

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

ENERGIA RENOVÁVEL: BIOGÁS E BIODIESEL

MARIANE ABREU SILVEIRA

FLORIANÓPOLIS – SC

2012

ENERGIA RENOVÁVEL: BIOGÁS E BIODIESEL

MARIANE ABREU SILVEIRA

ORIENTADOR: Prof^o. Dr. Alberto Kazushi Nagaoka

SUPERVISOR: Prof^o. Dr. Pedro Castro Neto

Relatório Final de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Santa Catarina, como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

FLORIANÓPOLIS – SC

2012

ENERGIA RENOVÁVEL: BIOGÁS E BIODIESEL

Relatório Final de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Santa Catarina, como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

COMISSÃO AVALIADORA:

Profº Dr. Alberto Kazushi Nagaoka/UFSC – Orientador

Profº Dr. Fernando Cesar Bauer

Profº Dr. Narciso Angel Ramos Arroyo

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha mãe e meu pai que me ensinaram a importância que a educação tem na vida, pelo amor e apoio.

Agradeço a Deus por ser o maior fomentador de minhas conquistas.

Agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina por ter sido como uma segunda mãe e dado todo o tipo de oportunidade para que eu crescesse em minha vida acadêmica.

Agradeço ao Professor Alberto Kazushi Nagaoka por ter sido um mestre e, também, um ótimo amigo que sempre me guiou com muita paciência e sabedoria para os melhores caminhos.

Agradeço ao Professor Pedro Castro Neto por ter aberto as portas de sua usina na UFLA, permitido que eu fosse sua “escrava” e me ensinado tanto em tão pouco tempo.

Agradeço aos bons amigos que fiz em Lavras: Thalita, Java, Ana, Marcos, Carol, Paulo, Pedro, Clareana, Rosália e o M.A. por terem me acolhido com imenso carinho e me ensinado o significado de hospitalidade.

Agradeço a Stéfano G. Kretzer e a Bárbara Lemes pelo auxílio nos experimentos realizados.

Agradeço também a meus amigos que estão todos os dias presentes, aos que nem sempre estão e aos que já foram e não estão mais. Certamente, vocês ajudaram a moldar o que sou hoje e foram essenciais para o êxito de minha formação: Ramon, Mari, Fê, Munique, Vitor, Pi, Thi, Luana, Suse e Dani.

Agradeço especialmente a Kyanny por ter me ensinado, entre outras coisas, que às vezes aproveitar a vida é mais importante do que tirar as melhores notas.

Agradeço aos meus amigos da 2008.1 por terem, sem dúvidas, tornado inesquecíveis esses cinco anos de graduação.

SUMÁRIO

1	Introdução	1
2	Justificativa	1
3	Objetivos	5
3.1	Objetivo Geral	5
3.2	Objetivos Específicos	5
3.2.1	Avaliar o desempenho de biodigestores de tamanho reduzido....	5
3.2.2	Avaliar a produção de óleo e biodiesel provenientes de sementes de cártamo.....	5
4	Biogás - Revisão bibliográfica.....	6
4.1	Avicultura mundial e brasileira.....	6
4.2	Avicultura em Santa Catarina.....	7
4.3	Dejetos da avicultura	8
4.4	O biogás	9
4.5	O biofertilizante	11
4.6	Utilização do biogás e do biofertilizante	12
4.7	Digestão anaeróbia	12
4.7.1	Fatores que influenciam a digestão anaeróbia	14
4.8	Biodigestor	18
4.9	Experimento	21
4.9.1	Determinação da densidade aparente	26
4.9.2	Determinação da densidade de partícula ou densidade real	26
4.9.3	Determinação da porosidade total	27
4.9.4	Determinação do teor de água.....	27
4.9.5	Determinação do pH	28
4.10	Resultado e discussão – Biogás	28
4.10.1	Calibração dos medidores de biogás	28

4.10.2	Calibração dos termômetros	29
4.10.3	Análises físicas da cama-de-ave.....	29
4.10.4	Produção de biogás	30
4.11	Conclusão - Biogás	34
5	Biodiesel – Revisão bibliográfica	35
5.1	Panorama mundial e brasileiro do biodiesel.....	35
5.2	Matérias primas	37
5.3	Cártamo.....	38
5.4	Rotas de produção do biodiesel	40
5.4.1	Transesterificação	40
5.4.2	Esterificação.....	41
5.4.3	Craqueamento	42
5.5	Biodiesel.....	42
5.6	Subprodutos da produção de biodiesel	44
5.7	Experimento	44
5.7.1	Análises biométricas, peso 100 sementes, relação casca/tegumentos internos e densidade das sementes de cártamo	45
5.7.2	Extração química do óleo das sementes de cártamo.....	47
5.7.3	Extração mecânica do óleo de cártamo	48
5.7.4	Avaliações físico-químicas do óleo de cártamo	50
5.8	Resultado e discussão – Biodiesel.....	55
5.8.1	Análises biométricas, peso 100 sementes e densidade das sementes de cártamo	55
5.8.2	Extração química e extração mecânica	56
5.8.3	Índices de acidez, saponificação, iodo, peróxido e refração	58
5.8.4	Produção de biodiesel - transesterificação	61
5.9	Conclusão – Biodiesel.....	61
6	Considerações Finais	62

7	Análise crítica do estágio de conclusão de curso	64
8	Referências Bibliográficas.....	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração de biodigestor Modelo Indiano.....	20
Figura 2 - Ilustração de biodigestor Modelo Chinês	20
Figura 3 - Biodigestor Batelada Tubular com manta plástica (TORRES et al., 2012).	21
Figura 4 - Garrafa PET recoberta por papel alumínio (a). Garrafa PET recoberta por papel alumínio mais a manta térmica (b).	22
Figura 5 - Material conforme coletado (a). Material após o peneiramento e desmanche dos aglomerados de esterco (b).	22
Figura 6 - Calibração dos termômetros com auxílio de um banho-maria e um Termohigrômetro (padrão).	24
Figura 7 - Medidores de biogás flutuando em água por conta de terem contido no seu interior o biogás.	25
Figura 8 - Curva de correção para os recipientes plásticos utilizados para a medição de biogás.	28
Figura 9 - Produção de biogás em horas decorridas do experimento.	32
Figura 10 - Temperatura média interna do minibiodigestores do Tratamento 1 (Média T1), Tratamento 2 (Média T2), Tratamento 3 (Média T1), Testemunha, temperatura interna e externa da caixa, Temperatura máxima e mínima da caixa no decorrer das horas.	33
Figura 11 - Principais produtores mundiais de biodiesel em 2010 e suas produções em milhões de m ³ de biodiesel.	35
Figura 12 - Flor do cártamo (a). Semente de cártamo (b).	39
Figura 13 - Esquema da reação de transesterificação.	41
Figura 14 - Esquema da reação de esterificação.	42
Figura 15 - Medição de comprimento, espessura e largura de sementes de cártamo, respectivamente da esquerda para direita.	45
Figura 16 - Tegumento externo (a) separado dos tegumentos internos (b).	46
Figura 17 - Obtenção da densidade das sementes.	47
Figura 18 - Extratores tipo Soxhlet realizando a extração química de óleo de cártamo.	48
Figura 19 - Extratora mecânica realizando a extração de óleo de cártamo.	50

Figura 20 - Reator de vidro encamisado com três conexões e capacidade interna para 500 mL, onde a reação de transesterificação foi realizada. 54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização química e físico-química de esterco de frango segundo GUERRA- RODRIGUEZ et al., 2001, apud KELLEHER et al., 2002.	9
Tabela 2 - Quantidade (g) e porcentagem (%) de esterco e água correspondente a cada tratamento.	23
Tabela 3 - Média das temperaturas marcadas nos termômetros e média das variações de temperaturas encontradas nos termômetros para uma determinada temperatura ambiente.	29
Tabela 4 - Densidade aparente (D_a), densidade de partícula (D_p), porosidade total (P_t), pH e umidade gravimétrica (G) da cama de ave utilizada no experimento...	30
Tabela 5 - Média de valores de produção total de biogás.	31
Tabela 6 - Comparação de algumas fontes de matéria-prima para a produção de biodiesel (SUAREZ et al., 2009).....	38
Tabela 7 - Média, moda, mediana, valor máximo, valor mínimo e desvio padrão da biometria de 100 sementes de cártamo.	55
Tabela 8 - Média do teor de óleo do tegumento externo e dos tegumentos externo extraídos quimicamente.	56
Tabela 9 - Média do teor de óleo das sementes de cártamo sob extração química e mecânica e teor de óleo nas tortas obtidas da extração mecânica após uma passada na extratora e duas passadas na extratora.....	57
Tabela 10 - Detalhamento da extração mecânica do óleo de cártamo com massa de sementes utilizadas na extração, total de óleo e bora extraídos, tempo de extração, capacidade de produção, capacidade de manipulação e eficácia operacional.....	58
Tabela 11 - Índices de acidez, saponificação, iodo, peróxido e refração para os métodos de extração química e mecânica.	59

LISTA DE ABREVIATURAS

AGV - Ácidos graxos voláteis

ANOVA - Análise de variância

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

B5 - Mistura contendo 5% biodiesel e 95% diesel

B7 - Mistura contendo 7% biodiesel e 93% diesel

B10 - Mistura contendo 10% biodiesel e 90% diesel

B100 - 100% biodiesel

CCA - Centro de Ciências Agrárias

CM - Capacidade de manipulação

C/N - Carbono/Nitrogênio

CP – Capacidade de produção

Da - Densidade aparente

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

Dp - Densidade de partícula

EFAE - Estação de Fontes Alternativas de Energia

EO - Eficácia operacional

EU - União Europeia

FAO - Food and Agriculture Organization

GLP - Gás Liquefeito de Petróleo

G% - Umidade gravimétrica

INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial

MME - Ministério de Minas de Energia

MS - Matéria seca

m/v – Massa/volume

NASA - National Aeronautics and Space Administration

ONU - Organizações das Nações Unidas

PET - Politereftalato de etileno

PIB - Produto Interno Bruto

PNPB - Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel

Pronaf - Programa Nacional de Agricultura Familiar

Pt - Porosidade total

SV - Sólidos voláteis

S² - Variância

TDH - Tempo de Detenção Hidráulica

UFLA - Universidade Federal de Lavras

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso foi realizado em duas instituições de ensino superior, a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e a Universidade Federal de Lavras (UFLA), e teve como objetivo participar de pesquisas na área de fontes alternativas de energia com enfoque no biogás e biodiesel. O experimento com biogás foi desenvolvido na Estação de Fontes Alternativas de Energia (EFAE) da UFSC, onde foi realizado um ensaio com minibiodigestores, feitos de garrafas PET, utilizando como material orgânico a cama de aviário. Os tratamentos variaram em relação às proporções de água (1800 g, 800 g e 666,6 g) para uma mesma quantidade de cama de aviário (200 g). Os minibiodigestores tiveram sua temperatura interna monitorada, assim como a temperatura interna da caixa onde ficaram mantidos os biodigestores e também a temperatura do ambiente externo. Observou-se neste experimento que a produção de biogás iniciou-se a partir da 24^a hora de incubação e que o tratamento com menor quantidade de água (666,6 g) teve produção de biogás superior aos demais e que as condições dadas neste experimento, como a temperatura, foram ideais para o bom desempenho da digestão anaeróbia. Já o experimento com biodiesel foi desenvolvido no Laboratório de Óleos, Gorduras e Biodiesel (G-Óleo) da UFLA, nele estudou-se a obtenção de óleo de sementes de cártamo a partir da extração química e extração mecânica e a produção de biodiesel a partir deste óleo vegetal. A extração mecânica comparativamente a química foi menos eficiente, pois, não retirou totalmente o óleo contido nas sementes, contudo produziu um óleo de melhor qualidade devido ao menor aquecimento durante o processo extrativo. O óleo vegetal obtido a partir do cártamo apresentou índice de acidez alto demonstrando a necessidade da realização de um pré-processo de neutralização no óleo para produção de biodiesel, os demais índices analisados (saponificação, peróxido, iodo e refração) estavam dentro dos padrões necessários para produção de biodiesel. As sementes de cártamo utilizadas apresentavam teor de óleo de 36% em média e o rendimento de produção de biodiesel foi de 78,9%.

Palavras-chaves: biogás, biodiesel, minibiodigestores, cártamo, óleo vegetal, temperatura, energia limpa, biocombustíveis, digestão anaeróbia, extração mecânica, extração química.

ABSTRACT

This term paper was conducted at two higher education institutions, the Federal University of Santa Catarina (UFSC) and the Federal University of Lavras (UFLA), and aimed to participate in research on alternative energy sources with a focus on biogas and biodiesel. The experiment was developed with biogas station in Alternative Energy Sources (EFAE) UFSC, where a test was conducted mini biodigester made of PET bottles, using organic material as litter. The treatments varied with respect to the proportions of water (1800 g, 800 g and 666,6 g) for a same amount of manure (200 g). The mini biodigesters were monitored its internal temperature, and internal temperature of the box where the digesters were kept and also the temperature of the external environment. It was observed in this experiment that biogas production started from the 24th hour of incubation and that treatment with less water (666,6 g) was biogas production superior to others and that the conditions given in this experiment, as temperature, were ideal for the good performance of anaerobic digestion. Since the experiment with biodiesel was developed in the Laboratory of Oils, Fats and Biodiesel (G-Oil) UFLA, it was studied to obtain safflower seed oil extraction from the chemical and mechanical extraction and biodiesel production from this vegetable oil. The mechanical extraction comparatively less efficient chemistry was therefore not fully removed the oil contained in the seeds, yet yielded an oil of better quality due to less heat during the extraction process. The vegetable oil obtained from safflower showed high acidity index demonstrating the necessity of a pre-neutralization process in oil for biodiesel production, the other indexes analyzed (saponification, peroxide, iodine and refraction) were within the limits required for biodiesel production. The seeds used were safflower oil content 36% average yield and production of biodiesel was 78.9%.

Keywords: biogas, biodiesel, mini biodigesters, safflower, vegetable oil, temperature, clean energy, biofuels, anaerobic digestion, mechanical extraction, chemical extraction.

1 INTRODUÇÃO

Por séculos o homem vem utilizando recursos energéticos não renováveis e não sustentáveis, os chamados combustíveis fósseis, como carvão mineral, gás natural e petróleo e seus derivados (gasolina, óleo diesel, querosene, entre outros). BEEDLOW et al. (2004), estima que a cada ano, seis bilhões de toneladas de carbono, na forma de dióxido de carbono (CO₂), são liberados para atmosfera em consequência da queima de combustíveis fósseis; contribuindo intensamente para o efeito estufa. Ainda, a dependência a combustíveis fósseis, principalmente, os provindos do petróleo tiveram por várias vezes seus preços supervalorizados e seu fornecimento escasso devido às crises de ordem política e econômica.

Foi a partir da crise do petróleo ocorrida na década de 70 que muitos países impulsionaram a pesquisa e desenvolvimento de fontes alternativas de energia. Segundo DEGANUTTI et al., (2002), o Brasil concentrou seus esforços para substituir o petróleo através de pesquisas de algumas fontes substitutivas como o álcool, xisto, metanol, etc. . Juntamente com a necessidade de substituição do petróleo também surgiu a consciência de que o tratamento de resíduos produzidos pelas diferentes atividades do campo e urbanas é de vital importância para a saúde pública e para o combate à poluição do meio ambiente (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994).

Diante destes desafios surge a necessidade de desenvolver sistemas que combinem alta eficiência, custos baixos de produção, construção e operação e, ainda, que gerem energia limpa. Uma das opções que vem apresentando resultados favoráveis e já difundida em vários países é a utilização de efluentes orgânicos que são produto da exploração agropecuária e que através de biodigestores, em sistemas anaeróbicos, produzem o biogás e biofertilizante. Outra opção cada vez mais explorada trata-se da produção do biodiesel, principalmente, a partir de plantas oleaginosas.

2 JUSTIFICATIVA

A maior parte de toda a energia consumida no mundo provém do petróleo, do carvão e do gás natural. Essas fontes são limitadas e com previsão de

esgotamento no futuro, portanto, a busca por fontes alternativas de energia é de suma importância (FERRARI & OLIVEIRA, 2005) e o Brasil tem em sua geografia grandes vantagens agronômicas que o tornam o país com maior potencial para produção de energia renovável. Como se situa em uma região tropical possui altas taxas de luminosidade e temperaturas médias anuais. Ainda tem grande regularidade de chuvas e disponibilidade hídrica. Por estas e outras razões, que serão mostradas a seguir, este trabalho tem como tema a produção de energia limpa, focando em duas fontes alternativas com grande potencial energético, econômico, ambiental e social: o biogás e o biodiesel.

O biogás é composto por grande parcela de gás metano (CH_4), que possui potencial de poluição 21 vezes superior ao CO_2 no que se refere ao efeito estufa. (COELHO et al., 2006). Contudo, quando comparado com combustíveis fósseis, a queima do metano gera menos poluentes atmosféricos por unidade de energia gerada, por isso, é caracterizado com um combustível limpo (BEUX, 2005).

Conforme AIRES et al. (2009), frente à vocação avícola do Brasil e suas condições climáticas, verifica-se que a geração de biogás, juntamente com outras formas de energia relacionadas à biomassa, constitui-se em importante alternativa de fonte de energia, contribuindo para sustentabilidade da cadeia produtiva. Com ele concorda ARROYO (2003), que afirma que o Brasil dispõe de condições climáticas favoráveis para explorar a imensa energia derivada dos dejetos animais e restos de cultura e liberar o gás de bujão (GLP) e o combustível líquido (querosene, gasolina, óleo diesel) para o homem urbano aliviando, dessa forma, o país de uma significativa parcela de importação de derivados do petróleo. Segundo MORENG & AVENS (1990), os dejetos provenientes da avicultura são tão valiosos do ponto de vista biológico que devem ser usados com inúmeras vantagens e não simplesmente como dejetos a ser eliminado. Ainda de acordo com PLAIXATS et al. (1988) as características quantitativas, qualitativas e o alto potencial de emissão de gases de efeito estufa dos dejetos de aves, torna evidente a necessidade de um tratamento que atue sobre cada um desses pontos e que a biodigestão anaeróbia é a melhor opção de tratamento destes resíduos.

No Brasil, somente em 2011, foram produzidos 6,167 bilhões de pintos de corte, média mensal próxima de 515 milhões, que geraram um volume estimado em 12,863 milhões de toneladas de carne de frango no mesmo ano (AVISITE). Assim se considerar a produção média de dejetos (cama de aviário) de 2,19 kg

por frango de corte (SANTOS & LUCAS JR., 2003), somente no ano de 2011 foram produzidos 13,5 milhões de toneladas de cama. A aplicação destes dejetos no solo, sem um adequado tratamento, podem provocar eventos impactantes no ambiente, degradação dos ecossistemas aquáticos e terrestres, e gerar riscos à saúde humana, sobretudo pela grande carga orgânica e pela enorme quantidade de nitrogênio e fósforo presente nos dejetos (AIRES et al., 2009). Todavia, este dejetos pode ser empregado para produção de energia limpa (biogás). Segundo WINROCK INTERNATIONAL BRASIL (2008), 100 kg de cama de aviário de corte tem potencial para produzir 9 metros cúbicos de biogás. De acordo com DEGANUTTI et al. (2002), uma família de 5 pessoas em termos de uso caseiro (fogão, iluminação, geladeira, chuveiro) necessita de 8,93 m³ de biogás diariamente.

Sendo assim, se todo o dejetos da avicultura de corte do ano de 2011 tivesse sido utilizado para a fabricação de biogás teriam sido produzidos 1,22 bilhões de metros cúbicos de biogás que poderiam atender a demanda energética diária de 373 mil famílias, formadas por cinco pessoas. Isto é, haveria energia suficiente para atender a demanda de 1,9 milhões de pessoas durante um ano.

Já o biodiesel na comparação com o diesel de petróleo, também tem significativas vantagens ambientais. Estudos do *National Biodiesel Board* (associação que representa a indústria de biodiesel nos Estados Unidos da América) demonstraram que a queima de biodiesel pode emitir em média 48% menos monóxido de carbono; 47% menos material particulado (que penetra nos pulmões); 67% menos hidrocarbonetos. Como esses percentuais variam de acordo com a quantidade de B100 (100% de biodiesel) adicionado ao diesel de petróleo, no B5 (mistura de 5 de biodiesel com 95% de óleo diesel) essas reduções ocorrem de modo proporcional (BRAGA & BRAGA, 2012). Dessa forma, o biodiesel reduz a liberação de diversas substâncias prejudiciais, normalmente encontradas no escapamento dos veículos.

Além disso, RATHMANN et al. (2005) apud LIMA et al. (2008) considera as seguintes vantagens na utilização do biodiesel:

- Vantagens ecológicas: O CO₂ liberado durante a combustão dos motores é absorvido pela fotossíntese da produção agrícola que origina a matéria-prima para o Biodiesel;

- Vantagens macroeconômicas: geração de oportunidades de emprego para a população rural devido à expansão da demanda por produtos agrícolas e proximidade entre a produção do biodiesel e seu uso;
- Diversificação da matriz energética: através da introdução dos biocombustíveis;
- Vantagens financeiras: a produção de Biodiesel pode contribuir para atingir as metas que habilitam o Brasil a participar no mercado de “bônus de carbono” do Protocolo de Kyoto.
- Desenvolvimento regional: reestruturação do sistema produtivo, demonstrando a necessidade por inovações produtivas, inserindo-se aí a constituição de uma cadeia competitiva do Biodiesel como resposta de desenvolvimento local ante ao desafio global.

Em relação ao desempenho de motores usando o biodiesel, como combustível, tem-se constatado que os mesmos funcionam melhor com o biodiesel devido à sua maior lubrificidade. Além do mais, o biodiesel apresenta uma combustão mais perfeita, o que se comprova pelo indicador conhecido como número de cetano (mede a qualidade de ignição de um combustível para máquina diesel e tem influência direta na partida do motor e no seu funcionamento sob carga). Em relação à potência dos motores e ao rendimento térmico, observa-se que são quase tão bons quanto os do diesel mineral. Outras qualidades favoráveis do biodiesel estão associadas à sua menor volatilidade (ponto de fulgor mais alto), o que permite uma armazenagem mais segura (PLÁ, 2002).

O contexto atual do biodiesel retrata um mercado em expansão e carente de pesquisas e desenvolvimento, pois apesar de substituir o diesel derivado do petróleo com muitas vantagens tanto para demanda quanto para oferta, o Biodiesel propõe uma nova tecnologia de produção, e uma nova dinâmica de mercado, porque ainda não tem canais de distribuição estabelecidos (LIMA et al., 2008).

Sendo assim, estudos que possibilitam o maior conhecimento sobre a produção de energia limpa, como este, é de grande importância, já que estas são fontes de energia com grande potencial de exploração, principalmente, no Brasil. Além de gerarem renda, acarretam em melhorias ambientais, possibilita o fortalecimento da agricultura e torna as cadeias produtivas da agricultura autossustentáveis.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Participar em pesquisas na área de fontes alternativas de produção de energia limpa com biodiesel e biogás.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

3.2.1 AVALIAR O DESEMPENHO DE BIODIGESTORES DE TAMANHO REDUZIDO

- Quantificar o biogás produzido em diferentes proporções de água para uma mesma quantidade de resíduo orgânico proveniente da avicultura;
- Monitorar a temperatura interna dos biodigestores durante o processo de anaerobiose;
- Avaliar a quantidade de biofertilizante produzido;
- Avaliar o tempo médio para que se inicie a produção de biogás.

3.2.2 AVALIAR A PRODUÇÃO DE ÓLEO E BIODIESEL PROVENIENTES DE SEMENTES DE CÁRTAMO

- Avaliar a biometria, o peso de 100 sementes, a densidade, a umidade das sementes de cártamo;
- Comparar o método de extração química e mecânica de óleo quanto aos Índices de acidez, Índices de saponificação, Índices de iodo, Índices de refração, Índices de peróxido e o rendimento de óleo.
- Determinar a quantidade de óleo presente na casca (tegumento externo) e no endosperma somado ao embrião (tegumentos internos).
- Avaliar o rendimento de biodiesel e glicerina produzidos através do óleo de cártamo.

4 BIOGÁS - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 AVICULTURA MUNDIAL E BRASILEIRA

A avicultura mundial sofreu profundas modificações ao longo das últimas décadas e foi a partir da Segunda Guerra Mundial que ocorreram expressivas mudanças, quando houve a retomada do crescimento econômico, havendo à evolução da criação para os sistemas intensivos de produção (estabulação e rações). Isto só foi possível devido aos avanços tecnológicos, que ocorreram ao longo de décadas de pesquisas, que permitiram melhorar significativamente os principais índices técnicos como a conversão alimentar, velocidade de crescimento, produção de ovos e mortalidade das aves. Estes associados ao desenvolvimento nas áreas de nutrição, manejo, sanidade e ambiência, e ainda a alta disponibilidade das principais matérias-primas alimentares das aves, milho e soja, permitiram a criação intensiva de aves em escalas industriais e altas produtividade de carne e ovos (PINOTTI & PAULILLO, 2006; MARTINS et al, 2007; ROCHA et al., 2008).

Anteriormente um frango necessitava de 70 dias para alcançar o peso de abate e consumia 2 kg de ração para ganhar 1 kg de peso vivo. Hoje um frango alcança 2,4 kg de peso vivo em 42 dias e necessita de 1,8 kg de ração para ganhar 1 kg de peso vivo (GIROTTI & MIELI, 2004 apud VALADÃO et al., 2011). Estas modificações possibilitaram a produção de toneladas de carne de frango e ovos todos os anos.

No agronegócio brasileiro o modelo de produção integrada de frango foi em grande parte responsável pelo crescimento das últimas décadas e pelo atual baixo custo de produção. Assim como, pela organização, uso de tecnologia e capacidade gerencial a avicultura brasileira tem sido um exemplo de sucesso para as demais cadeias de carnes (MIELE & GIROTTI, 2005).

De acordo com a EMBRAPA (2011), os Estados Unidos são na atualidade os maiores produtores do mundo de carne de frango seguido pela China e pelo Brasil. Em 2010, os Estados Unidos produziu 16,5 milhões de toneladas, enquanto China e Brasil produziram 12,5 e 12,3 milhões toneladas, respectivamente. Contudo, o país que mais exporta é o Brasil, seguido de perto pelos Estados Unidos e a União Europeia (EU-27), a China está apenas no 5º lugar neste ranking. Os países que mais importaram, em 2010, foram o Japão, a

Arábia Saudita e a EU-27, com as marcas respectivas de: 789 mil toneladas.; 678 mil toneladas e 676 mil toneladas.

Conforme MIELE & GIROTTO (2005) o consumo médio mundial *per capita* é de 11 kg/habitante/ano, sendo atualmente os Estados Unidos os maiores consumidores com 50,7 kg/habitante/ano (dados de 2007). Mas quando se trata de ovos a China é o maior produtor mundial, em 2010 sua produção chegou a 23.633.659 toneladas de ovos, que é quase 5 vezes maior que o segundo maior produtor do mundo, o Estados Unidos (5.349.100 ton.), e 8 vezes maior que o terceiro maior produtor, a Índia (3.200.000 ton.).

Segundo a UBA (2010), o Brasil é o sétimo maior produtor mundial de ovos. O plantel de poedeiras em 2009 foi de aproximadamente 80 milhões de aves mensal com uma produção anual de 22 bilhões de ovos, que corresponderam a 1.921.890 toneladas. E o consumo de ovos no Brasil é de aproximadamente 120 unidades *per capita* por ano.

4.2 AVICULTURA EM SANTA CATARINA

O Estado de Santa Catarina é o segundo maior produtor de aves do Brasil e também o Estado que mais exporta, estando habilitado a exportar para mais de 120 Países, como para os demais estados do Brasil. O faturamento é de mais de um bilhão de dólares em vendas externas e o volume anual de abates é de aproximadamente 700 milhões de aves. O Estado reúne 13.000 avicultores, dos quais 10 mil são integrados às agroindústrias. O sistema de integração levou bem-estar às famílias rurais e transferiu tecnologia aos criadores. O setor emprega diretamente 40 mil pessoas e, indiretamente, mais 80 mil pessoas (AVICULTURA INDUSTRIAL, 2011).

A estrutura de integração na avicultura do Estado de Santa Catarina, pautada no sistema de parcerias entre indústria, tecnólogos e produtores rurais, tornou-se o padrão de competitividade brasileira para o mercado externo. O início da atividade avícola catarinense ocorreu de forma simultânea e diferenciada com o processo de interação organizacional, econômica e política e que resultou na formação das competências empresariais específicas para o desenvolvimento do modelo de contratos de integração. Com a estruturação do sistema de integração em contratos, as estratégias da produção e da comercialização de aves do

Estado de Santa Catarina foram difundidas para as outras regiões brasileiras e também para outras cadeias agroindustriais (PINOTTI & PAULILLO, 2006).

4.3 DEJETOS DA AVICULTURA

Os resíduos da avicultura, tanto de corte quanto de postura, são denominados cama-de-frango ou, ainda, cama-de-aviário. Ela contém além da excreta das aves, o material absorvente usado como cama, daí seu nome, e em menor quantidade outros materiais como ração das aves, penas, material do piso do aviário, etc.. O material absorvente é bastante variável, sendo os mais comuns a maravalha (pó de serra) e a casca de arroz e com menor frequência casca de amendoim, palhas em geral, sabugo picado e outros. Essa diversidade causa grande heterogeneidade na composição da cama de frango e, somado a isso, o tipo de ração, a idade e tipo de aves, a quantidade de penas e excretas, o número de lotes criados, o tempo e forma de armazenamento da cama. (ALMEIDA et al., 2005; EL BOUSHY & VAN DER POEL, 1994, apud LEME et al., 2000).

As características e o volume de resíduos gerados na avicultura estão associados, também, ao sistema de manejo adotado e aos aspectos nutricionais dos animais, apresentando grandes variações na concentração dos seus elementos entre granjas e dentro de uma própria granja (PERDOMO et al., 2000 apud STEIL, 2001).

A cama-de-aviário é rica em matéria orgânica, uréia e outros nutrientes (ALMEIDA et al., 2005). O conteúdo de nitrogênio presente no dejetos geralmente limita a sua aplicação no solo por ser um nutriente que, como o fósforo, pode tornar-se uma fonte poluidora quando em excesso (ATKINSON & WATSON, 1994; e WITTMANN & SZÛCS, 1997 apud STEIL, 2001).

As características químicas e físico-químicas do esterco de ave encontram-se resumidas na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização química e físico-química de esterco de frango segundo GUERRA- RODRIGUEZ et al., 2001, apud KELLEHER et al., 2002.

Esterco de frango sólido		Quantidade
Matéria Orgânica	% Matéria Seca	85,38%
pH		8,8
Umidade	% Peso Molhado	48,69%
Nitrogênio total		3,56%
Nitrogênio inorgânico		1,74%
Nitrogênio amoniacal	% Peso Seco	1,76%
P ₂ O ₅		0,71%
K ₂ O ₅		3,79%

Com a intensificação da avicultura industrial, como consequência, houve o aumento do volume de dejetos gerados por unidade de área, os quais passaram a ser lançados de forma inadequada, sem tratamento prévio ou manejo adequado, na natureza. Esses dejetos, se dispostos inadequadamente, podem causar poluição ambiental devido à alta concentração de matéria orgânica, nutrientes, além de metais pesados e também pela proliferação de patógenos que estão associados à transmissão de inúmeras doenças aos homens e animais. O seu poder de poluição é determinado pelo número de contaminantes que possuem cuja ação individual ou combinada representa uma fonte potencial de contaminação do ar, dos recursos hídricos e do solo. (SCHERER & BALDISSERA, 1995; STEIL et al., 2002; AUGUSTO et al., 2009).

Os dejetos de aves possuem potencial poluidor superior ao do dejetos humano, sendo que a água residuária produzida pela avicultura tem demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), aproximadamente, 8 vezes maior do que a do esgoto urbano (KONZEN, 1980).

Apesar destas características poluidoras, os dejetos de aves, quando tratados corretamente e incorporados ao solo, podem melhorar suas propriedades físicas, químicas e biológicas devido a seu alto conteúdo de matéria orgânica (SOUZA et al., 2005).

4.4 O BIOGÁS

O processo de decomposição da biomassa faz com que grande parte da energia armazenada nela seja perdida para a atmosfera na forma de gases e de calor. Toda matéria viva, após a morte, é decomposta por microrganismos.

Durante esse processo de decomposição as bactérias retiram da biomassa parte das substâncias de que necessitam para a manutenção da sua sobrevivência e, em contrapartida, lançam na atmosfera gás e calor. Esse gás é o chamado biogás, uma fonte de energia abundante, não poluidora e barata que foi descoberta no século XVIII por Alessandro Volta (BARRERA, 2003).

Naturalmente, a composição do biogás varia de acordo com o tipo e quantidade de biomassa empregada, os fatores climáticos e as dimensões do biodigestor, entre outros, mas a composição básica não deve variar significativamente (SEIXAS et al., 1980).

De acordo com RUIZ et al. (1992), a forma como é produzido, o biogás é constituído basicamente de 60 a 70% de metano (CH_4) e 30 a 40% de dióxido de carbono (CO_2), além de traços de hidrogênio (H_2), nitrogênio (N_2), gás sulfídrico (H_2S), etc.. Segundo BARRERA (2003), o metano não tem cheiro, cor ou sabor, mas o gás sulfídrico tem cheiro semelhante ao de ovo podre, o que confere ao biogás um odor característico, mas este odor desaparece após sua queima.

Em função da porcentagem com que o metano participa na composição do biogás, tem seu poder calorífico variando entre 5.000 e 7.000 kcal por metro cúbico. Para aumentar o poder calorífico, rendimento térmico e eliminar a característica corrosiva devido à presença de gás sulfídrico e água, é preciso tratar e purificar o biogás produzido. Esse poder calorífico pode chegar a 12.000 kcal por metro cúbico uma vez que eliminado todo o gás carbônico da mistura. Com a remoção de H_2S , CO_2 e da umidade, com a intenção de aumentar o poder calorífico do gás também se evita danos nos equipamentos. Os danos estão relacionados principalmente à corrosão interna dos componentes metálicos pela ação corrosiva do ácido sulfídrico em solução (COELHO et al., 2006). Traduzindo em termos práticos 1 metro cúbico de biogás equivale a: 0,61 litros de gasolina; 0,57 litros de querosene; 0,55 litros de óleo diesel; 0,45 kg de gás liquefeito; 0,79 litros de álcool combustível; 1,538 kg de lenha; e 1,428 kWh de energia elétrica (DEGANUTTI et al., 2002; OLIVEIRA, 2005).

Muitas matérias-primas podem ser utilizadas para produção de biogás, são elas: fezes de animais (bovinos, caprinos, equinos, suínos, aves, etc.), restos de alimentos, papéis e jornais, soro de leite, resíduos de cervejaria, esgoto, lixo urbano, entre outros. Cada matéria prima ou fonte de resíduo tem um potencial de geração de biogás. Resíduos altamente fibrosos, como bagaço de cana e casca

de arroz, considerados de baixa digestibilidade, apresentam potencial reduzido. Já materiais ricos em amido (restos de grãos), proteína (restos e sangue de abatedouros), celulose (gramíneas) e carboidratos apresentam um potencial mais elevado de produção de biogás (GRYSCHER & BELO, 1983).

4.5 O BIOFERTILIZANTE

Após a produção do biogás, a biomassa fermentada deixa o interior do biodigestor sob a forma líquida, rica em material orgânico (húmus), com grande poder de fertilização.

Este biofertilizante, aplicado ao solo, melhora as qualidades físicas, químicas e biológicas deste. É possível, logicamente, usar adubos químicos em lugar da matéria orgânica, mas estes não podem suprir as qualidades físicas e biológicas fornecidas por aquela (GASPAR, 2003; KELLEHER et al., 2002).

Segundo a WINROCK INTERNATIONAL BRASIL (2008) e STEIL (2001) o biofertilizante apresenta alta qualidade e sua aplicação no solo apresenta as seguintes vantagens:

- A redução do teor de carbono (C) do material, a matéria orgânica digerida libera carbono na forma de metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), o que aumenta o teor de nitrogênio (N) e demais nutrientes, em consequência da liberação do carbono;
- A diminuição da relação C/N da matéria orgânica, que melhora a utilização agrícola. MOREIRA & SIQUEIRA (2002) explicam que com a baixa relação C/N a demanda por N dos microrganismos no processo de decomposição é satisfeita rapidamente, e o N em excesso passa a ser liberado rapidamente no solo;
- A solubilização parcial de alguns nutrientes deixa-os mais facilmente disponível as plantas;
- O conteúdo de matéria orgânica do resíduo resulta em uma capacidade de retenção de umidade pelo solo, evitando demora no crescimento das plantas durante o período de estiagem;
- Melhora a estrutura do solo, especialmente em argilas, permitindo maior penetração de ar com consequente estímulo à oxidação da matéria orgânica pelos organismos do solo;

- E, segundo (SANTOS, 1997; SEIXAS, 1994) ocorre à diminuição parcial e às vezes total da carga de patógenos.

4.6 UTILIZAÇÃO DO BIOGÁS E DO BIOFERTILIZANTE

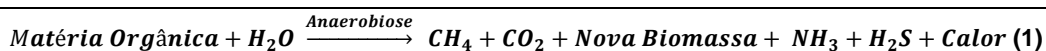
A utilização do biogás como combustível contempla várias formas de uso, desde motores a explosão interna, passando por aquecimento de caldeiras e fornos e, ainda, podendo ser utilizado em turbinas a gás ou em microturbinas. De forma mais prática: o biogás produzido pode ser usado para cozinhar em residências rurais próximas ao local de produção, no aquecimento de instalações para animais ou de estufas de produção vegetal e ainda ser compactado e vendido comercialmente a empresas de combustíveis. Também pode ser usado para a geração de energia elétrica, através de geradores elétricos acoplados a motores de explosão adaptados ao consumo de gás. Mas, para que estes usos possam ocorrer é necessário identificar a vazão, composição química e poder calorífico do biogás gerado, sendo estes parâmetros que determinam o real potencial de geração de energia tanto na forma de energia elétrica quanto calor e trabalho. A lama residual, o biofertilizante, é estável e possui propriedades fertilizantes. Além de água, esse líquido apresenta elementos químicos como nitrogênio, fósforo e potássio em quantidades e formas químicas que podem ser usadas diretamente na adubação de espécies vegetais através de fertirrigação. Apesar dos biodigestores serem usados principalmente como fonte de energia e biofertilizantes para produtores rurais, o biodigestor também pode ser usado como um sistema de tratamento de esgotos humanos para pequenas comunidades urbanas (CARVALHO, 2008; COELHO et al., 2006; KELLEHER et al., 2002).

4.7 DIGESTÃO ANAERÓBIA

A decomposição que o material sofre no interior do biodigestor na ausência de oxigênio, com a conseqüente geração de biogás, chama-se digestão anaeróbia ou fermentação ou ainda estabilização (DEGANUTTI et al., 2002).

De acordo com KELLEHER et al. (2002), o processo de digestão anaeróbia envolve a degradação e a estabilização da matéria orgânica levando à formação de metano, produtos inorgânicos (dióxido de carbono) e biofertilizante (matéria

orgânica estabilizada). A representação da digestão anaeróbia pode ser feita pela seguinte equação:



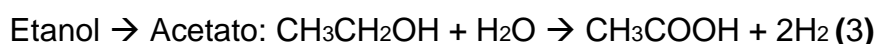
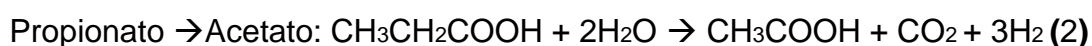
As principais finalidades da digestão anaeróbia são a remoção da carga orgânica poluente, redução dos microrganismos patogênicos, produção de biogás e produção de biofertilizante mais estável, mais rico em nutrientes assimiláveis e com melhor qualidade sanitária quando comparado ao dejetos inicial (KELLEHER et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2002).

Esse processo pode ser descrito em quatro fases principais: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (METCALF & EDDY, 1991; MALINA JR. & POHLAND, 1992; VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994; CHERNICHARO, 1997); que resumidamente são apresentadas a seguir.

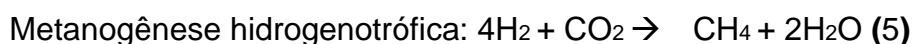
Na primeira fase – ou hidrólise – o material orgânico complexo é convertido em compostos dissolvidos de menor peso molecular pela interferência de exoenzimas excretadas por bactérias fermentativas hidrolíticas. No processo, proteínas são convertidas a aminoácidos; carboidratos se transformam em açúcares solúveis e lipídios em ácidos graxos de longa cadeia e glicerina.

Na segunda fase – ou acidogênese – os compostos dissolvidos gerados na hidrólise são absorvidos, metabolizados e excretados, por bactérias fermentativas, na forma de ácidos graxos voláteis (AGV), álcoois, ácidos lácticos e compostos minerais (CO₂, H₂, NH₃...).

Na terceira fase – ou acetogênese – por intermédio de bactérias acetogênicas, os produtos da acidogênese são convertidos nos substratos para produção de metano – ácido acético (CH₃COOH), hidrogênio (H₂) e dióxido de carbono (CO₂). Cerca de 70% da demanda química de oxigênio (DQO) afluyente se converte em ácido acético e o restante, em CO₂ e H₂. De acordo com BELLI F^o (1995) apud Fox e Pohland (1994), as reações de acidogênese, em pH 7 e pressão de 1 atm, que conduzem à formação de ácido acético são as apresentadas em (2) e (3):



Na quarta fase – ou metanogênese – o metano é produzido pelas bactérias acetotróficas, a partir da redução do ácido acético; ou, numa segunda via pelas bactérias hidrogenotróficas, a partir da redução do dióxido de carbono. A metanogênese acetotrófica e a metanogênese hidrogenotrófica, respectivamente, são mostradas nas reações (4) e (5):



SEIXAS et al. (1980) ressalta que é comum ocorrer uma diminuição na velocidade da cadeia de reações, pois as bactérias acabam ficando isoladas do meio em digestão devido à presença de microbolhas de metano e/ou dióxido de carbono que permanecem em torno das mesmas, isolando-as do contato com a biomassa. Por essa razão, cada biodigestor deve possuir um mecanismo para agitação do meio em digestão (através, por exemplo, de movimentos giratórios do gasômetro), o que provoca o desprendimento destas bolhas em direção à câmara do gás, liberando as bactérias para a continuidade de seu trabalho de degradação orgânica.

4.7.1 FATORES QUE INFLUENCIAM A DIGESTÃO ANAERÓBIA

O processo de digestão anaeróbia pode ser influenciado por uma série de fatores, favorecendo ou não a partida do processo, a degradação do substrato, o crescimento e declínio dos microrganismos envolvidos, a produção de biogás, assim como, podem determinar o sucesso ou a falência do tratamento de determinado resíduo. Entre esses fatores pode-se citar a temperatura, o pH, a presença de nutrientes, a composição do substrato, o teor de sólidos totais, e como consequência destes, a interação entre os microrganismos envolvidos no processo (STEIL, 2001).

Para a produção de biogás ser satisfatória devem ser atendidos os critérios essenciais de sustentação de vida dos microrganismos anaeróbios (bactérias), como a impermeabilidade do meio metagênico ao contato com o ar atmosférico, temperatura adequada, quantidade suficiente de nutrientes orgânicos, ausência

de substâncias tóxicas aos organismos anaeróbicos e teor de água adequado (SEIXAS et al., 1980).

REIS (1991) lembra que as atividades biológicas dos microrganismos anaeróbicos, seu desenvolvimento, reprodução e metabolismo, prescindem da presença de oxigênio, o qual, dependendo do tempo de exposição dos microrganismos lhes é fatal. Sabe-se que a decomposição de biomassa em contato com o oxigênio produz dióxido de carbono (CO_2), enquanto que, na ausência de ar (e, portanto, oxigênio) é produzido o gás metano. Qualquer falha na vedação do biodigestor inibe, quando não inviabiliza, a produção de biogás.

Como já foi dito, são diversos os fatores que podem afetar o processo de digestão anaeróbia, e estes estão relacionados com o substrato, com as características do digestor ou com as condições de operação. A seguir pode-se vê-los com maior detalhamento.

4.7.1.1 QUANTIDADE DE MATÉRIA SECA (MS)

Para que a produção de metano ocorra de forma satisfatória é necessário que a concentração de matéria seca seja de 7 a 9%, isto é, a cada 100,0 litros de biomassa deve haver uma média de 8,0 kg de MS, para digestores contínuos (MAZZUCCHI, 1980; FILHO, 1981). Já, para digestor tipo batelada a concentração de matéria seca pode chegar a 25,0% de MS, ou seja, 25,0 kg de MS para cada 100,0 litros de biomassa (MAZZUCCHI, 1980).

4.7.1.2 CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES

A presença de alguns macronutrientes como o carbono, nitrogênio, potássio, fósforo e enxofre, alguns micronutrientes minerais, vitaminas e aminoácidos são indispensáveis para o desenvolvimento das arqueas metanogênicas, sendo assim, o conhecimento da composição química e o tipo de biomassa utilizada são importantes. Se for necessário, pode ser feita a dosagem de nutrientes e ativadores químicos para que ocorra uma boa fermentação da biomassa (FILHO, 1981).

4.7.1.3 pH – ACIDEZ OU ALCALINIDADE

O pH é um índice da acidez ou alcalinidade da mistura no interior do biodigestor e que pode ser medido com a utilização de pHmêtro (MAZZUCCHI, 1980).

Em digestores, a faixa de operação está entre pH 6,0 a 8,0, sendo que o ponto ideal encontra-se em pH 7,0 (MAZZUCCHI, 1980; FILHO, 1981; VITORATTO, 2004; PARCHEN, 1979). Valores abaixo dessa faixa determinam a queda de produção do biogás, podendo chegar à paralisação quando o pH atinge valores inferiores a 6,0 (MAZZUCCHI, 1980; PARCHEN, 1979).

Durante o funcionamento de um biodigestor pode haver a necessidade de correção tanto da acidez quanto da alcalinidade do meio. Para maior alcalinidade recomenda-se a utilização de cal, carbonato de sódio (Na_2CO_3), soda cáustica (NaOH), bicarbonato de sódio (NaHCO_3) ou bicarbonato de potássio (KHCO_3). Para maior acidez recomenda-se o emprego de ácido acético (CH_3COOH), acetato de sódio (CH_3COONa), ácido carbônico (H_2CO_3), amoníaco (NH_3) ou cloreto de amônio (NH_4Cl) (STEIL, 2001).

4.7.1.4 TEMPERATURA INTERNA DO BIODIGESTOR

O processo de fermentação é influenciado diretamente pela temperatura, agilizando-o e, conseqüentemente, diminuindo o tempo de retenção da massa no interior do biodigestor além do que a porcentagem de metano na constituição do biogás é maior quando o processo de fermentação ocorre em temperaturas mais elevadas, garantindo dessa forma um maior poder calorífico à mistura. Assim, com o funcionamento na faixa de temperatura adequada, o biodigestor poderá ter seu volume diminuído pela metade ou menos para o mesmo volume de gás produzido, representando economia de material na construção, ou caso seja desejável, apresentar uma maior produção de gás com um volume pré-estabelecido em um processo anaeróbio, o mais importante é manter uma temperatura constante dentro do reator, devido, principalmente, ao fato de que as arqueas metanogênicas são mais sensíveis a variações bruscas de temperatura (BARRERA, 2003; SOUZA, 1984), apesar da formação de metano poder ocorrer em condições extremas, como 0 a 97 °C (CHERNICHARO, 1997). As arqueas metanogênicas podem ser divididas em dois grupos, as mesofílicas, que operam

em temperaturas situadas na faixa de 20 a 40 °C, e as termofílicas, que operam na faixa de 50 a 60 °C (CHERNICHARO, 1997). Quando a temperatura de operação está em torno de 35 e 37°C o processo de digestão e gaseificação é altamente acelerado (CHERNICHARO, 1997; BARRERA, 2003; PARCHEN, 1979; MAZZUCCHI, 1980. Para temperaturas inferiores a 35°C o processo de digestão é menor e, para temperaturas inferiores a 15°C, a produção é muito reduzida, podendo ser cessada (BARRERA, 2003; MAZZUCCHI, 1980)

Como se sabe, ao trabalharem na biodigestão, as bactérias também produzem o calor necessário para a sua manutenção então, o interessante é apenas impedir que variações climáticas externas bruscas interfiram na temperatura interior (BARRERA, 2003). Portanto, pelo fato das arqueas metanogênicas serem sensíveis a variações de temperatura é importante manter a temperatura próxima de 35 °C, garantindo assim um processo de digestão e gaseificação aceleradas com alto teor na concentração de metano. É uma boa prática construir o digestor em sua totalidade ou maior parte enterrada no solo.

LUCAS JR. (1994) afirmou que a definição de uma temperatura operacional é extremamente importante do ponto de vista biológico e econômico, uma vez que a taxa de produção de biogás depende da temperatura. Biodigestores operando na faixa termofílica produzem maior quantidade de biogás em menor período quando comparados com aqueles operados na faixa mesofílica, resultando em menores tempos de detenção hidráulica (período em que o resíduo permanece no interior do biodigestor), implicando em menor volume para o tratamento e, conseqüentemente, menores custos de implantação. Entretanto, o baixo custo da câmara de fermentação é compensado pelos custos de aquecimento, uma vez que, geralmente, o gás produzido é insuficiente para aquecer os resíduos a serem tratados.

4.7.1.5 TEMPO DE DETENÇÃO HIDRÁULICA (TDH)

Tempo de detenção hidráulica ou período de detenção hidráulica é o tempo que o material permanece no interior do biodigestor, ou seja, tempo entre a entrada do efluente e a saída do afluente do digestor. De acordo com os diferentes substratos (biomassa) utilizados para a alimentação do biodigestor, e dos demais fatores, o tempo de detenção varia de 4 a 60 dias (FILHO, 1981;

MAZZUCCHI, 1980). Para o substrato composto de resíduos de abatedouro o tempo de detenção situa na faixa de 20 a 30 dias, sendo que com 30 dias a carga orgânica já sofreu grande redução e devido a isso, a produção de biogás já atingiu seu máximo e a partir desse ponto passa a decair (BEUX, 2005).

4.7.1.6 CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS VOLÁTEIS (SV)

Os sólidos voláteis são fermentados para produzir o biogás, daí a importância e necessidade de saber qual a concentração dos mesmos, se possível. Quanto maior a concentração de sólidos voláteis na biomassa, maior será a produção de gás, lembrando que isso também dependerá da eficiência do sistema digestor (FILHO, 1981).

4.7.1.7 PRESENÇA DE SUBSTÂNCIAS TÓXICAS

Deve-se tomar cuidado com o material que entra no digestor para que o mesmo não possua nutrientes em excesso, desinfetantes fortes, bactericidas, combustíveis derivados de petróleo entre outros elementos que possam contaminar o substrato e ser fatal para as bactérias envolvidas no processo biológico de formação do gás (BARRERA, 2003; FILHO, 1981; PARCHEN, 1979).

4.7.1.8 RELAÇÃO CARBONO/NITROGÊNIO

É outro parâmetro que está diretamente relacionado ao desenvolvimento do processo biológico da fermentação. Para uma digestão ótima, é necessário que esta relação se situe entre 20 a 30:1, ou seja, de 20 a 30 partes de carbono para uma parte de nitrogênio (FILHO, 1981).

4.8 BIODIGESTOR

Os biodigestores são aparelhos que a partir de substratos biodegradáveis produzem biogás e biofertilizante, alterando a estrutura bioquímica do resíduo para forma menos poluente, sem a necessidade do emprego de aditivos químicos.

Os principais modelos de biodigestores rurais de acordo com ORTOLANI et al. (1996), são:

I – Modelo Indiano: O biodigestor modelo indiano constitui-se basicamente, de um reservatório cilíndrico dividido em duas câmaras por uma parede, gasômetro e caixas de abastecimento e saída (Figura 1).

II – Modelo Chinês: Este modelo constitui-se de um corpo cilíndrico, duas calotas esféricas, caixa de entrada, caixa de saída e uma boca de inspeção (Figura 2).

Seu funcionamento difere do modelo indiano, principalmente, pelos seguintes aspectos:

- Trabalha com pressão variável;
- Não possuem saída automática do efluente;
- Possui fluxo e refluxo do substrato, através do orifício de saída, conforme a pressão do biogás aumenta e diminui em seu interior.

Os principais detalhes entre o modelo Indiano e o modelo Chinês são:

- Modelo Chinês possui dimensões (ou construção) mais simples;
- Produção pouco maior do que a prevista dentro de um período de 24 horas acrescentaria um maior volume no gasômetro do modelo chinês prejudicando a produção dos dias subsequentes. Reverte-se a situação no modelo indiano com gasômetro superdimensionado;

- O modelo Chinês poderá acumular biogás em pressões maiores, já o modelo indiano limita-se automaticamente, liberando o excesso para a atmosfera.

- Devido à pressão causada pela produção de biogás o modelo Chinês expulsa o volume de substrato correspondente, reduzindo o mesmo de 1/3, e favorece a formação de crosta;

III – Modelo Batelada ou semicontínuo: Constitui-se, basicamente, de um corpo cilíndrico, um gasômetro flutuante e uma estrutura guia do gasômetro, que poderá ser um sistema de trave e roldanas (Figura 3).

Os biodigestores em Batelada diferem do modelo Indiano e Chinês pelos seguintes aspectos:

- São abastecidos em uma só vez e esvaziados após um período conveniente de fermentação;
- Apresentam produção de biogás na forma de picos;

- Não possui caixa de entrada e de saída;
- Não necessita de paredes divisórias.

Enquanto, o modelo Indiano e Chinês prestam-se para atender propriedades em que a disponibilidade de biomassa ocorre em períodos curtos, como, por exemplo, aquelas que recolhem o gado uma ou duas vezes por dia para a ordenha, permitindo coleta diária de biomassa, que deve ser encaminhada ao biodigestor, o modelo em batelada, adapta-se melhor quando essa disponibilidade ocorre em períodos mais longos, como acontece em granjas avícolas de corte, cuja biomassa fica à disposição após a venda dos animais e limpeza dos galpões.

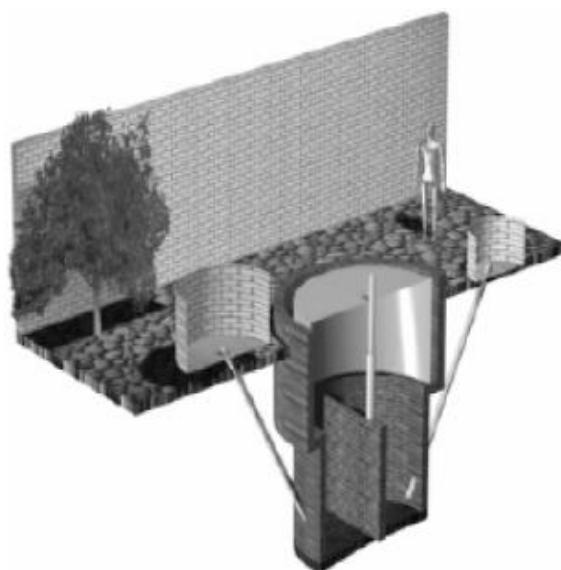


Figura 1 - Ilustração de biodigestor Modelo Indiano (TURDERA & YURA, 2006).

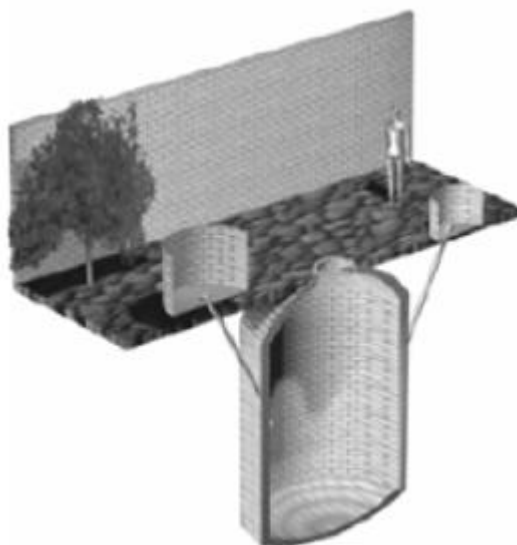


Figura 2 - Ilustração de biodigestor Modelo Chinês (TURDERA & YURA, 2006).

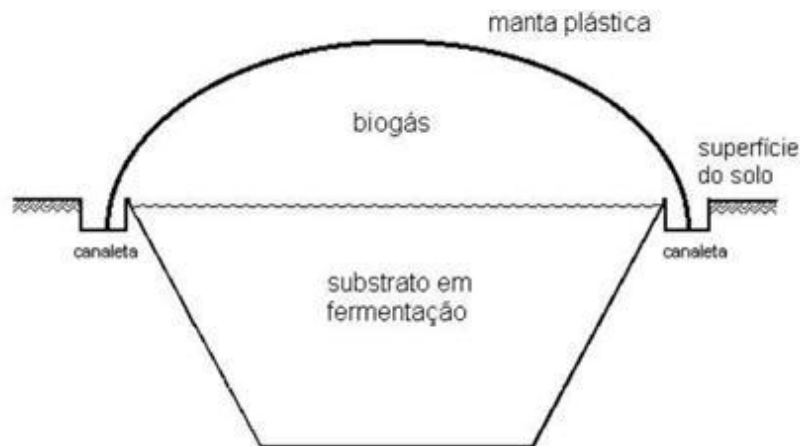


Figura 3 - Biodigestor Batelada Tubular com manta plástica (TORRES et al., 2012).

4.9 EXPERIMENTO

O experimento foi desenvolvido no Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), na Estação de Fontes Alternativas de Energia (EFAE), localizado em Florianópolis, Santa Catarina.

Utilizou-se uma caixa de madeira, tipo aglomerada, de 70 cm x 150 cm x 60 cm (comprimento x largura x altura). Para propiciar as condições ideais de produção de biogás e biofertilizante a caixa foi forrada internamente com manta térmica (1 camada de alumínio + 1 camada de polietileno), evitando a variação brusca de temperatura e a incidência de luz que são prejudiciais ao bom funcionamento do biodigestor, onde os mini biodigestores de garrafa PET (Politereftalato de etileno) de 2 L ficaram contidos durante todo o ciclo de produção com tempo de detenção de 14 dias, de 05 de setembro de 2012 até 19 de setembro de 2012.

As garrafas PET foram recobertas por duas camadas: a primeira de papel alumínio e uma segunda com a mesma manta térmica utilizada para recobrir a caixa de madeira (Figura 4).



(a)



(b)

Figura 4 - Garrafa PET recoberta por papel alumínio (a). Garrafa PET recoberta por papel alumínio mais a manta térmica (b).

O substrato que abasteceu os biodigestores foi cama de aves poedeiras, proveniente da Fazenda Experimental da Ressacada (UFSC). Este dejetos inicialmente apresentava-se com muitas impurezas vegetais (maravalha, capim e pequenos galhos). Por isso, passou por um pré-tratamento, através do peneiramento: primeiro utilizou-se uma peneira 7,93 mm de abertura Granutest® e em seguida uma peneira de 4,76 mm de abertura Fobras Ltda®. Os aglomerados de esterco foram desmanchados com as mãos. Na Figura 5 é possível ver o material antes e depois do tratamento.



(a)



(b)

Figura 5 - Material conforme coletado (a). Material após o peneiramento e desmanche dos aglomerados de esterco (b).

O experimento constituiu-se de três tratamentos com variação da quantidade de água (g) que acarreta na variação porcentual da quantidade de esterco, 10%, 20% e 30% de cama de aves (g), como observado na Tabela 2. Sendo que cada tratamento possuiu três repetições, ainda, um dos biodigestores foi mantido como Testemunha, sendo seu conteúdo 100% água. Totalizando 10 minibiodigestores.

Tabela 2 - Quantidade (g) e porcentagem (%) de esterco e água correspondente a cada tratamento.

Tratamento	Esterco (g)	% esterco	Água (g)	% água
1	200 g	10%	1800 g	90%
2	200 g	20%	800 g	80%
3	200 g	30%	666,66 g	70%

Utilizou-se água mineral Santa Catarina®, com pH a 25°C de 6,72. Isto porque não se recomenda utilizar água tratada já que esta possui cloro e flúor que podem interferir no desenvolvimento das bactérias responsáveis pela fermentação.

Cada biodigestor foi equipado com um termômetro digital com sensor externo modelo TL8009 Shenzhen AOV®, com precisão de $\pm 1^\circ\text{C}$. O sensor de temperatura ficou a uma distância média de 28 cm em relação à tampa da garrafa. A temperatura interna da caixa foi monitorada com termohigrômetro com sensor interno e externo modelo 7666.02.0.00 Incoterm®, com precisão de $\pm 1^\circ\text{C}$. E a temperatura ambiente (temperatura externa a caixa) foi monitorada com termohigrógrafo USB Temperature and Humidity Datalogger modelo KG100, com precisão de $\pm 1^\circ\text{C}$. Os dados de temperatura foram obtidos diariamente às 9 horas, às 13 horas e às 17 horas.

Os termômetros digitais com sensor externo modelo TL8009 Shenzhen AOV® foram calibrados utilizando como padrão o termohigrômetro com sensor interno e externo modelo 7666.02.0.00 Incoterm®. Para isso utilizou-se um equipamento Banho-Maria modelo NT249 Novatecnica® (Figura 6), onde se variou a temperatura marcada por este de 30°C a 60°C de 5°C em 5°C, dessa forma obteve-se 7 (sete) temperaturas pontuais. Também se utilizou a temperatura ambiente do ar e da água e também de gelo, somando mais 3 (três) temperaturas. Tendo assim, um total de 10 temperaturas pontuais variando entre 0°C e 68°C. A obtenção desses dados foram repetidas 3 vezes e analisadas

estatisticamente, para constatar se os termômetros colocados dentro dos biodigestores eram semelhantes quanto a medição de temperatura e que tinham capacidade de variar a temperatura indicada nos displays conforme as mudanças de temperatura do ambiente.



Figura 6 - Calibração dos termômetros com auxílio de um banho-maria e um termohigrômetro (padrão).

Para determinação da produção de biogás construiu-se medidores individuais para cada biodigestor, que ficaram em prateleiras acima dos biodigestores. Estes medidores constituíram-se de recipientes plásticos graduados embebidos em água, sendo esta armazenada em outro recipiente plástico. Os recipientes eram graduados de 100 mL em 100 mL até 1400 mL, estes foram calibrados utilizando uma proveta de vidro Pyrex® com volume total de 500 mL graduada de 5 mL em 5 mL. A calibração ocorreu da seguinte forma: enchem-se os recipientes graduados com água destilada até suas respectivas graduações, de 100 mL a 1400 mL, em seguida colocava-se o conteúdo na proveta e então se obtinha o real volume que os recipientes graduados marcavam. Dessa forma foi possível verificar que todos os recipientes graduados eram iguais e construir uma curva de calibração com o programa Microsoft Office Excel® em relação ao volume real, o volume encontrado na proveta.

A produção de biogás produzido nos biodigestores (garrafas PET) foi medido por um sistema constituído de mangueira de polietileno flexível 4 mm registro e recipiente graduado, conforme pode ser verificado na Figura 7. Quando os recipientes graduados flutuavam entre a marca de 1000 mL e 1200 mL eram esvaziados pela abertura do registro, que foi instalado acima da tampa da garrafa e ligado a mangueira.

Os dados coletados foram submetidos ao teste de F-máximo para avaliar a heterogeneidade das variâncias (S^2). Assim, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de separação de médias (Tukey a 5%), segundo recomendações de STEEL & TORRIE (1980). As análises estatísticas serão feitas com auxílio do software Assistat® 7.5 beta (2010).

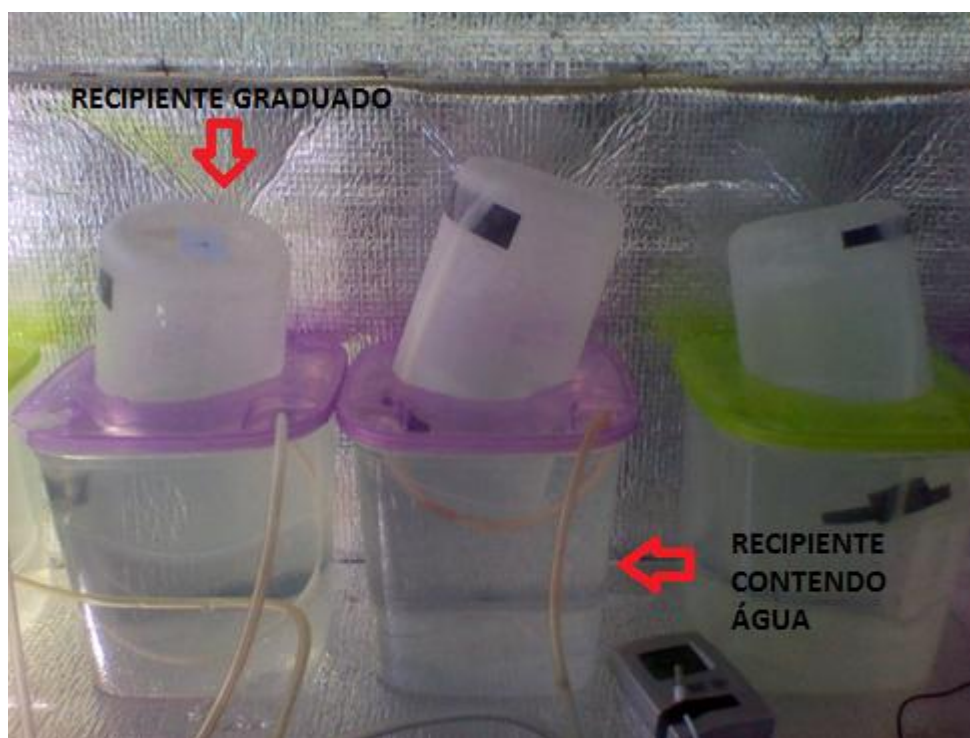


Figura 7 - Medidores de biogás flutuando em água por conta de terem contido no seu interior o biogás.

Para obter a quantidade de biofertilizante produzida após o processo anaeróbio, realizou-se a pesagem do material total inicialmente colocado nos minibiodigestores e ao final do ciclo pesou-se novamente.

As análises físicas e químicas da cama de aves foram realizadas em Laboratórios de Solos, Água e Tecidos Vegetais, de Ecologia do Solo

(CCA/UFSC), seguindo a metodologia da EMBRAPA (1997), sendo elas especificadas a seguir.

4.9.1 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE APARENTE

A densidade aparente determinou-se através do método da proveta. Este consiste em encher uma proveta de volume conhecido, neste caso 25 mL, com a amostra. Coloca-se um pouco de amostra de cada vez, e em seguida compacta-a batendo a proveta 10 vezes sobre lençol de borracha de 5 mm de espessura, com distância de queda de mais ou menos 10 cm; repete-se esta operação por mais duas vezes, até que o nível da amostra fique nivelado com o traço de aferimento da proveta. Depois se procede a pesagem da amostra. A densidade aparente foi calculada através da seguinte fórmula:

$$D_a = M_s/V_p$$

Onde:

D_a = densidade aparente (g. cm³);

M_s = massa da amostra de solo seca a 105°C (g);

V_p = volume da proveta (cm³).

4.9.2 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE PARTÍCULA OU DENSIDADE REAL

A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico. O método consiste em determinar o volume de álcool necessário para completar a capacidade de um balão volumétrico, contendo amostra seca em estufa. Acondicionou-se uma alíquota de 20 gramas de cama em latas de alumínio, que foram levadas para estufa a 105°C por 24 horas. Posteriormente, foram colocadas em dessecador, pesadas e transferidas para balões de 100 mL aferidos. Adicionou-se 75 mL de álcool etílico em cada balão, agitando bem os balões para eliminação das bolhas de ar, completando posteriormente o volume. De posse do volume de álcool (L) gasto determinou-se a densidade de partículas (D_p) pela expressão:

$$D_p = M_s / 100 - L$$

Onde:

D_p = densidade de partículas (g. cm³);

M_s = massa da amostra de solo seca a 105°C (g);

L = volume de álcool gasto (cm³).

4.9.3 DETERMINAÇÃO DA POROSIDADE TOTAL

A porosidade total (P_t) foi determinada através da fórmula:

$$P_t = 100 (D_p - D_a)/D_p$$

Onde:

D_p = densidade de partículas (g. cm³);

D_a = densidade aparente (g. cm³);

4.9.4 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA

Utilizou-se o método da umidade gravimétrica o qual determina o teor de água presente na amostra. Para isso, coloca-se a amostra em lata de alumínio numerada e com peso conhecido. Pesa-se a amostra, coloca-se nas latas de alumínio e transfere-as para estufa a 105-110° C, deixando nessas condições por 24 horas. Depois retira-se da estufa, coloca-se em um dessecador, deixa esfriar e pesa-se novamente as amostras.

Para calcular a Umidade Gravimétrica usa-se a seguinte equação:

$$\text{Umidade gravimétrica} = \frac{100 (a - b)}{b}$$

Onde:

a = peso da amostra úmida (g);

b = peso da amostra seca (g)

4.9.5 DETERMINAÇÃO DO pH

O pH foi determinado por um pHmêtro Digimed Modelo DM-22 e utilizou-se o método de medição do potencial eletrônico por meio de um potenciômetro imerso em suspensão dejetolíquido (H_2O), 1:1. Para isso colocou-se 10 mL de cama de aviário em um Becker de 50 mL e adicionou-se 10 mL de água destilada, misturou-se e então procedeu-se as medições.

4.10 RESULTADO E DISCUSSÃO – BIOGÁS

4.10.1 CALIBRAÇÃO DOS MEDIDORES DE BIOGÁS

Após a calibração dos recipientes plásticos graduados, utilizados para medir a produção de biogás, constatou-se que estes eram idênticos, mas que, contudo, apresentavam diferença entre as escalas de volume representadas e a escala real, que foi estabelecida por proveta. Dessa forma, construiu-se uma curva de correção (Figura 8) e obteve-se o fator de conversão (0,9683) para obter o valor real do volume de biogás encontrado durante o experimento.

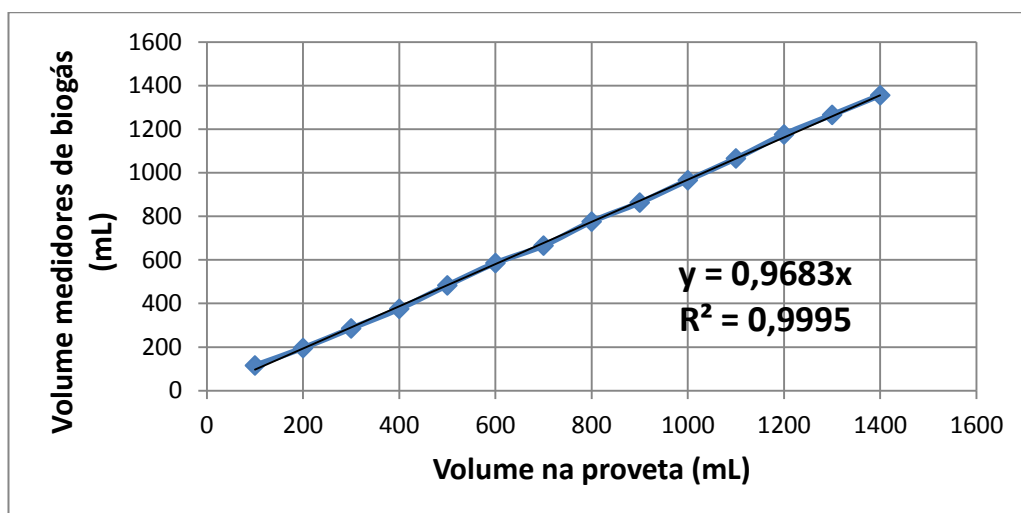


Figura 8 - Curva de correção para os recipientes plásticos utilizados para a medição de biogás.

4.10.2 CALIBRAÇÃO DOS TERMÔMETROS

Os termômetros utilizados para monitorar a temperatura interna dos biodigestores mostraram-se iguais estatisticamente, já que os resultados da análise de variância indicam que não houve diferenças significativas entre eles e por isso não foi necessário aplicar a separação de médias. E que possuíam a capacidade de variar de temperatura juntamente com a variação da temperatura ambiente, já que houve diferença entre todas as temperaturas medidas quando analisadas sob o Teste de Tukey a 5% de probabilidade, como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 - Média das temperaturas marcadas nos termômetros e média das variações de temperaturas encontradas nos termômetros para uma determinada temperatura ambiente.

Temperatura nos termômetros		Temperatura ambiente	
Term. Padrão	40,53	T1	1,52 A
Term. 1	39,42	T2	7,46 B
Term. 2	39,53	T3	24,33 C
Term. 3	39,59	T4	37,71 D
Term. 4	39,14	T5	41,88 E
Term. 5	39,50	T6	47,09 F
Term. 6	39,58	T7	51,3 G
Term. 7	39,15	T8	55,9 H
Term. 8	39,30	T9	61,69 I
Term. 9	39,30	T10	66 J
Term. 10	39,38		
CV%	4,58	CV%	1,98

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.10.3 ANÁLISES FÍSICAS DA CAMA-DE-AVE

As análises físicas foram realizadas em triplicata e os valores na Tabela 4 indicam que a cama utilizada apresentava-se com uma relação massa/volume baixa indicando, grande volume comparativamente a massa, como visualizados nos dados de densidade aparente e densidade real, isso é explicado pelos valores alto de porosidade total, isto é, em média 78% do volume da cama utilizada neste experimento era preenchido por poros (ar). A umidade gravimétrica média de 12% indica que o esterco estava com boa condição de conservação e também que o teor de água encontrado não era o suficiente para a realização

direta da digestão anaeróbia. De acordo com GALBIATTI (2004) a adição de água na digestão anaeróbia de resíduos sólidos é fundamental para reduzir o teor de sólidos e facilitar o ataque das bactérias ao material orgânico. Sendo que o conteúdo de sólidos totais nos materiais para a biodigestão varia de 6 % a 10 %.

Ainda, o pH médio encontrado de 6,48 também encontra-se na faixa adequada para que ocorra a digestão anaeróbia.

Tabela 4 - Densidade aparente (Da), densidade de partícula (Dp), porosidade total (Pt), pH e umidade gravimétrica (G) da cama de ave utilizada no experimento.

Repetição	Da (g/cm ³)	Dp (g/cm ³)	Pt %	pH	G%
1	0,45	2,08	78,59	6,52	11,98
2	0,41	1,92	78,68	6,47	10,73
3	0,44	2,00	78,06	6,45	13,72
Média	0,43	2,00	78,44	6,48	12,14

4.10.4 PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Observado o teor de água encontrado na cama utilizada (12,14%), foi necessário adicionar água para uma diminuição do teor de sólidos e diluição do conteúdo, pois o teor de água dentro do biodigestor deve variar de 60 a 90% do peso do conteúdo total. Neste trabalho optou-se por analisar o teor de água de 70%, 80% e 90%.

Como pode se observar na Tabela 5 o Tratamento 3 (30% de esterco + 70% água mineral) apresentou melhor desempenho de produção de biogás que o Tratamento 1 (10% de esterco + 90 % água mineral) e se mostrou estatisticamente igual ao Tratamento 2 (20% de esterco + 80% água mineral), que também é estatisticamente igual ao Tratamento 3. O que difere do trabalho de RICORDI et al. (2008) que em relação à produção final de biogás, onde todos os tratamentos (iguais aos tratamentos deste dado trabalho quanto aos percentuais de água e esterco em peso) atingiram valores semelhantes. Isto possivelmente se deve ao fato de que o material utilizado apresentava características físico-químicas que propiciavam uma melhor fermentação com menores teores de água, já que o excesso se mostrou prejudicial para a digestão anaeróbia.

A perda de matéria na digestão anaeróbia indica que houve atividade das bactérias na transformação da matéria em gás. Na Tabela 5, observa-se que o Tratamento 3 apresentou perda maior do que o Tratamento 1 e o Tratamento 2,

desta forma, produziu quantidade de biofertilizante menor do que o Tratamento 1, enquanto que a produção de biogás foi maior do que o Tratamento 1.

Tabela 5 - Média de valores de produção total de biogás.

Tratamento	Produção total de biogás (mL)	Perda de matéria na massa total (g)
1	4583,3 A	12,8 A
2	5433,3 AB	21,3 B
3	6353,3 B	30,6 C
CV %	7,05	4,72

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RICORDI et al. (2008), observaram que os tratamentos com percentuais de água de 70% e 80% apresentaram maior velocidade inicial de produção de biogás, estabilizando a partir do quarto dia de incubação. Porém, no Tratamento com percentual de água de 90% ocorreu uma crescente produção de biogás, estabilizando a partir do décimo dia de incubação. Diferente do que foi encontrado neste trabalho, observa-se na Figura 9, que a produção de biogás iniciou-se 24 horas após a implantação e todos os tratamentos iniciaram a produção concomitantemente. O Tratamento 3 produziu mais biogás no início do experimento enquanto que os tratamentos 2 e 1 apresentaram produção de biogás semelhante na 40ª hora de incubação.

O fato de a digestão anaeróbia ter iniciado tão rapidamente se deve ao fato de ter se dado as condições adequadas para uma ótima fermentação: impermeabilidade do ar, temperatura adequada sem variações bruscas, nutrientes essenciais, teor de água, a não presença de substâncias tóxicas, entre outros.

Semelhantemente, RICORDI et al. (2008), também teve um tempo de detenção de 14 dias, e que ao fim dos 14 dias já não havia mais produção de biogás.

Na Figura 10, é possível notar que as colocações dos materiais isolantes e até mesmo pela propriedade isolante do material da caixa de madeira fizeram com que a temperatura externa a caixa, a temperatura interna da caixa e dos minibiogestores fossem diferentes favorecendo a digestão anaeróbia. Observa-se também que as temperaturas do Tratamento 1, Tratamento 2, Tratamento 3 e da Testemunha mantiveram-se iguais durante todo experimento e a temperatura interna da caixa variou pouco em relação aos anteriores.

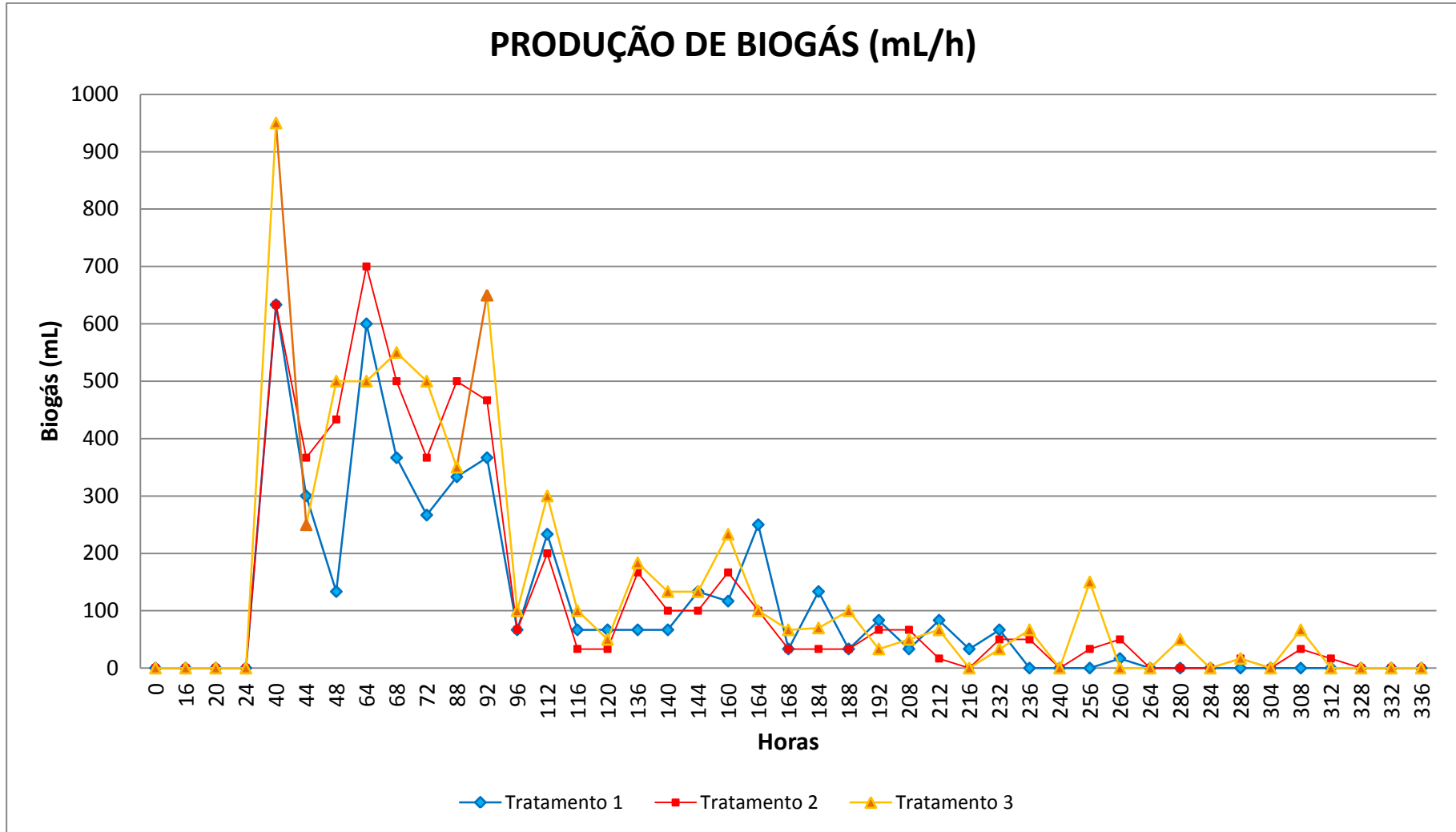


Figura 9 - Produção de biogás em horas decorridas do experimento.

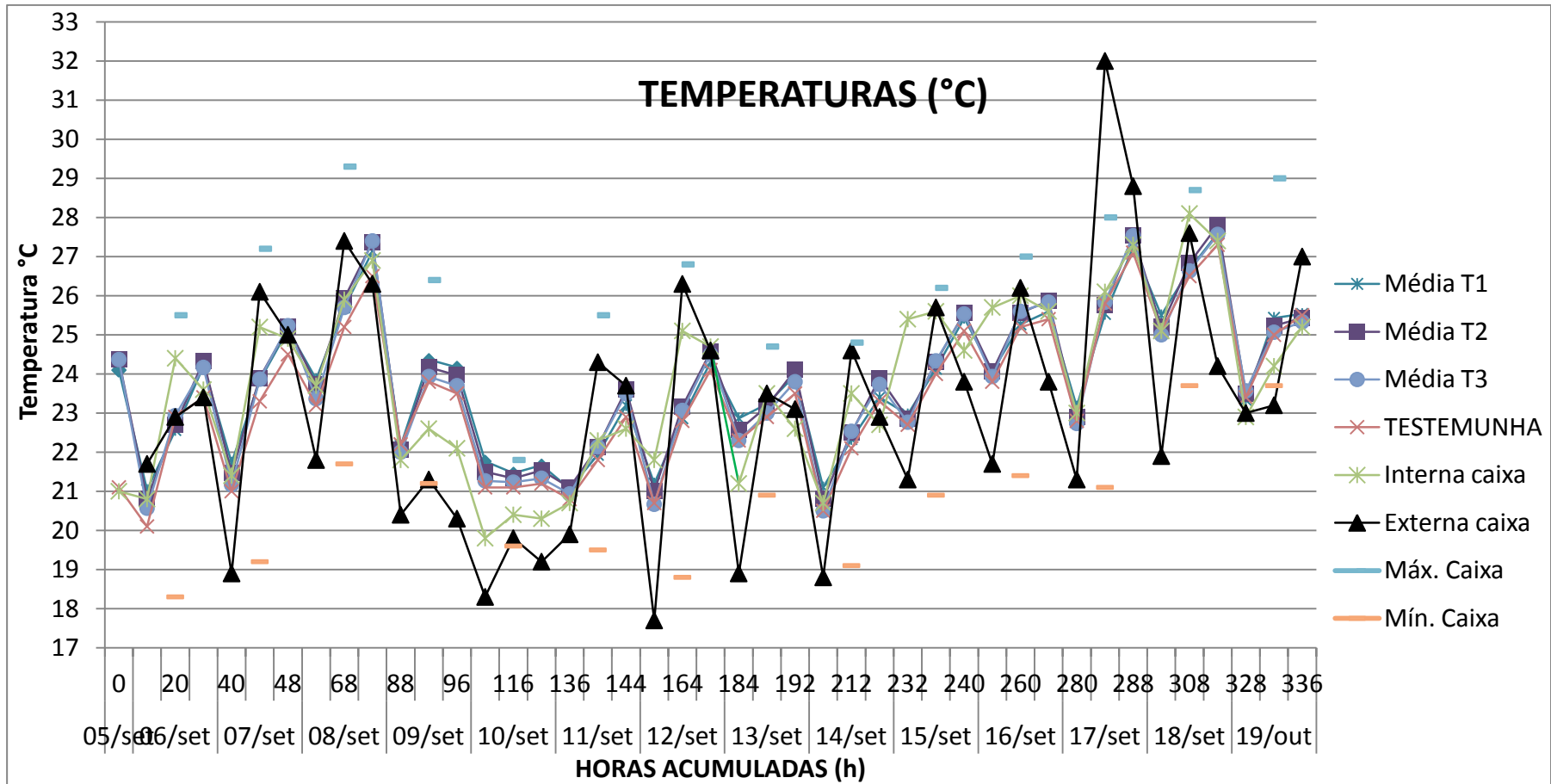


Figura 10 - Temperatura média interna do minibiodigestores do Tratamento 1 (Média T1), Tratamento 2 (Média T2), Tratamento 3 (Média T1), Testemunha, temperatura interna e externa da caixa, Temperatura máxima e mínima da caixa no decorrer das horas.

4.11 CONCLUSÃO - BIOGÁS

- A cama de aviário utilizada no experimento apresentava características químicas e físicas que a tornava apta para a digestão anaeróbia, contudo o teor de água não era suficiente tornando a adição de água essencial;

- As condições que se oportunizaram para a digestão anaeróbia foram excelentes e que por isso depois de 24 horas de incubação já havia se iniciado a produção de biogás;

- A temperatura durante todo o experimento não sofreu variações bruscas que poderiam ter afetado o processo, isto porque fez-se o isolamento térmico nos minibiodigestores e também no local em que estes foram mantidos;

- O tratamento com menor percentual de água, 70%, e com maior percentual de esterco de ave, 30%, apresentou o melhor desempenho na produção de biogás que foi igual estatisticamente ao tratamento com percentual de água e esterco de 80% e 20%, respectivamente. E o tratamento com maior percentual de água, 90%, e menor percentual de esterco, 10 %, apresentou o pior desempenho na produção de biogás;

- O tratamento com menor percentual de água, 70%, e com maior percentual de esterco de ave, 30%, ocasionou maior atividade de conversão de matéria em biogás e por consequência ocasionou maior perda do conteúdo total e produziu uma menor quantidade de biofertilizante, mas que provavelmente possui características químicas de fertilidade mais apreciáveis do que os outros tratamentos, contudo é necessária a análise química das amostras para confirmar esta teoria.

5 BIODIESEL – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 PANORAMA MUNDIAL E BRASILEIRO DO BIODIESEL

Segundo o Ministério de Minas de Energia (MME) (2011), apenas seis anos após o lançamento do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), o Brasil se consolidou como o segundo maior produtor de biodiesel do mundo, atrás apenas da Alemanha. A produção brasileira no ano de 2010 foi de 2,4 milhões de m³, enquanto que a Alemanha produziu 2,6 milhões de m³ (uma diferença de 8%) e, ainda, a Argentina ficou na terceira posição, com uma produção de 2,1 milhões de m³ em 2010, como pode ser observado na Figura 11.

Além dos ótimos resultados em 2010, deve ser ressaltado que, em 2011, o Brasil se tornou o principal mercado consumidor de biodiesel no mundo. Isso em função do crescimento da nossa demanda doméstica e também por uma pequena redução do consumo de biodiesel na Alemanha. O consumo acumulado entre janeiro e abril, de 2011, nos dois países, foi 786 e 762 mil m³, respectivamente (MME, 2011).

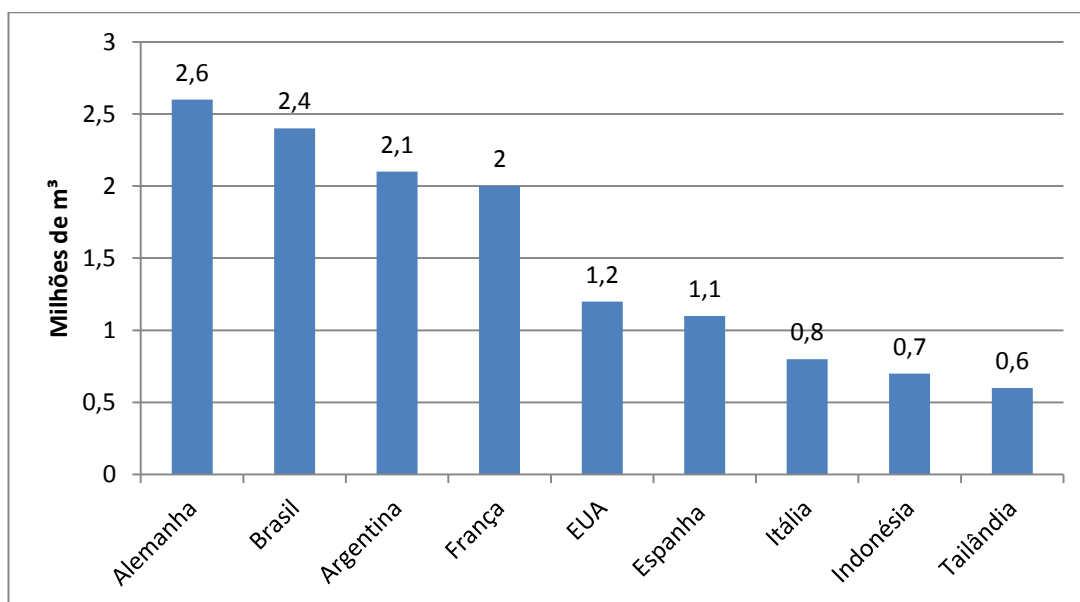


Figura 11 - Principais produtores mundiais de biodiesel em 2010 e suas produções em milhões de m³ de biodiesel (F. O. LICHT, 2010, apud MME, 2011).

Contudo, a União Européia (UE), ainda, é um dos principais mercados produtores e consumidores de biodiesel no mundo, que fabrica o produto em larga escala desde 1992. Aproximadamente a metade da capacidade produtiva de biodiesel europeu está na Alemanha, que é o maior produtor mundial do biocombustível, utilizando como principal matéria-prima a canola. O governo alemão concede subsídios de 47 euros para cada 100 litros de biodiesel (F. O. LICHT, 2005 apud MELLO et al., 2007).

De 2008 a 2011, no Brasil, a venda de biodiesel cresceu de 1,1 milhão de metros cúbicos (m³) para 2,6 milhões de m³. As regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul concentram o maior número de usinas. Em Mato Grosso, existem 20 usinas de biodiesel em atividade, em Goiás, sete, em São Paulo, oito fábricas, e no Rio Grande do Sul, cinco. No país todo, são 86 usinas em atividade (GLOBO RURAL, 2011).

Em cinco anos (2005 e 2010), os aportes da iniciativa privada (agroindústria) somaram R\$ 4 bilhões, e a capacidade total do parque industrial brasileiro é de 6,5 bilhões de metros cúbicos. No entanto, como a mistura obrigatória do produto ao diesel convencional é de 5%, e por isso as indústrias só utilizam metade de sua capacidade (GLOBO RURAL, 2011).

O governo estuda a possibilidades para aumentar a mistura de 5% para 7%. A expectativa dos empresários é que ainda em 2012 a mistura seja de 7%, em 2014, de 10% e em 2020, de 20%. (GLOBO RURAL, 2011).

Ainda, o executivo diz que atualmente a cadeia de biodiesel agrega R\$ 11,8 bilhões ao Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro com o B5 (5% de biodiesel misturado ao diesel). Com o B7 (mistura de 7%), esta contribuição seria de R\$ 13,5 bilhões, aumentando para R\$ 20,7 bilhões com o B10 (GLOBO RURAL, 2012).

Hoje, 80% do biodiesel produzido no Brasil utiliza a soja como principal fonte. Outros 16% do óleo é extraído de sebo bovino e 4%, vêm de outras fontes como girassol e caroço de algodão na região Centro-oeste, da canola na região Sul, da palma nos estados do Norte e da mamona no Nordeste. A Embrapa Agroenergia está estudando, também, fontes como o pinhão-manso para a produção do biodiesel (GLOBO RURAL, 2011).

5.2 MATÉRIAS PRIMAS

A produção de biodiesel muitas vezes esbarra no seguinte questionamento “é ético cultivar plantas para produzir energia enquanto milhões de pessoas passam fome?”. Este assunto já se discutiu muito e a nenhum consenso se chegou, pois sabe-se que a fome não está e nunca esteve ligada a falta de alimento e sim a falta de distribuição. Mesmo assim um dos grandes desafios dos processos de produção do biodiesel é encontrar matérias-primas capazes de atender às expectativas dos programas energéticos sem impactar de forma significativa a produção de alimentos. Sendo que para uma cultura ser incluída como uma matéria prima para produção de biodiesel são necessários alguns atributos como o teor e a qualidade do óleo com níveis rentáveis, produção por unidade de área e adaptação regional.

A principal oleaginosa cultivada no Brasil é a soja, em 2011 produziu-se 75,0 milhões de toneladas, plantou-se 24,2 milhões de hectares e teve-se uma produtividade média de 3,106 kg/ha (CONAB, 2012). Conforme a ANP, a participação do óleo de soja na produção de biodiesel no Brasil, em agosto de 2009, foi de 83,29%. A cultura da soja tem potencial de produção suficiente para suprir a demanda necessária para a produção estabelecida pelo Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel. Entretanto, a cultura da soja necessita de alta tecnologia em insumos para alcançar altas produtividades e em algumas situações apresenta baixa rentabilidade financeira por unidade de área. Essas características restringem seu cultivo em pequenas áreas, como para a agricultura familiar (BERALDO et al., 2009). E fica claro que o aumento na demanda por óleos para produção de biocombustíveis dificilmente poderá ser atendida pela soja, uma vez que demandaria uma larga extensão de terra agriculturável.

Existem diversas alternativas para produção de óleos e gorduras podendo se citar as de origem vegetal como: milho, canola, algodão, pinhão-manso, girassol, dendê, macaúba, crambe, nabo forrageiro, coco e algas; as de origem animal resultado do abate de suínos, bovinos e aves; e os óleos e gorduras residuais de fritura (SUAREZ et al., 2009). Segundo o mesmo autor, como pode ser observada na Tabela 6, uma produtividade melhor é alcançado com o

uso de palmáceas, tidas por muitos especialistas em produção agrícola como as únicas viáveis hoje para atender programas de biodiesel em larga escala com baixo impacto na produção de alimentos.

Tabela 6 - Comparação de algumas fontes de matéria-prima para a produção de biodiesel (SUAREZ et al., 2009).

Fonte de biodiesel	Produtividade de óleo (L.ha ⁻¹)
Milho	172
Soja	446
Canola	1190
Coco	2689
Microalga	58700

Dentre as opções de plantas oleaginosas o cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) se destaca por ser resistente às adversidades climáticas, especialmente ao déficit hídrico e mostra-se pouco sensível às variações de foto-período (BERALDO et al., 2009). E pelo fato de ser bastante resistente ao frio, chegando a suportar temperaturas negativas nas primeiras fases do ciclo vegetativo, torna-se uma alternativa para a região Sul do Brasil.

5.3 CÁRTAMO

O cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) é uma espécie cultivada a mais de 2000 anos, por diversos países que já era cultivado na Ásia antes da Era Cristã, pela sua adaptabilidade em diferentes condições ambientais e, principalmente, pela qualidade do óleo (Figura 12). Os povos antigos cultivavam para extraírem de suas flores tintas vermelha e amarelas que eram usadas para tingir tecidos de algodão e seda, e como corantes para uso culinário. A cartamina, substância alaranjada e insolúvel em água é o corante mais importante extraído das flores desta planta. Caracteriza-se por ser uma planta anual, pertencente à família *Compositae*, sendo a única espécie domesticada do gênero, mostrando-se pouco sensível às variações de foto-período e desenvolvendo-se em diferentes tipos de solos (SAMPAIO & COSTA, 1968 apud SOUZA et al. 2010 ; OELKE et al., 1992 apud SOUZA et al. 2010). Adaptada bem em terrenos profundos, pouco compactos, com boa aeração, com pH próximo da neutralidade, em zonas com um mínimo de 350-400 mm de precipitação anual. É bastante resistente ao frio, suportando

temperaturas negativas nas primeiras fases do ciclo vegetativo (LICHSTON et al, 2010 apud CASTRO et al. 2010).



Figura 12 - Flor do cártamo (a). Semente de cártamo (b).

A planta apresenta caule ereto, ramificado, com 30 a 150 cm de altura, ramos pubescentes ou glabros com ciclo vegetativo em torno de 140 dias, o qual compreende os estágios de: emergência, roseta, crescimento do caule, ramificação, floração e maturação. O sistema radicular extremamente forte e pivotante, podendo atingir 100 cm de profundidade; o caule produz ramificações em número variável, cada ramificação produz 1-5 capítulos de cor amarela, laranja ou vermelha (DAJUE & MÜNDEL, 1996 apud SILVA et al., 2008); os frutos são do tipo aquênios, cada um dos quais com 15-30 sementes, na cor branca ou bege com cerca de 1 a 1,5 cm de comprimento, e um teor de óleo entre 30 e 45% (LICHSTON et al, 2010 apud CASTRO et al. 2010).

Os principais produtores mundiais são a China, Egito, Estados Unidos Índia, México e Rússia (FAO, 2004, apud CASTRO et al. 2010). As sementes desta espécie possuem elevados teores de óleos de ótima qualidade, tanto para consumo humano, como para uso industrial. O óleo de cártamo encera alto teor de ácido linoléico (70%) e oléico (20%) e baixa porcentagem de ácido linolênico (3%). Uma das características químicas mais importantes deste óleo é a sua poliinsaturação, a qual condiciona a presença de baixo conteúdo de colesterol, que é uma substância nociva ao organismo humano (BRADLEY et al., 1999 apud SOUZA et al. 2010). No setor industrial é utilizado como secante em tintas e vernizes e por ser de cor clara e que não escurece com o tempo, sendo muito procurado para a fabricação de tintas de cores claras. Além disso, o óleo de cártamo também possui características analgésicas, anticoagulantes,

anti-inflamatórias, antioxidantes, carminativas e diaforética, entre outras (CASTRO et al. 2010). Ainda, produz flores que lembram as do girassol e o seu rendimento situa-se na mesma faixa. Alguns estudos mostram que o cártamo pode ser uma alternativa para o mercado de flores, podendo ser comercializada como flor fresca ou seca (STRECK et al. 2005 apud BERALDO et al., 2009). O Índice de iodo é de 135, o que o classifica no grupo dos ácidos graxos semi-secativos. A torta das sementes, que é um subproduto da indústria de óleo, possui cerca de 40% de proteína e é muito usada na alimentação de ruminantes ou como adubo orgânico. A produção média de sementes por hectare situa-se em torno de uma a três toneladas de acordo com a tecnologia empregada (BRADLEY et al., 1999 apud SOUZA et al. 2010).

Na Índia, genótipos de cártamo selecionados para a produção de óleo são usados em sucessão ao cultivo da cultura do algodão (MALEWAR et al., 1999 apud SOUZA et al., 2010). Na América do Norte e Latina, o cártamo é cultivado principalmente pelo seu potencial para a produção de óleo (OELKE et al., 1992 apud SOUZA et al., 2010). Estima-se uma área cultivada no mundo de 0,85 milhões de hectares, e no Brasil, o cártamo não é usado para produção de óleo, é pouco conhecido (SOUZA et al., 2010).

5.4 ROTAS DE PRODUÇÃO DO BIODIESEL

Existem três processos tecnológicos ou processos químicos, sob o domínio da pesquisa que são utilizados para obtenção de biodiesel: transesterificação, esterificação e o craqueamento catalítico.

5.4.1 TRANSESTERIFICAÇÃO

A reação de transesterificação, Figura 13, ocorre quando um triglicerídeo reage com álcool na razão molar 1:3, formando ésteres e glicerol. Um reator realiza a reação química do óleo vegetal ou gordura animal (triglicerídeos) com etanol, rota etílica, ou metanol, rota metílica, na presença de um catalisador básico (ex.: hidróxido de sódio ou potássio) ou ácido (ex.: ácido sulfúrico), em meio homogêneo ou heterogêneo. A reação se processa em temperatura ambiente e é efetuada com um excesso de álcool devido à reação inversa ser

reversível. A transesterificação, através de catálise homogênea básica, é o processo mais utilizado atualmente para a produção de biodiesel no Brasil. Nesse processo o óleo deve ter um Índice de acidez baixo, pois do contrário ocorre uma reação paralela e indesejada, que é a formação de sabão com consumo de catalisador (ANUÁRIO BRASILEIRO DO BIODIESEL, 2008).



Figura 13 - Esquema da reação de transesterificação.

5.4.2 ESTERIFICAÇÃO

A reação de esterificação ocorre quando os ácidos carboxílicos reagem com um mono álcool produzindo éster e água, observada na Figura 14. Geralmente a reação de esterificação é catalisada por ácidos inorgânicos como o ácido sulfúrico. A reação de esterificação é reversível e o ácido catalisa tanto a reação direta (esterificação) como a reação inversa (hidrólise do éster). Assim, para deslocar o equilíbrio a favor dos produtos podem-se utilizar dois métodos: remoção de um dos produtos, preferencialmente a água; ou utilizar um excesso de um dos reagentes como o álcool. O processo de esterificação ocorre preferencialmente com álcoois de baixo peso molecular, sendo o metanol o mais usado por apresentar um custo final menor. O etanol utilizado na esterificação não precisa ser anidro, pois geralmente a água pode ser retirada do sistema reacional (ANUÁRIO BRASILEIRO DO BIODIESEL, 2008).



Figura 14 - Esquema da reação de esterificação.

5.4.3 CRAQUEAMENTO

O processo do craqueamento ocorre com a utilização de um reator que promove a quebra das moléculas do óleo vegetal por aquecimento a altas temperaturas e um catalisador remove os compostos oxigenados corrosivos. O craqueamento pode ser uma metodologia adequada à produção de biodiesel em pequenas localidades. No processo de craqueamento, há um gasto relativamente alto com energia térmica, uma vez que a quebra molecular ocorre a partir dos 350°C, e a produção é de pequena escala. O biodiesel produzido pelo craqueamento é quimicamente equivalente ao diesel obtido de petróleo, mas sem enxofre (ANUÁRIO BRASILEIRO DO BIODIESEL, 2008).

5.5 BIODIESEL

Em 1900, durante a Exposição Mundial de Paris, um motor diesel foi apresentado ao público funcionando com óleo de amendoim. Os primeiros motores tipo diesel eram de injeção indireta. Tais motores eram alimentados por petróleo filtrado, óleos vegetais e até mesmo por óleos de peixe. Isto é, os óleos de origem vegetal e animal já eram utilizados mesmo antes do diesel provindo do petróleo. Contudo, historicamente, o uso direto de óleos vegetais como combustível foi rapidamente superado pelo uso de óleo diesel derivado de petróleo por fatores tanto econômicos quanto técnicos. Àquela época, os

aspectos ambientais, que hoje privilegiam os combustíveis renováveis como o óleo vegetal não foram considerados importantes (GAZZONI, s.d.).

No final da década de 1970 o biodiesel foi descoberto por Expedito José de Sá Parente, engenheiro químico brasileiro, o pai do biodiesel. Parente desenvolveu o método de produção de biodiesel que viria a submeter ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) em 1980, tendo sido garantida em 1983 a patente PI – 8007957 ("Processo de Produção de Combustíveis a partir de Frutos ou Sementes Oleaginosas"), a primeira patente no mundo para um processo de produção em escala industrial de biodiesel. Todavia, devido ao desinteresse do governo brasileiro na época (em parte devido ao esforço dedicado ao Pro-Álcool), o processo desenvolvido por Parente nunca foi efetivamente utilizado, e tendo decorrido o prazo de validade da patente, ela entrou em domínio público (WIKIPÉDIA, s.d.).

A história da descoberta do biodiesel é contada a RAMIRO (2007) por Parente da seguinte forma: “Eu estava passando um fim de semana num sítio em Pacoti, no interior do Ceará, e decidi, depois de uma cachacinha, tomar um banho de cachoeira. Estava lá me refrescando quando fixei o olhar num ingazeiro. Já viu como é o Ingá? Parece uma vagem. Mas naquele momento, o formato do ingá me lembrou átomos de uma molécula de biodiesel, que eu estava tentando formular a tempo. No outro dia, passei no supermercado, comprei óleo de algodão, fui para o laboratório e com a ajuda de um catalisador fiz a transesterificação (reação química entre álcool etílico e óleo vegetal). Nasceu, assim, o biodiesel”. Os ensaios preliminares de combustão foram bons e Expedito resolveu testar o produto na oficina de um amigo. “Era o Bernardo, de 92 anos, alucinado por motores”, conta o professor. Seu Bernardo, naquele final dos anos 70, foi o primeiro mortal a ver um motor rodando com o biodiesel. Bateu nas costas de Expedito e profetizou: “Esse negócio vai te levar longe, filho”.

O falecido “pai do biodiesel” já recebeu reconhecimento das Organizações das Nações Unidas (ONU), do governo norte-americano, de empresas como a Boeing e de agências como a National Aeronautics and Space Administration (NASA) (GLOBO, 2011).

O biodiesel é um éster alquílico de ácidos graxos, obtido através de um processo de transesterificação, que envolve a reação do óleo vegetal, obtido

através do processamento/esmagamento de uma oleaginosa, com um álcool, utilizando como catalisador a soda cáustica e tendo como principal subproduto a glicerina (LUCENA, 2004).

De acordo com a Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, "Biodiesel é um biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil" (BRASIL, 2005). Uma mistura que contenha 5% de biodiesel e 95% de diesel mineral é chamada de B5, uma mistura que apresenta 10% biodiesel e 90% de diesel mineral é chamada de B10 e, assim, sucessivamente.

5.6 SUBPRODUTOS DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL

O principal subproduto na produção de biodiesel é a glicerina, substância apreciada pelas indústrias de plásticos, de lubrificantes, de cosméticos, de fármacos e de explosivos. A glicerina é insolúvel em derivados do petróleo, além de ser não tóxica, o que permite sua utilização na indústria de alimentos. O aproveitamento da glicerina como matéria-prima, junto a diversos ácidos graxos, abre horizontes novos para o desenvolvimento da indústria química. Sendo que o Brasil necessita importar a glicerina para suprir a demanda do mercado. As gomas, retiradas do óleo bruto antes da transesterificação, podem ser aproveitadas na produção de lecitina ou na indústria de rações animais. A borra originada na neutralização do óleo pode ser destinada a diversos processos de transformação, apresentando elevado valor comercial (PLÁ, 2002).

5.7 EXPERIMENTO

O ensaio foi realizado no Laboratório de Óleos, Gorduras e Biodiesel (G-Óleo) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, Minas Gerais.

Realizou-se a análise biométrica das sementes e a avaliação físico-química do óleo de cártamo para se ter o conhecimento desta matéria prima para produção de biodiesel. As análises foram realizadas no Departamento de

Engenharia e no Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras – MG.

As sementes analisadas estavam armazenadas há dois anos em silo e foram cultivadas no campo experimental da UFLA, onde foram plantadas sem tratamento específico apenas seguindo as recomendações para a mesma.

Os dados coletados foram submetidos ao teste de F-máximo para avaliar a heterogeneidade das variâncias (S^2). Assim, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de separação de médias (Tukey a 5%), segundo recomendações de STEEL & TORRIE (1980). As análises estatísticas foram feitas com auxílio do software Assistat® 7.5 beta (2010).

5.7.1 ANÁLISES BIOMÉTRICAS, PESO 100 SEMENTES, RELAÇÃO CASCA/TEGUMENTOS INTERNOS E DENSIDADE DAS SEMENTES DE CÁRTAMO

As sementes de cártamo foram avaliadas quanto ao seu comprimento, largura e espessura, peso de 100 sementes e densidade. As análises utilizaram um paquímetro digital MITUTOYO® com erro de $\pm 0,02$ mm e uma balança analítica GEHAKA® com erro de 0,01 gramas. Fez-se a medição com 100 sementes para obtenção de comprimento, largura e espessura, o peso de 100 sementes repetiu-se 12 vezes e a densidade, também, 12 vezes. A Figura 15 demonstra como a avaliação foi realizada.



Figura 15 - Medição de comprimento, espessura e largura de sementes de cártamo, respectivamente da esquerda para direita.

Avaliou-se também a porcentagem de casca em relação aos tegumentos internos, para isso utilizou-se bisturi para abertura da casca e separação das partes, como pode ser observado na Figura 16, e depois procedeu-se a pesagem. Fez-se 12 repetições utilizando-se 20 sementes.



(a)

(b)

Figura 16 - Tegumento externo (a) separado dos tegumentos internos (b).

A densidade foi realizada com auxílio de uma proveta de 25 mL, como pode ser observado na Figura 17. A proveta foi tarada e então se introduziu as sementes seguidas de 3 batidas sobre a mesa para que as sementes se acomodassem umas sobre as outras até que o menisco da proveta fosse atingido e, então, pesou-se. Fez-se a relação massa/volume.



Figura 17 - Obtenção da densidade das sementes.

5.7.2 EXTRAÇÃO QUÍMICA DO ÓLEO DAS SEMENTES DE CÁRTAMO

Antes da realização da extração química realizou-se a moagem das sementes, utilizando um moinho de facas tipo willye modelo STAR FT 50 da FORTINOX®.

Depois procedeu-se envelopamento das amostras em papel filtro, que foi pesado anteriormente, pesou-se as amostras e extraiu-se o óleo utilizando-se de extratores tipo Soxhlet e como solvente o hexano (C_6H_{14}) (Figura 18). As amostras ficaram em média 4 horas nos extratores aparelho em temperatura acima de $69^{\circ}C$ (ponto de ebulição do hexano) até que fossem totalmente desengorduradas. Como produto final obteve-se uma solução de hexano e óleo de cártamo. Depois recuperou-se o hexano através de um rotaevaporador e então obteve-se o óleo puro. As amostras (envelopes) foram secas em estufa a $80^{\circ}C$ por uma hora e pesou-se novamente e, assim, calculou-se o teor de óleo das sementes, com a seguinte fórmula:

$$\text{Teor de óleo} = N \times 100 / P$$

Onde:

$N = n^{\circ}$ de gramas de lipídios;

$P = n^{\circ}$ de gramas da amostra.

Este mesmo procedimento foi, também, realizado nas amostras em que a casca foi separada dos tegumentos internos, para saber o teor de óleo presente nas partes.



Figura 18 - Extratores tipo Soxhlet realizando a extração química de óleo de cártamo.

5.7.3 EXTRAÇÃO MECÂNICA DO ÓLEO DE CÁRTAMO

Primeiramente, separaram-se as sementes em quatro amostras e mais uma amostra para o aquecimento da máquina extratora.

A extração mecânica de óleo da semente foi realizada em prensa contínua tipo Expeller, de extração radial tubular acionada por motoredutor de acionamento elétrico, com capacidade de processamento de até 120 kg.h^{-1} de matéria-prima (Figura 19). Esta foi realizada também na torta de cártamo da primeira passada na máquina. Sendo que se separou uma amostra da torta da primeira passada e da segunda para realização da extração química que possibilita assim saber quanto de óleo ainda restou na torta e a eficácia operacional da extração mecânica (EO), assim como a capacidade de produção de óleo (CP) e a capacidade de manipulação de grãos (CM).

Sendo que “EO” é definida pela seguinte expressão:

$$100 \times \frac{\text{Massa de óleo obtido na extração mecânica (kg)}}{\text{Massa de óleo obtido na extração química (kg)}} = \text{EO (\%)}$$

E “CM” expressa pela fórmula:

$$\frac{\text{Massa de grãos a ser trabalhado (kg)}}{\text{Tempo (h)}} = \text{CM (kg/h)}$$

E, ainda, “CP” é definida por:

$$\frac{\text{Massa de Óleo Extraído (kg)}}{\text{Tempo (h)}} = \text{CP (kg/h)}$$

A análise da capacidade de trabalho das máquinas agrícolas pode ser realizada de acordo com as características das operações sendo classificadas de acordo com MIALHE (1974) em capacidade de produção; capacidade de manipulação e eficácia operacional. A capacidade de produção (CP) é relacionada com máquinas cujo trabalho é medido em termos de volume ou massa de produto por unidade de tempo enquanto que a capacidade de manipulação (CM) está associada com o peso ou volume a ser trabalhado por unidade de tempo. A eficácia operacional (EO) é definida como a razão entre a semente intacta recolhida na bica e a semente in natura. Desta forma, calculou-se o trabalho da extratora através de CP, CM e a EO.



Figura 19 - Extratora mecânica realizando a extração de óleo de cártamo.

5.7.4 AVALIAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS DO ÓLEO DE CÁRTAMO

As avaliações físico-químicas foram realizadas nas amostras de óleo de cártamo extraídas mecanicamente e quimicamente, para posterior comparação. Realizou-se análise do Índice de acidez, Índice de saponificação, Índice de Iodo, Índice de peróxido e Índice de refração, seguindo as metodologias das NORMAS ANALÍTICAS DO INSTITUTO ADOLF LUTZ (1985), especificadas a seguir.

5.7.4.1 ÍNDICE DE ACIDEZ

Colocou-se em Erlenmeyer de 125 mL, cerca de dois gramas de amostra e 25 mL de solução neutra éter etílico - álcool etílico (2:1). Agitou-se. Adicionou-se 2 gotas do indicador fenolftaleína a 1% e a mistura foi titulada com solução de NaOH $0,1 \text{ molL}^{-1}$ até coloração rósea. A fórmula do Índice de acidez é a seguinte:

$$V \times f \times 5,61 / P = \text{Índice de acidez}$$

Onde:

V= volume em mL de solução de NaOH gasto na titulação;

f= fator de correção da solução de NaOH;

P= massa em gramas da amostra.

5.7.4.2 ÍNDICE DE SAPONIFICAÇÃO

Pesou-se 2g da amostra em Erlenmeyer de 250 mL. Adicionou-se 20 mL de solução alcoólica de hidróxido de sódio (KOH) 4% e adaptou-se o frasco a um condensador de refluxo. Aqueceu-se à ebulição branda por 30 minutos. Ao resfriar, adicionou-se 2 gotas do indicador fenolftaleína a 1% e titulou-se com ácido clorídrico (HCl) $0,5 \text{ molL}^{-1}$ até desaparecimento da coloração rosa. Para realização do branco foi repetido o procedimento sem adição da amostra de óleo. A fórmula do Índice de Iodo é a seguinte:

$$(A-B) \times f \times 28,6 / P = \text{Índice de saponificação}$$

Onde:

(A-B) = diferença entre o número de mL de HCl gasto nas titulações do branco e amostra;

f = fator de correção do HCl;

P = número de gramas da amostra.

5.7.4.3 ÍNDICE DE IODO

Pesou-se aproximadamente 0,25 g em frasco Erlenmeyer de 500 mL com tampa e adicionou-se 10 mL de tetracloreto de carbono. Transferiu-se com auxílio de bureta, 25 mL de solução de Wijs no frasco Erlenmeyer que contém a amostra. Tampou-se e agitou-se cuidadosamente com movimento de rotação, assegurando perfeita homogeneização. Deixou-se em repouso ao abrigo da luz e a temperatura ambiente, por 30 minutos. Adicionou-se 10 mL da solução de iodeto de potássio a 15% e 100 mL de água recentemente fervida e fria. Titulou-se com solução tiosulfato de sódio 0,1 M até o aparecimento de uma fraca coloração amarela. Adicione 1 a 2 mL de solução indicadora de

amido 1% e continuou-se a titulação até o completo desaparecimento da cor azul. Preparou-se uma determinação em branco e procedeu-se da mesma maneira que a das amostras. A fórmula para determinação do Índice de iodo é a seguinte:

$$\frac{(V_B - V_A) \times M \times 12,69}{P} = \text{Índice de iodo}$$

Sendo:

M = molaridade da solução de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$;

V_B = volume em mL gasto na titulação do branco;

V_A = volume em mL gasto na titulação da amostra;

P = n° g da amostra.

5.7.4.4 ÍNDICE DE PERÓXIDO

Pesou-se ($5 \pm 0,05$) g da amostra em um frasco Erlenmeyer de 250 mL. Adicionou-se 30 mL da solução ácido acético-clorofórmio 3:2 e agitou-se até a dissolução da amostra. Adicionou-se 0,5 mL da solução saturada de KI e deixou-se em repouso ao abrigo da luz por exatamente um minuto. Acrescentou-se 30 mL de água e titulou-se com solução de tiosulfato de sódio 0,01 N, com constante agitação. Continuou-se a titulação até que a coloração amarela tivesse quase desaparecida. Adicionou-se 0,5 mL de solução de amido indicadora e continue a titulação até o completo desaparecimento da coloração azul. Preparou-se uma prova em branco, nas mesmas condições e também foi titulada. A fórmula para obtenção do Índice é a seguinte:

$$\frac{(A - B) \times N \times f \times 1000}{P} = \text{Índice de peróxido em meq por 1000 g de amostra}$$

Onde:

A = volume em mL da solução de tiosulfato de sódio 0,01 N gasto na titulação da amostra;

B = volume em mL da solução de tiosulfato de sódio 0,01 N gasto na titulação do branco;

N = normalidade da solução de tiosulfato de sódio;

f = fator da solução de tiosulfato de sódio;

P = n° de g da amostra.

5.7.4.5 ÍNDICE DE REFRAÇÃO

O índice de refração foi obtido através de refratômetro de Abbé a 25°C.

5.7.4.6 REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO

O biodiesel foi obtido pela reação química do óleo vegetal de cártamo (200 mL) com um álcool de cadeia curta, o metanol (60 mL), em presença de um catalisador (3 mL), o metilato de sódio 30% m/v; sendo estes os componentes para realização da reação de transesterificação. Como resultado obteve-se o glicerol (glicerina), coproduto, e o éster metílico de ácido graxo, o chamado biodiesel.

A reação de transesterificação foi realizada, com o óleo de cártamo obtido mecanicamente, em reator de vidro encamisado com três conexões e capacidade interna para 500 mL (Figura 20). Na conexão central encaixou-se um agitador mecânico e em uma das conexões laterais, um termômetro e na outra um condensador de bolas resfriado a água. O controle de temperatura foi realizado por banho ultratermostático, com temperatura em 50°C, que recirculação de água pela camisa do reator.

Procedimentos realizados:

- 1) Colocou-se 200 mL de óleo vegetal no reator encamisado;
- 2) Aqueceu-se o óleo à 50°C e o agitou por 20 minutos;
- 3) Adicionou-se 60 mL de metanol e o aqueceu até que alcançasse 50°C;
- 4) Adicionou-se 3 mL de metilato de sódio 30% e agitou-se por 40 minutos;

- 5) Transferiu-se a solução para um funil de Squib e observou-se a separação das fases, glicerina e biodiesel. A glicerina é mais densa do que o biodiesel e desta forma decantou.
- 6) Separou-se a glicerina do biodiesel e calculou-se o rendimento de produção de biodiesel.

Vale ressaltar que inicialmente fizeram-se duas tentativas de produção de biodiesel, mas que foram falhas. Utilizou-se primeiramente a quantidades de catalisador para a produção de biodiesel com óleo de soja que se obtém resultados positivos, isto é, 1,7 mL de metilato de sódio 30%; contudo não ocorreu a reação por completo – não houve separação das fases. Uma segunda tentativa foi realizada utilizando mais catalisador: 2,5 mL; e novamente não se obteve êxito. Por fim na terceira tentativa com a utilização de 3,0 mL ocorreu a reação de transesterificação e a separação das fases.



Figura 20 - Reator de vidro encamisado com três conexões e capacidade interna para 500 mL, onde a reação de transesterificação foi realizada.

5.8 RESULTADO E DISCUSSÃO – BIODIESEL

5.8.1 ANÁLISES BIOMÉTRICAS, PESO 100 SEMENTES E DENSIDADE DAS SEMENTES DE CÁRTAMO

A biometria fornece informações para a conservação e exploração dos recursos de valor econômico, permitindo um incremento contínuo da busca racional e uso eficaz dos frutos/sementes. Além disso, constitui um instrumento importante para detectar a variabilidade genética dentro de populações de uma mesma espécie, e as relações entre esta variabilidade e os fatores ambientais, como também em programas de melhoramento genético (CARVALHO et al., 2003).

Tabela 7 - Média, moda, mediana, valor máximo, valor mínimo e desvio padrão da biometria de 100 sementes de cártamo.

	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)
Média	8,03	3,80	3,26
Moda	8,10	3,88	3,23
Mediana	8,08	3,80	3,23
Valor Máximo	9,08	4,82	4,00
Valor Mínimo	6,75	2,96	2,71
Desvio Padrão	0,469	0,353	0,231

Os valores na Tabela 7, também, podem ser úteis para o desenvolvimento de peneiras de separação no beneficiamento, para o dimensionamento de orifícios em disco dosador de semeadora-adubadora e ainda o desenvolvimento de prensas específicas para extração do óleo de cártamo.

O teor de água média encontrada no lote de semente estudado foi de 5,64%, o que indica que o teor de água para a semente de cártamo estava correta para armazenagem, pois sob altos índices de umidade, superior a 13-14%, a respiração aumenta rapidamente na maioria dos cereais, o que causa a sua deterioração (FARONI, 1998). Obteve-se também o peso de 100 sementes que foi em média de 3,91 gramas e a densidade de $0,52 \text{ g.cm}^{-3}$.

A casca da semente de cártamo representa 36% do peso total da semente, enquanto os tegumentos internos 64%, sendo que deste, através da

extração química, visualizado na Tabela 8, foi possível avaliar que o tegumento externo da semente de cártamo apresenta apenas 1,29% de sua composição de óleo, enquanto os tegumentos internos apresentam 53,76% da sua composição formado de óleo.

Tabela 8 - Média do teor de óleo do tegumento externo e dos tegumentos externo extraídos quimicamente.

Tegumento	TEOR DE ÓLEO (%)
Externo	1,29
Interno	53,76

FICK (1978) apud ALBURQUERQUE et al. (2008) afirma que no do girassol, o teor de óleo na semente resulta da combinação do teor de óleo na amêndoa (tegumentos internos) e do percentual de cascas e que o teor de cascas varia na faixa de 10% a 60%. Por essa razão, dois terços do aumento no teor de óleo obtido pelo melhoramento genético do girassol foram feitos com redução no percentual de casca e apenas um terço deveu-se ao aumento no teor de óleo da amêndoa da semente. ROSSI (1998) apud ALBURQUERQUE et al. (2008) também confirma que a relação amêndoa/casca é muito importante para selecionar genótipos que produzam alto teor de óleo nas sementes. Dessa forma, tomando esses dados como base é possível, também, explorar esta alternativa de incremento no teor de óleo no melhoramento genético do cártamo.

5.8.2 EXTRAÇÃO QUÍMICA E EXTRAÇÃO MECÂNICA

O teor de óleo encontrado no lote de semente analisada pela extração química foi de 36%, como observado na Tabela 9, o que está de acordo com o trabalhos de SOUZA et al. (2010) que encontrou 36% de óleo nas sementes de cártamo e superior ao valor de 22,19% encontrados por BERALDO et al. (2009).

O teor de óleo de cultivares de cártamo em diferentes locais no mundo apresenta grande amplitude nos teores de óleo, variando de 23,86 a 40,33 % na China (ZHANG & CHEN, 2005), de 26,72 a 35,78 % na Grécia (KOUTROUBAS & PAPADOSKA, 2005), de 26,3 a 28,5 % em Istambul

(GAWAND et al., 2005) de 31,3 a 36,3 % na Turquia (ARSLAN & KÜÇÜK, 2005). O teor de óleo varia em função de fatores como a cultivar, os atributos do solo e o clima (RAHAMATALLA et al., 2001). Sendo essa uma das características mais importantes para cultivares de cártamo e é considerado o principal fator que afeta a introdução da planta em novas áreas (BASSIL & KAFFKA, 2002).

Tabela 9 - Média do teor de óleo das sementes de cártamo sob extração química e mecânica e teor de óleo nas tortas obtidas da extração mecânica após uma passada na extratora e duas passadas na extratora.

TEOR DE ÓLEO (%)	EXTRAÇÃO QUÍMICA	EXTRAÇÃO MECÂNICA
Semente de cártamo	35,65	27,00
Torta "1ª Passada"	9,90	-
Torta "2ª Passada"	6,54	-

Nota-se, também na Tabela 9, que a extração química foi mais eficiente do que a extração mecânica na extração do óleo da semente, enquanto na extração mecânica extraiu-se 27% do óleo das sementes com duas operações da extratora na extração química se extraiu 37% do óleo das sementes, a cada mil quilos de sementes deixariam de ser obtidos cem quilos de óleo de cártamo, contudo um estudo econômico se faz necessário para que se demonstre se a extração química tem maior viabilidade econômica.

Ainda é possível notar que com a extração mecânica não foi possível a extração de todo conteúdo de óleo presente nas sementes e por isso realizou-se a extração química afim de obter o óleo que ainda estava contido na torta provinda da primeira extração na máquina "1ª passada", encontrou-se que 9,90% da torta ainda era composta por óleo. Na torta provinda da "2ª passada" apresentou 6,54% do seu conteúdo total de óleo.

Com a análise da Tabela 10 percebe-se que a máquina utilizada tem capacidade de produção de 17,73 kg óleo de cártamo/hora e a capacidade de manipulação de 68,73 kg de grãos de cártamo/hora na primeira operação. Na segunda operação, obteve-se capacidade de produção de 1,06 kg óleo de cártamo/hora e a capacidade de manipulação de 55,49 kg de torta de cártamo/hora. A eficácia operacional foi de 72,37% na primeira operação e na segunda este valor diminui para 19,06%. Para saber se a extração mecânica é realmente viável é necessária uma análise econômica detalhada.

Tabela 10 - Detalhamento da extração mecânica do óleo de cártamo com massa de sementes utilizadas na extração, total de óleo e bora extraídos, tempo de extração, capacidade de produção, capacidade de manipulação e eficácia operacional.

EXTRAÇÃO DE ÓLEO DAS SEMENTES - "1ª PASSADA PELA EXTRATORA MECÂNICA"							
REP.	SEMENTE (kg)	ÓLEO (kg)	BORA (kg)	TEMPO (h)	CP (kg/h)	CM (kg/h)	EO (%)
1	5,900	1,534	0,585	0,090	17,098	65,759	72,366
2	5,985	1,563	0,620	0,091	17,156	65,689	-
3	5,505	1,395	0,495	0,077	18,134	71,545	-
4	5,475	1,409	0,442	0,076	18,515	71,934	-
MÉDIA					17,726	68,732	-
EXTRAÇÃO DE ÓLEO DA TORTA - "2ª PASSADA PELA EXTRATORA MECÂNICA"							
REP.	TORTA (kg)	ÓLEO (kg)	BORA (kg)	TEMPO (h)	CP (kg/h)	CM (kg/h)	EO (%)
1	3,655	0,071	0,0271	0,088	0,811	41,771	19,063
2	3,725	0,052	0,0206	0,076	0,680	48,764	-
3	3,585	0,070	0,0247	0,058	1,195	61,457	-
4	3,595	0,081	0,0253	0,051	1,572	69,957	-
MÉDIA					1,065	55,487	-

Uma diferença a se notar entre a extração mecânica e a química está na obtenção de borra durante o processo de extração mecânica, enquanto na química apenas tem-se a torta.

5.8.3 ÍNDICES DE ACIDEZ, SAPONIFICAÇÃO, IODO, PERÓXIDO E REFRAÇÃO

O índice de acidez revela o estado de conservação de óleos e gorduras e pode ser definido como o nº de miligramas de hidróxido de potássio necessário para neutralizar os ácidos graxos livres de 1,0 g da amostra (IAL, 2008). A hidrólise parcial dos glicerídeos é acelerada por aquecimento e pela luz, e a rancidez é quase sempre acompanhada pela formação de ácido graxo livre (MORETTO & FETT, 1998). Entretanto, tal característica não pode ser considerada uma constante dos óleos vegetais, podendo variar conforme o grau de maturação e condições de armazenamento das sementes ou frutos usados para extração da matéria graxa, a temperatura e tempo do processo de extração e das condições de armazenagem do óleo.

Para a produção de biocombustíveis a partir de óleos vegetais é importante o controle da acidez, uma vez que o excesso de ácidos graxos livres pode levar a reações de saponificação, que competem com a reação de transesterificação, quando o processo ocorre na presença de hidróxidos

(catálise básica), sendo que valor igual ou inferior a 1,0 mg KOH/g podem resultar na eliminação da etapa de neutralização, reduzindo assim etapas de tratamento da matéria-prima, as quais geralmente demandam tempo, custos e geração de resíduos para o descarte (RODRIGUES FILHO, 2010; CANDEIA, 2008).

Tabela 11 - Índices de acidez, saponificação, iodo, peróxido e refração para os métodos de extração química e mecânica.

ÍNDICES					
	Acidez	Saponificação	Iodo	Peróxido	Refração
Extração	(mg NaOH/g)	(mg KOH/g)	(g/100g)	(meq/Kg)	(° Brix a 25° C)
Mecânica	5,50	147,97	22,00	6,10	69
Química	7,42	151,55	25,83	2,51	68

Como observado na Tabela 11, o índice de acidez do lote de cártamo analisado indica bom estado de conservação das sementes e, por consequência, do óleo, mas que, contudo o óleo de cártamo antes da transesterificação deveria passar pela etapa de neutralização. E que, possivelmente, o aquecimento do óleo durante o processo de extração química fez com que os valores para esta obtidos fossem maiores.

O índice de iodo é um parâmetro usado para prever a presença de duplas ligações em um éster de ácido graxo. Quanto maior o valor encontrado para este índice, maior o grau de insaturação, servindo como indicativo de tendência à oxidação dos óleos vegetais.

Os valores descritos na literatura para o índice de iodo são em geral apresentados como uma faixa de valor, ao invés de um número fixo, porque o grau de insaturação pode variar de acordo com aspectos ligados a sazonalidade da oleaginosa ou em função de diferentes tipos de processamentos do óleo (MAIA, 2006).

No trabalho de MEDEIROS (2011) o índice de Iodo encontrado para o óleo de cártamo é de em média 100 - 130 (g/100g), dessa forma, o valor do índice encontrado para este lote mostra que o óleo não possui tendência a oxidação.

O índice ou teor de peróxidos é um indicador do grau de oxidação do óleo ou gordura. A sua presença é indício de deterioração, que poderá ser verificada com a mudança do sabor e do odor característicos dos óleos (REDA, 2004). No

entanto, um nível baixo de peróxidos na amostra não constitui uma garantia de boa estabilidade oxidativa, podendo, pelo contrário, ser sinônimo de alteração pronunciada (SILVA et al., 1999).

A presença de peróxidos não é desejável em óleos e gorduras, pois pressupõe processos degradativos. Mesmo assim a Resolução ANVISA nº 482/1999, estabelece valores limites para alguns óleos comestíveis, sendo considerados bons para o consumo aqueles que apresentem um valor máximo de 10 meq/Kg de óleo ou gordura, a exemplo dos óleos de amendoim, linhaça, babaçu, dendê, semente de uva, dentre outros.

Como observado na Tabela 11, o índice de peróxido torna o óleo analisado dentro das normas da ANVISA para consumo. E, também, que o óleo analisado tem boa estabilidade oxidativa.

O índice de saponificação é definido como o número de mg de KOH necessários para saponificar os ácidos graxos, resultantes da hidrólise de um grama da amostra e é inversamente proporcional ao peso molecular médio dos ácidos graxos presentes. Quanto menor o peso molecular do ácido graxo, maior será o índice de saponificação.

No trabalho de MEDEIROS (2011) o índice de saponificação encontrado para o óleo de cártamo foi de, em média, 160 mg KOH/g e como pode ser observado na Tabela 11, obteve-se valores semelhantes a este.

A determinação do índice de refração tem grande utilidade no controle dos processos de hidrogenação, não só para os óleos mas, também para as gorduras, cuja temperatura indicada é de 40°C. Os óleos e as gorduras possuem poderes de refringência diferentes e, de acordo com sua natureza desviam, com maior ou menor intensidade, os raios luminosos que os atravessam; assim, o índice de refração de uma gordura aumenta com o comprimento da cadeia hidrocarbonada e com o grau de insaturação dos ácidos graxos constituintes dos triglicerídeos (MORETTO e FETT, 1998).

Ainda na Tabela 11, vê-se, que o índice de refração do óleo de cártamo analisado tem índice de refração está em torno de 68%.

Dentre os parâmetros avaliados: índice de acidez, índice de saponificação, índice de iodo, índice de peróxido e índice de refração concluiu-se que o óleo de cártamo é apto para a produção de biodiesel. Mas que,

contudo, para produção do biodiesel este o óleo deve passar primeiramente por de neutralização por conta do valor de acidez encontrada.

Outro fato importante a se notar são as diferenças para extração mecânica e química nos índices encontrados, que pode ser explicado pelas características dos próprios processos de extração. A extração química é realizada sob temperatura elevada, acima de 69°C, para que haja a evaporação do hexano e está decorre durante longo tempo, cerca de 4 horas, o que possivelmente acarreta em uma maior degradação do óleo vegetal quando comparada a extração mecânica que também sofre influência de temperatura, devido ao aquecimento da extratora, contudo o óleo fica pouco tempo em contato com a máquina que não atinge temperaturas tão elevadas quanto as vistas na extração química.

5.8.4 PRODUÇÃO DE BIODIESEL - TRANSESTERIFICAÇÃO

Dentre os parâmetros avaliados: índice de acidez, índice de saponificação, índice de iodo, índice de peróxido e índice de refração conclui-se que o óleo de cártamo é apto para a produção de biodiesel.

Para a realização da reação química utilizou-se uma solução de óleo de cártamo, catalisador e metanol que totalizou 263,00 mL, contudo ao final da reação obteve-se apenas 237,50 mL. Sendo que deste 30,00 mL eram glicerina e os 207,50 mL restantes o biodiesel. As perdas se referem a evaporação de água e também do metanol. Dessa forma, o rendimento de produção de biodiesel foi de 78,90%, o rendimento de produção de glicerina foi de 11,40% e as perdas de 9,7%.

5.9 CONCLUSÃO – BIODIESEL

- As sementes provindas do cártamo apresentam teor de óleo de 36% em média, dessa forma o cártamo trata-se de uma planta alternativa para a produção de biodiesel, contudo devido ao alto valor de mercado do óleo para alimentação humana torna necessária uma análise profunda, principalmente, econômica sobre o destino que o óleo de cártamo deve tomar;

- A extração química é mais eficiente que a extração mecânica, mas também é causa maior degradação do óleo devido a temperatura elevada por longo período de tempo;
- O óleo de cártamo obtido tanto quimicamente quanto mecanicamente apresentou índice de iodo indicativo da necessidade de um pré-processo de neutralização para produção de biodiesel. E os índices de iodo, refração, saponificação e peróxido estavam de acordo com as exigências para produção de biodiesel;
- A extratora mecânica tem capacidade de produção de 17,73 kg óleo de cártamo/hora e a capacidade de manipulação de 68,73 kg de grãos de cártamo/hora na primeira operação. Enquanto na segunda operação, “2ª passada”, obteve-se capacidade de produção de 1,06 kg óleo de cártamo/hora e a capacidade de manipulação de 55,49 kg de torta de cártamo/hora. A eficácia operacional foi de 72,37% na primeira operação e na segunda este valor diminui para 19,06%;
- O rendimento de produção de biodiesel foi de 78,90%, o rendimento de produção de glicerina foi de 11,40% e as perdas de 9,7%.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mundo não é mais o mesmo de quando o homem era “macaco”, isto é, as reservas energéticas que haviam a milhões de anos atrás não aumentaram ou evoluíram junto com o homem e nem proporcionalmente com a população mundial, muito pelo contrário, já que estas não se regeneram na mesma velocidade que o homem as consome, as fontes de energia não-renováveis diminuem a cada minuto que passa e todos sabem que elas se esgotarão. Por isso, estudos que buscam o desatrelamento deste tipo de energia, principalmente, as provindas do petróleo crescem e se desenvolvem em todos os continentes. Ainda junto com a eminência do esgotamento das energias não-renováveis há também a preocupação com o meio ambiente que há séculos vem acumulando gases produzidos pela queima destas fontes e que nos últimos tempos tem mostrado os resultados como o aquecimento global, o derretimento das geleiras e eventos climáticos atípicos e severos.

Este trabalho estudou duas fontes de energia limpa e renovável com grande potencial e com complementariedade: a produção de biogás, através da digestão anaeróbia, e a produção de biodiesel, através de óleo vegetal. A complementariedade entre estas fonte está na possibilidade de utilizar os resíduos vegetais provenientes da produção do biodiesel para abastecer os biodigestores enquanto o biofertilizante proveniente do processo produtivo do biogás pode servir para nutrir as plantas oleaginosas para produção de biodiesel.

A digestão anaeróbia é uma fonte de energia incrível, conhecendo os fatores que afetam-na e atendendo suas exigências facilmente obtem-se um processo rápido e com grande geração de energia. Além disto, tem como “combustível” um dos grandes problemas da agricultura e dos meios urbanos: os resíduos orgânicos. Isto é, a produção de biogás torna “problemas” em energia e biofertilizante. O que pode ser mais sustentável do que uma cadeia produtiva de alimento produzir a sua própria energia? Na avicultura, por exemplo, o biofertilizante proveniente dos biodigestores pode servir para fertilizar o milho, a soja e outros grãos que servem como alimento para as aves e a o biogás produzido pode aquecer e iluminar os galpões.

A produção de biodiesel é um mercado em expansão e com grande potencial econômico. Com a necessidade cada vez maior que os países tem de diminuir as emissões de gases causadores do efeito estufa abriu-se as janelas para o biodiesel, que está cada vez mais presente na composição do diesel de petróleo. O Brasil por exemplo, que tem sua logística de transporte baseada em caminhões tornou-se o maior consumidor de biodiesel do mundo, devido ao Diesel-B5, isto é, todo tanque de combustível de caminhões que circulam no Brasil hoje tem 5% de biodiesel.

Atualmente o mercado de biodiesel é abastecido 80% pelo óleo de soja, isto porque o Brasil é o segundo maior produtor de soja do mundo e o óleo da soja é um subproduto da produção do farelo de soja. Mas com o mercado em expansão não haverá óleo de soja suficiente para atender a demanda do biodiesel. Por isso, estudos que explorem plantas alternativas são essenciais para que futuramente a produção de biodiesel não esteja, também, somente atrelada a uma única espécie.

Com o estudo de diferentes espécies é possível identificar plantas mais aptas à produção de biodiesel para cada região. O Brasil trata-se de um país de grande extensão territorial e grandes variações climáticas, dessa forma, existem plantas que estão aptas a produzirem em determinadas locais, mas que não apresentam o mesmo desempenho em outras. Ainda, existem oleaginosas que produzem óleos igualmente bons ao da soja para a produção de biodiesel, que possuem maior teor de óleo em seus frutos, tem maior produtividade, com menor custo de produção e que ainda não são explorados, que é o caso das palmáceas no norte e nordeste do Brasil.

Neste estudo se optou pelo estudo do cártamo por se tratar de uma planta rústica e resistente a baixas temperaturas e que por isso torna-se uma opção para a região Sul do Brasil, que devido as suas condições climáticas impossibilita o alto desempenho produtivo de muitas espécies.

Todos os dias gastamos energia, escrever este trabalho gastou energia, tudo consome energia, principalmente, aquilo que tem a ver com bem estar. Não precisamos parar de ter nossas “mordomias” apenas temos que priorizar a utilização de energias ecologicamente corretas. Já temos várias fontes deste tipo de energia o que falta é torná-las a base da pirâmide e não apenas o topo. Aqueles países que dominarem as fontes energéticas renováveis no futuro estarão bem e aqueles que continuarem achando que o petróleo é eterno estarão em uma grande enrascada. Mas isto, somente, o tempo nos mostrará.

7 ANÁLISE CRÍTICA DO ESTÁGIO DE CONCLUSÃO DE CURSO

O estágio desenvolvido na Universidade Federal de Santa Catarina, o qual realizou-se o experimento com minibiodigestores sem dúvidas superou as expectativas. Não esperava-se resultados tão positivos quanto os obtidos, como o início tão rápido da produção de biogás e sua alta produção ocorrida. Este trabalho necessitou de muito estudo prévio e de muita criatividade na hora de montá-lo, o que gerou muito conhecimento sobre o assunto tratado. Houve necessidade de participação em todas as etapas do experimento: forrando a caixa de madeira com as manta impermeabilizante; montando as prateleiras e minibiodigestores; realizando a instrumentação dos minibiodigestores;

calibrando os termômetros e os recipientes graduados; realizando as análises químicas e físicas do esterco de ave utilizado; coletando os dados; realizando as análises estatística, sendo que tudo isto foi acompanhado de uma profunda revisão bibliográfica. Este trabalho, fez com que muitos assuntos que foram estudados durante a graduação fossem revisados e colocados em prática, dessa forma, tratou-se de um experimento altamente didático. Contudo, referente a este trabalho a falta de orçamento o prejudicou, se análises químicas de nutrientes do esterco de ave tivessem sido realizadas antes e depois do material passar nos minibiodigestores o teria tornado muito mais consistente. Mesmo assim, espera-se gerar futuramente publicações em revistas científicas.

O estágio realizado na Universidade Federal de Lavras, sob orientação do professor Pedro Castro Neto, o qual realizou-se experimento com óleo de cártamo para a produção de biodiesel foi tão interessante e agregador de conhecimento quanto o primeiro. Por levantar preponderantemente assuntos que não haviam sido abordados durante a graduação realizá-lo foi muito prazeroso e, ainda, necessitou de muitas horas de estudo e revisão bibliográfica para que fosse possível a realização de sua parte prática. E, vale salientar, que neste trabalho não houve nenhum entraves quanto a orçamento e problemas com excasses de materiais. A UFLA possui uma excelente estrutura física, assim como, o Laboratório de Óleos, Gorduras e Biodiesel. Espera-se com este trabalho, também, gerar a publicação de artigos científicos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIRES, A. M. A. Biodigestão anaeróbia da cama de frangos de corte com ou sem separação das frações sólida e líquida. 2009. 134 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Fac. de C. A. e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

ALBURQUERQUE, W. G.; SEVERINO, L. S.; BELTRÃO, N. E. M. Variação no percentual de tegumento em relação ao peso da semente de dez genótipos de mamoneira. 3º Congresso Brasileiro de Mamona, Energia e Ricinoquímica, jul. 2008. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/277066/1/MG01.pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2012.

ALMEIDA, C. X.; COSTA, A. M.; SILVA, A. A.; JORGE, R. F.; BOSGES, E. N. Estabilidade dos agregados de um Latossolo de Uberlândia-MG, influenciada pelo uso dejetos de cama de frango. IX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e V Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, 2005. Disponível em: <<http://biblioteca.univap.br/dados/INIC/cd/inic/IC5%20anais/IC5-4.PDF>>. Acesso em: 11 out. 2012.

ANVISA - Agência Nacional da Vigilância Sanitária. RDC N°482, de 23/09/1999. Disponível em: < <http://www.anvisa.gov.br> > Acesso em: nov. de 2009.

ARROYO, N. A. R. Estudo da maximização da produção do gás metano usando biodigestores rurais. Semana de Ensino, Pesquisa e Extensão (SEPEX), Florianópolis, 2003. Online. Disponível em: <http://anais.sepex.ufsc.br/anais_3/trabalhos/1166.html>. Acesso em: 7 ago. 2012.

ARSLAN, B. & KÜÇÜK, M. Oil content and fatty acid composition of some safflower cultivars in Van (Turkey). VIth International Safflower Conference, Istanbul, p.167-175, 2005.

AUGUSTO, K.V.Z.; LUCAS JR, J.; MIRANDA, A.P. Redução de volume e peso durante a compostagem de dejetos de galinhas poedeiras. I Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos de Animais Tratamento de Dejetos de Animais, Florianópolis, p. 486 – 491, 2009. Disponível em: <<http://sbera.org.br/sigera2009/downloads/obras/076.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2012.

AVICULTURA INDUSTRIAL. Santa Catarina é o maior exportador de aves no Brasil, ago. 2011. Disponível em: <http://www.aviculturaindustrial.com.br/noticia/santa-catarina-e-o-maior-exportador-de-aves-no-brasil/20110823104328_W_791>. Acesso em: 15 out 2012.

AVISITE. Produção: Se o consumo tende a cair, quantos pinto de corte produzir?. AviSite, Campinas, 3 set 2012. Disponível em: <<http://avisite.com.br/noticias/index.php?codnoticia=13530>>. Acesso em: 15 set 2012.

BARRERA, P. Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural. 2. Ed. São Paulo: Ícone, 106 p., 2003.

BASSIL, E.S. & KAFFKA, S.R. Response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) to saline soils and irrigation: I. Consumptive water use. Agric. Water Manag., 54: p.67-80, 2002.

BEEDLOW, P. A.; TINGEY, D.T., PHILLIPS, D. L.; HOGSETT, W. E.; OLSZYK, D. M. Rising atmospheric CO₂ and carbon sequestration in forest. Frontiers in Ecology and the Environment, v. 2, p. 315 – 322, 2004.

BELLI F^o, P. Stockage et odeur des dejections animales – cas di lisier de porc. 250 p.,1995. Tese de doutorado. Université de Rennes, 1995.

BERALDO, J. M. G.; FERNANDES, E. J.; OLIVEIRA, L. R.; SILVÉRIO, F. C.; CARMINATTI, A. L. ARAÚJO, J. A. C. Qualidade do óleo e da torta de cártamo. Anais 6^o Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, Montes Claros, 2009. Disponível em: <<http://oleo.ufla.br/site/trabalhos/buscar-trabalhos#!/titulo/cartamo/tipo-busca/e>>. Acesso em: 11 nov. 2012.

BEUX, S. Avaliação do tratamento de efluentes de abatedouro em biodigestores anaeróbicos de duas fases. 2005. 99p. Dissertação de Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos, Universidade de Ponta Grossa – UEPG/PR, Ponta Grossa, 2005.

BRAGA, C. F. G. BRAGA, L. V. Desafios da energia no Brasil: panorama regulatório da produção e comercialização do biodiesel. Caderno EBAPE.BR, v. 10, nº 3, opinião 4, Rio de Janeiro, Set. 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cebape/v10n3/16.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2012.

BRASIL. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm>. Acesso em: 11 nov. 2012.

CANDEIA, R. A. Biodiesel de Soja: Síntese, Degradação e Misturas Binárias. João Pessoa, Programa de Pós-Graduação em Química, UFPB, Tese de Doutorado, 2008.

CARVALHO, L. O que é biodigestor?. O hectare, Pirenópolis, ano 2, n. 3, 2008. Disponível em: <http://www.ieham.org/html/docs/Biodigestor_Publica%E7%E3o_IPEC_Jornal_Hactare_N_3.pdf>. Acesso em: 20 set. 2012.

CASTRO, R. P.; LEITÃO, J. V. C.; TASSINARI, T.; COSTA, C. I.; FRAGA, A. C.; CASTRO N^o, P. Avaliação de acessos de Cártamo (*Carthamus trinatorius* L.) como alternativa para cultivo de safrinha . Anais 4^o Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel 7^o Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <<http://oleo.ufla.br/site/trabalhos/buscar-trabalhos#!/titulo/cartamo/tipo-busca/e>>. Acesso em: 11 nov. 2012.

CHERNICHARO, C. A. de L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios. Belo Horizonte: Segrac, v. 5., 245 p.,1997.

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 18 kW. 5^o Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, Brasília, 2006.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Levantamentos de Safra, 2012. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=>>>. Acesso em: 17 dez. 2012.

DEGANUTTI, R.; PALHACI, M. DO C. J. P.; ROSSI, M.; TAVARES, R.; SANTOS, C. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. 4^o Encontro de Energia no Meio Rural, Campinas, 2002. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022002000100031&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 07 ago. 2012.

EMBRAPA. Anuário estatístico – avicultura: central de inteligência da Embrapa Suínos e Aves. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. ISSN 0101-6245; 147. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/publicacao_e0j29x7q.pdf>. Acesso em: 21 set. 2012.

FARONI L.R.D. Fatores que influenciam a qualidade dos grãos armazenados. p.1-15, 1998.

FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. S. Biodiesel de Soja – Taxa de Conversão em Ésteres Etílicos, Caracterização Físico-química e Consumo em Gerador de Energia. Revista Química Nova, Vol. 28, N^o 1, p. 19-23, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/qn/v28n1/23031.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2012.

FICK, G. N. Breeding and genetics. In: CARTER, J. F. Sunflower Science and Technology. Madison: American Society of Agronomy, p. 279-338, 1978.

FILHO, J. A. C. Biogás, independência energética do Pantanal Matogrossense. Circular técnica n^o. 9. Corumbá, EMBRAPA, 53 p., 1981.

GASPAR, R. M. B. L. Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais, com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo- PR. 2003.119 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GAWAND, P.B.; TAMBE, S.I. & REDDY, B.N. Evaluation of productivity of safflower cultivars under moisture and nutrient management in rainfed vertisols. VIth International Safflower Conference, Istanbul. p.205-209, 2005.

GLOBO. Expedito Parente, inventor do biodiesel, morre aos 70 anos no CE. Revista Online G1 – Globo.com, set. 2011. Disponível em: <<http://g1.globo.com/ceara/noticia/2011/09/expedito-parente-inventor-do-biodiesel-morre-aos-70-anos-no-ce.html>>. Acesso em: 20 nov. 2012.

GLOBO RURAL. Governo e produtores não têm acordo sobre aumento da mistura no diesel até 2020. Revista Globo Rural, out. 2012. Disponível em: <<http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,ERT320268-18531,00.html>>. Acesso em: 20 out. 2012.

GLOBO RURAL. Brasil será maior produtor de biodiesel em 2012, diz Rosseto. Revista Globo Rural, nov. 2011. Disponível em: <<http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,EMI278525-18077,00-BRASIL+SERA+MAIOR+PRODUTOR+DE+BIODIESEL+EM+DIZ+ROSSETO.html>>. Acesso em: 19 nov. 2012.

GRYSCHER, J. M.; BELO, F. R. Produção e uso de gás metano na agricultura e agro-indústria. Piracicaba, 1983.

IAL - Instituto Adolfo Lutz (São Paulo). Métodos Físico-químicos para Análise de Alimentos /coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea - São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1020 p., 2008.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 3ª ed. São Paulo. 1985.

KELLEHER, B. P., LEAHY, J. J.; HENIHAN, A. M.; O'DWYER, T. F.; SUTTON, D.; LEAHY, M. J. Advances poultry litter disposal technology – a review. Bioresource Technology. v. 83, p. 27-36, 2002. Disponível em: <<http://josiah.berkeley.edu/2007Fall/ER200N/PolicyMemo/AdvancesInPoultryLitterDisposalTechnology.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2012.

KONZEN, E.A. Avaliação quantitativa e qualitativa dos dejetos de suínos em forma líquida. Belo Horizonte, 1980. 56 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, UFMG, 1980.

KOUTROUBAS, S.D. & PAPADOSKA, D.K. Adaptation, grain yield and oil content of safflower in Greece. VIth International Safflower Conference, Istanbul p.161-167, 2005.

LEME, P. R.; ALLEONI, G. F.; CAVAGUTI, E. Utilização da cama de frango na alimentação de bovinos. In: SIMPÓSIO SOBRE RESÍDUOS DA PRODUÇÃO AVÍCOLA, 2000, Concórdia, SC. Anais... Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, p. 44-51, 2000. Disponível em: <http://docsagencia.cnptia.embrapa.br/suino/anais/anais65_leme.pdf>. Acesso em: 15 out. 2012.

LIMA, D. O.; SOGABE, V. P.; CALARGE, T. C. C. Uma Análise Sobre o Mercado Mundial do Biodiesel. Apresentação oral. 47º congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Rio Branco, Jul. 2008. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/9/718.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2012.

LUCAS JR., J. Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios. 1994. 137 p. Tese (Livre-Docência Construções Rurais) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1994.

LUCENA, T. K. O Biodiesel na matriz energética brasileira. Monografia (Graduação em Economia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro Instituto de Economia, Rio de Janeiro, 2004.

MAIA, E. L.; Material Didático Teórico Tecnologia do Pescado I, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

MALINA JR, J. F. & POHLAND, F. G. Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes. Water Quality Management Library, USA, Vol.7, 1992.

MARTINS, F. M.; TALAMINI, D. J. D.; NOVAES M. Avicultura: situação e perspectivas brasileira e mundial. AveWorld, set. 2007. Disponível em: <http://www.porkworld.com.br/artigos/post/avicultura-situacao-e-perspectivas-brasileira-e-mundial_10018>. Acesso em: 21 set. 2012.

MAZZUCCHI, O. A. J. Biodigestor rural. São Paulo, CESP, 29 p. 1980.

MEDEIROS, P. T. Viabilidade técnica do biodiesel metílico do óleo de duas variedades de *Carthamus tinctorius* L. como substituto do diesel de petróleo. 2011. Tese (Mestrado em Química) Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011.

MELLO, F. O. T, PAULILLO, L. F., VIAN, C. E. F. O BIODIESEL NO BRASIL: panorama, perspectivas e desafio. Informações Econômicas, SP, v.37, n.1, jan. 2007. Disponível em: <http://www.cprepmauss.com.br/documentos/obiodieselno brasil_panorama_perspectivasedesafios33436.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2012.

METCALF & EDDY. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse. METCALF & EDDY, Inc 3th ed, 1334 p., 1991.

MIALHE, L.G. Manual de mecanização agrícola. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 301 p., 1974.

MIELE, M.; GIROTTO, A. F. Análise da situação atual e perspectivas da avicultura de Corte, 2005. Disponível em: <http://ag20.cnpia.embrapa.br/Repositorio/analise_situacao_atual_perspectivas_avicultura_de_corte_000fzpf3ufi02wx5ok0cpoo6a551x8he.pdf>. Acesso em: 23 set. 2012.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis. Edição nº 42, jun. 2012. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/portalmme/opencms/spg/galerias/arquivos/publicacoes/boletim_mensal_combustiveis_renovaveis/Boletim_DCR_nx_042_-_junho_de_2011.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2012.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras: Editora UFLA, 626 p., 2002.

MORENG, R. E.; EVANS, J. S. Ciência e produção de aves: aquecimento, criação, alojamento, equipamentos e produção de aves. São Paulo: Roca, p. 143-178. 1990.

MORETTO, E.; FETT, R. Definição de óleos e Gorduras tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos. São Paulo. Varela, 144 p., 1998.

OLIVEIRA, L. R. P. Biodigestor. Seminário Técnicos de Suinocultura, 7º Simpósio Goiano de Avicultura e 2º Simpósio Goiano de Suinocultura, Goiânia, setembro, 2005.

OLIVEIRA, R. A.; CAMPELO, P. L. G.; MATOS, A. T.; MARTINEZ, M. A.; CECON, P. R. Influência da aplicação de águas residuárias de suinocultura na capacidade de infiltração de um solo podzólico vermelho-amarelo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande. v.4, n.2, p.263-267, 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-4366200000200022&script=sci_arttext>. Acesso em: 09 out 2012.

ORTOLANI, A. F.; BENINCASA, M.; LUCAS JUNIOR, J. Biodigestores rurais modelos indiano, chinês e batelada. Jaboticabal: FCAV UNESP, 36 p., 1996.

PARCHEN, C. A. Manual de biogás. Curitiba, EMATER-Paraná, 1979.

PLÁ, J. A. Perspectivas do biodiesel no Brasil. Revista Indicadores Econômicos, FEE, Porto Alegre, v. 30, n. 2, p. 179-190, set. 2002. Disponível em: <<http://revistas.fee.tche.br/index.php/indicadores/article/view/1396/1758>>. Acesso em: 20 nov. 2012.

PLAIXATS, J.; BARCELO, J.; GARCIA-MORENO, J. Characterization of the effluente residue from anaerobic digestion of pig excreta for its utilization as fertilizer. Agrochimica, v. 32, n. 2-3, p. 236-239, 1988.

PINOTTI, R. N.; PAULILLO, L. F. de O. A estruturação da rede de empresas processadoras de aves no Estado de Santa Catarina: governança contratual e dependência de recursos hidráulica de microaspersor aplicando água limpa, água residuária de avicultura e de bovinocultura. *Gestão e Produção*, São Paulo, v. 13, n. 1, p.167-177, 2006. ISSN 0104-530x. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v13n1/29585.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2010.

RAHAMATALLA, A.B.; BABIKER, E.E.; KRISHNA, A.G. & EL TINAY, A.H. Changes in fatty acids composition during seed growth and physicochemical characteristics of oil extracted from four safflower cultivars. *Plant Foods for Human Nutrition*, 56: p. 385–395, 2001.

RAMIRO, D. O pai do biodiesel decola Expedito Parente, o brasileiro que criou o combustível ecológico, fecha acordo com Boeing e Nasa para lançar outra novidade: bioquerosene de aviação. *Jornal da ciência/ Isto É Dinheiro*, Edição n. 500, mai. 2007. Disponível em: <http://www.terra.com.br/istoedinheiro-temp/500/negocios/o_pai_do_biodiesel_decola.htm>. Acesso em: 20 nov. 2012.

REDA, S. Y. Estudo Comparativo de Óleos Vegetais Submetidos a Estresse Térmico. 2004. 153 p. Dissertação (Avaliação tecnológica de matérias primas). Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2004.

REIS, A. J. Potencial energético e fertilizante do lixo. *Folha de São Paulo*, Caderno Regional – Nordeste, 1991.

RICORDI, V. G.; TERRES, L. R.; MARTINS, J. L. Influência do volume de água sobre o potencial hidrogeniônico na digestão anaeróbia da cama de frangos de corte. *Anais 17º Congresso de Iniciação Científica e 10º Congresso de Pós-Graduação*. Pelotas, 2008. Disponível e: <http://www.ufpel.edu.br/cic/2008/cd/pages/pdf/CA/CA_01144.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2012.

ROCHA, J. S. R.; LARA, L. J. C.; BAIÃO, N. C. Aspectos éticos e técnicos da produção intensiva de aves. *Ciência veterinária nos trópicos*, Recife-PE, v. 11, suplemento 1, p.49-55, abril, 2008. Disponível em: <<http://www.veterinaria-nos-tropic.org.br/suplemento11/49-55.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2012.

RODRIGUES FILHO, M. G. Cardanol e Eugenol Modificados – Uso Como Antioxidantes no Controle do Processo Oxidativo do Biodiesel Etilico de Algodão. Tese (Doutorado em Química) Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

ROSSI, R. O. Girassol. Curitiba: Ed.Tecnoagro, 133 p., 1998.

RUIZ, R. L. et al. Microbiologia do rúmen e do biodigestor. In: RUIZ, R. L. *Microbiologia zootécnica*. São Paulo: Roca, 124-167 p., 1992.

SANTOS, T. M. B. Caracterização química, microbiológica e potencial de produção de biogás a partir de três tipos de cama, considerando dois ciclos de criação de frangos de corte. 1997. 95 p. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1997.

SANTOS, T. M. B.; LUCAS JUNIOR, J. Utilização de resíduos da avicultura de corte para a produção de energia. 5º Congresso internacional de zootecnia e 13º Congresso nacional de zootecnia, 2003, Uberaba, p. 131-141, 2003.

SCHERER, E.E.; BALDISSERA, I.T.; DIAS, L.R.X. Potencial fertilizante do esterco líquido de suínos da região oeste catarinense. Agropecuária catarinense, Florianópolis, v.8, n.2, p.35-43, 1995.

SEIXAS, J.; FOLLE, S.; MARCHETTI, D. Construção e funcionamento de biodigestores. Brasília: EMBRAPA-CPAC. Circular técnica, 4, 1980.

SEIXAS, A. S. S. Qualidade sanitária de efluentes de biodigestores contínuos alimentados com dejetos de suínos e empregados como biofertilizantes. 1994. 95 p. Tese (Doutorado em Microbiologia Aplicada) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1994.

SILVA, F. A. M.; BORGES, M. F. M.; FERREIRA, M. A. Métodos para Avaliação do Grau de Oxidação Lipídica e da Capacidade Antioxidante. Química Nova, v. 22, n. 1, p. 94-103, 1999.

SILVA, F. K. G.; ARRIEL, N. H. C.; SILVA, S. G. A.; DINIZ, A. L. Caracterização botânico-agronômica de acessos de cartamo da EMBRAPA algodão. Anais 5º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, Lavras, 2008. Disponível em: <<http://oleo.ufla.br/site/trabalhos/buscar-trabalhos#!/titulo/cartamo/tipo-busca/e>>. Acesso em: 11 nov. 2012.

SOUZA, M. E. Fatores que influenciam a digestão anaeróbia. Revista DAE. v. 44, p. 88-94, 1984.

SOUZA, L. C. F.; PEDROTTI, M. C.; TORRES, L. D.; MAKINO, P. A.; TANAKA, K. S.; FREITAS, M. E. Desempenho agrônomo de cartamo em função de doses de fósforo e potássio. Anais 4º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel 7º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <<http://oleo.ufla.br/site/trabalhos/buscar-trabalhos#!/titulo/cartamo/tipo-busca/e>>. Acesso em: 11 nov. 2012.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. Principles and procedures of statistics. New York : McGraw-Hill, 633 p., 1980.

STEIL, L. Avaliação do uso de inóculos na biodigestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos. 2001. 127 p. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Faculdade de Ciência Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, ARARAQUARA, 2001.

STEIL, L.; LUCAS Jr., J.; OLIVEIRA, R.A. Avaliação do uso de inóculos na digestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frango de corte e suínos. *Journal of the Brazilian society of Agricultural Engineering*, Jaboticabal, v.22, n.2, p. 146-149, 2002.

SUAREZ, P. A. Z.; SANTOS, A. L. F.; RODRIGUES, J. P.; ALVES, M. B. Biocombustíveis a partir de óleos e gorduras: desafios tecnológicos para viabilizá-los. *Química Nova*, v. 32, n. 3, p. 768-775, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422009000300020&script=sci_arttext>. Acesso em: 12 nov. 2012.

TORRES, A.; PEDROSA, J. F. MOURA, J. P. Fundamentos de implantação de biodigestores em propriedades rurais. *Revista Educação Ambiental*, nº 40, 05 jun. 2012. Disponível em: <<http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=1248&class=02>>. Acesso em: 17 dez. 2012.

TURDERA, M. V.; YURA, D. Estudo da viabilidade de um biodigestor no município de dourados. *Anais 6º Encontro de Energia no Meio Rural*, 2006. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC000000022006000100062&script=sci_arttext>. Acesso em: 17 dez. 2012.

UBA, União Brasileira de Avicultura. Relatório Anual, 40p., 2009. Disponível em: <<http://www.uba.org.br.html>>. Acesso em: 24 set. 2012.

VALADÃO, F. C. A. et al. Variação nos atributos do solo em sistemas de manejo com adição de cama de frango. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.35, n. 6, Viçosa, Nov./Dez., 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832011000600022&script=sci_arttext>. Acesso: 21 set. 2012.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. Tratamento anaeróbio de esgotos: manual para regiões de clima quente. Campina Grande: Epgraf, 210p., 1994.

VITORATTO, E. Tratamento de Efluentes Líquidos Orgânicos Sistemas Anaeróbicos. Faculdade Oswaldo Cruz, 2004 (Trabalho Técnico – não editado).

ZHANG, Z. & CHEN, Y. Studies on adaptability of safflower germplasms in Xinjiang, China. VIth International Safflower Conference, Istanbul, p.132-139, 2005.

WIKIPÉDIA. Expedito José de Sá Parente. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Expedito_Jos%C3%A9_de_S%C3%A1_Parente>. Acesso em: 20 nov. 2012.

WINROCK INTERNATIONAL BRASIL. Manual de Treinamento em Biodigestão. v 2.0, 2008. Disponível em: <<http://wp2.oktiva.com.br>> Acesso em: 21 de ago. 2012.