5,5 x 21,5		
Posição do Tijolo: Deitado		
Dados Gerais		
Descrição	Valor	Unidade
Área Total	2,00	m ²
Esp. Junta Argam.	1,50	cm
Taxa de Perda	10,00	%
Total de Materiais		
Descrição	Qtde	Unidade
Tijolos	137	un
Cimento	0,1	Sacos 50.0kg
Areia	0,032	m ³
	1,8	Latas 18L
Água	12,99	Litros

Fonte: própria (Concrete Mix Design)

O número total de blocos vazados, maciços e tijolos maciço será o somatório:

$$N_{Tn} = 94 + 14 + 28 = 136 \text{ Blocos de 10 e 15 cm vazado e maciço};$$

$$N_{Tm} = 362 + 52 + 104 = 518 \text{ Blocos maciço (9x14x19)};$$

$$N_{Tt} = 484 + 69 + 137 = 690 \text{ Tijolos maciços.}$$

Cálculo de quantidade de betão

Com todos esses recursos, para a quantificação desses agregados usou-se como auxiliar a tabela técnica, (Tabela 7).

Tabela 7 - Quantidade de cimento e areia para 1 m³ de argamassa.

Traço em volume	Cimento		Areia m ³	Traço (em volume)	Cimento		Areia m ³
	kg	m ³			kg	m ³	
1:1	800	0,665	0,670	1:4	320	0,270	1,070
1:1,5	640	0,535	0,800	1:5	270	0,220	1,100
1:2	535	0,445	0,890	1:6	230	0,190	1,140
1:2,5	460	0,380	0,950	1:7	200	0,165	1,170
1:3	400	0,335	1,060	1:8	180	0,150	1,190

Fonte: J.S.Brazão e A.Correia “Tabelas Técnicas”, pag.437, 1993.

Volume de betão de fundação

Para o fundo do biodigestor, o volume de betão será dado pelo volume do cilindro, onde a altura será a espessura da argamassa, que para efeitos assumiu-se como sendo igual ao 10 cm, assim segundo a equação obtém-se:

$$V_{BF} = \pi * (1,71)^2 * 0,1 = 0,919 \text{ m}^3$$

Para a caixa de entrada e de saída do biodigestor, terá uma geometria quadrada para caixa de carregamento e rectangular para caixa de descarga. Assim o volume da argamassa será dado pela equação.

$$V_{CE} = 1 * 1 * 0,1 = 0,1 \text{ m}^3 \quad \text{e} \quad V_{CS} = 1 * 2 * 0,1 = 0,2 \text{ m}^3$$

O volume de betão de fundação será o somatório dos volumes separados.

$$V_{Bf} = 1,219 \text{ m}^3$$

Assumido o traço de betão 1:2:4, indicado na Tabela 8, obtém-se:

$$V_{Brita} = 0,880 \text{ m}^3, \quad V_{cimento} = 0,113 \text{ m}^3 \quad \text{e} \quad V_{Areia} = 0,226 \text{ m}^3$$

Com essas informações, o número de sacos de 50 kg de cimento será calculado pela relação:

$$N_{50kg} = \frac{0,113 * 265}{0,220 * 50} = 2,72 \approx 3 \text{ sacos}$$

Tabela 8 – Quantidade de cimento, areia e brita para 1m³ de betão.

Traço em volume	Cimento		Areia m ³	Calhau ou brita m ³	Traço (em volume)	Cimento		Areia m ³	Calhau ou brita m ³
	kg	m ³				kg	m ³		
1:1:1	615	0,515	0,515	0,515	1:2,5:4, 5	230	0,190	0,480	0,866
1:1:1,5	525	0,440	0,440	0,660	1:2,5:5	220	0,180	0,450	0,905
1:1:2	460	0,385	0,385	0,770					
1:1:2,5	410	0,340	0,340	0,855	1:3:5	310	0,260	0,780	0,780
1:1:3	370	0,310	0,310	0,925	1:3:4	270	0,225	0,680	0,910
					1:3:5	240	0,200	0,610	1,000
					1:3:6	220	0,180	0,545	1,090
1:1,5:1,5	460	0,385	0,580	0,575					
1:1,5:2	410	0,340	0,515	0,685	1:4:4	240	0,200	0,810	0,810
1:1,5:2,5	370	0,310	0,460	0,770	1:4:5	220	0,180	0,730	0,910
1:1,5:3	335	0,280	0,420	0,840	1:4:6	200	0,165	0,660	0,990
1:1,5:3,5	310	0,255	0,385	0,895	1:4:7	180	0,150	0,605	1,060
1:1,5:4	285	0,235	0,355	0,945	1:4:8	170	0,140	0,560	1,120
1:2:2	370	0,310	0,615	0,615	1:5:5	200	0,165	0,825	0,825
1:2:2,5	335	0,280	0,560	0,700	1:5:6	180	0,150	0,755	0,910
1:2:3	310	0,255	0,515	0,770	1:5:7	170	0,140	0,700	0,980
1:2:3,5	285	0,235	0,475	0,830	1:5:8	155	0,130	0,650	0,040
1:2:4	265	0,220	0,440	0,880	1:5:9	145	0,120	0,605	0,090
1:2:4,5	245	0,205	0,410	0,925	1:5:10	135	0,115	0,570	1,130
1:2,5:2,5	310	0,255	0,640	0,640	1:6:6	170	0,140	0,840	0,840
1:2,5:3	285	0,235	0,590	0,710	1:6:8	145	0,120	0,730	0,970
1:2,5:3,5	265	0,220	0,550	0,770	1:6:10	130	0,105	0,640	1,070
1:2,5:4	245	0,205	0,515	0,820	1:6:12	115	0,095	0,575	1,150

Fonte: J.S.Brazão e A.Correia “Tabelas Técnicas”, pag.437, 1993.

Volume de betão armado

Usaremos betão armado na laje de cobertura do biodigestor feito com betão, como a geometria é circular, assumindo a espessura mínima 7 cm, o volume de betão será dado pela equação:

$$V = \pi * 1,71^2 * 0,07 = 0,643 \text{ m}^3$$

$$\text{Armadura da laje : } A = \pi * 1,71^2 = 9,19 \text{ m}^2 \rightarrow \{8\emptyset 12@7\}$$

Com esse volume de betão armado e com o traço 1:2:4 (21 Mpa), a quantidade de materiais necessária com uma taxa de perda de 5%, será, Tabela 9:

Tabela 9 – Quantidade de materiais necessário para laje de betão armado

Traço Selecionado (Cimento : Areia : Brita)		
1 : 2 : 4 21Mpa		
Dados Gerais		
Descrição	Valor	Unidade
Volume de Concreto	0,643	m ³
Taxa de Perda	5,00	%
Materiais		
Descrição	Qtde	Unidade
Cimento	0,167	m ³
	200,52	kg
	4,0	Sacos 50.0kg
Areia Úmida	0,363	m ³
	617,49	kg
	20,2	Latas 18L
Brita	0,567	m ³
	793,98	kg
	31,5	Latas 18L
Água	136,38	Litros

Fonte: própria (Concrete Mix Design)

Quantidade da argamassa usado para reboco

O reboco deve ser efectuado nas duas faces do biodigestor (interior e exterior), conhecendo a área, que é obtida pela equação 4 e considerando taxa de perda de 10%, a quantidade de argamassa para o reboco é, Tabela 10:

$$A_{AR} = 2\pi * (1,53^2 - 1,5^2) * 2 = 1,14 m^2$$

Tabela 10 – Quantidade de materiais para reboco

Dados Gerais		
Descrição	Valor	Unidade
Área Total	1,14	m ²
Taxa de Perda	10,00	%

Total de Materiais		
Descrição	Qtde	Unidade
Cimento	0,2	Sacos 50.0kg
Areia	0,043	m ³
Água	18,06	Litros

Fonte: própria (Concrete Mix Design).

Biodigestor feito com lona plástica na cobertura

Quantidade de Lona

Segundo Brazão e Correia (1993), a quantidade de lona utilizado para a cobertura do biodigestor é dada pela equação 2 e 4. O modelo da lona usada mostra-se na Figura 10. Com o raio externo de $R_e = 1,71 m$ e com a taxa de perda de 10%, obtém-se:

$$R_e = 1,881 \approx 1,9 m$$

$$V = \pi * 3,61 * 0,5 = 5,671 m^3$$

O Valor unitário de cada $1 m^3 = 600,00 MZN$.



Fig. 10 – Modelo da lona usado na cobertura do biodigestor. Fonte:momentoagro.com.br/lona, acesso em: 14/05/2019.

Custo de instalação do Biodigestor Tipo

Segundo SEIXAS et.al (2005) custo inicial e de operação de um biodigestor não é o factor mais importante, por causa das vantagens que este proporciona (fertilizantes melhor do que esterco, possibilidade de fertilizar com restos de cultura como folhas, pasto seco ou verde, independência de fontes externas para iluminação e cozinha), mais é aproximadamente a 400 dólar. Foram feitos orçamentos para os materiais em comércio na região da Cidade da Beira, em Maio de 2019.

Na equipe técnica é necessário que haja também um engenheiro ou técnico sanitário ou de canalização que pode supervisionar a instalação das tubagens, para condução do gás, não sendo necessária a contratação de um responsável técnico para isso.

1. Biodigestor de cobertura de laje de Betão armado

Na Tabela 11, encontram-se o custo mínimo de um biodigestor de base de blocos e tijolo maciço com a cobertura de laje de betão armado. Os custos de cada material foram obtidos em empresas a baixo citados como fonte.

Tabela 11 – Orçamento de biodigestor feito com cobertura de laje de betão armado.

Designação	Unidade	Quantidade	Preços	
			Unitário (MZN)	Total (MZN)
Blocos vazados de 10 cm	Vg	136,00	20,00	2720,00
Blocos vazados de 15 cm	Vg	136,0	23,00	3128,00
Blocos maciço de 10 cm	Vg	136,00	22,00	2992,00
Blocos maciço de C= 20 cm	Vg	518,0	12,00	6216,00
Tijolo maciço	Vg	690,0	14,00	9660,00
Areia (18L)	m ³	1	1500	1500,00
Brita (18 L)	m ³	1	2750	2750,00
Cimento	50Kg/Saco	8,0	420,00	3360,00
Tubo Pvc (300 mm)	M	1/5m	4800,00	4800,00
Tubo Pvt (50mm)	m	1/5m	729,00	3645,00
Água	Litro (l)	200l/20l	5,00	50,00
Varões($\varnothing=12$)	mm	8,0	324,5	2596,00
Mão-de-obra e Imprevistos	-----	-----	-----	3000,00
Total (bloco de e = 10)	-----	-----	-----	24421,00
Total (bloco de e = 15)	-----	-----	-----	24829,00
Total (bloco maciço e = 10)	-----	-----	-----	24693,00
Total (maciço de C=20 cm)	-----	-----	-----	27917,00
Total (tijolo maciço)	-----	-----	-----	31361,00

Fonte: construa BUILDIT/Formex Mozambique.

2. Biodigestor de cobertura de lona de Polietileno

Na Tabela 12, encontram-se o custo mínimo de um biodigestor de base de blocos e tijolo maciço com a cobertura de lona de polietileno.

Tabela 12 – Orçamento de biodigestor feito com cobertura de lona plástico.

Designação	Unidade	Quantidade	Preços	
			Unitário (MZN)	Total (MZN)
Blocos vazados de 10 cm	Vg	136,0	20,00	2720,00
Blocos vazados de 15 cm	Vg	136,0	23,00	3128,00
Blocos maciço de 10 cm	Vg	136,00	22,00	2992,00
Blocos maciço de C= 20 cm	Vg	518,0	12,00	6216,00
Tijolo maciço	Vg	690,0	14,00	9660,00
Areia (18L)	m ³	0,5	1500,00	750,00
Brita (18 L)	m ³	10	100,00	1000,00
Cimento	50Kg/Saco	4,0	420,00	1680,00
Tubo Pvc (300 mm)	M	1/5m	4800,00	4800,00
Tubo Pvt (50mm)	M	1/5m	729,00	3645,00
Água	Litro (l)	421/20l	5,00	15,00
Lona plástica	m ³	5,671	600,00	3403,00
Mão-de-obra e Imprevistos	-----	-----	-----	3000,00
Total (com blocos de 10)	-----	-----	-----	21013,00
Total (blocos de e = 15)	-----	-----	-----	21421,00
Total (bloco maciço de e = 10)	-----	-----	-----	21285,00
Total (bloco maciço de C=20 cm)	-----	-----	-----	24509,00
Total (tijolo maciço)	-----	-----	-----	27953,00

Fonte: construa BUILDIT/Formex Mozambique.

3. Biodigestor feito com tanque de plastex

Na Tabela 13, mostra-se o custo mínimo de um biodigestor de tanque de plastex (Figura 5).

Tabela 13 – Orçamento de biodigestor feito com tanque de plastex.

Designação	Unidade	Quantidade	Preços	
			Unitário (MZN)	Total (MZN)
Tanque de plastex(2ml)	m ³	1	12270,00	12270,00
Areia	m ³	0,5	750,00	750,00
Brita (18L)	m ³	3,0	100,00	300,00
Cimento	Kg/Saco	2	420,00	840,00
Tubo Pvc (300 mm)	m	5	4800/5m	4800,00
Tubo Pvt (50mm)	m	5	729,00	3645,00
Água	Litro (l)	60/20l	5,00	15,00
Mão-de-obra	-----	-----	-----	3000,00
Valor Total	-----	-----	-----	25620,00

Fonte: construa BUILDIT/ Formex Mozambique.

Foram feitas actualizações dos orçamentos para os materiais em comércio na região da Cidade da Beira para este artigo em Outubro de 2019, como mostra a tabela abaixo.

Tabela 14 – Custo mínimo e máximo de um biodigestor económico

Biodigestor Tipo	Custo Mínimo (MZN)	Custo Máximo (MZN)
Laje de Betão armado	29305,20	36245,20
Lona de Polietileno	25215,60	32155,60
Tanque de plastex.	30744,00	33474,00

Fonte: construa BUILDIT/ Formex Mozambique

Qualquer que seja o método de trabalho e de contabilização, os seguintes procedimentos podem contribuir para baixar os custos:

1. Uso de matéria-prima local (brita, areia, tijolos);
2. Uso de cal disponível no local;
3. A cúpula que serve de câmara de gás flutuante não tem que ser necessariamente cilíndrica-cónica, pode perfeitamente ser quadrada, rectangular;
4. Os acessórios para utilização do gás podem ser feitos no local;
5. A escavação pode ser feita durante o tempo livre;
6. O trabalho de pedreiro não exige um especialista, a não ser no caso da abobada, no sistema chinês.

Nota: Não é conveniente tentar poupar nos custos de impermeabilização e protecção recomendada contra a ferrugem (SEIXAS et.al 2005).

CONCLUSÃO

As informações obtidas durante a elaboração desse artigo permitiram concluir que a tecnologia do biodigestor foi criada para suprir a insuficiência de combustível, junto dessa necessidade beneficiou o meio ambiente diminuindo a emissão de gases poluentes e beneficiou o produtor rural economicamente na utilização de seus produtos finais (biogás e biofertilizantes).

A implantação apresenta viabilidade técnica e econômica na região da Cidade Beira, desde que tomados os devidos cuidados na sua construção, manejo e manutenção. Como o biodigestor, além de produzir gás, limpa os resíduos não aproveitáveis de uma propriedade agrícola e gera biofertilizante, é considerado por alguns como um poço de petróleo, uma fábrica de fertilizantes e uma usina de saneamento, unidos em um mesmo equipamento.

Ele trabalha com qualquer tipo de material que se decomponha biologicamente sob acção das bactérias anaeróbias. Os resíduos animais são o melhor alimento para os biodigestores, pelo facto de já saírem dos seus intestinos carregados de bactérias anaeróbicas.

REFERÊNCIAS

- [1] Barreira, Paulo. Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural. 3ª edição. – São Paulo. 2011.
- [2] Herrero, Jaime Martí. Biodigestores familiares: guia de diseño y manual de instalación. La paz: GTZ-Energia. Bolívia, 2008
- [3] Melo, Ricardo José Silva; et al. 4º Encontro de energia no meio rural - efficientização energética da Fazenda Exp. PUC-Minas - biodigestor de baixo custo, 2002.
- [4] Mendes et.al. Vantagens e desvantagens de uso de biodigestores, 2018.
- [5] Nogueira, Luís Augusto Horta. Biodigestão: a alternativa energética. São Paulo: Nobel, 1986.
- [6] Oliveira, P.A. V.; Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004.
- [7] Ortolani, A.F., Benincasa, M., Lucas Júnior, J. Biodigestores rurais: modelos Indiano, Chinês e Batelada. Jaboticabal, FUNEP, 1991.
- [8] Seixas, J., Folle, S.; Machetti, D., Construção e Funcionamento de Biodigestores. Embrapa, 1980 adaptado 2005.

APÊNDICE I. ENTREVISTA PADRONIZADA AOS TÉCNICOS E PROPRIETÁRIO DAS QUINTAS DE CHAMBA-INHAMIZUA/BEIRA E MANGA MASCARENHA

Objectivo: avaliar o processo de tratamentos dos dejetos e apresentar a importância ambiental da implementação de um Biodigestor na Quinta e suas vantagens.

Qual é a finalidade na criação dos gados?

Quais são as espécies de animais criados na Quinta?

Do que são alimentados os animais?

Como é tratado os dejetos produzidos pelos animais?

Qual é a produção média diária de dejetos produzidos para cada espécie?

Quais são as limitações no uso dos dejetos?

Existem Mecanismos de aproveitamentos desses dejetos? Sim:_____ Não:_____.

Caso sim: diga quais?

Muito obrigado.

APÊNDICE II. ROTEIRO DE OBSERVAÇÃO DO SISTEMA DE CRIAÇÃO DE GADOS E TRATAMENTO DOS DEJETOS

Objectivo: gerar informação qualitativa e quantitativa dos processos de produção dos dejetos relacionados ao cada tipo de espécies animais criados e mecanismos de recolha.

ASPECTOS A SEREM OBSERVADOS	COMENTÁRIOS
Controle da alimentação dos animais.	Os animais na quinta de senhor Machute são alimentados duas vezes ao dia, com farelo de milho e de soja.
Controle e recolha dos dejetos produzidos diariamente por cada espécies.	Segundo os dados obtidos no campo, até antes da visita da pesquisa os dejetos eram expostos ao ar livre no meio ambiente, criando mais impactos ambientais pela quantidade de animais criados na quinta.
Mecanismos de recolha desses dejetos .	Sem nenhum mecanismo de recolha. Sugerindo pelo mecanismos de em cada duas horas ter uma equipe de recolha dos dejetos.
Mecanismos de tratamento desses dejetos	Sem mecanismos.
Utilização dos dejetos	Venda para sociedade para utilização como fertilizantes.
Outros aspectos:	<ol style="list-style-type: none">1. Falta de aplicação das tecnologias construtivos para a recolha dos dejetos.2. Insuficiência de equipes para a recolha dos dejetos.3. Entre outros aspectos não verificados na quinta do senhor Machute.