

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS UTILIZANDO RESÍDUOS DE
PISCICULTURA INTENSIVA COM SISTEMA DE
RECIRCULAÇÃO DA ÁGUA**

VICTOR PELISSON MARTINS

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2016**

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS UTILIZANDO RESÍDUOS DE
PISCICULTURA INTENSIVA COM SISTEMA DE
RECIRCULAÇÃO DA ÁGUA**

VICTOR PELISSON MARTINS

Orientador: Prof. Dr. RODRIGO APARECIDO JORDAN

Coorientador: Prof. Dr. ALEXSANDRO CLAUDIO DOS SANTOS ALMEIDA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal da
Grande Dourados, como parte das
exigências para conclusão do curso de
Engenharia Agrícola

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

M386p Martins, Victor Pelisson

PRODUÇÃO DE BIOGÁS UTILIZANDO RESÍDUOS DE
PISCICULTURA INTENSIVA COM SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO DA
ÁGUA / Victor Pelisson Martins -- Dourados: UFGD, 2016.

31f. : il. ; 30 cm.

Orientador: RODRIGO APARECIDO JORDAN

Co-orientador: ALEXSANDRO CLAUDIO DOS SANTOS ALMEIDA

TCC (graduação em Engenharia Agrícola) -Faculdade de Ciências Agrárias,
Universidade Federal da Grande Dourados.

Inclui bibliografia

1. Dejetos. 2. Aquaponia. 3. Biodigestão. 4. Energia renovável. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS UTILIZANDO RESÍDUOS DE
PISCICULTURA INTENSIVA COM SISTEMA DE
RECIRCULAÇÃO DA ÁGUA**

Por

VICTOR PELISSON MARTINS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para
obtenção do título de ENGENHEIRO AGRÍCOLA

Aprovado em: ___/___/_____

Prof. Dr. Rodrigo Aparecido Jordan
Orientador – UFGD/FCA

Prof. Dr. Alexsandro Claudio dos Santos Almeida
Coorientador – UFGD/FCA

Prof. Dra. Ana Carolina Amorim Orrico
Membro da Banca – UFGD/FCA

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por me abençoar e guiar meus passos durante esta caminhada.

A UFGD, por oferecer o curso de Engenharia Agrícola e por servir de alicerce para a minha formação.

Aos meus pais José Edineu Martins, Marlene Aparecida Pelisson Martins e irmão Daniel Pelisson Martins, que sempre estiveram ao meu lado perante as dificuldades desta caminhada, obrigado pelo amor, carinho, compreensão, paciência e pelo incansável apoio e suporte para que esse sonho se realizasse. A minha namorada Larissa Capoana Pagnoncelli, por ter enfrentado comigo as dificuldades e as alegrias que me deparei durante essa trajetória, sendo companheira, paciente, amorosa e acima de tudo, por me incentivar a jamais desistir dos meus objetivos. A todos os meus familiares que me apoiaram durante a graduação.

Ao orientador Prof. Dr. Rodrigo Aparecido Jordan e coorientador Prof. Dr. Aleksandro Claudio dos Santos Almeida pelos ensinamentos transmitidos, conselhos e confiança depositada em mim, obrigado pela grande dedicação na condução desse trabalho.

A todos os professores do curso de Engenharia Agrícola, que transmitiram seus conhecimentos e experiências, servindo como base para que eu me torne um bom profissional.

A todos os amigos adquiridos na graduação, Dhiego, Murilo, Higor, João Marcos, Guilherme, Lineu, Renato, Mauricio, Elton, Lucas, Luiz, Marcelo e Maria pelos momentos de alegria, conversas, companheirismo e apoio.

Obrigado!

SUMÁRIO

1. RESUMO	7
3. REVISÃO DE LITERATURA	9
3.1. PISCICULTURA	9
3.2. AQUAPONIA	10
3.3. BIOGÁS	11
4. MATERIAL E MÉTODOS	12
4.1. Descrição da instalação e funcionamento do sistema de aquaponia.	13
4.2. Descrição da instalação e funcionamento do biodigestor.	16
4.3. Procedimento de coleta dos dejetos dos tanques e avaliações realizadas. ...	18
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5.1. Produção de dejetos no sistema de piscicultura intensiva com recirculação de água.	21
5.2. Produção de biogás nos biodigestores.....	22
6. CONCLUSÃO.....	27
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

MARTINS, V. P. **PRODUÇÃO DE BIOGÁS UTILIZANDO RESÍDUOS DE PISCICULTURA INTENSIVA COM SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO DA ÁGUA**. 2016. 31p. Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

1. RESUMO

Na aquaponia, associa-se a criação de peixes com a produção de hortaliças em sistemas hidropônicos, sendo que a água circula constantemente entre os dois sistemas, contendo a carga de nutrientes dos resíduos, aproveitada pelas plantas. Entretanto, a parte resultante da descarga de fundo da água dos tanques de criação apresenta alta carga de matéria orgânica, e pode ser aproveitada para a produção de biogás. Assim nessa pesquisa foi avaliada a produção de biogás da digestão anaeróbia utilizando a descarga de fundo oriundos do sistema de aquaponia. No sistema de aquaponia estudado associou-se a criação intensiva de peixes, espécie Tilápia Gift (*Oreochromis niloticus*), com a produção de Alface em sistema de hidroponia. Para a instalação do experimento foram utilizados galões de 50 litros como biodigestores do tipo batelada e tubos de PVC como gasômetros. A descarga foi coletada diariamente por um período de 112 dias, e os dejetos utilizados foram obtidos por meio da decantação. A agitação foi feita em dois biodigestores. Foram utilizados termômetros digitais de máxima e mínima para o monitoramento da temperatura dos biodigestores e do ambiente. A quantificação da produção de biogás foi feita durante os 35 dias. Os resultados mostraram um potencial produtivo médio de $12,19 \text{ cm}^3 \text{ dia}^{-1}$ por litro de dejetos no biodigestor sem agitação e, de $7,7 \text{ cm}^3 \text{ dia}^{-1}$ por litro de dejetos no biodigestor com agitação. A produção de biogás utilizando dejetos de aquaponia é viável tecnicamente, com produção similar a de dejetos oriundos de outras atividades de produção.

PALAVRAS CHAVE: Dejetos, aquaponia, biodigestão, energia renovável.

2. INTRODUÇÃO

A demanda crescente de alimentos e a limitada disponibilidade de recursos naturais requerem que as atividades de produção de alimentos sejam realizadas de forma intensiva, sustentável, utilizando menos recursos e poluindo menos. Um dos setores produtivos que sofrem maior pressão para aumentar a produção e a produtividade nas atividades é a agropecuária, no intuito de atender a crescente demanda de alimentos. Nos últimos 50 anos a produção mundial de alimentos triplicou de acordo com a FAO (2013), devido as melhorias nos processos de produção, através da adoção de tecnologias e técnicas mais modernas e mais sustentáveis.

Mesmo com o conhecimento atual e a sofisticação de algumas tecnologias, os processos de produção não possuem eficiência absoluta, implicando na geração de algum tipo de resíduo. Devido ao poder poluente de muitos desses resíduos, a legislação ambiental impõe que os mesmos devem ter um destino adequado para minimizar possíveis prejuízos ambientais. Com isso, tem-se buscado desenvolver e incentivar a adoção de tecnologias que utilizem fontes renováveis de insumos na produção, reciclagem e reaproveitamento de resíduos (COLDEBELLA, 2006).

As atividades agropecuárias utilizam uma grande quantidade de insumos renováveis e não renováveis, gerando grande quantidade de resíduos. A maior parte delas são utilizados nos processos seguintes de forma sustentável (ex., como fertilizantes). Da mesma forma, na aquaponia associa-se a criação de peixes com a produção de hortaliças em sistemas hidropônicos, com o uso dos resíduos gerados pelos peixes para o enriquecimento da água utilizada para a produção vegetal. Entretanto, a parte sólida dos resíduos, a qual apresenta elevada carga de matéria orgânica, é eliminada na chamada descarga de fundo dos tanques de criação.

A biodigestão seria uma forma sustentável de tratar a descarga de fundo, produzindo biogás e biofertilizante (ARTHUR et al., 2011). A geração de biogás é uma alternativa sustentável, considerando os benefícios em termos ambientais e econômicos, visto que, o acesso à fonte de energia é a chave para o desenvolvimento da atividade rural e, muitos produtores em regiões inóspitas não possuem esse acesso (BANERJEE et al., 2012). A produção de biogás é comumente realizada com dejetos provenientes da bovinocultura, suinocultura e avicultura, além de outros materiais

orgânicos, tornando-se um processo interessante por aliar o tratamento de resíduos a produção de energia renovável (FARIAS et al., 2012).

O acentuado crescimento da aquicultura nos últimos anos tornou essa atividade um importante ramo do agronegócio na escala mundial (ALVARADO, 2003). Apesar do cultivo de peixe ser totalmente dependente da utilização de água isenta de poluentes, de acordo com BASTIAN (1991). A combinação entre elevadas densidades de estocagem de peixes e altas taxas de alimentação deterioram a qualidade da água dos viveiros de cultivo, produzindo um ambiente rico em nutrientes e sólidos suspensos, compostos principalmente por fitoplâncton, restos de ração e matéria fecal, aumentando assim a demanda química de oxigênio (DQO) (Ghateet al., 1997).

Os resíduos oriundos da piscicultura são compostos pelas fezes dos peixes, urina e restos de alimentação. Devido ao seu aspecto aparente, quando comparada a outros tipos de criações, como avicultura e suinocultura, a piscicultura se mostra como uma atividade relativamente limpa, no entanto, é grande geradora de resíduos. E, no contexto atual de sustentabilidade e processos de produção menos degradantes, o resíduo gerado pela atividade deve ser objetivo de estudos e pesquisas.

Assim, o trabalho teve como objetivo quantificar a geração de dejetos da criação de tilápias em sistema intensivo com recirculação da água, e avaliar o uso desse resíduo em processo de biodigestão para produção de biogás.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. PISCICULTURA

A piscicultura é a criação de peixes intensiva, ou seja, a introdução em ambientes fechados, permitindo à alimentação de forma balanceada e controlada durante todas as suas fases de crescimento.

O acentuado crescimento da aquicultura tornou essa atividade de cultivo um importante ramo do agronegócio na escala mundial (ALVARADO, 2003). Em 2013 o Brasil teve uma produção de peixes em cativeiro de 969.370,60 T, sendo o Centro-Oeste responsável por 118.200,2 T e o estado de Mato Grosso do Sul, por 15.664,20 T (Ministério da Pesca e Aquicultura, 2013). Os peixes mais cultivados foram a

tilápia, respondendo por 43,1% da produção nacional de peixes, seguida pelo tambaqui 22,6%.

Apesar do cultivo de peixe ser totalmente dependente da utilização de água isenta de poluentes, de acordo com BASTIAN (1991), a piscicultura é uma atividade causadora de potencial de degradação ambiental. A combinação entre elevadas densidades de estocagem de peixes e altas taxas de alimentação deterioram a qualidade da água dos viveiros de cultivo, produzindo um ambiente rico em nutrientes e sólidos suspensos, compostos principalmente por fitoplâncton, restos de ração e matéria fecal, aumentando assim a demanda química de oxigênio (GHATE et al., 1997).

Atualmente, a piscicultura tradicional vem sofrendo adaptações para se adequar as necessidades de otimização do uso de recursos e diminuição do impacto ambiental, através da redução dos resíduos gerados, conciliando outras atividades com a criação de peixes, como é o caso da aquaponia, que traz um novo conceito a piscicultura e a produção vegetal, unindo as duas atividades, tornando-as mais sustentáveis e rentáveis ao produtor.

3.2. AQUAPONIA

A aquaponia é o sistema de produção de organismos aquáticos em cativeiro integrado com a hidroponia, de forma que haja benefícios para ambos (RAKOCY et al., 2004). É uma atividade que vem de encontro com a tendência mundial, atual, de preservação do meio ambiente e conservação de recursos hídricos, além de promover a redução do uso de insumos, por meio do reuso da água no sistema produtivo.

É um sistema fechado e complexo, formando um ecossistema artificial que envolve três componentes biológicos: peixes, bactérias e plantas. Por envolver duas biomassas diferentes, os peixes, e as plantas, torna-se necessário um controle eficaz, que permita o crescimento e desenvolvimento de ambas (TESTOLIN, 2009). Nesse sistema de produção, os resíduos dissolvidos na água são aproveitados pelas plantas.

A aquaponia, apesar de pouco conhecida e praticada no Brasil, exhibe um grande potencial, seja pelo aumento do número de pesqueiros comerciais, pelo alto custo dos fertilizantes industrializados solúveis utilizados em hidroponia ou, pela tendência da cobrança da água utilizada na atividade agrícola, o que leva a uma

necessidade de buscar novas técnicas de produção de alimentos que racionalizem o uso da água.

Além do biogás, o processo de biodigestão gera o biofertilizante, que é obtido através da metabolização da matéria orgânica dentro do biodigestor. Podendo ser empregado como fertilizante orgânico. Essa garantia de qualidade é dada em especial pela redução do teor de gás carbônico (CO₂), que resulta na concentração dos nutrientes benéficos para as plantas, alguns nutrientes deste tipo de fertilizante ficam mais solúveis e são absorvidos pelo solo de forma mais integral (ROYA et al., 2011). BARRERA (2003) comenta que o pH médio do biofertilizante é de 7,5, ou seja, levemente alcalino, fator que pode reduzir a acidez do solo e ajudar no aumento da produtividade. O biofertilizante tem grande poder de fixação, pois mantém os sais minerais em formas aproveitáveis pelas plantas, evitando que esses sais se tornem muito solúveis e que sejam levados pelas águas (Manual de Biodigestão).

O biofertilizante pode ser utilizado dentro do sistema aquapônico para aumentar a produção vegetal com o seu potencial nutritivo e, ao mesmo tempo, terminar o tratamento da água residuária, permitindo a sua reutilização no sistema de criação de peixes.

3.3. BIOGÁS

O biogás é um produto gerado a partir da decomposição anaeróbia (sem presença de oxigênio) de resíduos orgânicos. Sua composição é basicamente de metano e gás carbônico, em porcentagens que varia de acordo com o substrato a ser biodigerido, bem como o tipo de biodigestor a ser utilizado.

O processo de biodigestão anaeróbia consiste na degradação das estruturas orgânicas pelas bactérias anaeróbias, assim formando compostos simples, como: metano, dióxido de carbono, água e outros (ALMEIDA, 2010). A digestão anaeróbia, realizada em um biodigestor, além de reduzir a carga orgânica e gerar o biofertilizante, produz também o biogás, que é uma mistura combustível constituída basicamente por metano e gás carbônico.

O biogás é formado a partir da fermentação anaeróbia de dejetos de animais e qualquer tipo de resíduo orgânico, podendo ser industrial ou residencial. O principal gás produzido nessa digestão é o metano. Há também outros gases, com um

percentual menor, mas que interferem na qualidade do biogás produzido (COELHO, 2006).

O biogás é um gás inflamável, com uma composição média de: 50% a 65% de CH₄, 25% a 45% de CO₂, além de traços de N₂S, N₂, H₂, CO, O. O seu poder calorífico é cerca de 23 MJ m⁻³, quando a proporção em metano é aproximadamente de 60% (IANNICELLI, 2008).

O biogás pode ser utilizado como combustível alternativo em motores de combustão interna, acoplados a geradores de energia elétrica instalados em áreas rurais (SOUZA et al., 2002).

O tratamento de dejetos animais através da digestão anaeróbia, apresenta vantagens do ponto de vista ambiental e de exploração. Uma dessas vantagens é o aproveitamento do biogás gerado durante o processo. Esse biogás pode ser queimado para obtenção de calor ou transformado em energia elétrica, evitando assim a emissão de gases de efeito estufa, como o metano e o dióxido de carbono, para atmosfera.

A utilização do biogás diretamente dos biodigestores (sem purificação) para o acionamento de bombas hidráulicas e geradores de energia, pode ser uma vantagem como aproveitamento energético. Contudo, a queima do biogás *in natura*, em razão da presença do CO₂, libera menos calor por unidade de massa ou volume quando comparado a outros gases combustíveis, como o gás liquefeito de petróleo (GLP) e o gás natural, o que deve ser considerado no dimensionamento dos equipamentos ou redimensionamento dos já existentes. O poder calorífico do GLP, em média, é da ordem de 46 MJ kg⁻¹ e o do gás natural de 43,5 MJ kg⁻¹, contra 19,5 MJ kg⁻¹ do biogás (SOUZA et al., 2010).

MACHADO et al. (2013) realizaram trabalho com biodigestão de dejetos de criação intensiva de tilápias, e obtiveram uma produção de biogás de 18,34 cm³ por litro de dejetos, concluindo que é viável a produção de biogás proveniente da piscicultura quando em criação intensiva em alta escala.

O trabalho realizado com biodigestão de dejetos de peixes por MACHADO et al. (2013), demonstra a potencialidade da produção de biogás com esse tipo de resíduo, necessitando de mais estudos para aperfeiçoamento da técnica.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Descrição da instalação e funcionamento do sistema de aquaponia.

O experimento foi conduzido no Laboratório de Eletrificação Rural da Faculdade de Ciências Agrárias (FCA) da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), localizada em Dourados, Mato Grosso do Sul, situado a 22° 11' 45" de latitude sul e 54° 55' 18" de longitude norte.

Para a realização da pesquisa foi desenvolvido um sistema de aquaponia (Figura 2), em que tanques destinados à criação de peixes e foram interligados por conexões hidráulicas à um sistema hidropônico, com circulação forçada, composto de filtros, tubos e conexões hidráulicas. O sistema hidropônico era composto por oito canaletas de cultivo, de 120 mm de largura e 3 m de comprimento, com capacidade de cultivar 12 mudas de alface por canaleta, totalizando 96 plantas no sistema. As canaletas foram instaladas com um pequeno declive para a circulação da água por gravidade.

Para o sistema de criação intensiva de peixes foram utilizadas duas caixas d'água de fibra do tipo auto limpante como tanque de criação (capacidade individual de 1000 L e de fundo interno cônico).

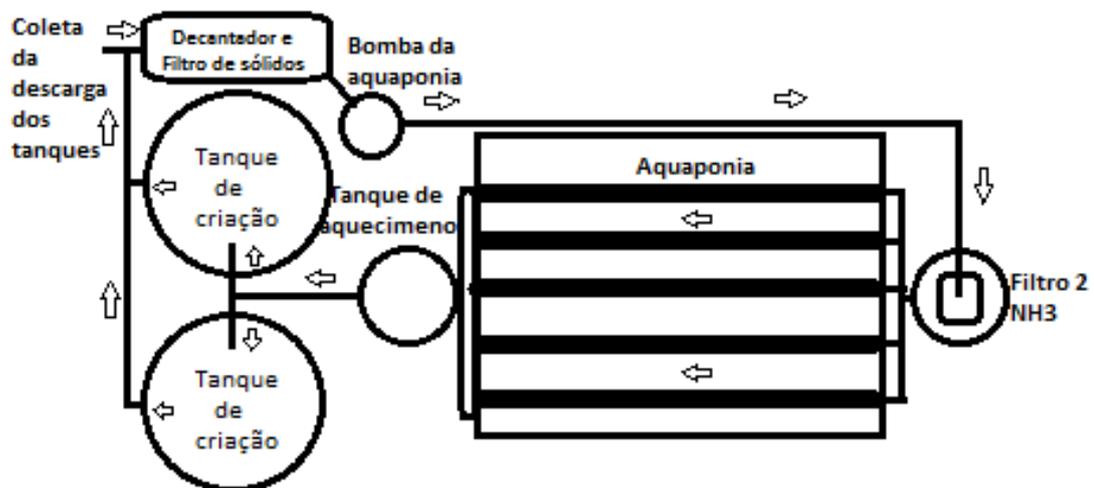


Figura 2: Esquema de funcionamento do sistema de criação intensiva com recirculação.

Para o sistema de decantação de sólidos foi utilizada uma caixa retangular construída em fibra com quatro divisões (Figura 3). Para a filtragem foi desenvolvido

um filtro biológico (Figura 4), utilizando uma caixa d'água de fibra de vidro, de 500 litros, onde foram utilizados recheios plásticos tipo grade (normalmente utilizados como recheios em torres de resfriamento) como elemento de fixação para as bactérias nitrificantes, com a função de aumentar a área de contato da água com as bactérias (Figura 5). Esse filtro foi instalado em posição mais elevada do que o sistema hidropônico de forma que a água filtrada passasse para as canaletas por gravidade. A água do sistema foi mantida entre 22 °C e 24 °C, por meio de um sistema de aquecimento montado no tanque de reaquecimento, o qual utilizava resistências elétricas.

A água recirculava passando pelos tanques de criação dos peixes, decantadores e filtros, sistema hidropônico e tanque de aquecimento. A água dos tanques de criação circulava por gravidade até o decantador. Após a decantação, a água seguia para o tanque de bombeamento, onde era bombeada até o filtro biológico (localizado em posição mais elevada). Após a filtragem, a água seguia, por gravidade, através das canaletas de cultivo hidropônico, e depois até o tanque de reaquecimento. A partir daí, a água retornava para os tanques de criação (Figura 6).



Figura 3. Decantador e filtro de sólidos.



Figura 4. Filtro biológico.



Figura 5. Enchimento plástico tipo grade utilizado no filtro biológico, como elemento filtrante.



Figura 6. Vista geral do sistema de criação intensiva com recirculação montado em laboratório.

Não foram cultivadas plantas nessa pesquisa, pois o experimento foi instalado em área coberta (dentro do laboratório), sem incidência de raios solares. Nesse caso, o sistema hidropônico serviu para recirculação da água visando à filtragem e oxigenação da mesma. Posteriormente, as canaletas hidropônicas seriam utilizadas para cultivo vegetal, quando o sistema fosse transferido para uma casa de vegetação.

A espécie utilizada nos tanques de criação de peixes foi a Tilápia Gift (*Oreochromis niloticus*), oriunda de uma criação convencional em tanque escavado. Os peixes foram introduzidos no sistema com peso médio de 142 g. Foram alojados 102 peixes em cada tanque de criação, resultando numa densidade de 102 peixes por m³ de água.

4.2. Descrição da instalação e funcionamento do biodigestor.

Os biodigestores foram construídos com galões plásticos de 50 litros (Figura 7). Os gasômetros foram construídos com tubos de PVC cor branca, de 75 e 100mm de diâmetro. O tubo de 75mm (cúpula) foi inserido dentro do tubo de 100mm, o qual foi preenchido com água até a borda para selar e evitar vazamento de gás. No tubo de 75 mm, marcou-se uma escala graduada em centímetros para a quantificação do

gás produzido. Válvulas, instaladas nas tampas dos galões, permitiam a saída do biogás. Uma mangueira cristal, de 10 mm de diâmetro, conectada as válvulas no biodigestor transportava os gases até os gasômetros. Para o sistema de agitação foi utilizada uma mini bomba de 35 W. A sucção era feita no meio do biodigestor e a descarga se dava no fundo, provocando a mistura do material, evitando a sedimentação no fundo. A saída do biogás era feita pela parte superior.

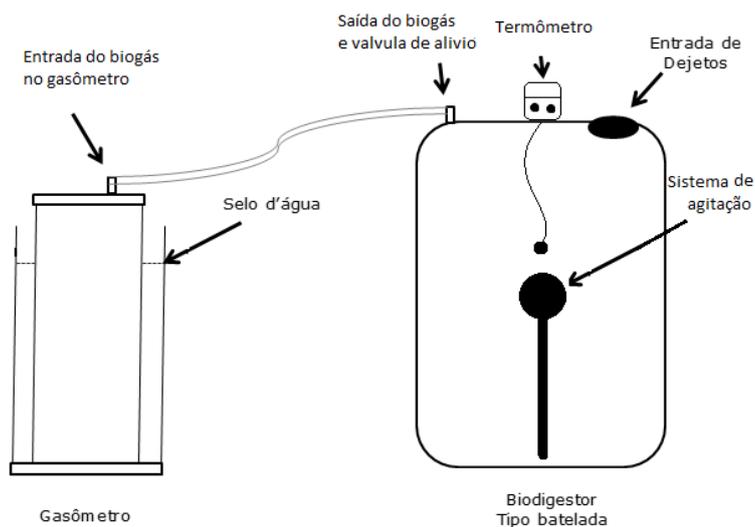


Figura 7. Biodigestor e gasômetro.

Utilizaram quatro biodigestores (Figura 8), os quais foram abastecidos em duplas, pois para se obter 90 litros de dejetos decantados era necessário aguardar por aproximadamente 30 dias, e então se montava os biodigestores, sendo um com e o outro sem o sistema de agitação, onde cada um recebeu 45 litros de dejetos e 2 litros de inóculo que foi composto por dejetos já produzindo biogás, totalizando 47 litros de carga.

Os biodigestores foram instalados em uma casa de vegetação, onde as temperaturas são maiores do que a do ambiente, pois o plástico da casa atua como uma barreira e causa um “efeito estufa” aumentando a temperatura.

Nos biodigestores I e III foram utilizados sistema de agitação com acionamento durante 25% do tempo (15 minutos em agitação e repouso de 45 minutos). O acionamento da bomba de agitação foi automatizado por meio de um controlador horário. Os biodigestores II e IV não possuíam sistema de agitação, com o material permanecendo em repouso durante todo o período de retenção. Nos biodigestores III e IV (Figura 9) foram instalados termômetros digitais de máxima e mínima com

sondas, os quais permitiram monitorar tanto a temperatura interna, quanto externa a esses biodigestores.



Figura 8. Biodigestores e gasômetros montados no experimento.



Figura 9. Termômetro de máxima e mínima instalado em biodigestor.

4.3. Procedimento de coleta dos dejetos dos tanques e avaliações realizadas.

Os dejetos recolhidos para a produção do biogás foram coletados através da limpeza do fundo dos tanques e do decantador, chamada de descarga de fundo. As

coletas se davam por meio da abertura dos registros instalados na base dos reservatórios (Figuras 3 e 6), realizadas duas vezes ao dia (início da manhã e fim de tarde). No decantador, era uma vez por semana, durante a sua limpeza.

Os dejetos recolhidos na descarga de fundo eram transferidos para um recipiente, caixa plástica retangular (Figura 10), onde determinava-se o volume gerado. Uma amostra desse material era colhida para determinação da fração decantável, a qual era utilizada nos biodigestores. Esse procedimento foi realizado com uma proveta de 1000 ml, graduada de 10 em 10 ml (Figura 11). A proveta era preenchida com o material homogeneizado até a marcação de 1000 ml, após a decantação, realizava-se a medida do material decantado, determinando-se a porcentagem pela relação volume decantado/volume total.

Para ocorrer a decantação, o material da caixa permanecia em repouso por um período de 3 horas. Em seguida, separava-se a água residuária que ficava na parte superior da parte inferior (sólidos decantados). A água residuária era destinada a outro experimento, com aquaponia. A fração decantada, era então estocada em um tambor plástico. Esse procedimento foi realizado diariamente. O uso nos testes se dava quando o volume estocado atingia 90 litros, o que era suficiente para encher dois biodigestores.



Figura 10. Caixa plástica utilizada para determinação do volume da descarga de fundo.



Figura 11. Proveta utilizada para determinação da fração decantável da descarga de fundo.

A quantificação da produção de biogás era feita pela manhã. O volume de biogás que tinha sido acumulado durante 24 horas era anotado e o gasômetro era esvaziado por meio de uma válvula logo após a saída do biodigestor.

Para calcular o volume de gás produzido em cm^3 , utilizou-se a Equação 1:

$$V = (\pi * r^2 * h) \quad (1)$$

Em que:

V = volume da cúpula do gasômetro (cm^3)

r = raio da cúpula do gasômetro (cm)

h = altura de elevação da cúpula do gasômetro (cm)

A produção de biogás foi corrigida com o uso de um programa para 20 °C e 1 atm.

As coletas de temperatura ocorriam no momento da leitura da produção de biogás. Onde, eram anotadas: a temperatura externa (ambiente), interna no biodigestor (com a sonda). A máxima interna e externa, mínima interna e externa ocorridas durante 24 horas. A utilização deste tipo de termômetro possibilitou conhecer os picos de temperatura do experimento.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Produção de dejetos no sistema de piscicultura intensiva com recirculação de água.

Durante o período de avaliação, com duração de 112 dias, que correspondeu ao início da criação (alojamento dos peixes) até a despesca, o consumo total de ração foi de 63876 g (Tabela 1), resultando em uma média de consumo de 313,12 g por peixe.

Tabela 1. Consumo de ração pelos peixes durante o ciclo de 112 dias.

Peixes	CTR ¹ (g)	CMRD ² (g)	CMRD/P ³ (g)
204	63876	303,12	1,535

⁽¹⁾Consumo Total de Ração. ⁽²⁾Consumo Médio de Ração Diário. ⁽³⁾Consumo Médio de Ração Diário por Peixe.

As descargas de fundo somaram um volume total de 6221,52 L (Tabela 2), uma média diária de 55,55 L dia⁻¹, equivalente a 1,6% do volume total de água do sistema de criação intensivo, que era de 3510 L. A fração média decantável das descargas de fundo foi de 4,25%, resultando em um volume de 264,41 L de material para biodigestão, uma média diária de 2,361 L dia⁻¹, aproximadamente 12,89 ml por peixe.

Tabela 2. Volume das descargas no sistema durante o período de 112 dias de avaliação.

VTD ¹ (L)	VMDD ² (L)	VMDD/P ³ (L)	%MDD ⁴	VTDD ⁵ (L)	VMDDD ⁶ (L)	VMDDD/P ⁷ (L)
6221,52	55,55	0,273	4,25	264,41	2,631	0,012

⁽¹⁾Volume Total da Descarga; ⁽²⁾Volume Médio da Descarga Diária; ⁽³⁾Volume Médio da Descarga Diária por Peixe; ⁽⁴⁾Porcentagem Média de Dejeito Decantado; ⁽⁵⁾Volume Total de Dejeito Decantado; ⁽⁶⁾Volume Médio de Dejeito Decantado Diariamente; ⁽⁷⁾Volume Médio de Dejeito Decantado Diariamente por Peixe.

Relacionando os dados das Tabelas 1 e 2, para o período total de criação (112 dias) verificou-se uma relação de 4,145 L de dejeito decantado por quilograma de

ração consumida. Esse tipo de dejetos apresentou em torno de $2,98 \text{ g L}^{-1}$ de sólidos totais em pesquisa utilizando o mesmo sistema de criação de peixes, a mesma espécie de peixe e tipo de decantação (MACHADO et al., 2013).

Com relação ao número de peixes, observou-se uma relação de 1,296 L de dejetos por animal. Esse dado é importante, pois é um parâmetro para projeto de biodigestores para uso em sistemas de criação intensiva de peixes com recirculação.

5.2. Produção de biogás nos biodigestores.

No experimento foi utilizado um TRH de 35 dias, pois em pesquisa avaliando o TRH na produção de biogás utilizando dejetos de suíno, observou-se que o maior aproveitamento ocorreu com 36 dias de TRH, quando se alcançou 96% do potencial de produção de metano (ORRICO JUNIOR et al., 2009).

É comum a recomendação do emprego da agitação da biomassa no processo de digestão e, conseqüentemente, na produção de biogás, propiciando maior disponibilidade da fração orgânica para o ataque microbiano, mantendo a temperatura uniforme no substrato. (SILVA, 1983; LUCAS JÚNIOR et al., 1987). Entretanto, nesse trabalho os biodigestores com sistema de agitação produziram menos biogás. A maior produção foi obtida no biodigestor II (sem agitação) com média de $697,04 \text{ cm}^3 \text{ dia}^{-1}$, correspondendo a $14,83 \text{ cm}^3$ por litro de dejetos (Tabela 3). Em segundo foi o biodigestor IV (sem agitação), com uma média diária de $429,84 \text{ cm}^3 \text{ dia}^{-1}$, que corresponde a $9,14 \text{ cm}^3$ por litro de dejetos. A menor produção foi observada no III (com agitação) com média $293,67 \text{ cm}^3 \text{ dia}^{-1}$, correspondente a $6,25 \text{ cm}^3$ por litro de dejetos. Nesse último biodigestor ocorreram vazamentos no período de avaliação que podem ter alterado os resultados, assim como a pré fermentação dos dejetos e a falta de uniformidade nas cargas.

O fato da produção não responder bem a agitação também foi encontrado por SOUZA et al., (2005), em que a aplicação da agitação não causou diferença significativa na produção acumulada de biogás, e atribuiu o efeito negativo da agitação ao excesso na rotação da bomba. Outros autores, como ORTOLANI et al., (1991), também fizeram referência ao efeito negativo da agitação em excesso nos dejetos. Assim o fato da agitação causar um efeito negativo pode ser atribuído

também ao excesso de agitação, o que exige mais estudos para definir o tempo de funcionamento, a rotação e o tamanho da bomba a empregar.

Tabela 3. Produção do biogás com e sem agitação.

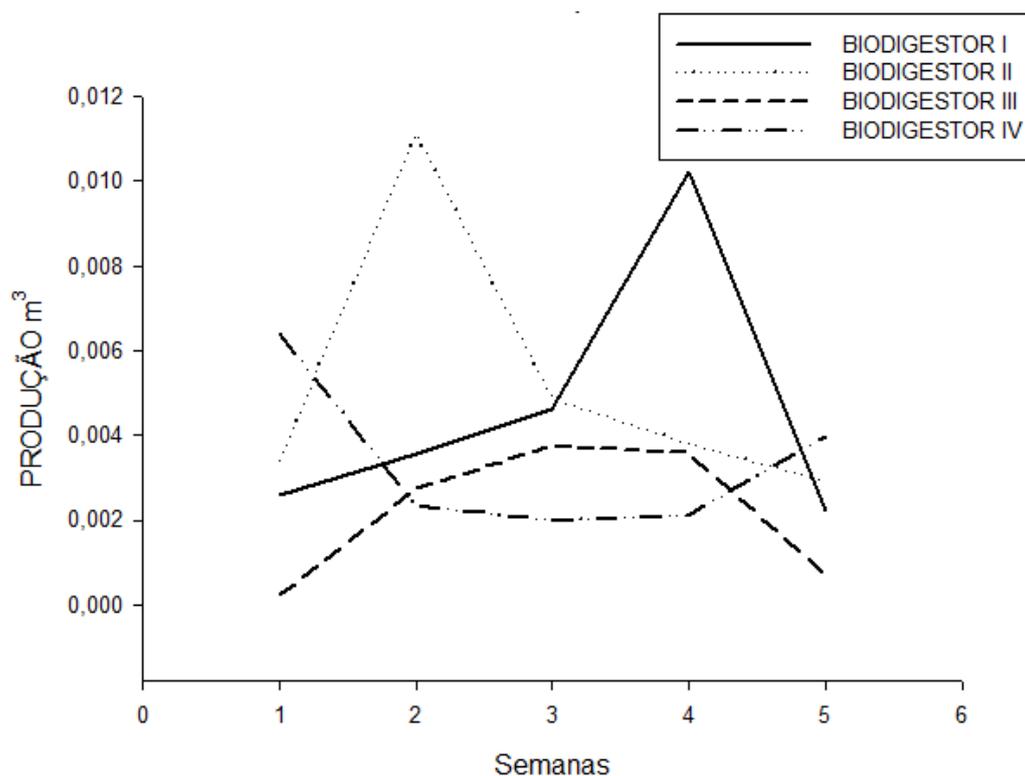
Semana	Primeiro		Segundo	
	abastecimento (cm ³)		abastecimento (cm ³)	
	I ¹	II ²	III ¹	IV ²
1	2577,80	3178,56	206,40	5985,61
2	3343,68	10402,57	2559,36	2187,84
3	4334,40	4540,80	3508,80	1857,60
4	2724,48	3550,08	3343,68	1981,44
5	2064,00	2724,48	660,48	3715,20
Total	15044,37	24396,50	10278,73	15727,70
Média semanal	3008,87	4879,30	2055,75	3145,54
Média diária	429,84	697,04	293,67	449,36

⁽¹⁾: Com agitação; ⁽²⁾: Sem agitação.

A produtividade média de biogás diária foi de 9,95 cm³ por litro de dejetos de peixe introduzido nos biodigestores (dejetos decantados), sendo um valor abaixo do encontrado por MACHADO et al., (2013) que foi de 18,34 cm³ por litro de dejetos, podendo ser um dos motivos o vazamento do biogás que ocorreu em alguns biodigestores, e o fato do material estar estocado a pelo menos 30 dias.

Baseado nos dados de produção de biogás do experimento, com a quantidade de dejetos decantados produzidos nos tanques o sistema é capaz de produzir uma média de 3,24 L dia⁻¹ de biogás.

Figura 12: Produção de biogás no decorrer das semanas



A produção de biogás apresentou uma relação com as temperaturas médias semanais medidas dentro dos biodigestores. As maiores produções de biogás nos biodigestores monitorados foram observadas nas semanas de maiores temperaturas. As maiores produções de biogás no biodigestor IV (Tabela 3), foram observadas durante as semanas 1 e 5, na qual a temperatura média foi de 30,65 e 33,50°C, respectivamente (Tabela 4). A menor temperatura média registrada, foi de 27,5°C, no biodigestor IV, conseqüentemente, culminou com a menor produção semanal de biogás registrada nesse biodigestor.

MASSÉ et al., (2001) observaram o efeito da temperatura sobre a concentração de metano no biogás produzido, sendo que a 20°C para 30°C, a concentração aumentou quase 5%.

Tabela 4: Temperatura média semanal interna no biodigestor.

Biodigestor	III Com agitação(°C)			IV Sem agitação(°C)		
	TMáxI ¹	TMínI ²	TM ³	TMáxI ¹	TMínI ²	TM ³
1	36,70	24,80	30,75	36,50	24,80	30,65
2	33,50	25,90	29,70	33,70	25,50	29,60

3	30,30	24,90	27,60	30,80	24,20	27,50
4	36,90	25,70	31,30	37,00	25,10	31,05
5	37,00	26,90	31,95	39,10	27,90	33,50

⁽¹⁾Temperatura Máxima Interna; ⁽²⁾Temperatura Mínima Interna; ⁽³⁾Temperatura Média.

A temperatura ideal para operação interna no biodigestor e para acelerar a biodigestão é de 35°C, de acordo com MIRANDA et al., (2006), que avaliaram a produção sob diferentes temperaturas na biodigestão.

A temperatura máxima interna média semanal nos biodigestores permaneceu entre 30,3°C e 39,1°C. Mas, com os resultados obtidos da produção média semanal nos biodigestores, e a temperatura média semanal (Figura 13), é possível observar que a semana que mais produziu foi a semana 1, com a temperatura média de 30,7°C, seguida da semana 3, com 27,55°C, constatando que a temperatura influencia diretamente nos dejetos de tilápia, e quanto mais próxima da temperatura proposta por MIRANDA et al., (2006) que trabalhou com dejetos de suínos e bovinos e concluiu que quanto mais próximas de 35°C ocorre maior produção de biogás. A semana que menos produziu foi a 5, com a temperatura média de 32,73°C, a baixa produção pode ser atribuída por ser a última semana, pois o potencial de biodigestão do dejetos diminui com o TRH (ORRICO, 2009).

O ciclo da produção nos biodigestores III e IV (Figura 12) se comportou de maneira diferente. Pois, enquanto no biodigestor III a produção iniciou baixa na primeira semana, foi crescendo até a terceira e, então começou a cair, sendo mais condizente com a curva de produção proposta em modelos. No biodigestor IV a produção iniciou alta na primeira semana e então começou a cair até a terceira para depois retomar a sua produção, assim com 15 dias já tinha ocorrido 51% da produção total de biogás observado durante todos os 35 dias. Percentual similar foi observado por SOUZA & CAMPOS (2007), os quais, ao abastecerem biodigestores contínuos com dejetos de suínos, observando que, quando o TRH foi de 15 dias, havia ocorrido 50% da capacidade total de produção do biogás, já no sistema III os primeiros 15 dias a produção foi de apenas 27%, no entanto na terceira semana foi o ápice de sua produção e o declínio no IV, um dos fatores que pode ter influenciado nesse evento é o fato da terceira semana ser a semana com a menor média de temperatura e tendo o menor intervalo entre a temperatura máxima e mínima interna.

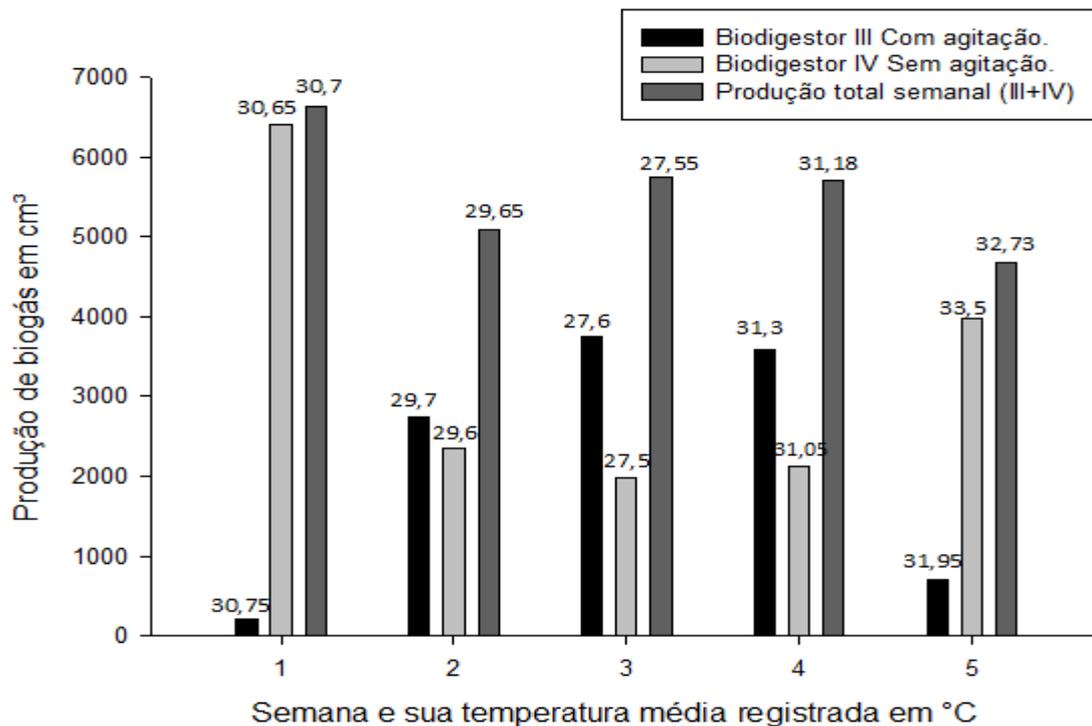


Figura 13. Produção de biogás em relação à temperatura média semanal.

Os valores registrados no termômetro de máxima e mínima durante as 5 semanas, mostraram que a variação média semanal da temperatura interna nos biodigestores (Figura 14) foi de 10,65°C. Uma variação relativamente baixa quando comparada a média de variação semanal da temperatura externa, que foi de 27,75°C. Em um processo anaeróbico, o mais importante é manter uma temperatura constante dentro do biodigestor, principalmente, pelo fato das bactérias metanogênicas serem mais sensíveis a variações bruscas de temperatura, onde variações de 3°C já são consideráveis (BARRERA, 2003).

MACHADO et al., (2013) atribuíram a variação na produção de biogás, a variação da temperatura (24,4 a 30,5°C) dentro da casa de vegetação onde os biodigestores estavam instalados. Neste trabalho, a temperatura interna se manteve dentro de um intervalo (com máxima interna de 39,1°C e a mínima de 24,2°C) considerado adequado para, as bactérias predominantes, mesofílicas, que atuam no processo de digestão anaeróbia e que requerem temperatura ideal para o seu desenvolvimento entre 20 e 45°C (BARBOSA, 2011).

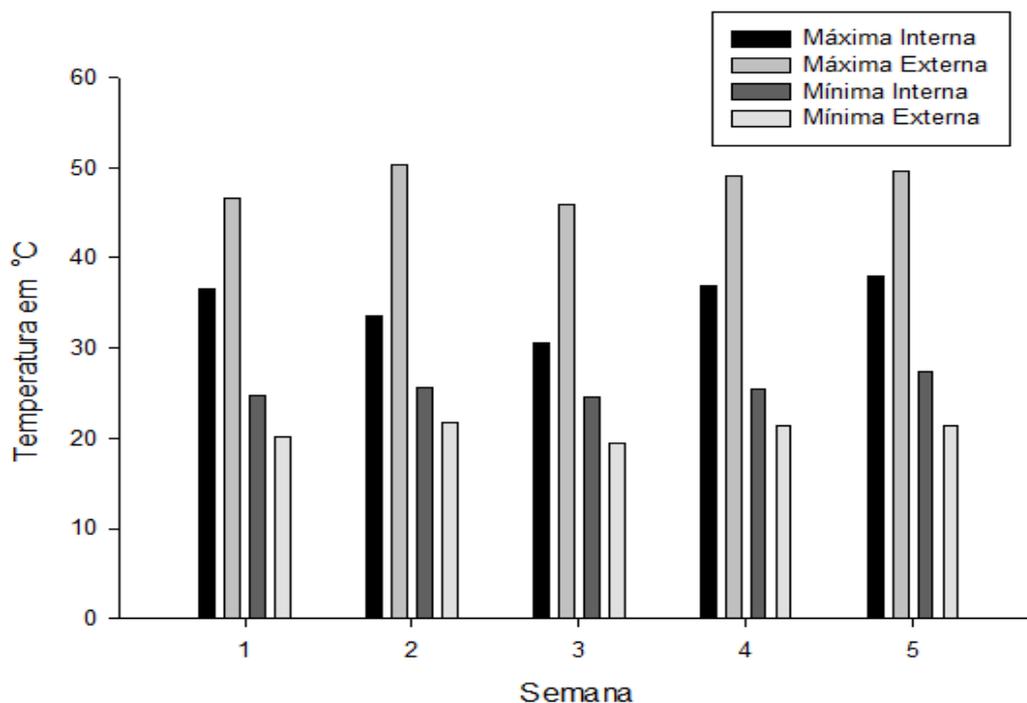


Figura 14. Temperatura media semanal, máxima e mínima, interna e externa no biodigestor.

6. CONCLUSÃO

O volume de dejetos decantados do sistema de criação intensiva de peixes com recirculação é baixo, portanto o processo de separação da água residuária do dejetos deve ser muito bem conduzido para obter sucesso na biodigestão.

A temperatura interna nos biodigestores e sua variação influenciou diretamente na produção de biogás com dejetos de tilápia.

A agitação dos dejetos não se mostrou eficaz. No entanto, foram poucas repetições para se afirmar com segurança.

A biodigestão de dejetos de tilápia em sistema intensivo com recirculação é viável, tendo em vista a possibilidade de se coletar o dejetos com relativa facilidade.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. Banco de geração de Informações. 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=15>>. Acesso em: 07 Mar. 2016.

ALMEIDA, C. Produção de biogás com dejetos suínos e silagem de milho, Foz do Iguaçu, 2010.

ALVARADO, C.E.G. Sobrevivência e aspectos econômicos do treinamento alimentar de juvenis de pintado, *Pseudoplatystomacorruscans*(Agassiz, 1829), em laboratório. 2003. 66p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2003.

ARTHUR, R.; BAIDOO, M.F.; ANTWI, E. Biogas as a potential renewable energy source: A Ghanaian case study. *Renewable Energy*, v. 36, p. 1510-1516, 2011.

BANERJEE, A.; TIERNEY, M. J.; THORPE, R.N. Thermoconomics, cost benefit analysis, and a novel way of dealing with revenue generating dissipative units applied to candidate decentralised energy systems for Indian rural villages. *Energy*. v. 43, p. 477-488, 2012.

BARBOSA G.; LANGER M. Uso de biodigestores em propriedades rurais: Uma alternativa à sustentabilidade ambiental. *Unoesc & Ciência – ACSA*, Joaçaba, v. 2, n. 1, p. 87-96, jan./jun. 2011.

BARRERA, P. Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para zona rural. São Paulo: Ícone, 2003. 106 p.

BASTIAN, R.E.P.A. Prefers effluents to be recycled. *Water farming J.*, v. 28, 1991.p.7-10.

COELHO, S. T.; Velázquez, S. M. S. G.; Silva, O.C.; Abreu, F. C. Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto

utilizando um grupo gerador de 18kw. V Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 2006, Brasília – DF.

COLDEBELLA, A.; Souza, S. N. M.; Souza, J., Koheler, A. C. – Viabilidade da Cogeração de Energia Elétrica com Biogás da Bovinocultura de Leite, 2006.

EMBRAPA. O clima da região de Dourados. Fietz, Gilberto Fernando Fisch. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008.

FAO. Anuário de estatísticas., 2013. Disponível em: <<https://www.fao.org.br/AEFAOoadpaa.asp>>. Acesso em 07 mar. 2016.

FARIAS, R. M. Biodigestão anaeróbia de dejetos de poedeiras coletados após diferentes períodos de acúmulo. Ciência Rural [online], vol.42, n.6, p. 1089-1094, 2012.

GHATE, S.R.; BURTLE, G.; VELLIDIS, G. et al. Effectiveness of grass strips to filter catfish (*Ictalurus punctatus*) pond effluent. AquacultureEngineering, v.16, 1997. p. 149-159.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. São Paulo, 2007.

IANNICELLI, L. A. Reaproveitamento energético do biogás de uma indústria cervejeira. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) -Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté. Taubaté, 2008.

LUCAS JÚNIOR, J.; GALBIATTI, J.A.; ORTOLANI, A.F. Produção de biogás a partir de estrume de ruminantes e monogástricos com e sem inóculo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 16., 1987, Jundiaí. *Resumos...* Jundiaí: DEA/IA/SBEA, 1987. p.65.

MACHADO, S. T., JORDAN, R. A., SANTOS, R. C., PAOLETTO, A. M.,

REIS, J. G. M., AVALO, H. Geração de Biogás com Dejetos Provenientes da Piscicultura. In: International Workshop Advances in Cleaner Production. São Paulo, 2013.

Manual de Biodigestão. Disponível em: <
http://www.neppa.uneb.br/textos/publicacoes/manuais/manual_biodigestor_winrock.pdf> Acesso em 28 de março, 2016.

Ministério da Pesca e Aquicultura. Coleta dos dados da produção de pesca e aquicultura relativo ao exercício de 2013. Brasília. Distrito Federal. 2014.

MIRANDA, A. P. ; AMARAL, L. A. ; LUCAS JUNIOR, J. Influência da temperatura na biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos e suínos. In: X Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VI Encontro Latino Americano de Pós Graduação, 2006, São José dos Campos. Anais do Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VI Encontro Latino Americano de Pós Graduação. São José dos Campos: UNIVAP, 2006. v. único. p. 2928-2931.

MASSÉ, D.I.; Masse, L. The effect of temperature on slaughterhouse wastewater treatment in anaerobic sequencing batch reactors. *Bioresource Technology*. V.76, p. 91-98, 2001.

ORRICO JUNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JUNIOR, J. .Potencial de produção de biogás remanescente nos efluentes de biodigestores abastecidos com dejetos de suínos, com e sem separação da fração sólida, e conduzidos sob diferentes tempos de retenção hidráulica. *Eng. Agríc.* vol.29 no.4 Jaboticabal 2009.

ORTOLANI, A.F.; BENINCASA, M.; LUCAS JÚNIOR., J. *Biodigestores rurais modelos indiano, chinês e batelada*. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 35 p. (Boletim Técnico).

RAKOCY, J.E.; Shultz, R.C.; Bailey, D.S. & Thoman, E. S. Aquaponic production of tilapia and basil: comparing abatch and staggered cropping system. *Acta Horticulturae*(ISHS), 648:63-9. 2004.

ROYA, B.; FREITAS, E.; BARROS, E.; ANDRADE, F.; PRAGANA, M.; SILVA, D. J. A. Biogás - uma energia limpa. *Revista Eletrônica Novo Enfoque*, ano 2011, v. 13, n. 13, p. 142-149.

SILVA, N.A. Manual de biodigestor: modelo chinês. 2.ed. Brasília: EMATER, 1983. 90 p. (Manual, 26).

SOUZA, C.F.; CAMPOS, J.A. Avaliação do tempo de retenção hidráulica, agitação e temperatura em biodigestores operando com dejetos de suínos. *Revista Brasileira de Agroecologia*, Porto Alegre, v.2, n.1, p.235-241, 2007.

SOUZA, C, F.; Lucas J, J.; Williams P. M. F. Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato - considerações sobre a partida. *Eng.Agríc.* vol.25 no.2 Jaboticabal May/Aug. 2005.

SOUZA, S. N. M; SORDI, A.; OLIVA, C. A. Potencial de energia Primária de Resíduos Vegetais no Paraná. 4º Encontro de Energia no Meio Rural. 2002.

SOUZA, R. G., SILVA, F. M., BASTOS, A. C., Desempenho de um conjunto motogerador adaptado a biogás. *Lavras*, v. 34, n. 1, p. 190-195, jan./fev., 2010.

TESTOLIN, G. Avaliação da alface hidropônica usando água de piscicultura misturada com diferentes porcentagens de soluções nutritivas. 75 p. Piracicaba, 2009.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. Fontes Renováveis de energia no Brasil. Rio de Janeiro, 2003. 93p.