

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

GUSTAVO DA SILVEIRA PEREIRA

**IMPLANTAÇÃO DE UM BIODIGESTOR DE BAIXO CUSTO EM UMA
PROPRIEDADE COM CRIAÇÃO DE GADO LEITEIRO**

Araranguá, SC

2018

GUSTAVO DA SILVEIRA PEREIRA

**IMPLANTAÇÃO DE UM BIODIGESTOR DE BAIXO CUSTO EM UMA
PROPRIEDADE COM CRIAÇÃO DE GADO LEITEIRO**

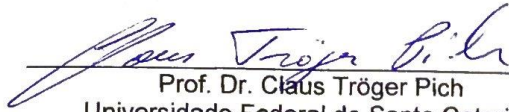
Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado à Universidade Federal de
Santa Catarina, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Engenheiro(a) de Energia.

Araranguá, 28 de novembro de 2018.

BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Elaine Virmond
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Dr. Cláus Tröger Pich
Universidade Federal de Santa Catarina



Profa. Dra. Maria Angeles Lobo Recio
Universidade Federal de Santa Catarina

IMPLANTAÇÃO DE UM BIODIGESTOR DE BAIXO CUSTO EM UMA PROPRIEDADE COM CRIAÇÃO DE GADO LEITEIRO

Gustavo da Silveira Pereira*

RESUMO

Uma das principais problemáticas associadas à criação de bovinos é a alta produção de rejeitos principalmente o esterco. O descarte final correto desses rejeitos dos animais é um desafio que abrange os aspectos técnicos, sanitários e econômicos. Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do primeiro projeto da associação Técnica Sem Fronteiras Brasil (TsF Brasil) com o objetivo geral de implantar um biodigestor de baixo custo para processar dejetos de gado leiteiro em uma propriedade rural para a produção de biogás, visando à substituição parcial do gás liquefeito de petróleo (GLP) no processo de fabricação de queijo realizado no local. Para isso, no período de dezembro/2017 a novembro/2018 foram selecionados o modelo e um projeto de biodigestor a ser instalado, o mesmo foi construído, colocado em operação e seu desempenho analisado. A caracterização do biogás produzido indicou concentração média de CH₄ de 73,1%±2,9% (v/v), valor esse que indica bom valor energético desse biocombustível. Entretanto, a presença de H₂S (40±0,0 ppmV) e de NH₃ (175±0,0 ppmV) na composição do biogás sugere a necessidade, na continuidade deste trabalho, de se avaliar o seu efeito na aplicação pretendida bem como a necessidade de se aplicar tratamento ao biogás para redução da concentração desses componentes. Dado que não houve variação do volume de biogás produzido entre o tempo 1 e o tempo 3, nem da concentração de CH₄, conclui-se que o processo de biodigestão não se completou em 15 dias nas condições aplicadas, sendo possível e mesmo necessário aumentar o tempo de retenção hidráulica (TRH) a fim de aumentar o grau de conversão de substrato em biogás e, conseqüentemente, a qualidade do fertilizante orgânico e o volume de biogás produzido, que neste trabalho foi de apenas 8,6 m³ quando apenas 29% da capacidade nominal de processamento do biodigestor foi utilizada.

Palavras chave: Dejeito bovino. Biodigestor. Biogás.

* Graduando em Engenharia de Energia na Universidade Federal de Santa Catarina.
E-mail: gustavo.silveira@grad.ufsc.br

IMPLEMENTATION OF A LOW-COST BIODIGESTOR ON A PROPERTY WITH DAIRY CATTLE CREATION

Gustavo da Silveira Pereira*

ABSTRACT

One of the main problems associated with cattle rearing is the high production of tailings, mainly manure. The correct final disposal of these animal wastes is a challenge that covers the technical, sanitary and economic aspects. This work was developed under the first project of the Association Technology without Borders (TwB) Brazil with the general objective of implanting a low cost biodigester to process dairy cattle waste in a rural property for the production of biogas, aiming at the partial replacement of liquefied petroleum gas (LPG) in the on-site cheesemaking process. For this, from December/2017 to November/2018 the model and a project of a biodigester to be installed were selected, it was built, put into operation and its performance analyzed. The characterization of the biogas produced indicated a mean CH_4 concentration of $73.1\% \pm 2.9\%$ (v/v), which indicates good energy value of this biofuel. However, the presence of H_2S ($40 \pm 0,0$ ppmV) and NH_3 ($175 \pm 0,0$ ppmV) in the biogas composition suggests the need, in the continuity of this work, to evaluate their effect on the intended application as well as the need for biogas treatment to reduce the concentration of these components. Since there was no change in the volume of biogas produced between time 1 and time 3, nor of the concentration of CH_4 , it was concluded that the biodigestion process was not completed in 15 days under the conditions applied, being possible and even necessary to increase the hydraulic retention time (HRT) in order to increase the degree of substrate conversion into biogas and, consequently, the quality of the organic fertilizer and the volume of biogas produced, which in this study was only 8.6 m^3 when only 29% of the nominal processing capacity of the biodigester was used.

Key-words: Bovine manure. Biodigester. Biogas.

* Energy Engineering Bachelor Degree Student at the Federal University of Santa Catarina.
E-mail: gustavo.silveira@grad.ufsc.br

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a atividade leiteira brasileira evoluiu de forma contínua, resultando no crescimento consistente da produção que colocou o país como um dos principais do setor no mundo. Estima-se que, em 2017, o número de vacas ordenhadas atingiu o patamar de 18,6 mil no país. No ano 2017, cerca de 38% do volume de leite produzido nos países vieram da região sul do Brasil. Com cerca de 300 mil produtores de gado leiteiro, Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina, juntos, produziram 12,8 bilhões de litros de leite e se consolidaram como a maior bacia leiteira do país. As expectativas são de que até 2025 a região produza mais da metade de todo o leite brasileiro. Na Tabela 1 consta o número de vacas ordenhadas em cada um dos estados dessa região em 2017 (EMBRAPA, 2018).

Tabela 1 – Número de vacas ordenhadas na região sul do Brasil no ano de 2017

Estado	Vacas ordenhadas em 2017
Paraná	1.594
Rio Grande do Sul	1.427
Santa Catarina	1.120
Total	4.141

Fonte: EMBRAPA (2018).

Santa Catarina é apontada como o estado de maior destaque na produção de leite atualmente. Em 11 anos, sua produção cresceu 92%, atingindo no ano passado 3,7 bilhões de litros. Segundo seus produtores, contribuíram para tal salto, principalmente, vocação, clima e topografia (EMBRAPA, 2018).

O leite é o terceiro produto no ranking de VBP (Valor Bruto da Produção) da agropecuária catarinense, que não considera o faturamento com insumos agrícolas, transporte, agroindústrias e serviços. O faturamento do setor passou de R\$ 3,5 bilhões em 2017 e representa 13% de toda a receita do agronegócio catarinense. (EMBRAPA, 2018).

As implicações ambientais negativas do gerenciamento inapropriado de dejetos da criação animal, um tipo de biomassa, motivaram estudos para procurar estratégias que pudessem levar a uma criação animal mais sustentável. Qualquer manejo inadequado desse resíduo pode contaminar o solo, o ar e a água, além de causar um acúmulo microbiano prejudicial ao meio ambiente. Nesse contexto, tem destaque a emissão de gases de efeito estufa (GEE), tais como o metano (CH₄) e o dióxido de carbono (CO₂).

De acordo com a revista Agroenergia da Biomassa Residual (2009), a pecuária mundial emitiria 88 milhões de toneladas de metano no ano de 2006, das quais 17,6 milhões de toneladas

são provenientes da degradação natural dos seus dejetos. Na proporção de aproximadamente 8% da pecuária mundial, o Brasil responderia por 1,4 milhão de toneladas de CH₄ (equivalentes a 29,6 milhões de toneladas de CO₂), sendo que 1 milhão desse metano é referente à criação de bovinos, incluindo o gado leiteiro e a criação extensiva para gado de corte (JUNIOR et al., 2009).

Dentre as melhores práticas de gerenciamento dos dejetos da bovinocultura leiteira está a digestão anaeróbica, ou biodigestão, por meio da qual ocorrem simultaneamente o tratamento de resíduos e a produção de bioenergia (biogás) e de fertilizante orgânico (mistura de frações sólida e líquida de produtos) (ABDESHAHIAN et al, 2016; TOLMASQUIM, 2016; NESHAT et al, 2017).

A quantidade de dejetos bovinos produzidos por dia, os teores de umidade, de matéria seca e a composição química variam de acordo com o peso e a idade do animal, tipo de alimentação e quantidade de água consumida, dentre outros fatores.

Uma das fontes alternativas de energia é a biomassa, que tem como conceito todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica, de origem animal ou vegetal, que pode ser utilizado para produção de energia (GOLDEMBERG, 2012).

Pode-se produzir biogás e fertilizante orgânico a partir de qualquer tipo de substrato orgânico (biomassa) desde que se tenha sistema e condições necessários para a ação dos microrganismos envolvidos no processo. Porém, diferentes biomassas apresentam diferentes potenciais de produção de biogás, o que pode ser visto na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Produção diária de biomassa e potencial de geração de biogás

Espécie	Esterco por animal (kg)	m³ de biogás/kg esterco	m³ de biogás/animal
Caprino/ovino	0,5	0,040 - 0,061	0,02 – 0,03
Bovinos de leite	25	0,040 – 0,049	1,00 – 1,23
Bovinos de corte	10	0,040	0,40
Suínos	4	0,075 – 0,089	0,30 – 0,36

Fonte: Junqueira (2014), adaptado pelo autor.

Visto isso, apenas com a criação de bovinos de leite é notável o grande potencial para a difusão da tecnologia de biodigestão, que ainda é pouco explorada. A biomassa é composta principalmente de carboidratos, proteínas e lipídios, que podem ser degradados por meio de processos físicos, químicos e bioquímicos executados por microrganismos presentes na própria biomassa (CORTEZ et al., 2008) para compostos mais simples em um ambiente livre de oxigênio por meio do processo de biodigestão. Tal processo ocorre em biodigestores, estruturas

projetadas e construídas de modo a prover as condições necessárias à degradação da biomassa pelos grupos de microrganismos predominantes no meio em cada etapa de processamento: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (JÚNIOR, 2009; HAGO, 2017).

Os modelos de biodigestores de baixo custo mais comuns são o indiano, o chinês e o canadense, e têm sido implementados em propriedades rurais em que a produção de biomassa ocorre em períodos curtos, como por exemplo, na criação extensiva (em pasto) de gado leiteiro, que duas vezes ao dia é recolhido para ordenha, permitindo coleta diária (ou em intervalos de tempo maiores) de biomassa que pode ser encaminhada ao biodigestor (DEGANUTTI, 2002).

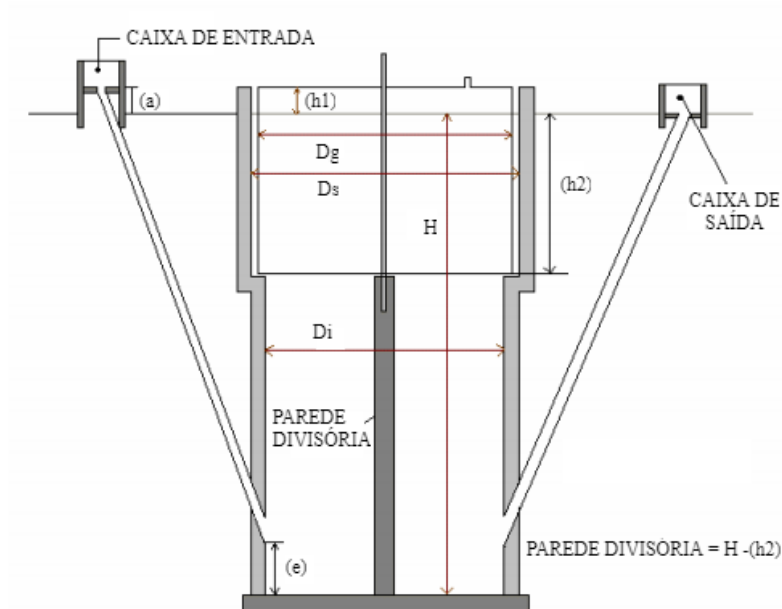
O modelo canadense é bastante aplicado para a biodigestão de resíduos da suinocultura que, no sistema produtivo mais difundido no país, se dá de forma intensiva em confinamento, produzindo grande quantidade de dejetos por unidade de área. Esse tipo é também conhecido por lagoa anaeróbia coberta, pois é similar a uma esterqueira, só que possui uma cobertura para armazenar o biogás produzido no processo (FALCÃO; GUSMÃO, 2008; HENN, 2005).

Os modelos indiano e chinês são mais adequados para se trabalhar em menor escala, sendo o modelo indiano o mais difundido. Segundo Henn (2005) uma das grandes vantagens desse modelo é a sua campânula flutuante (gasômetro), a qual permite manter a pressão de escape de biogás constante (NISHIMURA, 2009). Do ponto de vista construtivo, apresenta-se de fácil construção, contudo, se o gasômetro for construído de metal isso pode encarecer seu custo final, e também a distância da propriedade pode dificultar e encarecer o transporte do gasômetro, inviabilizando a implantação desse modelo de biodigestor (DEGANUTTI et al., 2002). No entanto, o gasômetro pode ser construído em fibra de vidro, materiais plásticos.

O biodigestor modelo indiano pode ser descrito como um cilindro vertical, construído com tijolos e revestido internamente por cimento impermeabilizante, tendo uma parede longitudinal que o divide em duas câmaras. A função da parede divisória é fazer com que o material circule por todo o interior da câmara de fermentação (TOLMASQUIM, 2016). Em uma dessas câmaras é conectado o tubo de entrada da biomassa, e na outra, o tubo de saída do efluente tratado (fertilizante orgânico).

A Figura, conforme Deganutti e colaboradores (2002) mostra a vista frontal em corte do biodigestor, realçando os elementos fundamentais de sua construção.

Figura 1 - Vista frontal de um biodigestor modelo indiano. Onde H é o nível do substrato; D_i é o diâmetro interno do biodigestor; D_g é o diâmetro do gasômetro; D_s é o diâmetro interno da parede superior; h_1 é a altura ociosa (reservatório do biogás); h_2 é a altura útil do gasômetro; a é a altura da caixa de entrada; e é a altura de entrada do tubo afluente



Fonte: Deganutti e colaboradores (2002).

O processo é considerado contínuo porque a cada carga (afluente) corresponde uma descarga de material fermentado (efluente tratado), sendo a produção do biocombustível (biogás) contínua e seu suprimento mantido à pressão constante. A biomassa do biodigestor se movimenta por diferença da pressão hidráulica no momento da carga. Cada carga requer um tempo de retenção hidráulica (TRH) que varia em função das condições e objetivos do processamento, tipicamente, entre 30 a 50 dias dependendo das variações climáticas (especialmente da temperatura ambiente se esse parâmetro não puder ser controlado). Esse modelo de biodigestor é subterrâneo para evitar as mudanças bruscas de temperatura da biomassa ao aproveitar o isolamento térmico conferido pelo solo (OLIVEIRA, 1983).

O parâmetro mais adequado para se avaliar a potencialidade de produção de metano a partir de dada biomassa é o teor de sólidos voláteis (SV) dado que equivale à fração de matéria orgânica que será fermentada para produzir o biogás. Quanto maior for a concentração de sólidos voláteis de uma biomassa, maior será o potencial de produção de biogás. No entanto, a eficiência do sistema digestor é afetada por temperatura, pH, presença e concentração de inibidores, homogeneidade do meio reacional, tempo de retenção hidráulica, dentre outros fatores. Recomenda-se um mínimo de 120 g de sólidos voláteis por kg de matéria seca. O teor de sólidos voláteis de esterco bovino está em torno de 80% a 85% (FILHO, 1981). Para determinar o teor de SV são utilizadas as equações (1) e (2) (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1997).

$$SV = ST - \text{cinzas} \quad (1)$$

$$\text{cinzas} = \{ 1 - [(Mu - Mm) / Mu] \} \times 100 \quad (2)$$

onde:

SV = teor de SV, em porcentagem mássica;

ST = teor de sólidos totais, em porcentagem mássica;

Mu = massa úmida da amostra, em gramas;

Mm = massa obtida após queima em mufla, em gramas.

Para a instalação de um biodigestor é necessário determinar a quantidade de dejetos (mistura de esterco e urina que constitui a biomassa disponível para processamento) que, além dos fatores previamente citados, depende também do local onde o gado os elimina (CAMPOS, 1997) e da eficiência de coleta desses dejetos, de forma que uma das etapas do projeto de um biodigestor consiste na quantificação da biomassa disponível para processamento.

Adicionalmente, o local mais adequado para instalação deve ser definido observando-se alguns fatores, tais como ter fácil acesso para facilitar o transporte da biomassa a ser alimentada ao biodigestor, facilidade de canalização do biogás e de remoção e transporte (ou armazenamento) do fertilizante orgânico para posterior utilização (JUNQUEIRA, 2014).

O fertilizante orgânico é rico em material orgânico (húmus) e tem sido aplicado ao solo no setor agrícola para melhoria de sua qualidade física, química e biológica, sendo opção para substituição de insumos químicos equivalentes. A principal razão para a grande capacidade de fertilização desse produto se deve à redução da concentração carbono na matéria orgânica processada, que sai sob a forma de CH₄ e CO₂, incorrendo na diminuição na relação C/N da matéria orgânica (SGANZERLA, 1983). Com isso, os microrganismos do solo (bactérias nitrogenadoras) conseguem um melhor índice de fixação do nitrogênio, além do fato do próprio fertilizante orgânico conter alguns nutrientes já solubilizados. Com seu nível de pH em torno de 7,5, o fertilizante orgânico funciona como corretor de acidez. Com a elevação do pH do solo dificulta-se a multiplicação de fungos patogênicos (DOTTO; WOLFF, 2012).

O biogás é uma mistura gasosa composta por cerca de 50% a 80% em volume de CH₄ e de 20% a 40% em volume de CO₂. É constituído também por outros gases, tais como hidrogênio (H₂), nitrogênio (N₂), gás sulfídrico (H₂S), monóxido de carbono (CO) e amônia (NH₃). A composição do biogás varia de acordo com a biomassa processada, condições climáticas e de processo, características do biodigestor, entre outros (NISHIMURA, 2009).

Para avaliar o teor energético do biogás, utilizam-se os parâmetros Poder Calorífico Superior (PCS, que pode ser expresso em kJ/kg ou kJ/Nm³) e Poder Calorífico Inferior (PCI, kJ/kg ou kJ/Nm³). O PCS de um combustível é definido pela quantidade de calor liberada a partir da combustão de uma determinada massa ou volume do combustível inicialmente a temperatura

de referência (por exemplo, 25 °C) e retorno dos produtos à temperatura, implicando na condensação de todo o vapor de água gerado na combustão e consequente recuperação do calor latente de vaporização da água. Já o PCI é definido pelo mesmo conceito, porém, a H₂O gerada na combustão permanece em estado gasoso e seu calor latente de vaporização não é recuperado, sendo descontado do PCS e constituindo, portanto, no poder calorífico líquido (BRASIL, 2016).

O biogás produzido pode ser convertido em energia térmica para substituir lenha, diesel ou outro combustível para aquecimento de ambientes, cocção de alimentos, geração de vapor, secagem de grãos, higienização de alimentos etc.; pode ser convertido em energia mecânica (força motriz) para bombeamento de água ou do próprio fertilizante orgânico até o local de utilização (irrigação de cultivos agrícolas); pode ser utilizado para a geração de energia elétrica pela queima em grupos moto geradores ou turbinas a gás e para a produção de biometano, gás similar ao gás natural, que pode ser utilizado em veículos automotores (BIASI et al., 2018). Para a produção do biometano, o biogás deve passar por processos de purificação que aumentam a concentração de metano conforme descrito na Resolução nº 8 de 30/01/2015 e no Regulamento Técnico nº 1/2015 integrante de tal resolução, ambos da Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2015),

Contudo, utilização direta de biogás como biocombustível sem a adequação de sua qualidade para a aplicação pretendida pode incorrer em baixa eficiência, redução da vida útil de equipamentos e mesmo em emissão de poluentes no processo de conversão térmica, sendo, portanto, necessário conhecer os requisitos de qualidade do biogás para cada aplicação e dispor de um sistema de tratamento acoplado ao biodigestor para atendê-los, se necessário.

Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo geral implantar um biodigestor de baixo custo para processar dejetos de gado leiteiro em uma propriedade rural para a produção de biogás, visando à substituição parcial do gás liquefeito de petróleo (GLP) no processo de fabricação de queijo realizado no local. Para isso, foi selecionado o modelo e um projeto de biodigestor a ser instalado, o mesmo foi construído, colocado em operação e seu desempenho analisado.

2 METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado no âmbito das atividades da Associação Técnica sem Fronteiras Brasil (TsF Brasil), uma associação de origem alemã trazida para o Brasil que tem como foco principal o desenvolvimento e a aplicação de projetos de baixo custo que beneficiem a sociedade. O objeto de estudo deste Trabalho de Conclusão de Curso compõe o primeiro projeto desenvolvido pela referida associação no Brasil. O estágio da construção do biodigestor avaliado correspondeu ao período de 08/12/2017 a 16/11/2018, sendo a construção realizada por estudantes da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) dos cursos de Engenharia de

Energia, Engenharia da Computação e Tecnologia da Informação e Comunicação que fazem parte da Associação Técnica Sem Fronteiras Brasil (TsF), Grupo Regional Araranguá, contando também com o apoio dos proprietários e de outros colaboradores.

2.1 Seleção e características da propriedade rural

A propriedade rural familiar com criação de gado bovino leiteiro na qual o biodigestor foi implantado foi selecionada com o auxílio da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), unidade de Araranguá - SC.

Dentre os critérios de seleção incluíram-se a motivação do produtor rural em participar do projeto, o potencial para geração de biogás, e o potencial da propriedade para posteriormente servir de unidade de referência para que estudantes, professores e pessoas interessadas pudessem visitar o projeto depois de finalizado.

A propriedade selecionada está localizada no bairro Sanga da Areia, no município de Araranguá - SC, localizada a 14 km do centro da cidade. Possui área de 11 hectares e as atividades realizadas no local são: plantação e silagem do milho para alimentação dos animais, criação de bovinos leiteiros, ordenha das vacas, fabricação de queijo, além de servir de moradia para seus proprietários.

Na Figura 2 foram indicados os locais em que algumas dessas atividades ocorrem, inclusive, o local aonde o biodigestor proposto foi instalado.

Figura 2 - Visão superior da propriedade selecionada



Fonte: Google Maps (2018).

2.2 Características do gado leiteiro e quantificação da produção de dejetos

A propriedade rural de referência possui 30 cabeças de gado leiteiro da raça Jersey, com peso aproximado de 350 kg por animal. A alimentação desses animais tem como base 10% do seu peso total, sendo aproximadamente 5 kg de ração, 10 kg de feno verde ou pasto, 20 kg de silagem de milho. O caminho realizado pelas vacas para a ordenha do leite está representado no fluxograma a seguir (Figura 3).

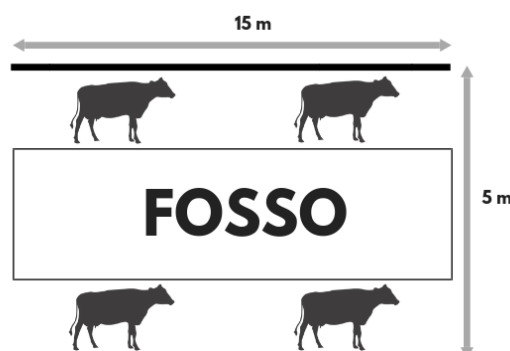
Figura 3 - Fluxograma para ordenha, alimentação e coleta de dejetos



Fonte: Autor (2018).

O processo de ordenha é mecanizado, o que faz com que a extração do leite seja mais rápida e com menos risco de contaminação em comparação com a ordenha manual. Ela é realizada em um local específico, chamado sala de ordenha (ambiente 3 da Figura 3). O tipo de ordenha empregado é simples e barato, e seu uso é mais comum em rebanhos pequenos. Consiste em ordenar as vacas em linha indiana paralela ao fosso, sendo o fosso o local onde ficam as ferramentas para a ordenha e o ordenhador, tal como representado na Figura 4 a seguir.

Figura 4 – Ilustração da sala de ordenha



Fonte: Autor (2018).

Depois de realizada a ordenha, as vacas são encaminhadas para uma sala de alimentação (ambiente 4 da Figura 3) com dimensões de (5x25) m e nesse local, além de se alimentarem, é onde liberam a maior quantidade de dejetos (mistura de esterco e urina). Antes da realização deste trabalho esses dejetos eram recolhidos em média a cada 15 dias, de forma manual, utilizando-se um carrinho de mão com volume de aproximadamente 50 L para seu transporte até uma esterqueira com a capacidade de 45 m³, local onde eram destinados os dejetos bovinos recolhidos antes da instalação do biodigestor, porém, a mesma encontra-se atualmente cheia e sem previsão para a destinação correta do dejetos acumulados.

A partir da experiência prática do proprietário, cerca de 30-40 carrinhos de mão preenchidos com dejetos eram recolhidos a cada 15 dias. A fim de confirmar esse dado, acompanhou-se duas coletas dos dejetos procedendo-se à contagem do número de carrinhos de mão necessários para coletar e transportar todo o dejetos acumulados. Essa quantificação foi necessária para ajuste da operação do biodigestor dado que o projeto de referência foi executado sem dimensionamento relativo à quantidade de biomassa disponível para processamento na propriedade rural em estudo.

Na Figura 5a tem-se uma imagem da sala de alimentação (ambiente 4 da Figura 3) e, na Figura 5b do carrinho de mão preenchido com dejetos e ilustrando o aspecto visual pastoso da matéria-prima (biomassa).

Figura 5 – Sala de alimentação, local de acúmulo e coleta dos dejetos (a) e aspecto visual da biomassa utilizada (b)



Fonte: Autor (2018).

2.3 Tipo e instalação do biodigestor

O modelo de biodigestor selecionado para construção na propriedade rural em estudo foi o modelo indiano. Para realização do projeto foi utilizada uma cartilha de construção de biodigestor elaborada pela Diaconia Actaliança com o apoio da Caixa Econômica Federal (DIACONIA, 2013), a qual resume a construção do biodigestor em 12 passos.

Outro material utilizado como referência para a construção do biodigestor foi o projeto técnico de construção do biodigestor de modelo indiano disponibilizado pela EPAGRI de Araranguá, apresentado no Anexo I.

Segundo indicações da cartilha de referência realizada pela Diaconia (2013) as medidas a serem utilizadas para a construção do biodigestor são: 2,14 m de diâmetro interno do biodigestor (Di); 0,20 m de altura ociosa (hI); 0,40 m de altura da caixa de entrada (a); 0,60 m de altura de entrada do tubo afluente (e). O nível do substrato depende da capacidade de geração da biomassa da propriedade e as medidas do gasômetro dependem do fornecedor.

A lista e a especificação dos materiais utilizados na construção do biodigestor, com seus respectivos custos à época, foram apresentados no Anexo 2.

2.4 Operação do biodigestor

Dado que a manutenção da rotina de limpeza da sala de alimentação e, conseqüentemente, de coleta dos dejetos, tal como previamente descrito no tópico 2.2, foi priorizada pelo produtor rural, o TRH do biodigestor avaliado neste trabalho foi de 15 dias. Para determinação da quantidade máxima de dejetos passíveis de processamento no biodigestor, bem como da produção de fertilizante orgânico, as dimensões de projeto devem ser relacionadas à quantidade de dejetos processada e às suas características, bem como aos parâmetros de operação do biodigestor.

Em biodigestores operados de forma contínua as matérias-primas devem ser líquidas ou semi-líquidas a fim de facilitar sua alimentação periódica, tal como recomendado por Filho (1981), em função do aspecto sólido dos dejetos ilustrado na Figura 5. Neste trabalho adotou-se a proporção de mistura de substrato a ser alimentado ao biodigestor e água de 1:1 em volume, sendo a mistura realizada na própria caixa de carga representada na Figura 1. Esse procedimento garante o fluxo normal de carga e descarga (simultâneos) no biodigestor.

2.5 Caracterização e produção de biogás

Para quantificar a produção de biogás, monitorou-se a elevação do gasômetro sem o sobrepeso a fim de quantificar a produção de biogás considerando-se as suas dimensões e biogás à pressão atmosférica. Utilizou-se uma escala métrica, que foi fixada ao lado do gasômetro, com

comprimento de 1,60 m, variando de 2 cm (nível inferior do gasômetro) e 1,60 m (nível superior máximo que o gasômetro alcança), tal como ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – Método para monitoramento da elevação do gasômetro



Fonte: Autor (2018).

A variação de altura do gasômetro foi registrada em três intervalos de tempo ao longo de um TRH de 15 dias a partir de uma carga de 20 carrinhos de mão de dejetos (equivalente a 1.000 L de dejetos), que foram misturados a 1.000 L de água seguindo a proporção de 1:1, que ocorreu no dia 0. O intervalo de tempo 1 correspondeu a dia 0 até dia 4, o intervalo de tempo 2 correspondeu a dia 4 até dia 9, e o intervalo de tempo 3 do dia 9 até o dia 15. Em conjunto com o monitoramento da elevação do gasômetro nos intervalos de tempo previamente descritos, determinou-se a composição do biogás produzido. Destaca-se que tal período de tempo correspondeu à primavera, com temperatura ambiente média de 20 °C (INMET, 2018).

Para determinação da composição do biogás utilizou-se o kit portátil para análise da composição do biogás da Alfakit baseado em método analítico colorimétrico para determinação das concentrações de gás sulfídrico (H_2S) e de amônia (NH_3), e volumétrico para determinação da concentração do gás carbônico (CO_2), sendo a concentração de metano (CH_4) obtida por diferença.

Amostras de biogás foram coletadas no duto de saída de biogás do gasômetro e analisadas pelo menos em duplicata conforme descrito por Paim (2018). No método analítico colorimétrico foram usadas cartelas de referência que apresentam resultado em ppmV calculados em base úmida, a 25 °C e 1 atm de pressão. A caracterização do biogás foi realizada com a colaboração

deste autor de forma associada às demais atividades descritas neste trabalho e apresentadas em maiores detalhes por Paim (2018), sendo os resultados citados e discutidos também neste trabalho por servirem de subsídios à análise do desempenho do biodigestor em estudo.

Os resultados da determinação da composição do biogás foram analisados estatisticamente utilizando-se o software BioEstat e o teste *one-way* ANOVA, assumindo-se nível de significância de 0,05 para verificação da variância na composição do biogás no intervalo de tempo considerado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Instalação do biodigestor

O local para instalação do biodigestor foi definido conforme orientação de Junqueira (2014), considerando fatores tais como ter fácil acesso para facilitar o transporte da biomassa a ser carregada diariamente, e também a facilidade de remoção e transporte do biogás e do fertilizante orgânico para utilização. Com isso, de acordo com as especificidades de local e distância de Diaconia (2013), foi escolhido um local distante 12 m do ponto de utilização do biogás, onde não há sombreamento, pois o calor é importante para produção do biogás. Após escolha do local, foi realizada a abertura de um buraco de 3 m de diâmetro (suficiente para caber o biodigestor e para o pessoal trabalhar) e 1,8 m de profundidade com a ajuda de um trator (Figura 7 – a). Porém, o uso de ferramentas manuais também foi necessário nessa etapa para realizar ajustes tais como nivelamento do fundo do buraco e abertura dos caminhos de ligação do corpo do biodigestor até as caixas de entrada (carga) e saída (descarga) (Figura 7 – b).

Com a etapa de abertura do buraco realizada, foi feita a base do biodigestor com concreto armado de dimensões de 2,1 m de diâmetro e 15 cm de espessura para que a estrutura do fundo ficasse bem reforçada, como sugerido no projeto de referência (Figura 7 – d). Antes de colocar o concreto, o fundo foi preenchido com uma camada de brita, em seguida colocada uma grade de ferro com 6 mm de espessura (Figura 7 – c) feita pelos próprios estudantes envolvidos no projeto. Quatro armações das vigas verticais que o proprietário já possuía foram chumbadas e preencheu-se o fundo com concreto.

Após a base estar seca começaram os trabalhos para levantar a parede do biodigestor (Figura 7 – e). Para isso, foram utilizados tijolos de 9 furos com dimensões de 11,5x19x19 cm. Em sequência foram feitas quatro vigas horizontais de forma bem distribuídas e circulares para também reforçar a estrutura. A altura do tanque de fermentação do biodigestor é de 2 m e seu volume ficou com aproximadamente 7 m³. Nessa etapa os canos de entrada e saída do biodigestor foram também fixados.

Para que os tijolos fossem colocados de forma circular seguiu-se o conselho do Sr. Francesco Ferreri, técnico em construção civil e colaborador do projeto em questão, de fixar uma madeira no centro da base do corpo do biodigestor até o topo e, com o auxílio de um cordão preso nessa madeira, foram assentados os tijolos de forma circular e simétrica, mantendo-se o mesmo raio ao longo da altura do biodigestor.

O projeto utilizado como referência (ANEXO 1) não previa a construção da parede divisória tipicamente presente no modelo indiano, tal como representada na Figura 1. Por isso, tal parede divisória não foi construída. Essa decisão foi tomada, pois dessa forma é aproveitado melhor o volume interno do tanque de fermentação. No entanto, a parede tem efeito importante sobre o TRH, e sugere-se que esse fator seja avaliado em trabalhos futuros.

Depois de levantada a parede do corpo do biodigestor, a mesma foi rebocada pelos lados interno e externo (Figura 7 – f) para melhor impermeabilidade e estrutura do biodigestor. Também foram construídos quatro batentes do fundo do biodigestor com altura de 60 cm para que quando fosse colocada a caixa de água que serve de gasômetro neste modelo ela não encostasse no fundo do biodigestor ou prejudicasse os canais de entrada e saída.

Após finalizada a estrutura do biodigestor, seguiu-se para construção das caixas de entrada e saída (Figura 7 – g). Para isso, é aconselhável que primeiro se analise o tamanho de cada caixa, de acordo com a demanda de abastecimento e coleta, e também se defina a melhor localização para que sejam de fácil acesso. Ambas as caixas foram feitas de alvenaria e rebocadas, utilizando-se o mesmo tamanho de tijolos empregado no corpo do biodigestor.

A caixa de entrada deve ter um tamanho adequado para efetuar a mistura de dejetos e água. Foi utilizado cano de 100 mm para ligar o fundo do biodigestor ao fundo da caixa de entrada. Outra característica importante é que a caixa de entrada deve estar em um nível maior que o nível da caixa de saída. Segundo Diaconia (2013) a caixa de entrada deve estar em um nível de 40 cm maior do que a caixa de saída. Essa etapa teve que ser ajustada, pois o nível realizado primeiramente não ficou correto devido ao desnível do terreno. Após ajuste, os alunos conseguiram com que a caixa de entrada e saída tivessem a diferença de nível de 40 cm, de acordo com a referência.

A caixa de saída deve ser maior comparada à caixa de entrada, pois será um reservatório de fertilizante orgânico dado que à medida que o biodigestor for carregado com os dejetos mais água a caixa de saída encherá de acordo com volume que será abastecido o biodigestor. O cano que liga o biodigestor à caixa de saída (100 mm) foi conectado a 50 cm do fundo do biodigestor (10 cm abaixo do batente) até a parte superior da caixa de saída.

Para instalação do cano guia, primeiro foi chumbado um cano PVC de 40 mm de 4 m de comprimento no fundo e centro do biodigestor, e dentro desse cano foram colocadas barras de ferro de 4 mm e posteriormente preenchido com concreto. Esse método foi utilizado pois o custo

de um cano de metal (sugerido pela referência) de mesma espessura é muito maior. Esse cano passa por um flange de 60 mm instalado no fundo do gasômetro. Esse flange foi conectado a um cano de 60 mm que se prolonga até o final do cano guia no lado externo da cúpula do biodigestor para se evitar vazamento de biogás.

Além disso, foram colocadas duas vigas de tijolos na parte superior do gasômetro para compor sobrepeso (Figura 7 – **h**) e, com isso, aumentar a pressão do biogás, o que é necessário para seu transporte e utilização. Esse sobrepeso, no entanto, foi removido para reparos no gasômetro, tal como descrito no item 3.3.2.

No fundo do gasômetro, além do flange pela qual passa o cano guia, há um outro flange de 20 mm na qual será o local de saída do biogás. Nessa saída, em sequência, foi instalado um filtro de água (Figura 7 – **i**) utilizando-se um utensílio de plástico com volume de 10 L. Seu funcionamento é basicamente forçar a passagem do biogás pela água e com isso filtrar algumas impurezas, principalmente compostos de enxofre, e retirar o odor do biogás. Porém, esse filtro gera alta perda de carga fazendo com que o biogás perca consideravelmente a pressão, por isso, é aconselhável a utilização de pouca água e a verificação da ocorrência de vazamento no próprio filtro. Todo o processo descrito está representado no fluxograma a seguir (Figura 7).

Figura 7 – Fluxograma das etapas de construção do biodigestor de baixo custo: a) e b) abertura do buraco; c) e d) construção da base do tanque de fermentação; e) elevação das paredes do tanque de fermentação; f) reboco dos lados interno e externo do tanque de fermentação; g) Caixa de entrada; h) Instalação do gasômetro e do sobrepeso; i) Instalação do filtro de água e do batente



Fonte: Autor (2018).

3.2 Quantificação da produção e caracterização dos dejetos

Na quantificação da produção dos dejetos (mistura de esterco e urina) considerou-se que o volume de um carrinho de mão é equivalente a, aproximadamente, 50 L. Foram coletados em média 35 carrinhos de dejetos da sala de alimentação, estando essa quantidade em concordância com a quantidade previamente informada pelo proprietário (30-40 carrinhos de mão). Então, o volume equivalente produzido na propriedade a cada 15 dias é de aproximadamente 1.750 L (1,75 m³) de dejetos.

Uma amostra da mistura de dejetos com água na proporção 1:1 foi caracterizada por Batti (2018) para determinação dos teores de sólidos voláteis (SV) e sólidos fixos (cinzas) utilizando o método G do *Standard Methods*. Esse método considera a percentagem de sólidos voláteis (SV) e de sólidos fixos (cinzas) em relação ao de sólidos totais (ST). O método para determinar SV consiste na secagem da amostra para determinar ST. A amostra seca é levada para mufla para queimar à temperatura de 800 °C, sobrando cinzas. O teor de SV é a diferença entre ST e cinzas (tal como indicam as Equações 1 e 2).

Com isso chegou aos valores médios de SV de 58,67% e sólidos fixos (cinzas) de 41,33% (BATTI, 2018). Como já mencionado, o teor de sólidos voláteis de esterco bovino está em torno de 80% a 85% (FILHO, 1981), sendo que essa diferença do resultado obtido comparado ao que apresentou tal autor se deve ao fato de que esse fez seu o estudo com esterco e Batti (2018) utilizou amostra de dejetos que consiste na mistura de dejetos (esterco e urina) e água em proporção aproximada de 1:1 dado que foi coletada na caixa de entrada do biodigestor.

Uma amostra foi coletada na saída do biodigestor no dia 15 para determinação de SV e cinzas para fins de comparação com o material de entrada. No entanto, a análise dessa amostra não pode ser realizada no prazo previsto para a conclusão deste trabalho, mas a análise do efluente do biodigestor deverá ocorrer na continuidade deste trabalho pois é um dado necessários para o cálculo de eficiência do biodigestor.

3.3 Operação do biodigestor

Conforme projeto, o volume do tanque de fermentação construído é de aproximadamente 7 m³, sendo possível alimentar toda a quantidade de dejetos coletada da sala de alimentação (ambiente 4 da Figura 3, página 11), 1.750 L de dejetos. Sendo a coleta dos dejetos realizada de forma manual com o auxílio de um carrinho de mão, tal como previamente descrito, com a instalação do biodigestor os dejetos passaram a ser transportados após cada coleta da sala de alimentação até a caixa de entrada do biodigestor, onde foi realizado o abastecimento do mesmo.

Após a instalação do cano guia foi colocado o gasômetro (Figura 8) e, em seguida, procedeu-se à primeira carga, cuja produção foi descartada. Foram alimentados 1.750 L de dejetos e aplicou-se a proporção 1:1 na mistura de dejetos com água diretamente no ponto de

carga, tal como recomendado por Filho (1981), resultando no volume total de carga de 3.500 L (3,5 m³), sendo esse volume 50% da capacidade nominal do tanque de fermentação.

Figura 8 – Instalação do gasômetro



Fonte: Autor (2018).

Nos primeiros dias observou-se a produção de biogás por meio da elevação do gasômetro mas, após um mês, o gasômetro se mantinha no mesmo nível inicial, assim levantou-se a hipótese de que haveria algum vazamento. O provável motivo para justificar o vazamento foi: conexão do flange com o gasômetro com vedação deficiente para gás.

Para confirmar a ocorrência de vazamento utilizou-se detergente e água na junção do gasômetro e o flange de 60 mm (Figura 9 – **a**), e com isso, formaram-se bolhas, o que confirmou o vazamento, possibilitando a identificação dos pontos mais críticos. As tentativas para solucionar o problema foram, em primeiro momento, utilizar cola tipo Durepox (Figura 9 – **b**) e uma fita asfáltica ao redor de todo o flange (Figura 9 – **c**). Porém, essa solução não resolveu o problema, o vazamento ainda se manteve provavelmente devido à dilatação da caixa de água utilizada como gasômetro quando a mesma tem pressão interna aumentada devido à produção do biogás.

Como uma segunda tentativa, foi utilizada cola Epóxi (Araldite) tanto na união flange e gasômetro, como união cano externo e flange, como demonstrado na Figura 9 – **d**. Essa solução resolveu temporariamente o problema, porém, novamente com a dilatação do gasômetro composto de fibra de vidro, que tem certa maleabilidade, a vedação foi danificada com o incremento da produção de biogás posteriormente ao reparo.

Então, para solucionar o problema foi preciso retirar gasômetro e substituir o flange de 60 mm (Figura 9 – e). Feito isso, foram realizados os mesmos testes e nenhum outro vazamento foi identificado (Figura 9 – f) até a conclusão deste trabalho. As etapas de avaliação da ocorrência de vazamento foram demonstradas no fluxograma a seguir (Figura 9).

Figura 9 – Identificação e reparos do vazamento no gasômetro: a) vazamento identificado; b) aplicação de cola Durepox; c) aplicação de fita asfáltica; d) aplicação de cola Epóxi; e) flange de 60 mm novo; f) Teste negativo para vazamento, após substituição do flange



Fonte: Autor (2018).

Tais reparos implicaram em custos adicionais para a compra de um novo flange de 60 mm, cola para PVC, cola Durepox, Epóxi e fita asfáltica, totalizando um custo extra de R\$ 80,00.

As duas cargas seguintes à previamente descrita (1.750 L) foram cerca de 43% menores, de 20 carrinhos de mão, ou seja, aproximadamente 1.000 L de dejetos mais 1.000 L de água na proporção de 1:1 (totalizando aproximadamente 2.000 L), sendo esse valor 29% da capacidade nominal do tanque de fermentação.

O motivo pelo qual o biodigestor não fora abastecido com 100% dos dejetos produzidos nessas outras duas cargas visto que possui capacidade para o mesmo é o subdimensionamento da caixa de saída, pois não havia onde armazenar o efluente do biodigestor (fertilizante orgânico), que sai do biodigestor à medida que a nova carga entra.

3.4 Caracterização e produção do biogás

Os resultados da análise da composição química do biogás foram apresentados na Tabela 3 (PAIM, 2018).

Tabela 3 – Resultados da análise química do biogás

	Componente	Análise			Média e desvio padrão
		1	2	3	
Tempo 1	NH ₃ (ppmV) a 25°C	45	15	n.d.	30±21,2
	H ₂ S (ppmV) a 25°C	40	40	n.d.	40±0,0
	CO ₂ (%)	16	35	20	23,7±10,0
	CH ₄ (%)	82,5	65	80	75,8±9,5
Tempo 2	NH ₃ (ppmV) a 25°C	175	85	45	101,7±66,6
	H ₂ S (ppmV) a 25°C	40	40	n.d.	40±0,0
	CO ₂ (%)	32,5	15	32,5	26,7±10,1
	CH ₄ (%)	67,5	85	67,5	73,3±10,1
Tempo 3	NH ₃ (ppmV) a 25°C	175	175	175	175±0,0
	H ₂ S (ppmV) a 25°C	40	40	n.d.	40±0,0
	CO ₂ (%)	20	32,5	37,5	30±9,0
	CH ₄ (%)	80	67,5	62,5	70±9,0
Média	NH ₃ (ppmV) a 25°C	131,7	91,7	110,0	111,1±72,5
	H ₂ S (ppmV) a 25°C	40,0	40,0	n.d.	40,0±0,0
	CO ₂ (%)	22,8	27,5	30,0	26,8±3,2
	CH ₄ (%)	76,7	72,5	70,0	73,1±2,9

n.d.: não determinado

Fonte: Paim (2018), adaptado pelo autor.

De acordo com esses resultados, a porcentagem de metano (CH₄) determinada nos três tempos de medição está na faixa de valor indicada pela literatura (50% a 80%). A concentração de H₂S (40±0,0 ppmV) não variou entre os dias 4 (Tempo 1), 9 (Tempo 2) e 15 (Tempo 3).

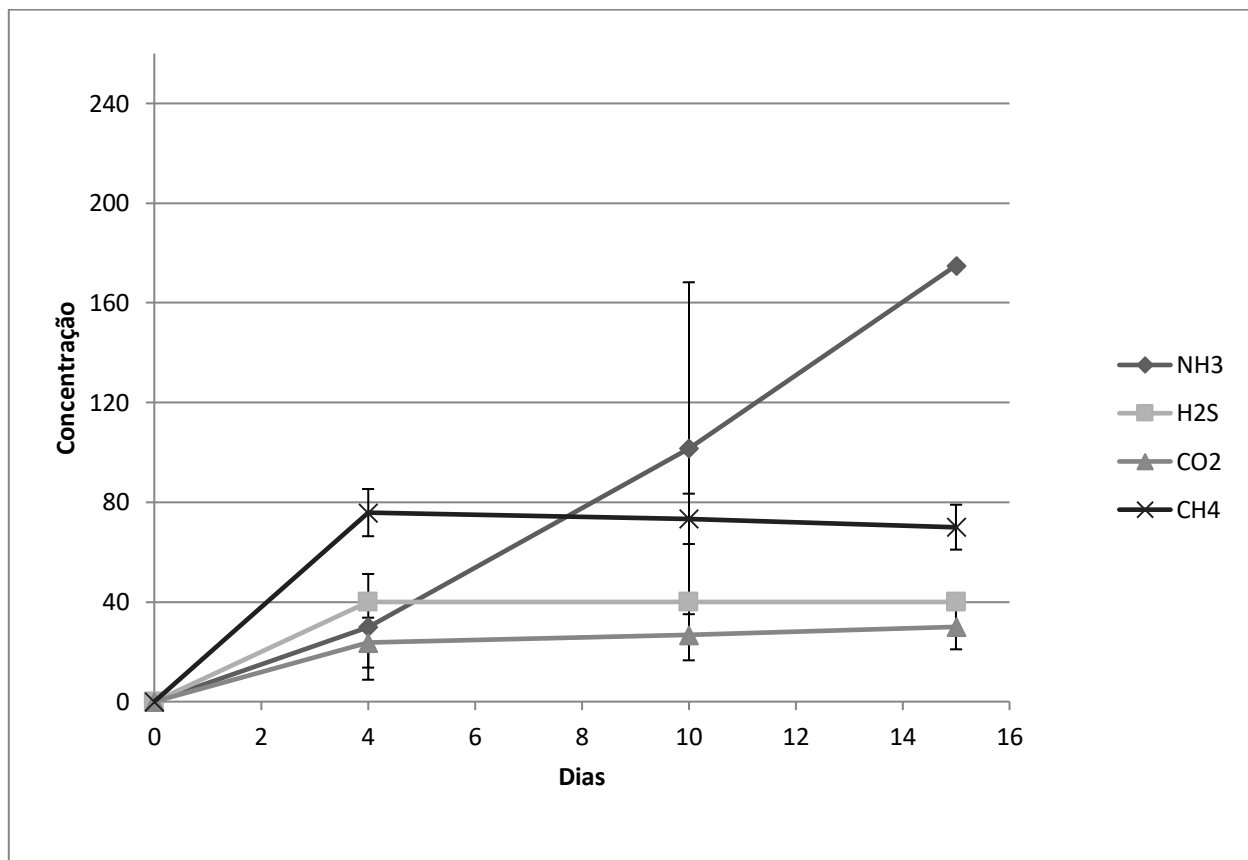
O resultado da análise estatística indicou que não houve diferença significativa da concentração de CH₄ (p=0,77) e de CO₂ (p=0,74) entre o Tempo 1 e o Tempo 3. No entanto, a concentração de amônia variou significativamente nesse período avaliado (p=0,04).

Observa-se nos resultados apresentados na Tabela 3 que a concentração de NH₃ diminui progressivamente da amostra 1 para a 3 nas análises realizadas nos tempos 1 e 2. Em função disso, no Tempo 3 foram coletadas amostras sucessivas, que foram analisadas imediatamente para determinação desse parâmetro, o que resultou na ausência da variação previamente descrita, que supõe-se ser devida ao rápido escape de NH₃ da solução devido ao fato de que à pressão atmosférica sua temperatura de ebulição é de -33,34 °C (LINDE, 2015).

Modificado o método de análise de NH_3 , ou seja, priorizada a análise da amônia, com coleta e imediata determinação de sua concentração antes dos demais componentes, constatou-se a estabilidade das concentrações das três amostras, na faixa de 175 ppmV, valor médio a ser considerado no período avaliado.

O Gráfico 1 ilustra a variação da concentração de cada um dos componentes do biogás analisado no intervalo de tempo de 15 dias.

Gráfico 1 – Resultados da caracterização química do biogás nos tempos 1, 2 e 3: NH_3 (ppmV a 25°C), H_2S (ppmV a 25°C), CO_2 (%) e CH_4 (%)



Fonte: Autor (2018).

A produção de biogás foi analisada a partir da elevação do gasômetro durante o período de análise avaliado. Ao término de cada análise da composição do biogás, nos diferentes tempos (1, 2 e 3), o gasômetro foi esvaziado a fim de se verificar a elevação do gasômetro no período subsequente, tal como ilustrado na Figura 10.

Figura 10 – Verificação da elevação do gasômetro



Fonte: Autor (2018).

A elevação registrada foi de 114 cm no Tempo 1, 103 cm no Tempo 2 e 101 cm no Tempo 3. As medidas internas do gasômetro são: 1,70 m de altura, 1,70 m diâmetro superior e 1,30 m diâmetro inferior, totalizando no volume de 3 m³. Utilizando-se a equação do volume do tronco de cone (Equação 5).

$$V = \frac{\pi h(R^2 + Rr + r^2)}{3} \quad (5)$$

E somando as alturas encontradas em cada análise com o valor de 0,55 m que representa a diferença entre a altura do fundo do gasômetro e o nível dos dejetos alimentados, têm-se os valores de altura nos tempos 1, 2 e 3, sendo 1,69 m, 1,58 m e 1,56 m, respectivamente. Com isso, utilizando-se a Equação 5 chegou-se ao volume de biogás produzido nos tempos 1, 2 e 3 de aproximadamente 3,0 m³, 2,8 m³ e 2,8 m³, respectivamente, totalizando volume de biogás de aproximadamente 8,6 m³ no período de 15 dias ao utilizar-se apenas 29% da capacidade nominal de processamento do biodigestor. No entanto, a produção de dejetos da propriedade é de 1.750 L (1,75 m³) a cada 15 dias. Se todo esse volume for processado, utilizar-se-á 50% da capacidade nominal de processamento do biodigestor e a produção de biogás será de 14,85 m³ em 15 dias. Entretanto, ressalta-se que há possibilidade de aumentar ainda mais o volume de biomassa processado no biodigestor estudado dado que seu volume é de 7 m³, havendo ainda potencial para incrementar a produção de biogás.

Comparando os valores de volume de biogás obtidos com os resultados da análise representados na Tabela 3, verificou-se que não houve variação do volume de biogás produzido entre o tempo 1 e o tempo 3. Conclui-se, a partir disso, que o processo de biodigestão não se completou em 15 dias nas condições aplicadas, sendo possível e mesmo necessário aumentar o tempo de retenção hidráulica (TRH) a fim de aumentar o grau de conversão de substrato em biogás e, conseqüentemente, o volume de biogás produzido e a qualidade do fertilizante orgânico.

Tal como previamente destacado, a avariação do biodigestor ocorreu durante a primavera, com temperatura ambiente média de 20 °C segundo dados do INMET (2018). Sabendo-se que a temperatura é um dos principais fatores que afetam o processo de biodigestão, faz-se necessário, na continuidade deste trabalho, avaliar o desempenho do biodigestor nas outras estações do ano, especialmente em menores temperaturas, a fim de se avaliar o efeito de sua variação sobre a produção de biogás e também sobre sua composição.

3.5 Descarga do fertilizante orgânico

Após a produção do biogás, a biomassa fermentada deixa o biodigestor sob a forma líquida, rica em material orgânico (húmus). Esse produto, se aplicado ao solo, tem potencial para melhorar sua qualidade física, química e biológica.

À medida que o biodigestor é abastecido com dejetos pela caixa de entrada ocorre conseqüentemente a saída da biomassa fermentada que estava contida no biodigestor (fertilizante orgânico) pela caixa de saída representada na Figura 1, a qual se encontra em um nível mais baixo do que o da caixa de entrada. O fertilizante orgânico consiste em forma bastante líquida devido à mistura de dejetos e água no abastecimento, sendo assim possível seu bombeamento para fertilizar alguma plantação.

Como já mencionado anteriormente, a caixa de saída deve ser dimensionada de acordo com a o volume e frequência de utilização do fertilizante orgânico. Considerando-se as dimensões do biodigestor implantando, a produção nominal de fertilizante orgânico é aproximadamente equivalente à carga máxima passível de processamento, 7.000 L. Se houver necessidade de armazenar tal volume, um reservatório adequado deverá ser projetado, a exemplo de um biodigestor de mesmo modelo instalado no município de São João do Sul/SC, que utilizou o mesmo projeto de referência utilizado neste trabalho. Nesse caso o agricultor utiliza o fertilizante orgânico uma vez ao mês para irrigação do pasto, e a caixa de saída de tal biodigestor foi substituída por um tanque a céu aberto com dimensões de 5x9x1,5 m (67,5 m³), servindo assim de reservatório temporário de fertilizante orgânico. No entanto é importante avaliar o grau de conversão alcançado no TRH praticado pois poderá haver continuidade da fermentação nesse

tanque aberto, o que incorreria em emissões de CH₄ à atmosfera (indesejável ambiental e tecnicamente pois seria perda de biogás).

4 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo geral e resultado a implantação um biodigestor de baixo custo para processar dejetos de gado leiteiro em uma propriedade rural para a produção de biogás, visando à substituição parcial do gás liquefeito de petróleo (GLP) no processo de fabricação de queijo realizado no local. Para isso, foi selecionado o modelo e um projeto de biodigestor a ser instalado, o mesmo foi construído, colocado em operação e seu desempenho analisado.

A realização deste trabalho possibilitou a obtenção de conhecimento aprofundado sobre os temas abordados, relacionados ao processo de biodigestão, além de habilidades práticas de pesquisa, implantação e operacionalização de tal bioprocessos.

A implementação do biodigestor descrito na propriedade rural em estudo possibilitou melhor gerenciamento dos resíduos orgânicos da atividade leiteira, que antes eram dispostos em esterqueira a céu aberto, sem manejo adequado e com potenciais impactos ambientais negativos associados, tais como contaminação de águas subterrâneas e emissão de gases de efeito estufa.

A caracterização do biogás produzido indicou concentração média de CH₄ de 73,1%±2,9% (v/v), valor esse que indica bom valor energético desse biocombustível e que biodigestores de baixo custo, se implantados em unidades rurais com criação de bovinos leiteiros, tem potencial para suprir biocombustível a substituir parcial ou totalmente o GLP em operações de cocção domésticas ou agroindustriais, consistindo em oportunidade para reduzir custos e impactos ambientais negativos gerados pela utilização de um combustível fóssil (GLP), contribuindo assim para o fomento ao uso de tecnologias de baixo custo pela população para geração de energia renovável. Entretanto, a presença de H₂S (40±0,0 ppmV) e de NH₃ (175±0,0 ppmV) na composição do biogás sugere a necessidade, na continuidade deste trabalho, de se avaliar o seu efeito na aplicação pretendida bem como a necessidade de se aplicar tratamento ao biogás para redução da concentração desses componentes.

Dado que não houve variação do volume de biogás produzido no intervalo de tempo avaliado, nem da concentração de CH₄, conclui-se que o processo de biodigestão não se completou em 15 dias nas condições aplicadas, sendo possível e mesmo necessário aumentar o tempo de retenção hidráulica (TRH) a fim de aumentar o grau de conversão de substrato em biogás e, conseqüentemente, a qualidade do fertilizante orgânico e o volume de biogás produzido, que neste trabalho foi de apenas 8,6 m³ utilizando-se apenas 29% da capacidade nominal de processamento do biodigestor.

Espera-se que esse projeto seja um incentivo para os atuais e futuros estudantes da UFSC prosseguirem no estudo dos temas abordados, tendo o biodigestor implantado como uma ferramenta para estudo visando ao incremento da eficiência do processo de biodigestão, complementação do sistema, tratamento do biogás e avaliação de sua aplicação.

5 AGRADECIMENTOS

Aos estudantes da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) dos cursos de Engenharia de Energia, Engenharia da Computação e Tecnologia da Informação e Comunicação que fazem parte da Associação Técnica Sem Fronteiras Brasil (TsF), Grupo Regional Araranguá, aos proprietários da propriedade rural objeto de estudo e ao demais colaboradores deste trabalho: Sr. Francesco Ferreri, Luciano Pereira, Luiz Fernando Godoy e Maria Guth.

Por fim o agradecimento à Associação Técnica sem Fronteiras por ter financiado a maior parte do projeto e à Pró Reitoria de Extensão (Proex) da UFSC pelo aporte na forma de bolsa de extensão.

6 REFERÊNCIAS

ABDESHAHIAN, P. et al. Potential of biogas production from farm animal waste in Malaysia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 60, p. 714–723, 2016.

ANP. Resolução nº 8, de 30 de janeiro de 2015. **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**, n. 2540, p. 55–61, 2000.

Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Atlas de energia elétrica do Brasil** / Agência Nacional de Energia Elétrica. – Brasília : ANEEL, 2002. 153 p. : il.

BATTI, J. C. B. **Digestão anaeróbia de esterco de vaca leiteira: um estudo do uso de cinzas de casca de arroz para aumentar a produção de biogás**. TCC (Graduação). Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Araranguá, SC, Brasil. 2018.

BIASI, C. A. F. Energias renováveis na área rural da região sul do Brasil / Carlos Antônio Ferraro Biasi... [et al.]. – Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2018. 202 p. : il.

Brasil. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás. **Conceitos para o licenciamento ambiental de usinas de biogás** / Probiogás ; organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ) ; autores, Felipe Correa de Souza Pereira Gomes ... [et al.]. – Brasília, DF : Ministério das Cidades, 2016. 147 p. : il. – (Desenvolvimento do mercado de biogás; 3)

CAMPOS, A. T. DE. **Análise da viabilidade da reciclagem de dejetos de bovinos com tratamento biológico, em sistema intensivo de produção de leite**. 1997. 161p. Tese de Doutorado - Departamento de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, São

Paulo,1997

CORTEZ, L. A. B. et al. **Biomassa para energia**. Campinas - SP. Editora Unicamp, 2008. 733p.

DEGANUTTI, R. et al. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4, 2002, Campinas. Disponível em:<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000100031&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 07 out. 2018.

DIACONIA. **12 Passos Para Construir Um Biodigestor**. Fundo Socioambiental CAIXA. ed. Recife: 2013.

DOTTO, R. B.; WOLFF, D. B. Biodigestão e produção de biogás utilizando dejetos bovinos. **Disciplinarum Scientia. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas**, v. 13, n. 1, p. 13–26, 2012.

EMBRAPA. **Indicadores, tendências e oportunidades para quem vive no setor leiteiro**. Anuário Leiteiro. ed. Embrapa Gado Leiteiro. 2018.

FALCÃO, M. M.; GUSMÃO, C. DE C. **Produção de biogás em diferentes sistemas de criação de suínos em Santa Catarina**. Florianópolis: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 2008. p. 170.

FILHO, J. A. C.. **BIOGÁS INDEPENDÊNCIA ENERGÉTICA DO PANTANAL MATO-GROSSENSE**. Corumbá, 1981. 53p. ilustr. (EMBRAPA. UEPAE de Corumbá. Circular Técnica, 9).

GOLDEMBERG, J.; PALETTA, F. C. Energia renováveis. In: **Energias renováveis**. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 2012. p. 3

HAGOS, K. et al. Anaerobic co-digestion process for biogas production: Progress, challenges and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 76, n. March 2016, p. 1485–1496, 2017.

HENN, A. **Avaliação de dois sistemas de manejo de dejetos em uma pequena propriedade produtora de suínos – condição de partida**. 157p, Dissertação, Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia: Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática**. 2018. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

JÚNIOR, C. B. et al. Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais. **Cícerot**. Agroenergia da biomassa residual, v. 2, p. 138, 2009.

JUNQUEIRA, Sérgio Luís Coelho Diniz. **Geração de energia através de biogás proveniente de esterco bovino: estudo de caso na fazenda aterrado**. 2014. 55 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

LINDE. Folha de produto: amoníaco. Lisboa. 2015. 2 p. Disponível em: < http://www.linde-gas.pt/en/images/Amoniaco_102015_tcm303-41535.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2018.

NESHAT, S. A. et al. Anaerobic co-digestion of animal manures and lignocellulosic residues as a potent approach for sustainable biogas production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 79, n. July 2016, p. 308– 322, 2016.

NISHIMURA, R. **Análise de balanço energético de sistema de produção de biogás em granja de suínos: implementação de aplicativo computacional**. 84p. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2009.

OLIVEIRA, P. A. V. DE. Manual de manejo e utilização dos dejetos suínos. **Documentos / Embrapa**, n. 27, p. 188, 1993.

PAIM, J.V. **Aplicação do biogás produzido a partir de dejetos de gado leiteiro como fonte alternativa de energia em uma queijaria**. TCC (Graduação). Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Araranguá, SC, Brasil. 2018.

SANTOS, E. L. B.; JUNIOR, G. DE N. Produção de Biogás a Partir de Dejetos de Origem Animal. **Tekhne e Logos**, v. 4, p. 90, 2013.

SGANZERLA, E. **Biodigestores: uma solução**. Porto Alegre: Agropecuária, 1983. 86p.

Tolmasquim, Mauricio Tiomno. **Energia Termelétrica: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear** / Mauricio Tiomno, Tolmasquim (coord). – EPE: Rio de Janeiro, 2016. 417 p.

ANEXO 1 – PROJETO TÉCNICO UTILIZADO PARA CONSTRUÇÃO DO BIODIGESTOR

CAMARA DE GAS

CX. DE DESCARGA

CX. DE CARGA

CORTES - AA

CORTES - BB

FACHADAS

CX. DE DESCARGA

CX. DE CARGA

DETALHE DO SISTEMA DE TUBULAÇÃO DO GAS

PLANTA

DETALHE DO GARRAFAO

DETALHE DA TUBIA

DETALHE DA CAIXA E CAMARA

QUADRO MATERIAL

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE
01	Concreto	Seco	9
02	Argamassa 1:3	M ³	5
03	Argamassa 1:2 gesso	M ³	1
04	Argamassa 1:8 gesso	M ³	1
05	Revestimento	M ²	81
06	Revestimento	M ²	52
07	Revestimento	M ²	100
08	Revestimento	M ²	100
09	Revestimento	M ²	1

QUADRO DE REQUIS

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE
01	Zinco 0,40 mm	kg	8
02	Concreto 1500 mm	M ³	5
03	Concreto 1500 mm	M ³	3
04	Concreto 1500 mm	M ³	3
05	Concreto 1500 mm	M ³	1.5000
06	Concreto 1500 mm	M ³	1
07	Concreto 1500 mm	M ³	1
08	Concreto 1500 mm	M ³	24
09	Concreto 1500 mm	M ³	6
10	Concreto 1500 mm	M ³	1
11	Concreto 1500 mm	M ³	6
12	Concreto 1500 mm	M ³	2
13	Concreto 1500 mm	M ³	1
14	Concreto 1500 mm	M ³	8
15	Concreto 1500 mm	M ³	1
16	Concreto 1500 mm	M ³	1
17	Concreto 1500 mm	M ³	2
18	Concreto 1500 mm	M ³	5
19	Concreto 1500 mm	M ³	5
20	Concreto 1500 mm	M ³	3
21	Concreto 1500 mm	M ³	6
22	Concreto 1500 mm	M ³	1
23	Concreto 1500 mm	M ³	2
24	Concreto 1500 mm	M ³	7
25	Concreto 1500 mm	M ³	4
26	Concreto 1500 mm	M ³	4

PROJETO DE ARQUITETURA

PROJETO PARA CONSTRUÇÃO DE UMA BIODIGESTOR A SER UTILIZADO NAS EDIFICAÇÕES DA ZONA RURAL

PROJETO ARQUITETÔNICO 01/01

ANEXO 2 – MATERIAIS UTILIZADOS PARA CONSTRUÇÃO DO BIODIGESTOR

Item	Material	Unidade	Quantidade	Valor unitário	Valor total
1	Caixa de água 3000 L	Unidade	1	R\$ 1.300,00	R\$ 1.300,00
2	Cimento 50 kg	Unidade	8	R\$ 25,00	R\$ 200,00
3	Tijolo	Unidade	300	R\$ 0,60	R\$ 180,00
4	Barrotes	Unidade	7	R\$ 22,50	R\$ 157,50
5	Ferro 6 mm	Unidade	6	R\$ 21,90	R\$ 131,40
6	Areia	Metros	3	R\$ 24,00	R\$ 72,00
7	Ferro	Unidade	10	R\$ 6,60	R\$ 66,00
8	Veda reboco	Unidade	3	R\$ 15,40	R\$ 46,20
9	Tubo PVC 40 mm	Unidade	1	R\$ 41,00	R\$ 41,00
10	Cano soldável 60 mm	Metros	4	R\$ 9,98	R\$ 39,92
11	Tubo PVC 60 mm	Metros	3	R\$ 10,40	R\$ 31,20
12	Serrote amador	Unidade	1	R\$ 29,90	R\$ 29,90
13	Cola epóxi	Unidade	1	R\$ 20,39	R\$ 20,39
14	Luvas multitalto	Unidade	4	R\$ 5,00	R\$ 20,00
15	Tábuas	Unidade	2	R\$ 10,00	R\$ 20,00
16	Torques	Unidade	1	R\$ 15,90	R\$ 15,90
17	Espigão fixo macho rosa	Unidade	4	R\$ 10,50	R\$ 42,00
18	Adaptador	Unidade	1	R\$ 13,96	R\$ 13,96
19	Broxa para pintura	Unidade	2	R\$ 6,00	R\$ 12,00
20	Mangueira de gás	Metros	3	R\$ 3,50	R\$ 10,50
21	Linha	Unidade	1	R\$ 11,50	R\$ 11,50
22	Óculos de proteção	Unidade	2	R\$ 3,50	R\$ 7,00
23	Luva de plástico	Unidade	1	R\$ 6,75	R\$ 6,75
24	Desempenadeira	Unidade	1	R\$ 6,50	R\$ 6,50
25	Broca de aço 6 mm	Unidade	1	R\$ 5,60	R\$ 5,60
26	Registro esfera 20 mm	Unidade	3	R\$ 5,40	R\$ 16,20
27	Serra	Unidade	1	R\$ 4,60	R\$ 4,60
28	Luva algodão	Unidade	1	R\$ 4,00	R\$ 4,00
29	Luva látex	Unidade	1	R\$ 3,10	R\$ 3,10
30	Abraçadeira	Unidade	2	R\$ 1,25	R\$ 2,50
31	Cano soldável 20 mm	Metros	12	R\$ 2,20	R\$ 26,40
32	Luva soldável 20 mm	Unidade	2	R\$ 0,70	R\$ 1,40
33	Adaptador misto	Unidade	1	R\$ 1,29	R\$ 1,29
34	Adaptador soldável	Metros	1	R\$ 1,00	R\$ 1,00
35	Joelho soldável 90°	Unidade	1	R\$ 0,70	R\$ 0,70
36	Joelho soldável 45°	Unidade	1	R\$ 0,60	R\$ 0,60
37	Flange 60 mm	Unidade	1	R\$ 20,00	R\$ 40,00
38	Flange 20 mm	Unidade	1	R\$ 9,50	R\$ 9,50
39	Cap soldável 60 mm	Unidade	2	R\$ 8,50	R\$ 17,00
				Total	R\$ 2.615,51