



Tecnologia dos Biodigestores

**Experiências de Pesquisa e Extensão
no Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Pará**

**Nilza Martins de Queiroz Xavier Brasil
Alberto Bentes Brasil Neto
Cícero Paulo Ferreira**

Tecnologia dos Biodigestores

**Experiências de Pesquisa e Extensão
no Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Pará**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas (SIB/IFPA), com os dados fornecidos pelo (a) autor (a)

B823t Brasil, Nilza Martins de Queiroz Xavier
Tecnologia dos biodigestores: experiências de pesquisa e extensão no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (livro eletrônico) / Nilza Martins de Queiroz Xavier Brasil; Alberto Bentes Brasil Neto; Cícero Paulo Ferreira. – 1ª ed. – Campina Grande, PB: Epgraf, 2019.

24p; il. color.
Publicação digital (e-book) no formato epub

ISBN 978-85-60307-45-6

1. Biogás. 2. Biofertilizantes. 3. Desenvolvimento sustentável. I. Brasil Neto, Alberto Bentes. II. Ferreira, Cícero Paulo. III. Título.

CDD: 665.028

Sua reprodução parcial está autorizada desde que cite a fonte.

Editoração, Revisão e Arte da Capa
Paulo Roberto Megna Francisco

Nilza Martins de Queiroz Xavier Brasil

Alberto Bentes Brasil Neto

Cícero Paulo Ferreira

Tecnologia dos Biodigestores

**Experiências de Pesquisa e Extensão
no Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Pará**



Realização



Apoio



Sumário

INTRODUÇÃO.....	6
REFERENCIAL TEÓRICO.....	7
<i>Biodigestores</i>	7
<i>Modelos de Biodigestores</i>	7
Modelo Indiano	7
Modelo Chinês	7
Modelo da Marinha	8
Modelo Caseiro	8
<i>Biomassa</i>	9
<i>Biogás</i>	9
<i>Características do Biogás</i>	10
<i>Parâmetros na produção de Biogás</i>	10
<i>Biofertilizante</i>	11
METODOLOGIA	12
<i>Localização da área de estudo</i>	12
<i>Construção dos Biodigestores</i>	12
Biodigestor Construído no IFPA Campus Castanhal	12
Biodigestor Construído no IFPA Campus Óbidos	13
Abastecimento e operação do Biodigestor.....	15
Materiais utilizados e análise das concentrações do Biogás	15
Análise do Biofertilizante	16
Dia de campo para qualificação de produtores rurais e estudantes do IFPA	17
RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
Análise do Biogás.....	18
Análise do Biofertilizante	20
Processo de qualificação dos agricultores(as) e estudantes com relação a produção do Biogás e do Biofertilizante	21
CONSIDERAÇÕES FINAIS	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24
Curriculum dos Autores	26

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos houve um aumento por tecnologias que forneçam energia com a redução de impactos ambientais, conhecida como “Energia limpa”. Neste contexto, ganham destaques as tecnologias a base de fontes renováveis, principalmente quando promovem benefícios econômicos, ambientais e sociais (SOARES et al., 2018).

Os biodigestores constituem uma ótima maneira de obtenção de energia de forma sustentável, pois apresentam vantagens no que se refere à questão ambiental e econômica. No Brasil, os biodigestores estão ganhando destaque principalmente no meio rural, pois representam uma alternativa para destinação de resíduos agrícolas e dejetos de animais, além da obtenção do biogás e do biofertilizante com baixo custo, os quais possuem diversas utilidades (METZ, 2013).

O biogás tem várias aplicações, que vão desde a substituição do gás de cozinha, podendo até mesmo gerar energia elétrica, constituindo uma alternativa para utilização na agricultura familiar. Segundo Soares et al. (2018), os múltiplos benefícios que a utilização biogás promove, fazem da tecnologia dos biodigestores uma importante alternativa para desenvolvimento rural sustentável.

O biofertilizante é um adubo orgânico capaz de melhorar consideravelmente as características químicas, físicas e biológicas do solo (SOARES FILHO et al., 2015). Neste contexto, os biofertilizantes constituem uma alternativa para substituir os adubos químicos e alavancar a produtividade de diferentes cultivos, em especial no contexto da agricultura familiar na Amazônia.

Desta forma, é possível a obtenção de energia e de uma forma de produção de alimentos mais sustentáveis, promovendo o saneamento rural, prevenindo a poluição e conservando os recursos hídricos. Logo, é necessário que se invista e se aproveite mais o potencial da utilização da tecnologia dos biodigestores, tendo em vista que, o material utilizado no processo de produção do biogás e do biofertilizante, muita das vezes está disponível nas propriedades e frequentemente é desperdiçado, causando impactos ao meio ambiente (ANDRADE et al., 2015).

Neste sentido, este livro tem como objetivo relatar as experiências com a construção de biodigestores de diferentes modelos, com a utilização de diferentes biomassas em áreas experimentais dos Campus Castanhal e Óbidos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – IFPA, bem como do envolvimento de alunos e produtores familiares no processo de construção e difusão da tecnologia dos biodigestores promovidos no âmbito dos projetos de pesquisa e extensão intitulado “Avaliação do biogás e do biofertilizante produzido a partir de diferentes tipos de biomassa por biodigestão anaeróbica”.

REFERENCIAL TEÓRICO

Biodigestores

Biodigestores são tecnologias que normalmente são empregadas com a finalidade de induzir a fermentação da matéria orgânica. Em determinadas ocasiões, podem ser classificados como efluentes, no caso dos dejetos provenientes da criação de porcos, gado, aves, peixes, etc. Para Turdera e Yura (2006), os biodigestores consistem em câmaras fechadas onde são depositadas algum tipo de biomassa, a qual irá ser fermentada anaerobicamente gerando o biogás e o biofertilizante, que podem ser utilizados nos mais variados fins, como por exemplo: o biogás, que pode ser utilizado na geração de energia; e o biofertilizante, que pode ser usado na adubação de diferentes cultivos.

Modelos de Biodigestores

Atualmente, existem diversos tipos de modelos de biodigestores utilizados em propriedades rurais, os quais são adaptados de acordo com as necessidades e especificações do produtor, sendo que, os principais e mais utilizados são:

Modelo Indiano

O biodigestor do tipo Indiano tem como característica o funcionamento do tipo contínuo e possui uma campânula móvel em sua parte superior de material impermeável e rígido, responsável pelo armazenamento do biogás (gasômetro). Este tipo de biodigestor, conforme se pode observar na Figura 1, consiste em uma câmara de digestão, a qual é construída abaixo do nível do solo ou ao nível do solo, podendo ter sua construção em alvenaria, concreto ou aço (OLIVEIRA, 2009).

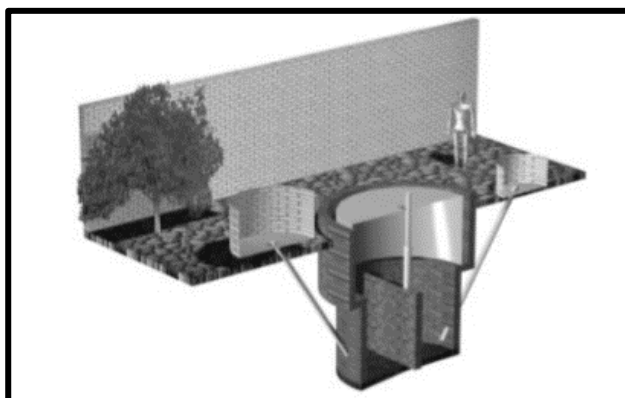


Figura 1. Biodigestor do tipo Indiano. Fonte: Deganutti et al. (2002).

Modelo Chinês

O modelo de Biodigestor do tipo Chinês (Figura 2), tem como característica a ocorrência de uma única câmara cilíndrica utilizada para fermentação, possuindo teto em forma de abóbada no qual o gás ficará retido. Este modelo não ocupa muito espaço e é construído abaixo do nível do solo, podendo ser feito em alvenaria ou concreto, otimizando a utilização de espaço, tendo em vista a possibilidade de utilização do terreno a sua volta. É importante destacar que neste modelo não há presença de gasômetro como no tipo Indiano, o que diminui o custo de implantação, devido ao fato de que, neste tipo de biodigestor, o próprio biofertilizante que é gerado serve como peso, fazendo com que o gás saia sobre pressão (ROMA, 2003).

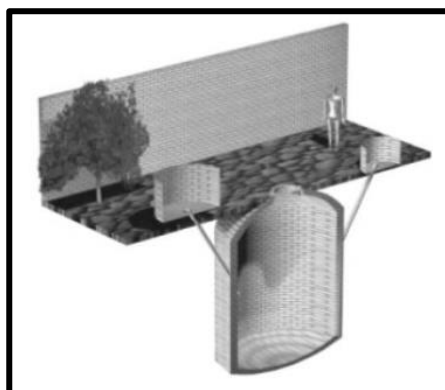


Figura 2. Biodigestor do tipo Chinês. Fonte: Deganutti et al. (2002).

Modelo da Marinha

O biodigestor do tipo Marinha Brasileira foi confeccionado na década de 70 pelo Instituto de Pesquisa da Marinha do Brasil (IPqM). Este tipo de biodigestor, como se pode visualizar na Figura 3, deve ser implantado abaixo do nível do solo visando evitar variações bruscas de temperatura, e tem como características uma base quadrangular, sendo mais raso e longo, com paredes de alvenaria revestidas por lona impermeável e uma cúpula de lona preta também impermeável (OLIVEIRA, 2009). Esta lona é do tipo PVC, que infla de acordo com a produção do Biogás. Este tipo de biodigestor tem como característica a maior produtividade do biogás e necessita de uma área superficial grande (OLIVEIRA, 2009).

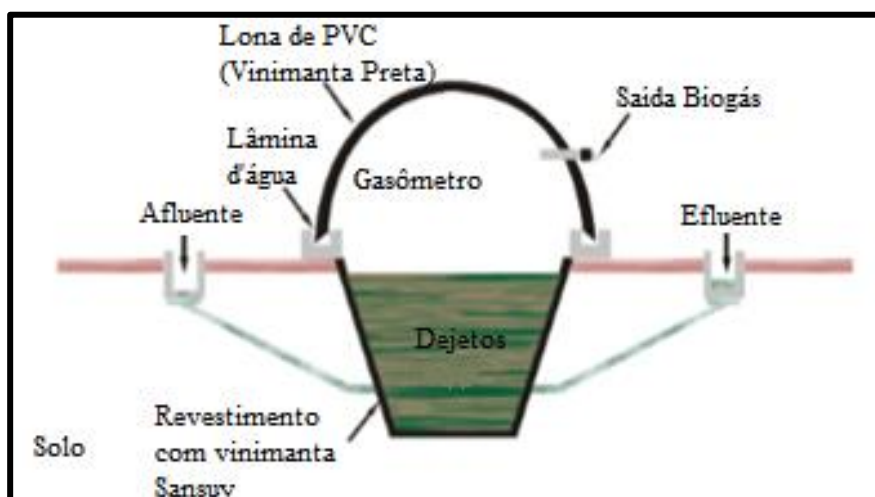


Figura 3. Representação de um biodigestor do modelo marinha. Fonte: IENGEP (2012).

Modelo Caseiro

O biodigestor caseiro (Figura 4), possui pequenas proporções, sendo necessário pouco abastecimento. Sua construção é simples, com preço reduzido, pois é feito a partir de um tambor de 200 litros e materiais de baixo custo encontrados em lojas de materiais de construção (ARRUDA, 2002).

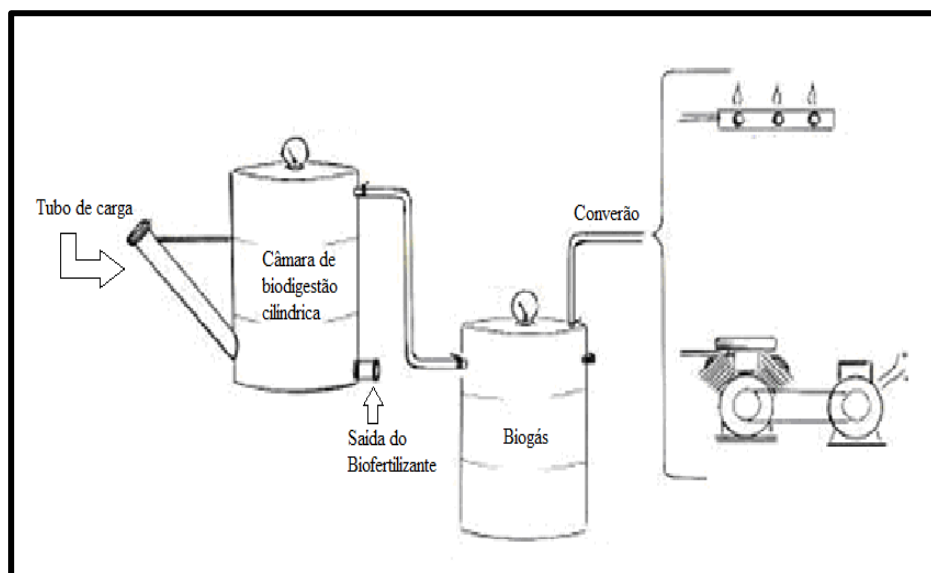


Figura 4. Modelo de biodigestor tipo caseiro. Fonte: Arruda et al. (2002).

Funcionamento Tipo Batelada

O biodigestor do tipo batelada tem como característica a substituição da matéria orgânica utilizada no processo somente após um período adequado à digestão de toda a biomassa. Este tipo de biodigestor também pode ser chamado de descontínuo, devido ao fato de que este tipo de funcionamento só produz biogás durante um certo período de tempo, sendo necessário a interrupção do processo para a descarga do material fermentado e recarga do material a ser adicionado (OLIVEIRA, 2009).

O funcionamento dos biodigestores do tipo batelada ocorre da seguinte forma: a biomassa utilizada no biodigestor é inserida em uma câmara fechada e selada, possuindo somente uma saída para o biogás, podendo este gás ser armazenado em outro recipiente próprio para posterior utilização. Em seguida, após a verificação do encerramento da produção de biogás é feita a limpeza da câmara e a retirada do biofertilizante, então um novo carregamento de biomassa é realizado, tendo como resultado uma nova produção de biogás e de biofertilizante (OLIVEIRA, 2009).

Funcionamento Tipo Contínuo

Ao contrário dos biodigestores do tipo batelada, os do tipo contínuos podem ser abastecidos diariamente, fazendo com que seja possível a saída de material já processado no momento que for dada entrada de biomassa, gerando continuamente a produção do biogás e do biofertilizante (TURDERA & YURA, 2006).

Biomassa

É a matéria resultante da decomposição de materiais orgânicos, tais como restos e sobras de alimentos, resíduos agrícolas, esterco, etc. Quando esse material é biodegradado por *Archaea* metanogênicas, é usado para gerar biogás, majoritariamente formado por dióxido de carbono e metano, sendo que este possui um grande potencial energético. A utilização desta biomassa na produção de energia gera baixo impacto e se encontra em abundância no meio ambiente. Assim, a produção de energia através da biomassa contribui para o desenvolvimento sustentável, pois ajuda na mitigação do aquecimento global (PAGLIARI, 2008).

Biogás

É uma mistura gasosa gerada por meio da decomposição da matéria orgânica em meio anaeróbico. Tendo em vista o contexto do desenvolvimento sustentável, a utilização da tecnologia dos biodigestores visando à geração de energia, possui amplo potencial para ser difundido no meio rural, sendo uma importante alternativa para diversificar a matriz energética brasileira. De acordo com Coldebella (2006), a utilização do biogás como insumo energético tem relação direta com a concentração do gás metano (CH_4), em virtude do poder calorífico que pode atingir cerca de $9,9 \text{ kWh/m}^3$. Desta forma, um biogás gerado no biodigestor que possua teor de metano entre 50 e 80% poderá apresentar um poder calorífico entre $4,95$ e $7,92 \text{ kWh/m}^3$, fazendo com que, este produto possa ser utilizado na geração de energia térmica (aquecimento e cozimento), ou outros tipos de energia, como a elétrica. A Tabela 1 apresenta valores comparativos de 1 m^3 de biogás com outros combustíveis.

Tabela 1. Dados comparativos de 1m³ de Biogás com outros tipos de energia

Combustível	Equivalência de 1m ³ de biogás
Gasolina	0,61 Litros
Querosene	0,57 Litros
Óleo diesel	0,55 Litros
Gás Liquefeito (GLP)	0,45 kg
Álcool combustível	0,79 Litros
Lenha	1,538 kg
Energia elétrica	1,428 kwh

Fonte: Deganutti (2002).

Características do Biogás

De acordo com Wereko-Brobby (2000), o biogás é composto basicamente de cerca de 60% de gás metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de uma mistura de Hidrogênio, Nitrogênio, Amônia, Ácido Sulfídrico, Monóxido de Carbono, Aminas voláteis e Oxigênio, os quais também são conhecidos como gases traços em virtude de ocorrerem em baixas concentrações. A quantidade em que esses gases podem ocorrer na mistura de gases é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Composição média do Biogás

Constituinte	Composição
Metano	50-75 vol. (%)
Gás Carbônico	25-45 vol. (%)
Nitrogênio	< 2 vol. (%)
Hidrogênio	< 1 vol. (%)
Oxigênio	< 2 vol. (%)
Gás Sulfídrico	20 a 20000 ppm

Fonte: Kaltschmitt e Hartmann (2001).

Segundo Magalhães (1986), de todos os gases que compõem o biogás, dois são considerados como os principais causadores de problemas na viabilização do processo de armazenamento e produção de energia através de biodigestores, são esses o gás carbônico e o gás sulfídrico. O gás carbônico interfere na qualidade do biogás, pois se estiver em grande quantidade irá inviabilizar a queima, já o gás sulfídrico causa problemas de corrosão no armazenamento e no processo de condução do biogás gerado até sua utilização ou transformação em fonte de energia elétrica ou térmica.

De acordo com Sosa et al. (2004), para a produção deste biogás é necessária a atuação de bactérias que irão realizar a digestão anaeróbica da matéria orgânica dentro do biodigestor em três estágios. No primeiro, durante a hidrólise, a matéria orgânica é transformada em moléculas menores devido à ação de bactérias hidrolíticas. As proteínas são transformadas em peptídeos e aminoácidos, os polissacarídeos são transformados em monossacarídeos, e as gorduras são transformadas em ácidos graxos, através de enzimas extracelulares, como a protease, a amilase e a lipase. As bactérias fermentativas, também presentes nessa fase, irão transformar os produtos gerados em ácidos solúveis (ácido propiônico e butírico), alcoóis e outros compostos (SOSA et al., 2004).

Já na segunda fase, conhecida como fase ácida, bactérias acetogênicas vão transformar os componentes obtidos na primeira fase em ácido acético (CH₃COOH), hidrogênio e dióxido de carbono. Por sua vez, na terceira etapa da produção do biogás, há a formação do metano por meio da ação da bactéria *Archaea* metanogênicas. O gás é produzido na transformação do hidrogênio, o dióxido de carbono e o ácido acético (CH₃COOH) em metano e dióxido de carbono (SOSA et al., 2004).

Parâmetros na produção de Biogás

Os principais parâmetros para a produção do biogás são a acidez e a temperatura que o substrato do processo terá. As bactérias que produzem o metano conseguem sobreviver numa faixa de pH que varia entre 6,5 e 8,0. Desta forma, enquanto as bactérias presentes na primeira e segunda fase da digestão anaeróbica produzem ácidos, as *Archaea* metanogênicas que estão presentes na terceira fase irão consumir esses ácidos, mantendo assim o meio neutro. No que se refere à temperatura, as *Archaea* metanogênicas são bastante sensíveis a mudanças que podem acontecer no meio. Essas bactérias são mesófilas e sobrevivem numa temperatura que varia entre 35 a 45°C.

Grandes mudanças de temperatura podem fazer com que as *Archaea* metanogênicas não sobrevivam até o final do processo, o que acarretaria na diminuição considerável da produção do metano (SOSA et al., 2004).

Biofertilizante

Após a biomassa passar pelo biodigestor, ela sai sob a forma líquida, sendo rica em material orgânico e com uma enorme capacidade para ser usado como fertilizante em cultivos. O biofertilizante é capaz de melhorar consideravelmente as características químicas, físicas e biológicas do solo em virtude da redução da quantidade de carbono do material devido à perda deste elemento nas formas de CH_4 e CO_2 , e o aumento do conteúdo de nitrogênio e demais nutrientes, promovendo a redução da relação C/N da matéria orgânica (ZACHOW, 2000).

No entanto, o teor dos diferentes nutrientes presentes no biofertilizante vai depender fundamentalmente do material a ser utilizado no processo. De acordo com Sobrinho e Silva (2018), em média, o biofertilizante possui pH médio de 6,9; 0,7% de Nitrogênio; 0,5% de Fósforo; e 0,7% de K.

Neste sentido, algumas vantagens são atribuídas ao uso do biofertilizante, entre elas destacam-se, o aumento da capacidade nutricional do solo e melhoria de suas características biológicas, o que contribui para o fortalecimento de uma produtividade economicamente viável, ou seja, diminuição de custo com aquisição de adubos químicos aliados ao aumento da receita da atividade agrícola (MARROCOS, 2011).

A eficiência do biofertilizante é proporcionada pela sua melhor fixação junto ao solo, que ocasiona um aumento da disponibilidade de nitrogênio e demais nutrientes. Além disso, os nutrientes do biofertilizante tornam-se mais solúveis, por exemplo, o nitrogênio amoniacal, esta característica facilita a assimilação de nutrientes pelo sistema radicular dos vegetais (ROYA, 2011).

O carbono contido no húmus do biofertilizante pode auxiliar na revitalização de solos, pois se trata de um elemento essencial para nutrição de sua microbiota. Sendo assim, sobre uma perspectiva ambiental, a utilização de biofertilizantes contribui para ciclagem dos nutrientes e atua na renovação do estoque de carbono nos solos (BLEY JÚNIOR, 2015).

METODOLOGIA

Localização da área de estudo

A pesquisa de campo foi desenvolvida no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - IFPA, nos Campus de Castanhal (Latitude 1°18'15.22" S e Longitude 47°56'53.17") e Óbidos (Latitude 1°52'55.21"S e Longitude 55°31'4.60"O), conforme a Figura 5.

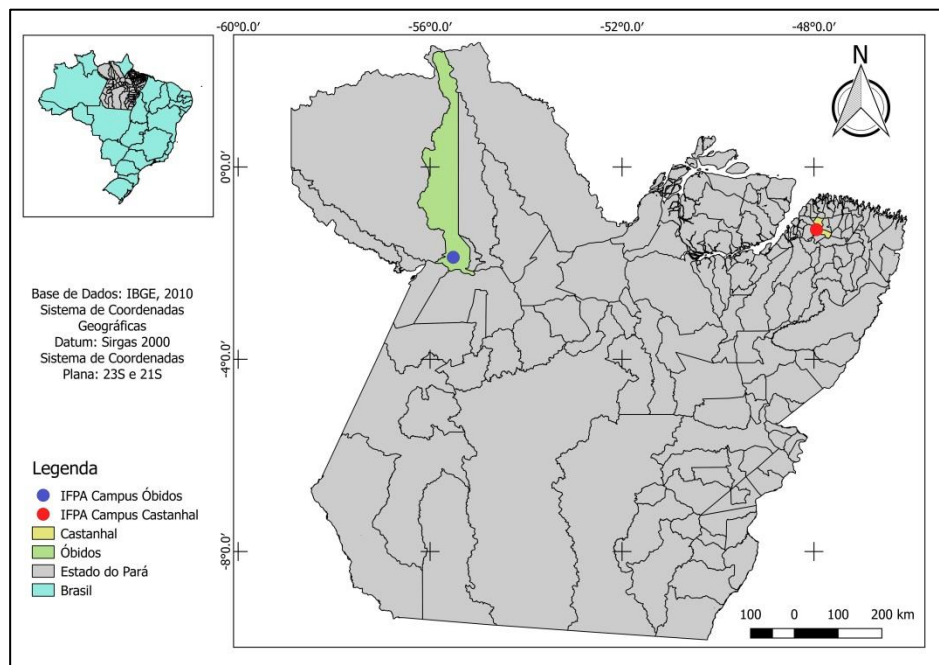


Figura 5. Localização do IFPA - Campus Castanhal e Óbidos.

Construção dos Biodigestores

Biodigestor Construído no IFPA Campus Castanhal

O Biodigestor construído no IFPA, Campus Castanhal, foi elaborado segundo o modelo da marinha com algumas adaptações, do tipo contínuo e instalado no setor de Olericultura. A biomassa utilizada foram os dejetos bovinos obtidos da própria instituição.

O material predominante do biodigestor foi uma caixa d'água de 5.000 L, lona PVC e fabricação de um filtro purificador de biogás para remoção de CO₂ e vapor de água, além de tubos e conexões, conforme ilustrado nas Figuras 6 e 7.

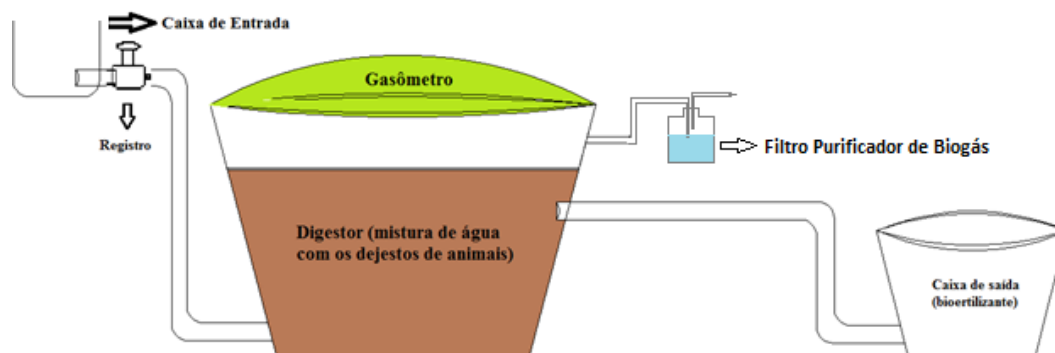


Figura 6. Layout do biodigestor.



Figura 7. Biodigestor modelo marinha com adaptações.

O filtro artesanal ilustrado na Figura 8 foi fabricado utilizando um garrafão de Polietileno tereftalato (PET) de 5 Litros e tubos PVC. Nesta garrafa foi inserido o hidróxido de sódio (NaOH) mais água para a remoção do Gás Carbônico (CO₂) e o vapor de água, pois o CO₂ reage com o NaOH para formar carbonato de sódio, como observa-se na Equação 1 (SHAHID & FAISAL, 2010).

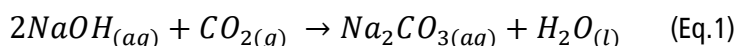


Figura 8. Filtro Purificador de Biogás.

A coleta da biomassa para abastecimento do biodigestor consistiu na raspagem dos dejetos contidos no setor de Bovinocultura do campus, no setor de ordenha. Onde passado os 30 dias de retenção da mistura (Esterco bovino e água), deu-se início a operação do biodigestor de maneira contínua, onde todos os dias foram depositados 35 L de água e 35 Kg de esterco bovino seco.

Biodigestor Construído no IFPA Campus Óbidos

Modelo da Marinha com Adaptações

O primeiro biodigestor construído no IFPA, Campus Óbidos, foi segundo o modelo da marinha com algumas adaptações, do tipo contínuo e instalado no setor de horta do Instituto conforme as Figuras 9 e 10. A biomassa utilizada foi o esterco bovino obtido de uma propriedade localizada próximo ao IFPA (Figura 12).



Figura 9. Montagem do Biodigestor.

(A: abertura das valas; B: encaixe das caixas d'água e instalação dos tubos e conexões de PVC).



Figura 10. Instalação da Canalização da caixa d'água 500 L. (A: entrada de biomassa; B: saída do biofertilizante; C: saída do biogás; D: biodigestor instalado).



Figura 11. Obtenção da Biomassa. (A: Coleta da Biomassa; B: abastecimento do Biodigestor).

Modelo Caseiro com Adaptações

O segundo biodigestor instalado foi do tipo batelada, de modelo caseiro com algumas adaptações. O material predominante foi uma bombona de 60 Litros, além de tubos e conexões de PVC, para evitar uma possível corrosão, conforme ilustrado na Figura 12.

A biomassa utilizada foi a casca da mandioca obtida de uma propriedade de uma agricultora familiar produtora de farinha de mandioca, localizada na comunidade de Pedra Branca, Óbidos-PA (Figura 14). Para o abastecimento do biodigestor foi utilizada 16 kg da casca da mandioca juntamente com 16 L de água.



Figura 12. Biodigestor, modelo caseiro com adaptações.



Figura 13. Abastecimento do biodigestor com a casca de mandioca (A: descascamento da mandioca para a produção da farinha; B: descarte da casca da mandioca e C: Abastecimento).

Abastecimento e operação do Biodigestor

Os biodigestores foram abastecidos segundo a recomendação de Comastri Filho (1981), com uma mistura homogênea (Biomassa e água) na proporção de 1:1, ou seja, 1 litro (L) de água para cada 1 quilograma (Kg) de biomassa. Após o abastecimento, a mistura ficou retida no biodigestor pelo período recomendado por Bley Júnior et al. (2009), o qual foi de 30 dias, para a degradação da matéria orgânica.

Materiais utilizados e análise das concentrações do Biogás

Para a determinação dos componentes do biogás (Amônia, Gás Sulfídrico, Gás Carbônico e Metano), foi utilizado o kit portátil para análise de biogás, adquirido da empresa Alfakit, em parceria com a EMBRAPA Suínos e Aves. A metodologia utilizada foi a recomendada pelo “Manual de Análise de Biogás: método de análise química qualitativa e quantitativa de gás”, de Kunz e Oliveira (2009). Onde para a análise das concentrações de gás sulfídrico (H_2S) e da amônia (NH_3) foi utilizado o método colorimétrico, sendo eles, o método azul de metileno e azul de indofenol, respectivamente (KUNZ & SULZBACH, 2007). Já para a determinação da concentração de CO_2 e CH_4 utilizou-se o método Orsat adaptado por Kunz e Sulzbach (2007). Os materiais que compõem o kit podem ser observados na Tabela 3 e na Figura 14 em seus principais componentes.

Tabela 3. Materiais que compõem o kit do biogás

Quantidade	Materiais
02	Saco amostrador
01	Seringa para NH_3
01	Seringa para H_2S
02	Seringas (5 ml)
02	Seringas para CO_2
01	Suporte analisador de CO_2
04	Cubetas plásticas
04	Cubetas de vidro
01	Suporte analisador de CO_2
1000 ml	Água desionizada
03	Reagentes para NH_3 (15ml)
02	Reagentes para H_2S (10 e 20 ml)
01	Solução pré-tratamento 1 (20 ml)
01	Solução pré-tratamento 2 (500 ml)



Figura 14. Materiais que compõem o kit do biogás.

Para a execução das análises, foram realizadas seis repetições para a análise do biogás produzido pelo biodigestor construído no IFPA, Campus Castanhal, durante seis dias, sendo realizada uma a cada dia. A análise química foi efetuada tanto no gás puro quanto no gás filtrado (filtro artesanal), para verificar a eficiência do purificador de biogás. Já para análise do biogás produzido pelo biodigestor construído no IFPA Campus Óbidos (modelo caseiro) foram realizadas 4 (quatro) coletas, uma a cada semana, durante 30 dias.

Análise do Biofertilizante

Preparação dos Canteiros

Inicialmente, foi realizada a preparação das mudas de alface em uma propriedade de agricultura familiar localizada próxima ao IFPA - Campus Óbidos, a qual teve como substrato terra preta, para o preenchimento das células da bandeja. As mudas foram produzidas em 2 (duas) bandejas de 128 (cento e vinte oito) células, com 3 (três) sementes/célula, as quais ficaram na sementeira durante o ciclo de 25 dias, com irrigação manual, conforme se pode visualizar na figura 15 (SUDO et al., 1998).



Figura 15. Preparação das mudas. (A: Irrigação manual e B: Desenvolvimento das mudas).

Posteriormente, realizou-se a limpeza de uma área, para a instalação de 10 (dez) canteiros (parcelas) feitos com pneus reciclados (Figura 16). Passado os 25 (vinte e cinco) dias, as mudas foram plantadas nos canteiros, e foram irrigadas com água (5 vezes por semana) e com o biofertilizante (2 vezes por semana), produzido no processo do biodigestor construído no IFPA Campus Óbidos (modelo caseiro). A quantidade de água para a irrigação foi de 1L por canteiro.



Figura 16. Preparação dos canteiros.

Coleta e Análise do Biofertilizante

Passado o tempo de digestão anaeróbica da casca da mandioca, foi realizada a coleta do biofertilizante produzido pelo biodigestor construído no IFPA Campus Óbidos (modelo caseiro), o qual foi utilizado como tratamento para avaliar o desenvolvimento da alface em diferentes dosagens.

Para determinar qual a dosagem ideal do biofertilizante a ser utilizado na adubação da alface, foi realizado 5 (cinco) tratamentos, com duas repetições, que correspondem respectivamente a irrigação com solução de biofertilizante diluída em água correspondente a 0, 25, 50, 75 e 100%, consideradas tratamentos, assim distribuídos: T1: 100% água; T2: 75% água e 25% biofertilizante; T3: 50% água e 50% biofertilizante; T4: 25% água e 75% biofertilizante; e T5: 100% biofertilizante.

Dia de campo para qualificação de produtores rurais e estudantes do IFPA

Foi realizado um dia de campo no local onde foi construído o biodigestor do IFPA – Campus Castanhal, a fim de qualificar os agricultores familiares e estudantes do IPA, para a construção e operacionalização dos biodigestores, tendo a finalidade o uso do biogás em substituição ao gás de cozinha e utilização de biofertilizante em cultivos.

A ação contou com a presença de aproximadamente 50 participantes, sendo estes produtores rurais e alunos dos cursos de Ciências Agrárias do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Campus Castanhal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise do Biogás

Metano (CH₄)

O teor de Metano (CH₄) observado no biodigestor instalado no IFPA – Campus Castanhal, foi de 67,5% na forma bruta e 78,3 % filtrado (Tabela 4). Já a média do teor de Metano (CH₄) observado no biodigestor instalado no IFPA – Campus Óbidos (modelo caseiro), foi de 61,7% (Tabela 5). De acordo com Kaltschmitt e Hartmann (2001), os valores médios de metano variam entre 50 e 75%. Por ser o gás presente em maior quantidade e por conferir a característica de inflamável à mistura, estes resultados indicam que o biogás produzido em ambos os biodigestores é de alta qualidade, haja vista que maiores concentrações de metano aumentam o poder calorífico e a geração de energia pelo biogás.

Tabela 4. Concentração de Gás Metano no Biogás CH₄ (%) produzido a partir de dejetos de bovinos por biodigestão anaeróbica no IFPA – Campus Castanhal

Repetições	Gás Bruto - CH ₄ (%)	Gás Filtrado - CH ₄ (%)
1	50	85
2	80	75
3	60	70
4	80	90
5	82,5	75
6	52,5	75
Média	67,5±15	78,3±7,5

Tabela 5. Concentração de Gás Metano CH₄ (%) no Biogás produzido a partir da casca da mandioca por biodigestão anaeróbica no IFPA – Campus Óbidos

Repetições	CH ₄ (%)
1	75
2	55
3	55
4	75
Média	61,7±11

No que se refere ao teor de Gás Carbônico (CO₂), os valores obtidos no biodigestor instalado no IFPA – Campus Castanhal, foram de 32,5% na forma bruta e 21,7% filtrado (Tabela 6). Já a média do teor de Gás Carbônico (CO₂) do biodigestor instalado no IFPA – Campus Óbidos (modelo caseiro) foi de 38,3% (Tabela 7). Estes resultados indicam que os teores deste gás estão dentro da média indicada por Magalhães (1986).

Tabela 6. Concentração de Gás Carbônico (CO₂%) presente no biogás produzido a partir de dejetos de bovinos por biodigestão anaeróbica no IFPA – Campus Castanhal

Repetições	Gás Bruto – CO ₂ (%)	Gás Filtrado – CO ₂ (%)
1	50	15
2	20	25
3	40	30
4	20	10
5	17,5	25
6	47,5	25
Média	32,5±15	21,7±7,5

Tabela 7. Concentração de Gás Carbônico (CO₂ %) presente no biogás produzido a partir da casca da mandioca por biodigestão anaeróbica no IFPA – Campus Óbidos

Repetições	CO ₂ (%)
1	25
2	45
3	45
4	25
Média	38,3 ± 11

Observa-se também que, a utilização do filtro no biodigestor instalado no IFPA – Campus Castanhal, reduziu cerca de 11% do teor deste gás, o que é importante, haja vista que o CO₂ torna a queima do biogás mais lenta, liberando menos calor (PEREIRA et al., 2018). Portanto, a redução do gás carbônico favorece o aumento da concentração do gás metano e consequentemente a qualidade do biogás para geração de energia.

Gás Sulfídrico (H₂S)

Quanto ao teor de Gás Sulfídrico (H₂S), observa-se 20,0 ppmV, antes e após o filtro no biodigestor instalado no IFPA – Campus Castanhal (Tabela 8), e 26,7 ppmV no biodigestor instalado no IFPA – Campus Óbidos (modelo caseiro), conforme Tabela 9. O conteúdo deste gás está diretamente associado à quantidade de enxofre presente no esterco e na casca da mandioca.

Tabela 8. Concentração de Gás Sulfídrico (H₂S – ppmV) no biogás produzido a partir de dejetos de bovinos por biodigestão anaeróbica no IFPA – Campus Castanhal

Repetições	Gás Bruto – H ₂ S (ppmV)	Gás Filtrado - H ₂ S (ppmV)
1	20	20
2	20	20
3	20	20
4	20	20
5	20	20
6	20	20
Média	20,0 ± 0,0	20,0 ± 0,0

Tabela 9. Concentração de Gás Sulfídrico (H₂S – ppmV) no biogás produzido a partir da casca da mandioca por biodigestão anaeróbica no IFPA – Campus Óbidos

Repetições	H ₂ S (ppmV)
1	20
2	20
3	20
4	40
Média	26,7 ± 11

Os resultados de concentração de gás sulfídrico obtidos neste estudo, estão abaixo da média de concentração deste constituinte, de acordo com Kaltschmitt e Hartmann (2001). Logo, isso indica uma ótima qualidade do biogás produzido neste estudo, haja vista que, este gás é altamente tóxico e corrosivo, o que dificulta a utilização da energia do Biogás.

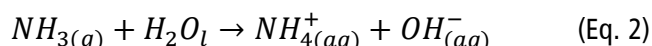
Gás Amônia (NH₃ +)

Em relação ao gás Amônia do biodigestor instalado no IFPA – Campus Castanhal, foi observado uma diferença significativa entre o gás bruto e o gás filtrado, com uma redução de aproximadamente 85% deste gás com o filtro (Tabela 10). Como o gás Amônia não é benéfico para a qualidade do biogás (PEREIRA et al., 2018), a utilização do filtro artesanal no biodigestor foi eficiente para redução da quantidade deste gás.

Tabela 10. Concentração de Gás Amônia (NH_3 – ppmV) no biogás produzido a partir de dejetos de bovinos por biodigestão anaeróbica no IFPA – Campus Castanhal

Repetições	Gás Bruto – NH_3 (ppmV)	Gás Filtrado – NH_3 (ppmV)
1	175	85
2	175	15
3	175	45
4	525	45
5	350	15
6	15	0
Média	$235,8 \pm 176,9$	$36,7 \pm 27,9$

Em relação à remoção do gás amoníaco no filtro artesanal, a causa pode estar na dissolução do referido gás em meio aquoso, aumentando a alcalinidade da solução filtrante pela formação de hidróxido de amônio, como ilustra a Equação 2.



Embora a remoção do gás amônia em meios onde há altas concentrações de bases fortes seja pouco favorecida, a formação de carbonato de sódio pode ter favorecido a formação dos íons amônios em solução.

Quanto ao teor de Amônia do biodigestor instalado no IFPA – Campus Óbidos (modelo caseiro), observa-se uma média de 78,3 ppmV (Tabela 11). Percebe-se que há uma expressiva variação e uma grande concentração da concentração de NH_3 , a qual varia de 15 ppmV para 350 ppmV. Segundo Cortez et al. (2008), quando o pH se situa acima de 7,2 ele gera um acúmulo de NH_3 , indicando uma possível toxicidade, uma vez que concentrações superiores a 150 ppm são tóxicas para as bactérias metanogênicas.

Tabela 11. Concentração de Gás Amônia (NH_3 – ppmV) no biogás produzido a partir da casca da mandioca por biodigestão anaeróbica no IFPA – Campus Óbidos

Repetições	NH_3 (ppmV)
1	350
2	15
3	175
4	45
Média	$78,3 \pm 85$

Análise do Biofertilizante

A produção do número de folhas de alface e da altura do caule foi influenciada pelas diferentes doses do Biofertilizante produzido pelo biodigestor instalado no IFPA – Campus Óbidos, modelo caseiro (Tabela 12). Observa-se que a dose aplicada em T2 promoveu a produção média 23,5 folhas e a altura do caule de 21 cm, cerca de duas vezes a mais em comparação à média de T1. Logo, percebe-se que o tratamento 2, obteve um melhor desenvolvimento dentre todos os tratamentos realizados no experimento, todavia, ressalta-se que tanto o tratamento 3 quanto o tratamento 4, nos quais também foram utilizados o biofertilizante, apresentam melhores resultados se comparados ao tratamento 1, o qual foi tratado apenas com água. Já o tratamento 5, onde a dosagem de biofertilizante foi 100%, há a perda total da planta, devido talvez a toxicação da planta ocasionada por uma super adubação.

Tabela 12. Desenvolvimento da alface a partir do tratamento com o biofertilizante produzido pelo biodigestor instalado no IFPA – Campus Óbidos, modelo caseiro

Tratamentos	T1	T2	T3	T4	T5
Caule (cm)	11,17	21	11,5	13,3	0
Nº de folhas	12,3	23,5	16,5	16,3	0

Processo de qualificação dos agricultores(as) e estudantes com relação a produção do Biogás e do Biofertilizante

Os cerca de 50 participantes do dia de campo puderam conhecer e aprofundar os conhecimentos a respeito da produção do biogás e do biofertilizante em biodigestor abastecido com esterco de bovino. Os participantes eram produtores rurais da região Nordeste do Pará e alunos dos cursos técnicos e de graduação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Campus Castanhal.

Esta ação foi dividida em três etapas: a) Explicação em sala de aula sobre a construção, funcionamento dos biodigestores, geração do biogás e do biofertilizante, além de diversas aplicações em propriedades rurais familiares, b) Visita ao local de produção do Biogás e do Biofertilizante, c) preparo de tapioca em chama gerada pelo biogás e d) Visita a cultivos experimentais fertirrigado com biofertilizante conforme se pode observar nas Figuras 17, 18, 19 e 20.



Figura 17. Dia de campo: Explicação em sala de aula sobre a construção, funcionamento dos biodigestores, geração do biogás e biofertilizante e diversas aplicações em propriedades rurais familiares no Nordeste Paraense.



Figura 18. Dia de campo - visita ao local de produção do biogás e do biofertilizante.



Figura 19. Dia de campo - preparo de tapioca em chama gerada pelo biogás.



Figura 20. Dia de campo - visita a cultivos experimentais fertirrigado com biofertilizante.

As ações foram realizadas com o objetivo de sensibilizar/difundir a produção de biofertilizante e do biogás a partir de esterco bovino (e outras fontes) em propriedades rurais familiares. É importante considerar que a baixa fertilidade dos solos da região tem influenciado diretamente a produtividade dos cultivos, principalmente dos pequenos produtores que não tem condições de investir em adubos químicos. Além disso, o biogás pode ser utilizado para geração de renda em processos produtivos.

Dessa forma, foi exposto que a produção de biogás e biofertilizante em biodigestores é uma alternativa viável para fortalecer a agricultura familiar na região, pois viabiliza uma economia na compra do gás de cozinha e na possível utilização do biogás na produção de energia elétrica, gerando a autonomia energética de diversos produtores rurais (MARQUES et al., 2014).

Na visita, foi feito o preparo de tapiocas com chamas geradas no biodigestor para demonstrar aos participantes a possibilidade de utilização da tecnologia em processos produtivos. Durante a visita às áreas de cultivos experimentais fertirrigado com biofertilizante, foi demonstrado para os participantes o efeito da utilização de diferentes doses do biofertilizante na produtividade de diferentes cultivos. No que se refere ao resultado das ações, foi possível observar que a exposição da tecnologia dos biodigestores, com a produção do biogás e do biofertilizante e a utilização destes produtos em diversas aplicações, foi fundamental para sensibilizar e convencer produtores e alunos sobre a aplicabilidade e importância da tecnologia para que possa ser difundida na região.

Com o findar das ações previstas para o dia de campo, pode-se observar produtores mais conscientes e interessados na construção de biodigestores para geração de biogás e do biofertilizante visando sua utilização para geração de renda em processos produtivos, haja vista que foi possível demonstrar na prática todo o processo associado à produção de Biogás. Desta forma, devido ao grande potencial para produção de biogás e do biofertilizante em propriedades rurais na região, verifica-se a necessidade de mais ações práticas como forma de difundir esta tecnologia, especialmente no âmbito da agricultura familiar.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através das análises das concentrações dos principais constituintes do biogás: metano (CH_4), gás carbônico (CO_2), gás sulfídrico (H_2S) e amônia (NH_3) e da utilização do filtro artesanal, verificou-se que tanto o esterco bovino quanto a casca da mandioca, possuem um alto potencial energético, pois apresentaram uma concentração de metano superior a 60%. Quanto aos demais constituintes, tidos como impurezas, suas concentrações durante todo período do experimento se mantiveram dentro do indicado pela literatura. Em relação à utilização do filtro no biodigestor construído no IFPA -Campus Castanhal, observou-se um aumento em cerca de 10% na concentração de CH_4 e uma redução nos teores do CO_2 e do NH_3 , tornando evidente que o filtro fabricado a partir de materiais de baixo custo e fácil acesso foi bastante eficaz.

Quanto ao biofertilizante, verificou-se que sua utilização em doses baixas, em especial 25% de biofertilizante e 75% água, foi a que melhor favoreceu o desenvolvimento das plantas, promovendo cerca do dobro de números de folhas de alfaves quando comparadas a irrigação somente com água. Porém, com o aumento da dose do biofertilizante, em especial a dosagem 100% biofertilizante na fertirrigação, observou-se que houve a morte das hortaliças, indicando que possivelmente ocorreu uma toxidez da planta pela adubação em excesso.

Nessa vertente, tem-se que os biodigestores apresentaram uma relevante viabilidade de aplicação referente ao custo e consequentemente seus benefícios no tratamento da casca da mandioca e do esterco bovino, na minimização dos impactos ambientais provenientes do descarte inadequado. Além disso, foi possível comprovar que com a confecção do biodigestor e do filtro, os agricultores familiares poderiam ser capazes de produzir sua própria energia limpa e seu próprio biofertilizante, sendo estes necessários para a realização de suas atividades, tornando-os mais autônomos, diminuindo seus custos de produção através do uso do biogás e do biofertilizante e promovendo o desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, M. A. N.; RANZI, T. J. D.; MUNIZ, R. N.; SILVA, L. G. S.; ELIAS, M. J. Biodigestores rurais no contexto da atual crise de energia elétrica brasileira e na perspectiva da sustentabilidade ambiental. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n4v1/030.pdf>. Acesso em: 30/09/2015.
- ARRUDA, M. H.; AMARAL, L. P.; PIRES, O. P. J.; BARUFI, C. R. V. Dimensionamento de biodigestor para geração de energia alternativa. Revista Científica de Agronomia, v.1, n.2, 2002.
- BLEY JÚNIOR, C. Biogás: a energia invisível. 2ª ED. São Paulo: CIBiogás; Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2015. 178p.
- COLDEBELLA, A.; SOUZA, S. N. M.; SOUZA, J.; KOHELER, A. C. Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bovinocultura de leite. An. 6. Enc. Energ. Meio Rural, 2006. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022006000200053&script=sci_arttext&lng=pt. Acesso em 08 de janeiro de 2019.
- COMASTRI FILHO, J. A. Biogás, independência energética do Pantanal Mato-Grossense. Circular Técnica n. 9, Embrapa. UEPAE de Corumbá, 1981. 53p.
- DEGANUTTI, R.; PALHACI, M. C. J. P.; ROSSI, M.; TAVARES, R.; SANTOS, C. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. In: Encontro de Energia Meio Rural, 40, 2002, São Paulo. Anais...UNESP. São Paulo, 2002.
- IENGEP Soluções em Sustentabilidade. Biodigestores. Disponível em: <http://www.iengep.com.br/biodigestores.htm>. Acesso em: 08 de janeiro de 2019.
- KALTSCHMITT, M.; HARTMANN, H. Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren; Springer Verlag Berlin, Heidelberg, Nova Iorque, 2001. 780p.
- KUNZ, A.; OLIVEIRA, L. Sistema e método de análise química qualitativa e quantitativa de gás. P. I. 0706174-9 (Patente). 2009. Disponível em: <https://www.escavador.com/patentes/344571/sistema-e-metodo-de-analise-quimica-qualitativa-e-quantitativa-de-gas?page=3>. Acesso em: 08/01/2019.
- MAGALHÃES, A. P. T. Biogás: um projeto de saneamento urbano, 1986. São Paulo: Nobel, 1986. 120p.
- MARROCOS, S. T. P. Composição de biofertilizante e sua utilização via fertirrigação em meloeiro. 62f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2011.
- METZ H. L. Construção de um biodigestor caseiro para demonstração de produção de biogás e biofertilizante em escolas situadas em meios urbanos. UFLA. Lavras, Minas Gerais 2013. 40p.
- OLIVEIRA, R. D. Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono. 98f. TCC (Graduação). Curso de Engenharia Elétrica. Departamento de Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2009.
- PAGLIARI, P. C. Energia Solar, Eólica, Hidráulica, Biomassa, Geotérmica e Maremotriz. 2008. Disponível em: www.energiarenovavel.org. Acesso em: 10/2010.
- PEREIRA, L. C.; BALBINO, M. V.; VIANA, L. S.; FARIAS, L. S. N.; XAVIER, M. R. R.; RAMOS, W. Q.; CORREIO, J. A. C. Estudo comparativo de biogás produzido com resíduos animais. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v.7, n.4, p. 406- 422, 2018.
- ROMA, P.H.S. Biodigestor: Alternativa para o manejo do lixo em áreas ecoturísticas. 44f. (Monografia). Especialização do Curso de Ecoturismo. Universidade de Brasília, Brasília, 2003.
- ROYA, B.; FREITAS, E.; BARROS, E.; ANDRADE, F. PRAGANA, M. SILVA, D. J. A. Biogás: uma energia limpa. Revista Eletrônica Novo Enfoque, v.13, n.13, p.142–149, 2011.
- SHAHID, M.; FAISAL, M. Effect of Hydrogen Sulfide Gas Concentration on the Corrosion Behavior of "ASTM A-106 Grade-A" Carbon Steel in 14% Diethanol Amine Solution. The Arabian Journal for Science and Engineering, v.34, n.2C, 2010.
- SOARES, C. M. T.; FEIDEN, A.; PLEIN, C.; PASTÓRIO, I. T. Uso do biogás no meio rural como fator de desenvolvimento rural sustentável. Brazilian Journal of Development, v.4, n.6, 2018.
- SOARES FILHO, C. V.; HEINRICHS, R.; PERRI, S. H. V.; CORREIA, A. C. Atributos químicos no solo e produção de *Cynodon dactylon* cv. Terra Verde sob doses de biofertilizante orgânico. Rev. Bras. Saúde Prod. Anim., v.16, n.1, p.23-35, 2015.
- SOBRINHO, D. C. A.; SILVA, L. M da. Produção de biomassa de coentro sob doses crescentes de biofertilizantes líquido no Campus Castanhal, IFPA, Pará. 52f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônoma). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará. Castanhal, 2018.
- SOSA, R.; CHAO, R.; RÍO, DEL J. Aspectos Bioquímicos y Tecnológicos del Tratamiento de Residuales Agrícolas con Producción de Biogás. Instituto de Investigaciones Porcinas (Cuba). 2004.

- SUDO, A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L.; RIBEIRO, R. L. D. Cultivo consorciado de cenoura e alface sob manejo orgânico. Seropédica: CNPAB, 1998. 4p. (Recomendação Técnica, 2).
- TURDERA, M. V.; YURA, D. Estudo da viabilidade de um biodigestor no município de Dourados, 2006. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022006000100062&script=sci_arttext. Acesso em: 08/01/2019.
- WEREKO-BROBBY, C. Y.; HAGEN, E. B. Biomass conversion and technology. New York: Editora John Wiley & Sons. 2000. 224p.
- ZACHOW, C. R. Biogás. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, UNIJUI, Panambi, 2000. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/200307864/Biogas-e-Biodigestor-Unijui-RS>. Acesso em: 08/01/2019.

Curriculum dos Autores

Alberto Bentes Brasil Neto: Engenheiro Florestal e Mestre em Ciências Florestais pela Universidade Federal Rural da Amazônia. Desenvolve estudos na área de manejo de solos florestais, restauração ecológica de ecossistemas degradados e manejo florestal. Atualmente é professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – IFPA.

Nilza Martins de Queiroz Xavier Brasil: Engenheira Ambiental pela Universidade do Estado do Pará - UEPA, Licenciada em Matemática pela Universidade Federal do Pará e Mestra em Desenvolvimento Rural Sustentável e Gestão de Empreendimentos Agroalimentares pelo Instituto Federal do Pará - IFPA. Atualmente é professora do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do IFPA, lotada no Campus Óbidos e desenvolve trabalhos na área de impactos ambientais, energias renováveis e uso sustentável do solo.

Cícero Paulo Ferreira: Possui graduação em Licenciatura Plena em Ciências Agrícolas pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (1989), Mestrado em Agronomia pela Faculdade de Ciências Agrárias do Pará (1997) e doutorado em Ciências Agrárias pela Universidade Federal Rural da Amazônia (2004). Atualmente é Professor Titular do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará Campus Castanhal. Atua na área de Agronomia, com ênfase em Solo e Nutrição de Plantas e em Educação do Campo.



INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA
E TECNOLOGIA
Pará



Portal Tecnológico
de Divulgação Científica
Eventos, Pesquisas e Inovação



978-85-60307-45-6

