



**PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
FUNDAÇÃO PARQUE TECNOLÓGICO ITAIPU**

**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS
RENOVÁVEIS COM ÊNFASE EM BIOGÁS**

**REDUÇÃO DE SÓLIDOS E CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE
BIOGÁS EM BIODIGESTOR DE FLUXO ASCENDENTE EM UMA
PEQUENA PROPRIEDADE DO MUNICÍPIO DE MARECHAL
CÂNDIDO RONDON – PR**

ANGELO GABRIEL MARI

Angelo Gabriel Mari

**REDUÇÃO DE SÓLIDOS E CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE
BIOGÁS EM BIODIGESTOR DE FLUXO ASCENDENTE EM UMA
PEQUENA PROPRIEDADE DO MUNICÍPIO DE MARECHAL
CÂNDIDO RONDON – PR**

Monografia apresentada como requisito parcial
para a obtenção do grau de Especialista em
Energias Renováveis, com Ênfase em Biogás.

Orientador: Prof. Msc. Thiago Edwiges
Co-orientador: Prof Dr. Airton Kunz

Foz do Iguaçu - Paraná
2012

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus. Sem Ele, nada é possível.

A São Cristovão, por ter me permitido tantas viagens – e ter sempre me trazido com saúde de volta para casa.

À minha família, que tem superado as dificuldades da vida para apoiar em minha jornada.

Aos meus orientadores, Prof. Msc. Thiago Edwiges e Prof. Dr. Airton Kunz, por terem compartilhado importantes conhecimentos técnicos e científicos.

À Prof. Msc. Janaína Pasqual e demais professores e colaboradores da Universidade Federal da Integração Latinoamericana, por terem tornado possível o Curso de Especialização em Energias Renováveis com Ênfase em Biogás.

Ao Sr. Pedro Regelmeier e sua esposa Isolde – grandes amigos e pessoas de bom coração, que tem contribuído não só para minha pesquisa, mas também para a difusão de conhecimentos sobre biodigestores e biogás.

Aos Srs. Pedro e Paulo Köhler – dois dos maiores profissionais da área de biodigestão que eu já conheci, pelo conhecimento compartilhado e por suas contribuições na criação de conceitos e construção de biodigestores.

Aos amigos engenheiros Larice Vazata, Felipe Marques e Leonardo Lins, que me auxiliaram enormemente e sem os quais este estudo não seria possível.

Ao Sr. Cícero Bley Júnior e sua equipe da Plataforma Itaipu de Energias Renováveis e do Centro Internacional de Referências em Biogás – CIER-Biogás, cujo trabalho tem contribuído enormemente para o desenvolvimento e difusão das energias renováveis no oeste do Paraná e em todo o Brasil.

Aos colegas de mestrado Alvaro Mari Júnior, Ana Cláudia Cabral, Carlos Fornasari e Helton Rosa, pelo valioso auxílio prestado ao longo deste experimento e pelas várias risadas no Laboratório de Solos.

Aos engenheiros da ADEOP, Luís Thiago Lúcio, Ricardo Muller, Elsidio Cavalcante e Larissa Sbalqueiro, por todas as oportunidades e pelas dificuldades superadas juntos.

Por fim, a todas aquelas pessoas especiais que sempre ficaram ao meu lado.

RESUMO

Os biodigestores constituem uma importante tecnologia para o tratamento da biomassa residual e para a produção de energia renovável no meio rural. Diferentes modelos de biodigestores têm sido criados e empregados nas áreas rurais do Brasil para o tratamento de diferentes substratos. Este estudo avalia a capacidade de remoção de sólidos e de produção de biogás do Biodigestor de Fluxo Ascendente, criado e utilizado na região oeste do Paraná para tratamento de dejetos da bovinocultura leiteira. Para tanto, realizou-se coletas do afluente e do efluente de um biodigestor deste modelo, operando em condições de campo, no tratamento de dejetos de bovinos. As coletas se realizaram durante oito semanas. Também se monitorou a produção de biogás e sua composição. Os resultados obtidos demonstraram que o Biodigestor de Fluxo Ascendente avaliado foi abastecido com um afluente com teores médios de Sólidos Totais de 4,29%, e de Sólidos Voláteis de 3,02%; e que seu processo de tratamento resultou em uma redução média de 13,61% para os Sólidos Totais e de 24,78% para os Sólidos Voláteis – valores abaixo do que os encontrados na literatura para outros modelos de biodigestores. Além disso, obteve-se um rendimento de produção de biogás médio de 0,39 m³ biogás/Kg ST adicionados ou de 0,56 m³ biogás/Kg SV adicionados – valores superiores ao encontrado na literatura para outros modelos de biodigestores, mas próximos ao encontrado para biodigestores de bancada. O biogás produzido apresentou, em média, um teor de metano de 55,3%. Estes resultados mostram que o Biodigestor de Fluxo Ascendente apresentou rendimento superior de produção de biogás, mas com capacidade de remoção de sólidos inferior à encontrada em outros modelos de biodigestores. Entretanto, o biodigestor também mostrou sinais de estar sendo operado com excesso de lodo na câmara de biodigestão e tempo de retenção hidráulico reduzido.

Palavras-chave: Digestão Anaeróbia – Dejetos Bovinos - Biogás

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CIER-Biogás	Centro Internacional de Referências em Energias Renováveis com Ênfase em Biogás
ST	Sólidos Totais
SV	Sólidos Voláteis
UNILA	Universidade Federal da Integração Latino-Americana
UNIOESTE	Universidade Estadual do Oeste do Paraná

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Crescimento do plantel brasileiro da bovinocultura leiteira (2001-2011)

Figura 2: Sequências Metabólicas de Digestão Anaeróbia

Figura 3: Layout do Biodigestor Modelo Chinês.

Figura 4: Layout do Biodigestor Modelo Indiano.

Figura 5: Layout do Biodigestor Modelo Canadense.

Figura 6: Layout do Biodigestor de Fluxo Ascendente.

Figura 7: Biodigestor de fluxo ascendente instalado em granja de bovinocultura.

Figura 8: Variação da temperatura ambiente e interna do biodigestor.

Figura 9: Teores de ST e SV no afluente e no efluente do biodigestor.

Figura 10: Relação SV/ST

Figura 11: Redução de Sólidos Totais e de Sólidos Voláteis

Figura 12: Carga Orgânica adicionada e removida pelo Biodigestor de Fluxo Ascendente.

Figura 13: Produção total e específica de biogás e de metano.

Figura 14: Composição média do biogás oriundo da digestão anaeróbia de dejetos da bovinocultura leiteira em biodigestor de fluxo ascendente.

Figura 15: Rendimento de Biogás sobre Sólidos Adicionados e Removidos em Biodigestor de Fluxo Ascendente

Figura 16: Rendimento de Metano sobre Sólidos Adicionados e Removidos em Biodigestor de Fluxo Ascendente

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Equivalência energética entre 1 m³ de biogás e outras fontes energéticas.

Quadro 2: Volumosos utilizados na alimentação dos animais durante o período do estudo

Quadro 3: Datas de realização das coletas de dejetos e biofertilizante

Quadro 4: Teor de Sólidos Totais (ST); Sólidos Voláteis (SV) e Sólidos Fixos (SF) em amostras do afluente e do efluente do biodigestor de fluxo ascendente oriundo de dejetos da bovinocultura leiteira

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Eficiência do Biodigestor de Fluxo Ascendente – Remoção de Sólidos Totais (ST) e Sólidos (Voláteis).

Tabela 2: Eficiência do Biodigestor de Fluxo Ascendente - Produção de Biogás

Tabela 3: Composição do biogás

Tabela 4: Comparação dos Indicadores de Diferentes Modelos de Biodigestor

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1	Agronegócio Brasileiro.....	12
2.3	Impactos Ambientais da Agropecuária	17
2.4	Digestão Anaeróbia.....	19
2.5	Biogás	22
2.6	Biodigestores	24
3	MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1	Caracterização da propriedade rural e do sistema de biodigestão	31
3.2	Coletas e análises de dejetos e de biofertilizante.....	34
3.3	Medição da vazão e da composição do biogás.....	35
3.4	Interpretação dos dados.....	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1	Temperatura.....	38
4.2	Teores de Sólidos.....	39
4.3	Relação SV/ST	43
4.4	Redução de Sólidos	44
4.5	Carga Orgânica.....	46
4.6	Produção de Biogás e de Metano	47
4.7	Composição do Biogás.....	49
4.8	Rendimento de Produção de Biogás	52
4.9	Rendimento de Produção de Metano	54
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
	REFERÊNCIAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

Biodigestores representam uma importante tecnologia para o tratamento de efluentes orgânicos, principalmente da biomassa residual proveniente da agropecuária. Além do tratamento de resíduos, com redução de sólidos e remoção da carga orgânica, a digestão anaeróbia conduzida dentro do biodigestor resulta na produção de biogás – mistura de gases cuja composição rica em metano o torna uma importante fonte de energia renovável no meio rural.

Estes aspectos ambientais e energéticos dos biodigestores, associados à simplicidade operacional o colocam entre as principais e mais sustentáveis alternativas para o tratamento de dejetos animais nas áreas rurais do Brasil. Mediante aos diferentes substratos possíveis de serem tratados pelo equipamento, os objetivos diversos de sua implantação em uma propriedade rural, e as variadas condições socioambientais existentes no Brasil, tem surgido diversos modelos de biodigestores.

Cada um destes modelos apresenta diferentes características e indicadores no que se refere à adequação a determinados substratos, capacidade de remover a carga orgânica, produção de biogás, custos de implantação, dentre outros aspectos. Neste contexto, encontra-se o Biodigestor de Fluxo Ascendente, também conhecido por Biodigestor de Fibra de Vidro Vertical Rígido.

Este modelo de biodigestor foi criado na região oeste do Estado do Paraná, concebido pelo Sr. Pedro Kohler, que por conhecimento técnico e experimentação, desenvolveu um protótipo específico para a bovinocultura leiteira em pequena escala - atividade econômica frequentemente encontrada na região.

Adequado à realidade regional, o biodigestor de fluxo ascendente foi patenteado pela empresa Biokohler e pela Fundação Parque Tecnológico de Itaipu (patente compartimentada) e difundido pela Plataforma Itaipu de Energias Renováveis em seu projeto Condomínio de Agroenergia da Agricultura Familiar da

Microbacia Hidrográfica da Sanga Ajuricaba – no qual biodigestores foram implantados em pequenas propriedades rurais para produção de biogás a partir do tratamento anaeróbio da biomassa residual animal.

Assim, este estudo teve por objetivo avaliar a eficiência deste modelo de biodigestor em condições de campo, a partir de um estudo de caso que avaliou a capacidade de remoção de sólidos e de produção de biogás de um biodigestor de fluxo ascendente encontrado em uma das pequenas propriedades rurais que compõem o projeto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Agronegócio brasileiro

A agropecuária representa uma atividade socioeconômica desenvolvida no meio rural que consiste no cultivo vegetal e na criação de animais para visando abastecer as necessidades humanas. Segundo Herren e Donhahue (1991), trata-se de uma atividade ampla, que consiste na produção vegetal e animal para alimentação e vestuário, mas que também engloba a produção e o fornecimento de insumos e serviços, o processamento, propaganda e comercialização de seus produtos. Encarada desta forma sistêmica, relacionando-a a todos os seus aspectos econômicos, a agropecuária representa um setor da economia: o agronegócio.

O Brasil apresenta uma agropecuária forte e o agronegócio representa em um importante setor da economia brasileira. Em 2010, o agronegócio representou mais de 22% do Produto Interno Bruto brasileiro, principalmente devido à alta produção e comercialização de produtos vegetais e animais, destacando-se as exportações de carnes; produtos florestais; soja; café; o complexo sucroalcooleiro - álcool e açúcar; mandioca; e laranja (BRASIL, 2010).

A vocação brasileira para a produção agropecuária foi analisada por Reitas, Bacha e Fossati (2007), que identificaram que entre o período compreendido pelos anos 1970 a 2000 houve um intenso progresso tecnológico na agropecuária nacional, decorrente do uso de insumos e equipamentos modernos e da alteração da maneira tradicional de produzir dos agricultores, que se atentaram para as exigências do mercado com relação a produtos de maior qualidade com menores custos.

Este crescimento em termos de produção também foi estudado por Brugnaro e Bacha (2009), que identificou que o aumento na produção agrícola aumentou consideravelmente a partir de 1994, devido ao crescimento da área plantada e aos

ganhos em produtividade. De forma semelhante, a produção brasileira de carne cresceu devido ao aumento do rendimento de carcaça por animal e também do crescimento do número de animais abatidos – reflexo do crescimento do número de empreendimentos de pecuária e das concentrações de animais nas regiões produtoras.

Como resultado, o Brasil se firmou entre os maiores expoentes da produção agropecuária, de tal forma que, como explicado por Brugnaro e Bacha (2009), ao contrário do que se observa na maioria dos países, a agropecuária aumentou fortemente sua participação no PIB nacional entre os anos 90 a 2004.

As previsões indicam para aumento da produtividade agropecuária brasileira e consequente aumento da exportação. As maiores expansões previstas para o período entre 2012 e 2022, em termos de produtividade (com relação à produção atual), incluem o soja em grão (25,1%); carne de frango (56,1%), carne bovina (32,3%), açúcar (25,7%), maçã (35,8%) e celulose (29,7%). Com relação às exportações, para o mesmo período, o Brasil estará entre os quatro principais exportadores mundiais de milho, soja, carne bovina e carne de frango. Salienta-se que o grande aumento na produção de proteína animal resultará do aumento da demanda do mercado interno (MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2012).

Neste contexto, a agricultura familiar desempenha um papel fundamental na agropecuária brasileira – visivelmente, na produção de alimentos. Embora se mostre bastante heterogênea no Brasil, fruto de origens históricas diferentes, pode-se descrever a agricultura familiar como uma forma de social de produção que relaciona o trabalho e a gestão na propriedade à estrutura familiar, visando o atendimento de suas necessidades e o seu bem-estar (ALTAFIN, 2007; SAVOLDI; CUNHA, 2010).

Guilhoto et al. (2006) descrevem que, mesmo com dificuldades como a insuficiência de terras, as dificuldades creditícias, o menor aporte tecnológico, a fragilidade da assistência técnica e a subutilização da mão-de-obra, os pequenos agricultores ou agricultores familiares respondem por uma parcela expressiva da riqueza nacional – resultado, principalmente, da utilização plena das terras e dos recursos existentes nas propriedades rurais, e também da integração de importantes parcelas do segmento familiar aos setores agroindustriais e de distribuição – a exemplo da pecuária. Desta forma, em 2003, a agropecuária familiar foi responsável

por 10,1% do PIB brasileiro, o que equivale a R\$ 157 bilhões em valores daquele ano. Tendo em vista que o conjunto do agronegócio nacional foi responsável, nesse ano, por 30,6% do PIB, fica evidente o peso da agricultura familiar na geração de riqueza do país.

A análise da evolução da agricultura familiar no Brasil entre os anos de 1996 a 2006, desenvolvida por Guanzioli, Buainain e Di Sabbato (2012) corrobora com o exposto. Para estes autores, na agricultura familiar persistem as limitações tecnológicas e fundiárias – sendo que uma parcela significativa de agricultores familiares tem na pouca quantidade de terras o principal limitante na expansão de sua renda. Entretanto o acesso a energia elétrica, o melhor uso da tração animal e mecânica, e a maior eficiência no uso dos fatores terra e capital (financiamentos), permitiram que a agricultura familiar mantivesse praticamente inalterada a sua participação no total produzido pelo país – mesmo considerando o forte crescimento no setor nas últimas décadas.

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2012), a agricultura familiar é responsável por 40% da produção agrícola e 80% da ocupação no setor rural brasileiro – sendo a principal fonte de produção de alimentos do país - uma função histórica deste segmento da agropecuária, como descrito por Altafin (2007).

2.2 Bovinocultura leiteira

A bovinocultura representa umas das principais atividades do agronegócio brasileiro – destacando-se no cenário do agronegócio mundial. Com 212,798 milhões de cabeças no ano de 2011 (IBGE, 2011), o rebanho brasileiro considerado o segundo maior rebanho efetivo do mundo e o primeiro maior rebanho comercial, o que proporciona o desenvolvimento de dois importantes segmentos da economia nacional: as cadeias produtivas da carne e do leite (MAPA, 2012).

As vacas de leite representam 10,9% do rebanho nacional – o efetivo de vacas ordenhadas em 2011 foi 23,23 milhões de animais, o que representa um crescimento no plantel da bovinocultura leiteira de 28% dentro de um espaço de 10 anos – um valor bastante representativo e que permite compreender a evolução e as boas condições econômicas pelas quais a atividade passou ao longo da última

década. O gráfico da Figura 1 ilustra o crescimento do rebanho de vacas de leite no Brasil no período entre 2001 e 2011.

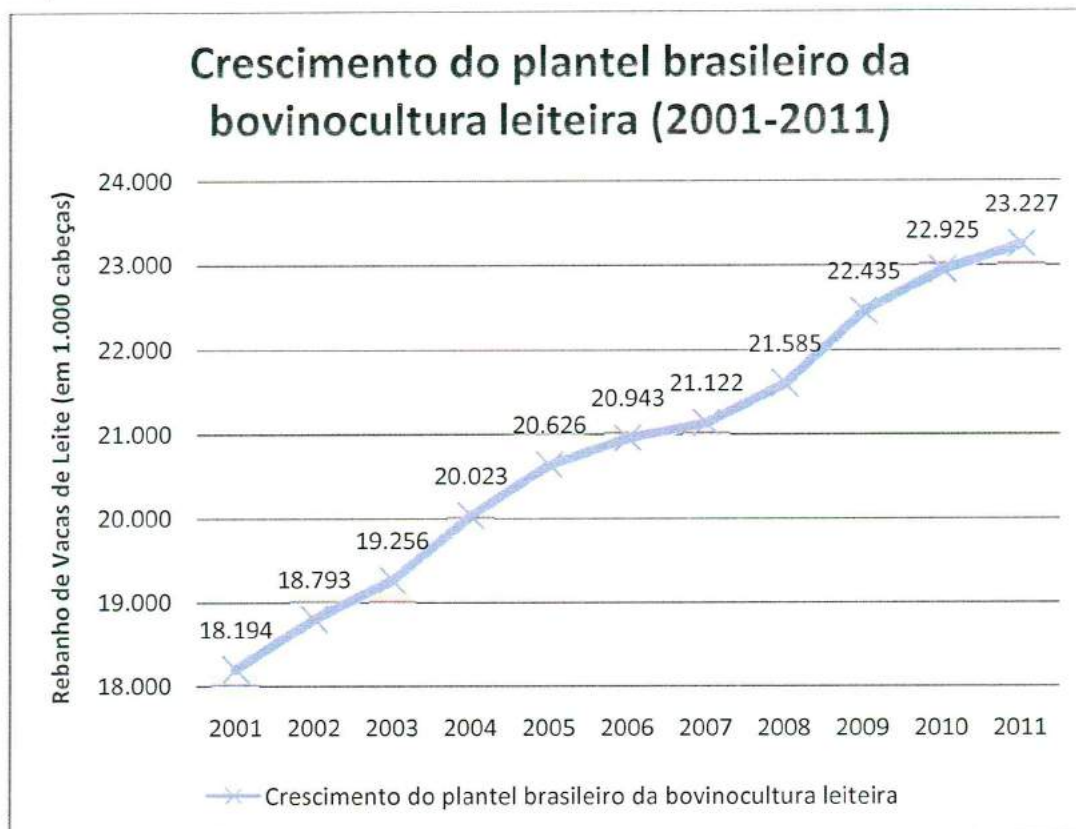


Figura 1: Crescimento do plantel brasileiro da bovinocultura leiteira (2001-2011)

Fonte: adaptado de IBGE (2011).

Segundo o IBGE (2011), a produção de leite no Brasil no ano de 2011 foi de cerca de 32 bilhões de litros e a do Estado do Paraná, na região Sul do Brasil, foi de 3,8 bilhões de litros, ou seja, 11,9% da produção nacional - o que o coloca na 3ª posição entre os principais estados produtores, logo após Minas Gerais e Rio Grande do Sul.

Entre os 20 municípios brasileiros com as maiores produções de leite no ano de 2011, encontram-se Castro (210 milhões de litros, ocupando a 1ª posição entre os produtores nacionais), Carambeí (120 milhões de litros, ocupando a 5ª posição), Marechal Cândido Rondon (95,9 milhões de litros, 13ª posição), e Toledo (84,4 milhões de litros, 18ª posição), sendo que estes dois últimos municípios se localizam na Mesorregião Oeste do Paraná.

No Brasil, características como os fatores climáticos e ambientais, a situação socioeconômica, os aspectos culturais e políticos locais contribuem para o

desenvolvimento diferenciado entre as várias regiões produtoras, havendo grande diversidade de raças, alimentação, e de sistemas de manejo dos rebanhos (SEAB, 2005).

Na Mesorregião Oeste do Paraná, Schuch (2012) verificou que a bovinocultura leiteira é desenvolvida por 24.868 produtores, que possuem um rebanho total de 306 mil cabeças de vacas leiteiras. O manejo se constitui pela criação das vacas a pasto, com recolhimento dos animais para duas ordenhas diárias - ao amanhecer e ao entardecer. Ordenhados, os animais recebem suplementação alimentar – momento em que produzem grande quantidade de biomassa residual – sendo, logo após, conduzidos novamente para áreas de pastagem.

Schuch (2012) expôs também que 84% das propriedades rurais são caracterizadas como módulos econômicos familiares - imóveis com área não superior a 72 hectares, cujos proprietários residam na propriedade ou próximo a ela, e obtenham no mínimo 70% de sua renda das atividades agropecuária.

Para a SEAB (2005), mesmo que, mundialmente, o leite seja produzido em propriedades rurais de diferentes portes, pode-se dizer que a bovinocultura leiteira é caracterizada como uma atividade tradicionalmente explorada pela agricultura familiar – situação que pode ser observada na região estuda por Schuch (2012).

Enquanto atividade econômica, a bovinocultura leiteira traz importantes benefícios para a agricultura familiar. Em uma análise sobre a cadeia produtiva do leite, o IAPAR (1999) apontou que, nas pequenas propriedades rurais, esta atividade permite a utilização de mão-de-obra familiar excedente e a entrada mensal de receitas, além de rebanho representar uma reserva econômica de elevada liquidez - características que amenizam as dificuldades financeiras e viabilizam a permanência do homem no campo. Além disso, o leite produzido é utilizado como fonte alimentar, contribuindo para a melhoria das condições de vida da família rural.

Alguns pontos críticos da cadeia produtiva do leite incluem: a sanidade do rebanho, a alimentação e a qualidade do leite. O manejo sanitário inadequado e as doenças ocasionam redução na produção, dificuldades na exportação e riscos à saúde pública. A alimentação dos animais com rações e volumosos em quantidade e/ou qualidade inadequada resulta em diminuição da produção e predisposição a enfermidades. Por fim, a qualidade do leite implica no valor pago ao produtor. Além

disso, a presença de micro-organismos patogênicos ou de substâncias químicas no leite comprometem o processamento industrial e a saúde dos consumidores (IAPAR, 1999).

As tendências apontadas pela SEAB (2005) mostram que os pequenos produtores devem buscar o aumento da qualidade e sanidade de seu leite, para obterem maiores rentabilidades com o produto. Além disso, os pequenos e médios produtores podem escolher aumentar a lucratividade ao reduzir seus custos operacionais, optando pela produção do gado leiteiro a pasto – o que incorre em menor produtividade, mas também menores custos de produção.

2.3 Impactos Ambientais da Agropecuária

O crescimento populacional e o desenvolvimento das nações resultam no acentuado crescimento da demanda mundial por alimentos e matérias-primas, de forma que se deposite sobre o agronegócio a importante responsabilidade de sustentar estas demandas. No cumprimento desta responsabilidade, entretanto, o agronegócio deve manter uma postura de respeito e comprometimento com a qualidade de vida e do meio ambiente. Desta forma, ora a agricultura, ora a pecuária, devem procurar manter o equilíbrio entre os passivos e ativos ambientais decorrentes de seus sistemas de produção (KONZEN; ALVARENGA, 2005).

Na questão da agricultura, os usos de fertilizantes e agrotóxicos constituem as atividades com maior potencial de impactos diretos sobre os ecossistemas – no Estado do Paraná, o uso de fertilizantes em grande quantidade, sem a correta recomendação técnica, acarreta em custos desnecessários e impactos ambientais pelo excesso de nutrientes que são incorporados aos ecossistemas; ao mesmo tempo, considera-se que o uso de agrotóxicos representa a atividade mais crítica, associada, principalmente, ao período de dessecação para a implantação das culturas de verão e às primeiras semanas de cultivo (WEIRICH NETO; ROCHA, 2007).

Na agropecuária, a grande quantidade de dejetos produzidas nas áreas de alta concentração de animais representa um dos problemas mais graves. Os dejetos animais apresentam alto risco de poluição do meio ambiente, especialmente para os recursos hídricos – uma vez que os organismos dos animais não são

capazes de absorver a totalidade dos nutrientes presentes em sua alimentação (KONZEN; ALVARENGA, 2005).

A existência de nutrientes não absorvidos nos dejetos animais faz com que os mesmos se qualifiquem como fontes de nutrientes em culturas agrícolas e pastagens, o que se mostra uma alternativa adequada para a disposição da biomassa residual animal, desde que respeitados os critérios técnicos – do contrário, aumenta-se muito o risco de contaminação ambiental (CÔRREA et al., 2011; KONZEN, 2003).

A aplicação de água residuária da pecuária pode acarretar no aumento da concentração de nutrientes no solo ao longo do tempo. (CORREA et al., 2011). A água residuária de suinocultura, por exemplo, quando dispostas em solo sem o devido tratamento, resultaram no aumento dos teores de fósforo e magnésio, em solos cultivados com forrageiras (CABRAL et al. 2011).

Shigaki, Sharplei e Prochnow (2006) descrevem que, como os animais utilizam o P (fósforo) ineficientemente (retêm cerca de 30% apenas), a aplicação dos dejetos em solo agrícola melhoram a estrutura do solo e sua fertilidade, mas quando as concentrações de P no solo superam as necessidades das culturas, aumenta-se o potencial de carreamento de fósforo do solo durante as chuvas, resultando na eutrofização.

A mesma preocupação foi apresentada por Silveira et al. (2011), com relação à aplicação de dejetos líquidos bovinos. Para estes autores, a aplicação de até $120 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ de dejetos líquidos bovinos em solo franco-argiloarenoso manejado, sob plantio direto reduziu as perdas de C orgânico e N por escoamento superficial, com consequências positivas para a qualidade da água em corpos hídricos a jusante. Porém, a aplicação de doses maiores tende a aumentar a concentração dos referidos elementos no solo e favorecer seu arraste até corpos hídricos – prejudicando o meio ambiente.

Por outro lado, Erthal et al. (2010), descreveu as respostas do solo à crescentes taxas de aplicação de água residuária de bovinocultura: ligeiro aumento no pH, CTC e saturação de bases nas camadas superficiais do solo, não houve problemas com salinidade, nem sodicidade; não elevou a concentração de fósforo no solo em níveis satisfatórios (para capim-Tifton 85 e aveia preta) e não se acumulou matéria orgânica no solo. No entanto, estes autores relatam aumento da

concentração de cálcio, magnésio e potássio trocáveis – indicando que o potássio deve ser monitorado e usado como referência na definição de doses de aplicação deste tipo de água residuária.

O aporte de fósforo, nitrogênio e carbono na água em concentrações elevadas pode acarretar em danos ambientais e à saúde humana. O fósforo e o nitrogênio estão bastante associados ao problema de eutrofização (CORRELL, 1998; SHIGAKI; SHARPLEY; PROCHNOW, 2006).

O excesso de carbono orgânico na água representa um aporte “alimento” para microorganismos decompositores, resultando em aumento da DBO e diminuição dos teores de oxigênio dissolvido na água – prejudicando os organismos aeróbios aquáticos e promovendo o desequilíbrio ecológico (HOODA et al., 2000).

Por estes motivos, concorda-se com Konzen (2003) e com Weirich Neto e Rocha (2007), que expõem que a mitigação dos impactos ambientais das atividades agropecuárias passa pelo aproveitamento racional dos dejetos da pecuária em outras atividades, exigindo-se para tal, a adequação do manejo atual. Da mesma forma, concorda-se com Kunz, Higarashi e Oliveira (2005), sobre a necessidade de se agregar tecnologia na busca pela mitigação dos impactos ambientais das atividades pecuárias. É neste contexto que se inserem os biodigestores – alternativas para o tratamento e aproveitamento dos resíduos da pecuária.

2.4 Digestão Anaeróbia

A digestão anaeróbia constitui um processo biológico pelo qual microorganismos decompõe a matéria orgânica na ausência de oxigênio, reduzindo a massa de resíduos a um lodo digerido de alto valor nutricional para cultivos agrícolas e gerando biogás, um gás composto essencialmente de metano e de gás carbônico. O processo de biodigestão anaeróbia da matéria orgânica foi explicado por autores como Tchobanoglus *et al.* (1993) e Chernicharo (2007).

As diferentes fases da biodigestão compreendem hidrólise enzimática; acidogênese; acetogênese; e metanogênese, conforme abaixo:

- **Hidrólise enzimática** - fase na qual os materiais orgânicos complexos são hidrolisados e convertidos em moléculas menores por meio da fermentação;

- **Acidogênese** - fase na qual as moléculas menores são metabolizadas no interior de bactérias fermentativas e convertidas em diversos compostos mais simples;
- **Acetogênese** - fase na qual os micro-organismos acetogênicos oxidam os produtos gerados na fase anterior, resultando em hidrogênio, dióxido de carbono e acetato; e
- **Metanogênese** - fase em que as arqueas metanogênicas convertem os substratos resultantes em biogás. A produção do biogás é possível a partir do ácido acético ou do metanol, por meio das arqueas metanogênicas acetoclásticas, bem como por meio do hidrogênio e do dióxido de carbono, através das arqueas metanogênicas hidrogenotróficas (SCHALCH, 1992 *apud* BELLO; CASTRO, 2009).

Segundo Yang e Guo (1990), cerca de 70% do metano que compõe o biogás é produzido pelas arqueas acetoclásticas, enquanto que aproximadamente 30% provêm da atividade das arqueas hidrogenotróficas. A Figura 2 ilustra este processo de digestão anaeróbia, conforme apresentado por Chernicharo (2007).

Segundo Cassini *et al.* (2003), os micro-organismos envolvidos na digestão anaeróbia são muito especializados e cada grupo atua em reações específicas. Estes autores defendem a fase metanogênica como crítica, pois os micro-organismos envolvidos são mais sensíveis que os hidrolíticos ou acidogênicos às condições desfavoráveis do meio, pois são anaeróbios estritos, com uma bioquímica complexa para síntese de metano. As arqueas metanogênicas tem crescimento lento e são bastante sensíveis às condições externas, sendo o primeiro grupo a sofrer os efeitos de estresses ambientais.

Torna-se claro que, por se tratar de um processo bioquímico, diversos fatores influenciam a digestão anaeróbia, dentre os quais se destacam a temperatura, a carga orgânica aplicada e a presença de materiais de natureza tóxica, entre outros (LEITE *et al.*, 2003). Segundo estes autores, a digestão anaeróbia dos resíduos sólidos é possível em temperaturas mesófilas (30 a 45 °C) ou termófilas (45 a 60 °C), ressaltando-se que as reações biológicas são mais eficientes e rápidas em temperaturas termófilas. A faixa psicrófila, segundo estudo de Collins *et al.* (2003) é mais interessante para efluentes produzidos em baixas

temperaturas, logo, não se mostra adequado ao caso dos resíduos sólidos urbanos produzidos no Brasil.

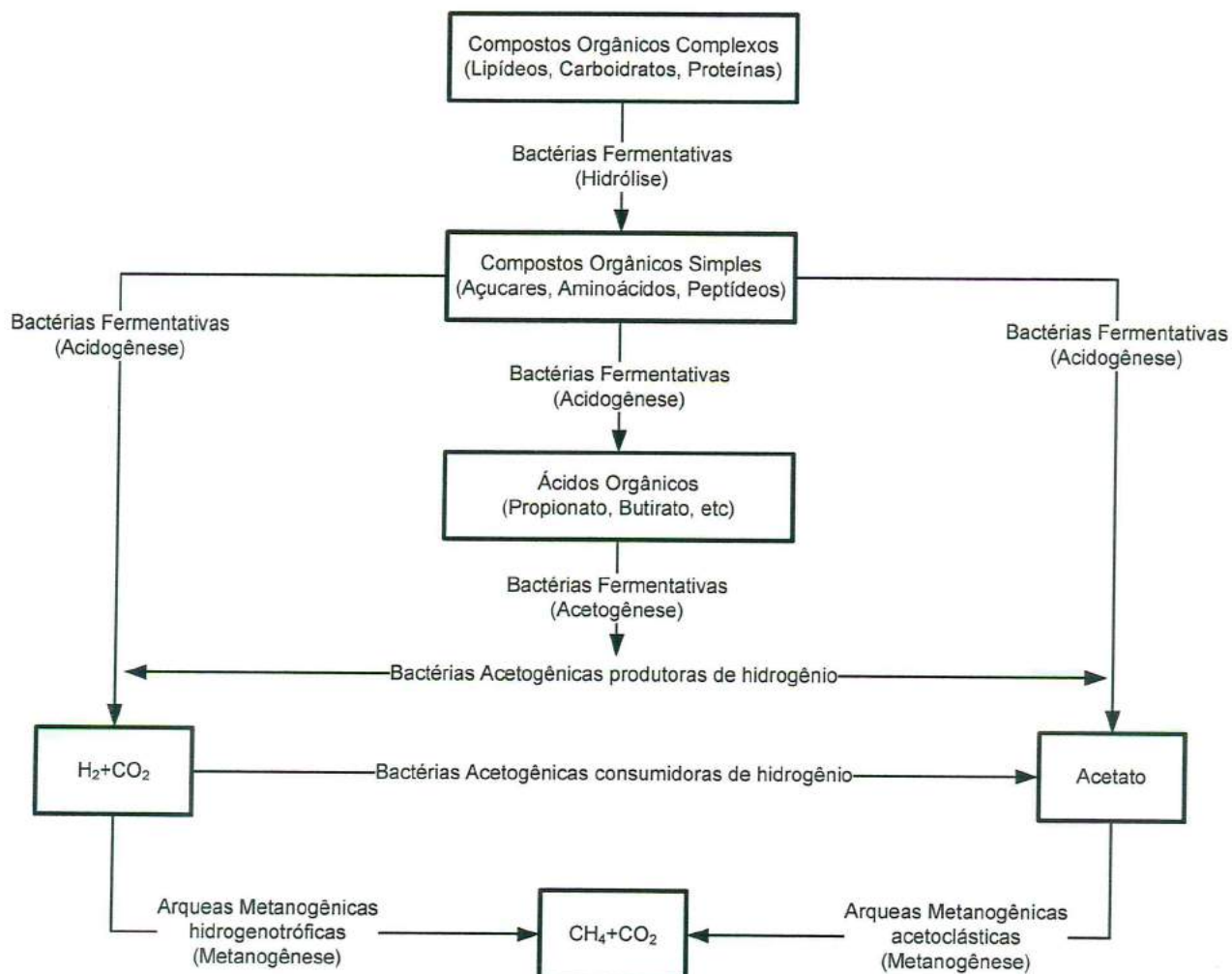


Figura 2: Sequências Metabólicas de Digestão Anaeróbia

Fonte: Adaptado de Chernicharo (2007).

A acidez do substrato da biodigestão também representa outro fator importante. Silva (2009) chama a atenção para a necessidade de se evitar o acúmulo de ácidos graxos voláteis e baixos níveis de pH na biodigestão, motivo pelo qual os resíduos com maior concentração de alcalinidade total se mostram interessantes no processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos.

Por estes motivos, o controle do processo de biodigestão se torna essencial para que se obtenha maior eficiência na bioestabilização dos resíduos e na produção de biogás. Alguns parâmetros de controle são descritos no trabalho de

Dors (2006) e incluem: ácidos orgânicos voláteis (AOV); alcalinidade; relação AOV/alcalinidade; volume total de gás e porcentagem de metano no biogás; presença e concentração de outros gases de interesse (hidrogênio, monóxido de carbono, entre outros); atividade metanogênica específica, dentre outros.

2.5 Biogás

O biogás constitui um dos principais produtos da digestão anaeróbia. O trabalho de Salomon (2007) contextualizou as principais características do biogás: uma mistura de gases onde o metano e o dióxido de carbono estão em maiores proporções – sendo que o primeiro é o mais interessante, por representar um biocombustível de alto poder calorífico. O metano (CH_4) é um dos gases responsáveis pelo efeito estufa e possui uma ação 21 vezes maior do que o dióxido de carbono (CO_2) em relação à retenção do calor responsável pelo aquecimento estimado do planeta ao longo de cem anos (IPCC, 2007).

Outro gás encontrado no biogás é o gás sulfídrico, um gás corrosivo que demanda cuidados especiais com os materiais empregados nos equipamentos utilizados para a produção e aproveitamento do biogás. Além disso, o gás sulfídrico pode causar danos à saúde humana. Estes aspectos, observados por Frare *et al.* (2009), representam limitações no aproveitamento energético do biogás, mas que tem sido superadas por meio da remoção do gás sulfídrico. A alternativa proposta por Frare *et al.* (2009) consiste na absorção com reação química em solução de Fe/EDTA (Ferro/Ácido etilenodiaminotetraacético). Segundo estes autores, este processo apresenta como vantagens a elevada eficiência e a seletividade de remoção de gás sulfídrico; a facilidade de regeneração da solução Fe/EDTA; as condições ambientais são favoráveis ao processo; e a possibilidade de comercializar o enxofre elementar produzido pela absorção química do gás sulfídrico.

Dentre os gases que compõem o biogás, o metano é o que desperta maior interesse, uma vez que ele determina o poder calorífico e o potencial energético do biogás. O teor de metano no biogás varia entre 40 e 75%, de acordo com a fonte geradora, sendo assim, o poder calorífico do biogás varia entre 22.500 a 25.000 kJ/m^3 . No entanto o metano representa um gás de difícil armazenamento e transporte, devido à fraca densidade e à leveza do biogás, o que dificulta alguns aspectos do seu aproveitamento para fins energéticos. Em se tratando do biogás

enquanto fonte de energia, o Quadro 1 compara a equivalência energética do biogás com algumas fontes convencionais.

Quadro 1: Equivalência energética entre 1 m³ de biogás e outras fontes energéticas.

Fonte	Faixa
Gasolina (L)	0,61 – 0,70
Querosene(L)	0,58 – 0,62
Óleo Diesel (L)	0,55
GLP (kg)	0,40-1,43
Álcool (L)	0,80
Carvão Mineral (kg)	0,74
Lenha (kg)	3,50
Eletricidade (kWh)	1,25 – 1,43

Fonte: Adaptado de Pompermeyer e Paula Jr. (2000).

Salomon (2007) também afirmou que “a utilização do biogás traz vantagens não somente ao meio ambiente como também na questão do gerenciamento dos resíduos do país, aumento de emprego e geração de eletricidade”. Para este autor, a energia elétrica produzida a partir do biogás pode suprir o potencial de demanda energética em locais com alta produção deste gás.

Para Andrade et al. (2002), o Brasil, por suas dimensões continentais e território localizado em uma região de clima tropical quente, tem no processo de biodigestão da biomassa residual rural como alternativa e solução local para o suprimento de energia descentralizada e de outros insumos agrícolas.

Nesse sentido, Bley Jr. (2010) ressalta a necessidade de descentralização da geração de energia por meio da Geração Distribuída, que diminui o grau de dependência entre a produção e o consumo da energia do biogás. Para este autor, “com a Geração Distribuída abre-se uma nova perspectiva energética para o fornecimento de energia elétrica e térmica geradas com biogás”.

O processo de digestão anaeróbia também produz o biofertilizante, um material orgânico com grande poder fertilizante, fornecendo elementos essenciais para o desenvolvimento das plantas, como nitrogênio, fósforo e potássio (INOUE *et al.*, 2010). Conforme explicado por Cassini *et al.* (2003), o processo de digestão anaeróbia reduz o teor de sólidos orgânicos dos substratos da biodigestão, tornando-os menos susceptíveis às mudanças putrefativas que os substratos não digeridos, de tal forma que, obedecendo a critérios de higienização, o lodo resultante

do processo de digestão anaeróbia pode ser utilizado como fertilizante. Um exemplo desse uso foi dado por Assenheimer (2009), que propôs a estabilização, secagem e utilização do lodo como substrato na produção de mudas de espécies florestais.

Desta forma, o processo de biodigestão contribui não apenas para solucionar o quadro crítico relacionado ao saneamento ambiental rural, mas também gerar estes dois subprodutos – biogás e biofertilizante – que auxiliam na viabilização do processo e na geração de renda complementar para a atividade agropecuária (SCHUCH, 2012).

O estudo de Silva et al. (2011) demonstrou que os subprodutos do processo de biodigestão auxiliam a viabilizar os investimentos neste processo de tratamento. Estes autores verificaram que a construção de um biodigestor do modelo canadense com capacidade para 25 m³ possui um payback de 8,59 anos, considerando apenas a comercialização do rebanho suíno, mas que, considerando o valor agregado da energia do biogás e dos nutrientes do biofertilizante, este tempo cai para 7,62 anos. No caso dos dejetos bovinos, este mesmo biodigestor apresenta payback de 7,65 anos quando se aproveitam os subprodutos da biodigestão.

Para regiões com grandes densidades de animais estabulados de forma difusa no território, ou seja, em grande quantidade de granjas, uma possibilidade é a implantação de condomínios de agroenergia, como descrito por Bley Jr. (2009).

Segundo Schuch (2012) a forma condominial de agroenergias consiste em organizar agricultores vizinhos para produzirem biogás e biofertilizante pelo processo da biodigestão anaeróbia, e conduzir, por meio de um biogasoduto rural, o biogás produzido individualmente nas granjas até uma unidade central, de propriedade do condomínio, para purificação, conversão em energia e comercialização em uma escala maior. O efluente orgânico remanescente da biodigestão anaeróbia permanece nos imóveis rurais, onde é utilizado na fertilização do solo.

2.6 Biodigestores

A produção de biogás e de biofertilizante por meio da digestão anaeróbia nas propriedades rurais se dá em um biodigestor. Deganutti et al. (2002) descrevem o biodigestor como uma câmara fechada onde é colocado o material orgânico, em solução aquosa, e este sofre decomposição, gerando o biogás que irá se acumular na parte superior da referida câmara. Já Schuch (2012) define o biodigestor como

um reator hermeticamente fechado, alimentado com biomassa residual, que degrada materiais orgânicos complexos por biodigestão anaeróbia produzindo biogás e biofertilizante.

O emprego de biodigestores traz importantes benefícios na área rural. Segundo Andrade et al. (2002), os biodigestores rurais são importantes para o saneamento rural, pois o processo de digestão anaeróbia promove a conversão do carbono presente na matéria orgânica em gás metano (combustível de origem renovável), reduzindo a carga orgânica, o teor de sólidos e também a redução de microrganismos patogênicos presentes nos efluentes. Além disso, estes reatores estimulam a reciclagem da matéria orgânica e de nutrientes, possibilitam a higienização das granjas e o tratamento dos dejetos animais.

Os biodigestores são construídos em uma variedade de modelos, cada qual com suas características e desempenho distinto. Segundo Deganutti et al. (2002) esta grande variedade se deve ao fato de que cada modelo se adapta a uma realidade ou a necessidade dos subprodutos da biodigestão – biogás e biofertilizante. Segundo Kunz, Higarashi e Oliveira (2005), o desenvolvimento e a adaptação de vários modelos de biodigestores visam também aumentar a eficiência deste sistema e reduzir os custos de implantação destes equipamentos. Os principais modelos de biodigestores construídos no Brasil são Biodigestor Chinês; Biodigestor Indiano; e Biodigestor Canadense, descritos nos trabalhos de Lucas Jr. (1987); Deganutti et al. (2002) e Andrade et al. (2002).

- **Biodigestor Modelo Chinês:** formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria para a fermentação, com teto abobadado, impermeável, destinado ao armazenamento do biogás (DEGANUTTI et al., 2002). O modelo chinês não apresenta partes móveis nem metálicas, o que lhe confere pressão de operação variável, mas também bastante durabilidade e baixo custo de construção. No entanto, observa-se uma tendência para vazamentos de biogás se não houver cuidado na execução da obra (ANDRADE et al., 2002). A Figura 3 ilustra o layout do Biodigestor Modelo Chinês.

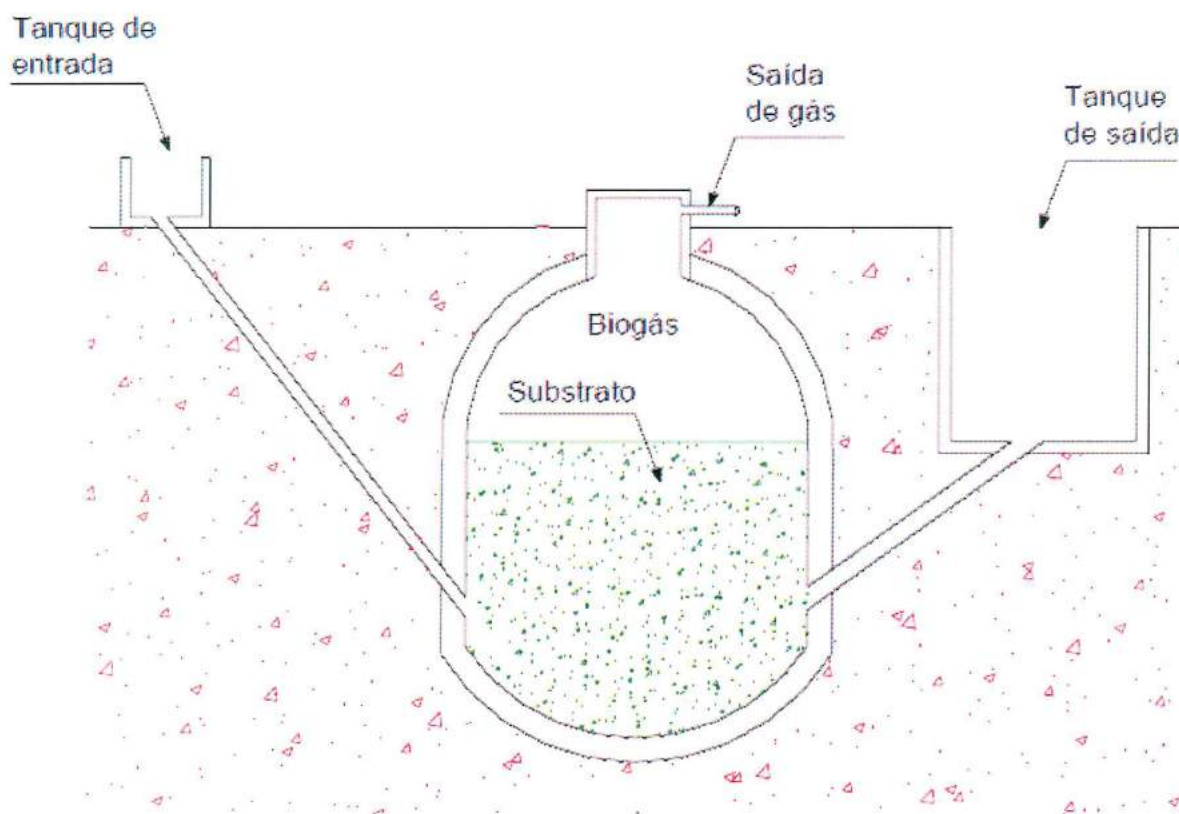


Figura 3: Layout do Biodigestor Modelo Chinês.

Fonte: Nogueira (1986) apud. Nishimura (2009).

- **Biodigestor Modelo Indiano:** caracteriza-se por possuir uma campânula como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação, ou em um selo d'água externo – assim, à medida que o biogás é produzido e acumulado, o gasômetro tende a deslocar-se verticalmente, aumentando o volume deste, portanto, mantendo a pressão de operação constante. A parede divisória no interior do reator tem como função forçar a circulação do substrato por todo o interior da câmara de fermentação. (DEGANUTTI et al., 2002). Com base em análises de sólidos totais e voláteis, bem como a produção de biogás (m^3/dia), Amaral et al. (2004) relatam que o biodigestor modelo Chinês, utilizado na biodigestão de dejetos bovinos e operado com tempo de retenção hidráulica de vinte dias, foi mais eficiente que o biodigestor de modelo Indiano operado sob as mesmas condições. A Figura 4 ilustra o layout do Biodigestor Modelo Indiano.

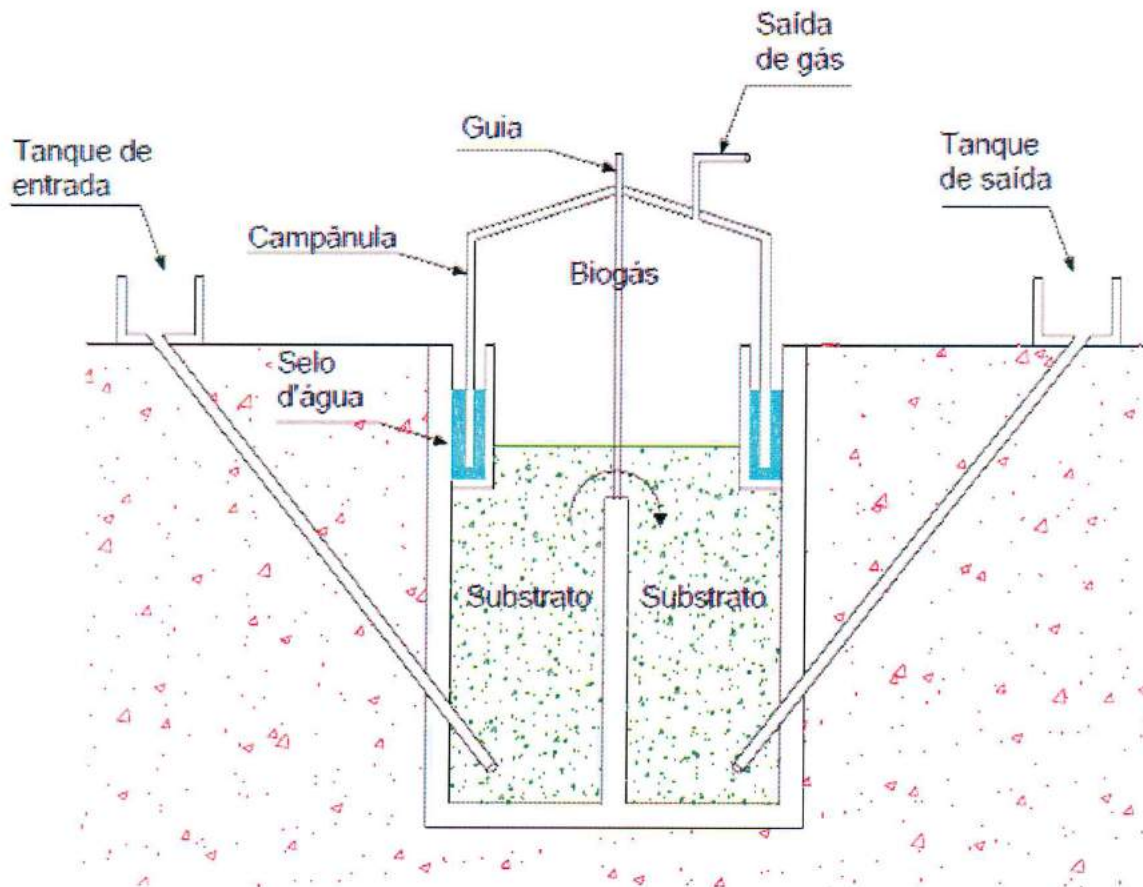


Figura 4: Layout do Biodigestor Modelo Indiano.

Fonte: Nogueira (1986) apud. Nishimura (2009).

- **Biodigestor Modelo Plug-flow (Fluxo-pistão):** também chamado de Biodigestor Modelo Lagoa Coberta, Modelo Canadense ou Biodigestor da Marinha, apresenta baixo custo de implantação, sua construção pode ser feita com escavações pouco profundas, o que é uma importante vantagem para regiões com nível de lençol freático alto. Este modelo é de fácil limpeza, descarga e manutenção. Sua desvantagem é a maior sensibilidade às variações térmicas que os outros modelos. Sua utilização é recomendada para locais onde predominem temperaturas altas e constantes (ANDRADE et al., 2002). A Figura 5 ilustra o layout de um Biodigestor Modelo Lagoa Coberta.

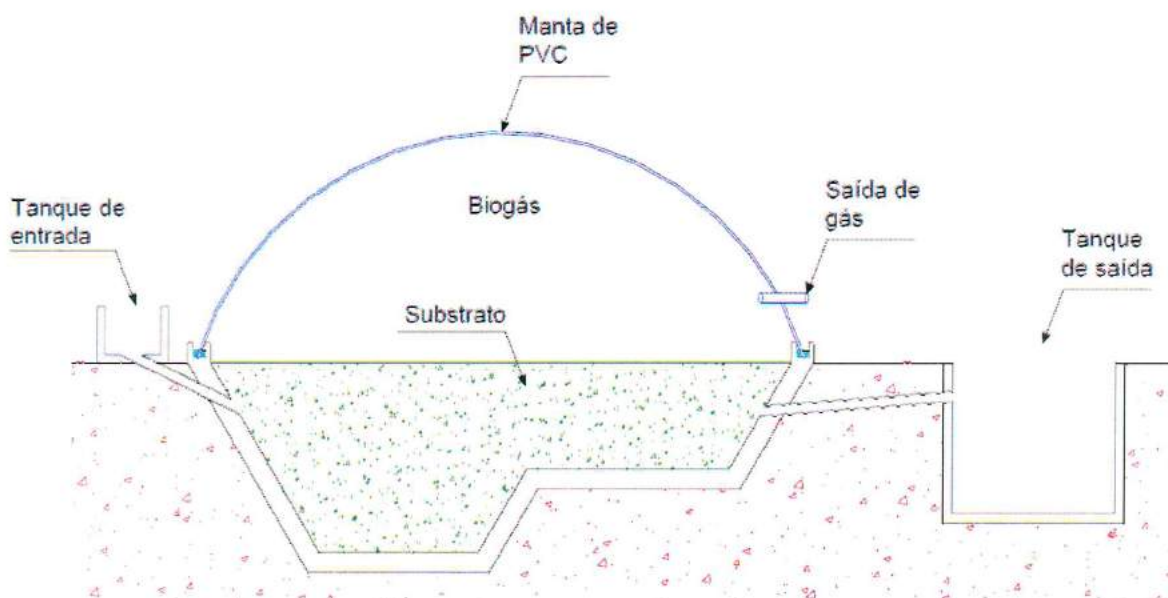


Figura 5: Layout do Biodigestor Modelo Plug-flow.

Fonte: AgCert(2007) apud. Nishimura (2009).

Além disso, apresenta-se o Biodigestor de Fluxo Ascendente, também chamado de Biodigestor de Fibra de Vidro Vertical Rígido, conforme descrito por Schuch (2012) e ilustrado por Kunz (2011) na Figura 6:

- **Biodigestor de Fluxo Ascendente:** reator anaeróbio de fluxo contínuo ascendente, operando com manta de lodo e tempo de retenção hidráulica de 30 dias, construído em fibra de vidro; instalado de forma vertical; semienterrado no solo; dotado de um grande funil, para descarte da crosta e do substrato em fase final de tratamento; com tubulações de entrada e saída localizadas a meia-altura da câmara de digestão.

BIODIGESTOR B10

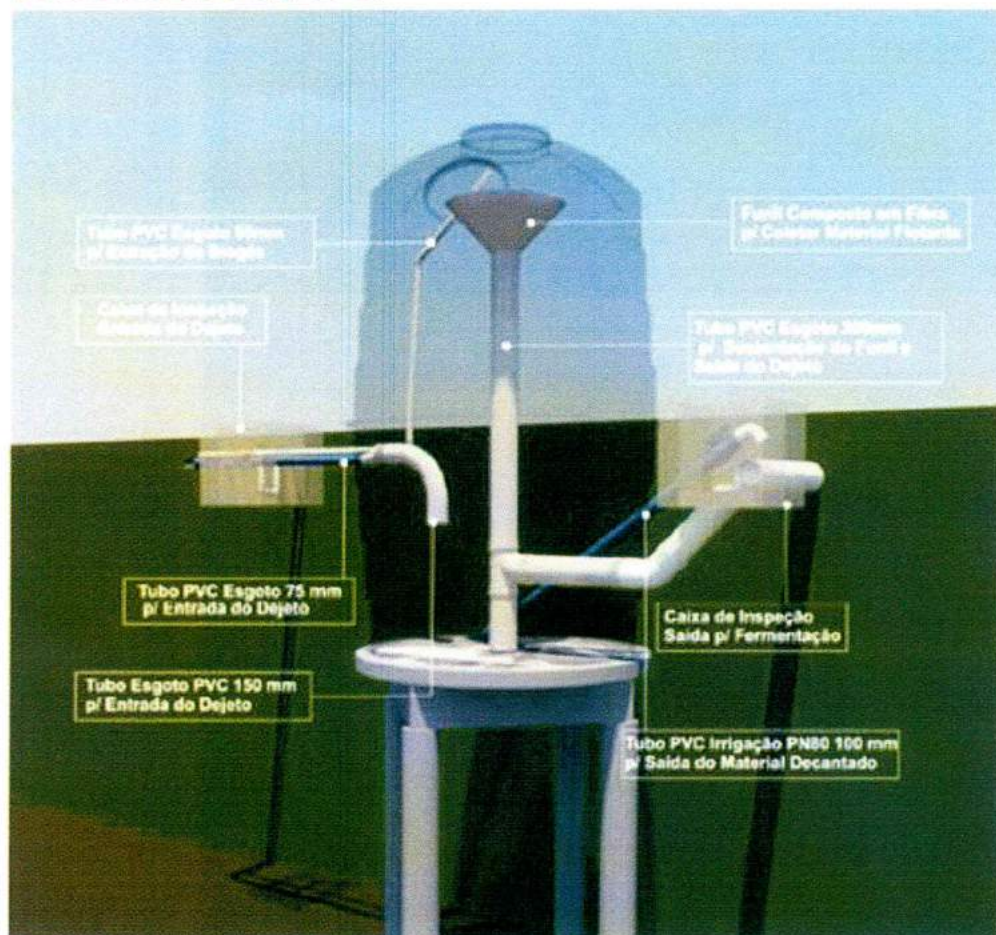


Figura 6: Layout do Biodigestor de Fluxo Ascendente

Fonte: Kunz (2011).

Segundo Schuch (2012), o biodigestor modular de fibra de vidro vertical rígido demonstrou ser eficiente no tratamento e na produção de biogás a partir da biomassa residual da bovinocultura leiteira em pequenas propriedades rurais – gerando 4.018 m³ de biogás/ano, a partir de 111,6 mil kg de biomassa residual, em uma granja com 40 vacas, 20 novilhas e 10 bezerros – quantidade suficiente para abastecer uma pequena propriedade rural com energia elétrica e biogás para cocção de alimentos e limpeza da sala de ordenha.

Independentemente do modelo, a tecnologia dos biodigestores rurais tem sido proposta como uma solução simples e apropriada ao saneamento rural e ao auto-fornecimento de energia e biofertilizante, principalmente para os pequenos produtores rurais (ANDRADE et al., 2002).

Ainda assim, uma série de dificuldades assombra a difusão da tecnologia de biodigestão no meio rural brasileiro. Kunz, Higarashi e Oliveira (2005) explicam que o sistema enfrenta ainda algumas limitações, como a falta de conhecimentos básicos dos usuários com relação aos aspectos microbiológicos básicos – o que acaba resultando em perda de eficiência do biodigestor. Kunz (2006) ainda expõe que a segurança no fornecimento de biogás está associada ao manejo adequado e atencioso do biodigestor – caso contrário, pode-se comprometer todo o sistema de utilização do biogás.

A escassez de recursos financeiros; o custo relativamente elevado dos biodigestores para os produtores rurais; a falta de recursos humanos para assistir os operadores e proprietários rurais, e para desenvolver tecnologia relacionada à projetos e materiais alternativos para a construção do biodigestor; representam fatores identificados por Andrade et al. (2002) que também dificultam a difusão da tecnologia dos biodigestores no Brasil.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da propriedade rural e do sistema de biodigestão

Neste experimento, buscou-se verificar o desempenho de um biodigestor de fluxo ascendente na redução de sólidos totais e na conversão de sólidos voláteis em biogás em condições de campo. O estudo foi realizado entre 26 de agosto e 24 de outubro de 2012, em uma propriedade rural no município de Marechal Cândido Rondon – PR, localizada nas coordenadas 24°34'42" S e 54°06'44" O, na Mesorregião Oeste do Paraná. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa, com verão quente – temperatura média superior a 22°C – e inverno com geadas pouco frequentes – temperatura média inferior a 18°C.

A propriedade rural estudada se caracteriza por ter uma área inferior a 10 hectares (inferior a quatro módulos fiscais, conforme estabelecido no município), na qual as atividades são desenvolvidas pelo produtor e por sua família – gerando, a partir do trabalho e dos recursos existentes na pequena propriedade, sua renda familiar. Deve-se ressaltar que este modelo de trabalho – a agricultura familiar – corresponde a realidade de mais de 80% das propriedades rurais brasileiras.

Dentre as atividades desenvolvidas na propriedade estudada, o proprietário mantém a atividade de pecuária leiteira de forma semi-intensiva, abrigando os animais durante o período da ordenha (que ocorre duas vezes por dia). A granja possui 18 vacas de leite e 8 novilhas, que são criados a pasto, mas possuem alimentação adicional no período de ordenha, composta por 20 Kg de volumoso e 2 Kg de ração. As rações utilizadas foram Copagril 18- Especial (para as vacas de leite) e Ração Especial para novilhas. As fontes de volumoso variaram conforme sua disponibilidade. O Quadro 2 apresenta a dieta de volumoso utilizada na alimentação dos animais ao longo do período do estudo, conforme informações obtidas junto ao proprietário da granja.

A propriedade rural estudada possui um biodigestor para tratamento de dejetos bovinos, o qual está interligado ao Condomínio de Agroenergia da Biomassa Residual da Microbacia Sanga Ajuricaba – um modelo de aproveitamento da energia do biogás explicado por Bley Jr. (2009) e Schuch (2012).

Quadro 2: Volumosos utilizados na alimentação dos animais durante o período do estudo

Período	Volumoso
26 Ago. – 11 Set.	Silagem de milho
12 Set. – 10 Out.	Feno de aveia
11 Out. – 24 Out.	Massa de mandioca (massa de fecularia)

Fonte: Dados do produtor rural.

Trata-se de um biodigestor de fluxo ascendente do modelo Biokohler – um reator contínuo, de estágio único, que opera na faixa mesofílica, possuindo um sistema de agitação baseado na recirculação do substrato. O biodigestor estudado é apresentado na Figura 6.

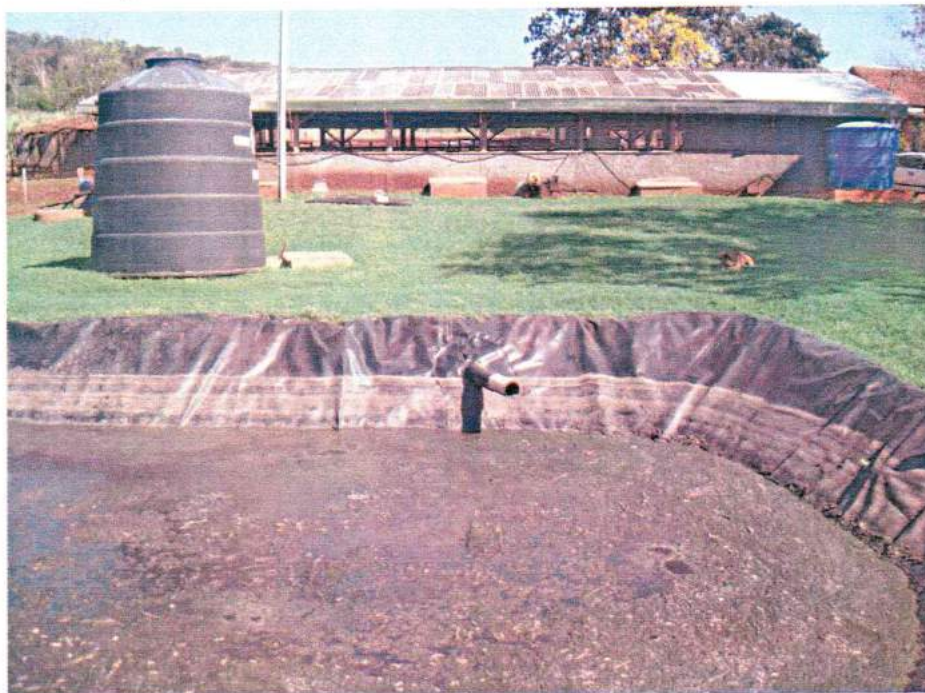


Figura 7: Biodigestor de fluxo ascendente instalado em granja de bovinocultura.

Fonte: Dados do autor.

O sistema de biodigestão é composto por uma caixa de abastecimento, que acumula os dejetos antes da alimentação do reator de digestão anaeróbia, o reator ou câmara de digestão semienterrada, com corpo projetado em fibra de vidro, uma caixa de passagem, por onde passa o biofertilizante após a saída do reator; uma lagoa para armazenamento do biofertilizante, e um gasômetro separado da câmara de biodigestão, basicamente um balão horizontal construído e soldado em Polietileno de Baixa Densidade (PEBD). Como o sistema é contínuo, o abastecimento resulta também na saída do efluente digerido (biofertilizante), que passa pela caixa de passagem e se encaminha para a lagoa de biofertilizante. O biogás, por outro lado, flui até o gasômetro, onde é armazenado.

Este biodigestor tem sido empregado na região oeste do Paraná, pois representa um modelo adequado às pequenas propriedades rurais, onde a vazão de alimentação é pequena. Além disso, o modelo hidráulico de fluxo vertical favorece a retirada da crosta que se forma na superfície do substrato no interior do reator – características que favorecem a aplicação deste modelo de biodigestor no tratamento de dejetos da bovinocultura leiteira.

Os cálculos de dimensionamento do biodigestor consideraram uma vazão de abastecimento do biodigestor de $0,67 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$. Esta vazão leva em consideração o tamanho do rebanho, o tempo de confinamento diário dos animais (4 horas para vacas em lactação e 12 horas para novilhas), e a diluição das dejeções animais em água na proporção de 1:1. Assim, dimensionou-se o biodigestor com tempo de retenção hidráulica de 30 dias, resultando em uma câmara de digestão anaeróbia com capacidade volumétrica de 20 m^3 .

O biodigestor analisado neste estudo foi implantado na propriedade rural em novembro de 2010. Desde sua implantação até o período em que foi realizado o estudo, o lodo acumulado no fundo da câmara de biodigestão não havia sido descartado.

A câmara de digestão anaeróbia do biodigestor estudado possui um termômetro (modelo Incoterm 9550.02.1.00), que foi utilizado para marcar a temperatura do processo no interior do equipamento e também a temperatura ambiente. Buscou-se registrar os valores de temperatura diariamente, entre as 7 e 10 horas da manhã, ao longo do período de estudo, compreendido entre os dias 26 de agosto de 2012 e 20 de outubro de 2012.

3.2 Coletas e análises de dejetos e de biofertilizante

Foram coletadas amostras em triplicata do afluente e do efluente do biodigestor, nas condições de operação de campo. As coletas foram realizadas semanalmente, durante oito semanas. As coletas foram realizadas por volta das 09 horas da manhã, após a ordenha e a limpeza da leiteria. Utilizaram-se 8 recipientes plásticos de 1 Litro, com tampa roscada, para a coleta das amostras. As datas de realização de coletas são apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3: Datas de realização das coletas de dejetos e biofertilizante

Coleta 1	29/08/2012	Coleta 5	26/09/2012
Coleta 2	05/09/2012	Coleta 6	03/10/2012
Coleta 3	12/09/2012	Coleta 7	10/10/2012
Coleta 4	19/09/2012	Coleta 8	17/10/2012

O afluente, composto pelo dejetos in natura misturado à água de lavagem da leiteria, foi coletado no fim do tubo que leva das canaletas da leiteria até a caixa de abastecimento. O efluente final foi coletado na tubulação de saída do biodigestor, localizada na caixa de passagem, quando da alimentação do reator.

As amostras coletadas foram transportadas em uma caixa térmica com gelo e armazenadas no Laboratório de Solos da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste, campus Cascavel. Neste laboratório foram conduzidas as determinações de Densidade, Teor de Umidade, Sólidos Totais, Sólidos Fixos e Sólidos Voláteis das amostras coletadas. A densidade foi determinada pelo método do densímetro, conforme apresentado por Scherer (1996), utilizando-se um densímetro com escala entre 950 e 1.050 g/l.

As determinações de Teor de Umidade, Sólidos Totais, Sólidos Fixos e Sólidos Voláteis foram realizadas utilizando-se do método proposto por APHA (2005): 6 cadinhos vazios foram secos em estufa à 105 °C por uma hora e mantidos em dessecador por mais uma hora, para estabilizar a temperatura. Realizou-se a pesagem dos cadinhos vazios. Todas as pesagens se realizaram em balança de precisão de 0,001 g.

Amostras de 100 mL foram medidas em uma proveta e adicionadas aos cadinhos. Pesaram-se os cadinhos com as amostras naturais. Após as pesagens, os

cadinhos foram levados à estufa novamente, à temperatura de 105 °C. Após a secagem na estufa, por volta de 24 horas, ao se obter amostras secas, os cadinhos foram novamente reservados em um dessecador, até atingirem a temperatura ambiente, e após resfriamento foram pesados.

Uma vez pesados, os cadinhos são levados ao forno mufla para calcinação, pelo tempo recomendado em APHA (2005). Após este período, os cadinhos foram reservados no dessecador até atingirem a temperatura ambiente, quando então foram pesados novamente.

Com os valores obtidos nas pesagens, pôde-se obter os valores de Sólidos Totais, Sólidos Totais Fixos e Sólidos Totais Voláteis por meio das equações 1, 2 e 3.

$$ST = \frac{P3 - P1}{V} \times 1.000.000 \quad (\text{Equação 1})$$

$$STF = \frac{P4 - P1}{V} \times 1.000.000 \quad (\text{Equação 2})$$

$$STV = ST - STF \quad (\text{Equação 3})$$

Onde,

ST = Sólidos Totais (mg/L)

STF = Sólidos Totais (mg/L)

STV = Sólidos Totais (mg/L)

P1 = Peso do cadinho seco (g)

P2 = Peso do cadinho com amostra natural (g)

P3 = Peso do cadinho com amostra seca (g)

P4 = Peso do cadinho com amostra calcinada (g)

V = Volume da amostra = 100 mL

3.3 Medição da vazão e da composição do biogás

Devido à propriedade rural estudada integrar o Condomínio de Agroenergia da Biomassa Residual da Microbacia Sanga Ajuricaba, seu biodigestor é dotado de um painel de controle automatizado, interligado a um gasômetro e a um compressor que injeta o biogás em um biogásoduto rural. Por meio de horímetros instalados

nesta máquina, é possível multiplicar o tempo de operação do compressor durante um período determinado pela vazão nominal do aparelho – obtendo-se, desta forma, a produção de biogás neste período. Todo o biogás produzido foi medido – tanto a vazão encaminhada para o Condomínio de Agroenergia quanto a porção utilizada dentro da propriedade rural.

Na tubulação de biogás existente entre o compressor e as válvulas de retenção do duto de biogás existe uma saída específica, na qual se pode conectar a sonda do analisador de gases. Assim, a composição do biogás produzido foi verificada utilizando-se um analisador de gases Dräger, modelo: X-am 7000, com sensores para análise de CH_4 , CO_2 , O_2 , H_2S e H_2 .

3.4 Interpretação dos dados

A partir dos dados coletados, iniciou-se a geração de informações a respeito do funcionamento e da eficiência do biodigestor. Assim, para o afluente e o efluente do biodigestor, fez-se possível obter as informações e os indicadores a seguir:

- Teor de Sólidos Totais e Voláteis (%);
- Relação SV/ST (adimensional);
- Carga Orgânica de Sólidos Totais e Voláteis Adicionados (Kg Sólidos adicionados / m^3 reator.dia);
- Carga Orgânica de Sólidos Totais e Voláteis Removidos (Kg Sólidos removidos / m^3 reator.dia)
- Produção Média Diária de Biogás (m^3 biogás / dia)
- Produção Média Diária de Metano (m^3 CH_4 / dia)
- Produção Específica de Biogás, em função do volume do biodigestor (m^3 biogás / m^3 reator.dia)
- Produção Específica de Metano, em função do volume do biodigestor (m^3 CH_4 / m^3 reator.dia);
- Rendimento de Biogás sobre Sólidos Totais e Voláteis Adicionados (m^3 biogás/ Kg sólidos adicionado);
- Rendimento de Metano sobre Sólidos Totais e Voláteis Adicionados (m^3 CH_4 / Kg sólidos adicionados)

- Rendimento de Biogás sobre Sólidos Totais e Voláteis Removidos (m^3 biogás / Kg sólidos removidos);
- Rendimento de Metano sobre Sólidos Totais e Voláteis Removidos (m^3 CH_4 / Kg sólidos removidos)
- Redução de Sólidos (%);

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Temperatura

A temperatura representa um dos fatores que podem afetar o processo de biodigestão (LEITE et al., 2003). Assim, o monitoramento realizado demonstrou que, embora a temperatura ambiente tenha variado bastante ao longo das oito semanas de coleta, a temperatura no interior do biodigestor se mostrou estável ao longo de todo o período. O gráfico da Figura 7 ilustra o comportamento da temperatura ambiente e da temperatura interna do biodigestor.

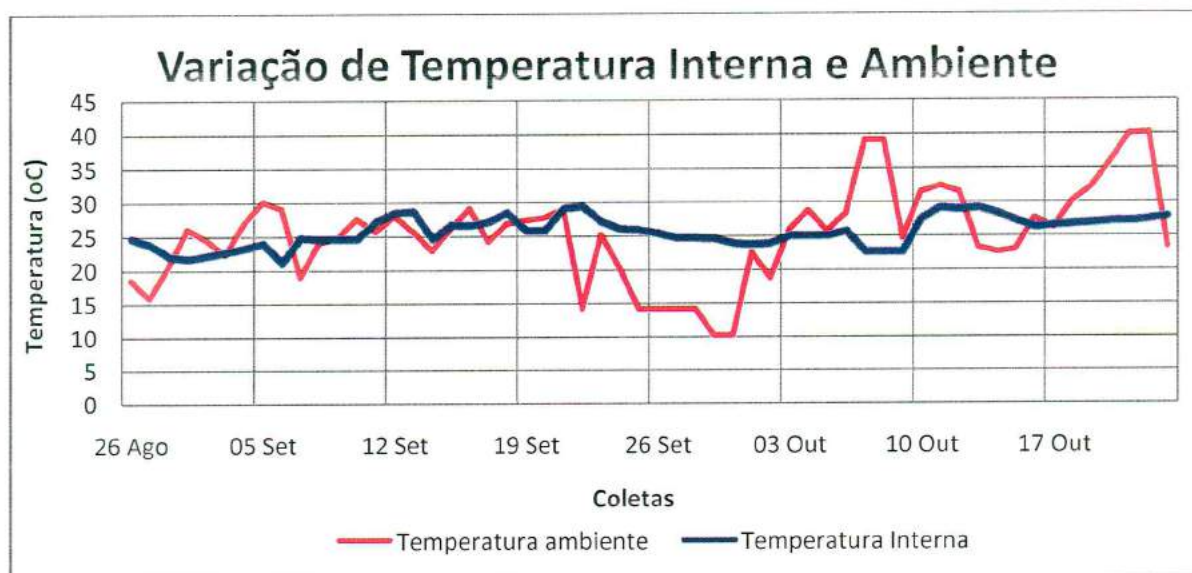


Figura 8: Variação da temperatura ambiente e da temperatura interna do biodigestor.

A temperatura ambiente variou de cerca de 10 °C até 40 °C ao longo das oito semanas de monitoramento. A temperatura interna do biodigestor foi estável, variando entre 20 °C a 30 °C, e mantendo-se na faixa de digestão anaeróbia mesófila. Assim, estes resultados sugerem que o biodigestor de fluxo ascendente,

por ser semi-enterrado, sofre menor influência da variação da temperatura atmosférica, e pode se aproveitar do calor retido no solo, para propiciar uma temperatura mais estável para os micro-organismos responsáveis pela digestão anaeróbia.

4.2 Teores de Sólidos

As análises dos dejetos bovinos e dos efluentes do biodigestor mostraram que o biodigestor de fluxo ascendente promoveu a redução do teor de sólidos voláteis. O Quadro 4 apresenta os resultados gerais do teor de sólidos em amostras do afluente (dejetos bovinos) e do efluente (água residuária pós-tratamento) do biodigestor analisado.

Quadro 4: Teor de Sólidos Totais (ST); Sólidos Voláteis (SV) e Sólidos Fixos (SF) em amostras do afluente e do efluente do biodigestor de fluxo ascendente

SÓLIDOS TOTAIS (g/L)								
COLETA	1	2	3	4	5	6	7	8
AFLUENTE	34,45	44,60	52,43	56,15	34,65	50,32	40,33	30,37
EFLUENTE	30,31	37,79	37,47	35,61	32,56	39,07	38,75	35,05
SÓLIDOS VOLÁTEIS (g/L)								
COLETA	1	2	3	4	5	6	7	8
AFLUENTE	24,13	31,94	29,38	44,51	24,74	36,61	29,04	21,52
EFLUENTE	19,22	24,31	15,43	16,94	21,52	26,25	25,47	23,20
SÓLIDOS FIXOS (g/L)								
COLETA	1	2	3	4	5	6	7	8
AFLUENTE	10,32	12,66	23,05	11,63	9,91	13,72	11,29	8,85
EFLUENTE	11,09	13,48	22,04	18,67	11,03	12,82	13,28	11,84

Estes resultados demonstram uma variabilidade quanto ao teor de Sólidos Totais e Voláteis de uma coleta para outra, tanto para o afluente quanto para o efluente do biodigestor. Assim, para o afluente, os ST variaram entre 30,37 e 56,15 g/L, e os SV variaram entre 21,52 e 44,51 g/L. Os teores de sólidos dos efluentes também variaram, em concentrações que vão desde 30,31 a 39,79 g/L para os ST; e de 15,43 a 26,25 g/L para os SV.

Esta variabilidade pode ser atribuída às variáveis de campo, como o manejo e limpeza da granja, com maior ou menor quantidade de água – o que resulta em maior diluição do afluente e, conseqüentemente, menor conteúdo de sólidos

entrando no biodigestor. Além disso, dietas diferenciadas podem alterar as características dos dejetos, propiciando diferentes concentrações de sólidos na biomassa residual e afetando o processo de biodigestão.

O Quadro 4 também mostra que o biodigestor de fluxo ascendente foi capaz de promover a redução dos sólidos voláteis, mas que, no geral, não removeu os sólidos fixos. A remoção de sólidos voláteis se explica pelo processo de digestão anaeróbia e consequente produção de biogás. Entretanto, o alto teor de sólidos fixos do efluente em relação ao afluente mostra indícios de acúmulo de lodo residual no interior do biodigestor, assim como a lavagem deste lodo e o carregamento deste material, composto por sedimentos de difícil digestão, para fora do biodigestor.

A Tabela 1 compreende informações que demonstram a eficiência de remoção de sólidos totais e voláteis do biodigestor de fluxo ascendente. Percebe-se que, em média, o afluente está sendo inserido na câmara de biodigestão com um teor de Sólidos Totais de $4,29 \pm 0,95\%$ e de Sólidos Voláteis de $3,02 \pm 0,75\%$. O biodigestor de fluxo ascendente tem reduzido estes teores para $3,58 \pm 0,31$ e $2,15 \pm 0,40\%$, para ST e SV respectivamente.

Os gráficos da Figura 8 ilustram os teores de ST e SV presentes no afluente e no efluente do biodigestor. É possível perceber a variabilidade existente entre os teores de sólidos na entrada do biodigestor, mas uma maior uniformidade entre os teores de sólidos do efluente, ao longo das semanas.

Este fato pode estar associado ao modelo hidráulico do biodigestor de fluxo ascendente – que promove a decantação dos sólidos em seu interior, mas que, devido à alimentação contínua, força que uma parte dos sólidos presentes no substrato seja emitida junto com efluente. Este processo ocorre, principalmente, quando o volume do biodigestor não permite que o substrato fique armazenado pelo tempo de retenção hidráulico recomendado e para o qual o equipamento foi dimensionado.

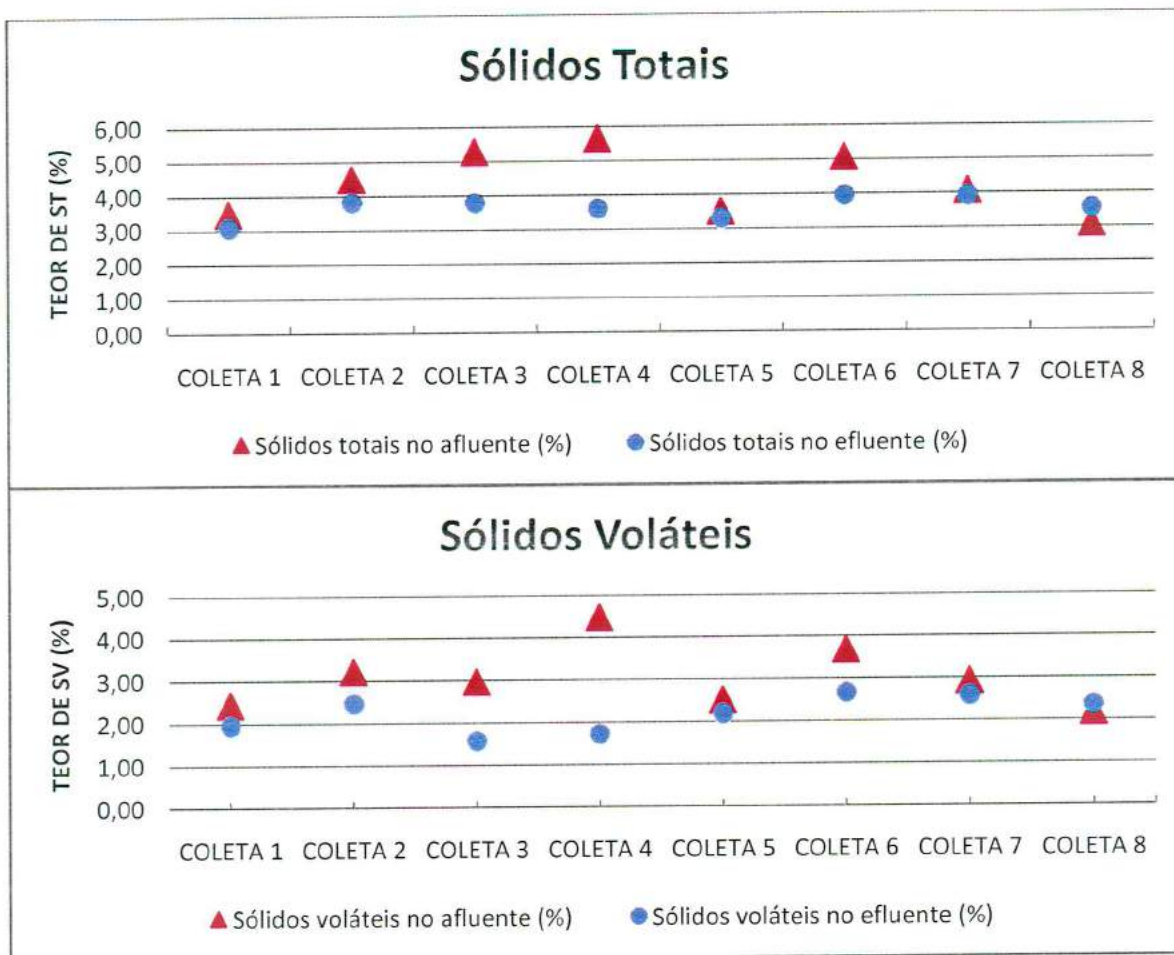


Figura 9: Teores de ST e SV no afluente e no efluente do biodigestor.

Tabela 1: Indicadores de Eficiência do Biodigestor de Fluxo Ascendente – Remoção de Sólidos Totais (ST) e Sólidos (Voláteis).

PARÂMETROS	C 1		C 2		C 3		C 4		C 5		C 6		C 7		C 8		MÉDIA*			
	ST	SV	ST	SV	ST	SV	ST	SV	ST	SV	ST	SV	ST	SV	ST	SV	ST	DP	SV	DP
	Teor de Sólidos - Afluente (%)	3,44	2,41	4,46	3,19	5,24	2,94	5,61	4,45	3,46	2,47	5,03	3,66	4,03	2,90	3,04	2,15	4,29	0,95	3,02
Teor de Sólidos - Efluente (%)	3,03	1,92	3,78	2,43	3,75	1,54	3,56	1,69	3,26	2,15	3,91	2,63	3,88	2,55	3,50	2,32	3,58	0,31	2,15	0,40
Relação SV/ST - Afluente	0,70		0,72		0,56		0,79		0,71		0,73		0,72		0,71		0,70	0,07	0,70	0,07
Relação SV/ST - Efluente	0,63		0,64		0,41		0,48		0,66		0,67		0,66		0,66		0,60	0,10	0,60	0,10
Carga Orgânica de Sólidos Adicionada (Kg Sólidos / m ³ reator. dia)	1,16	0,81	1,50	1,08	1,79	1,00	1,90	1,51	1,17	0,84	1,69	1,23	1,35	0,97	1,04	0,74	1,45	0,32	1,02	0,25
Carga Orgânica de Sólidos Removida (Kg Sólidos / m ³ reator. dia)	0,14	0,16	0,23	0,26	0,51	0,47	0,69	0,92	0,07	0,11	0,38	0,35	0,05	0,12	-0,16	-0,06	0,24	0,27	0,29	0,30
Rendimento biogás sobre sólidos adicionados (m ³ biogás/ Kg sólidos adicionado)	0,47	0,66	0,51	0,71	0,31	0,55	0,33	0,41	0,39	0,55	0,33	0,45	0,40	0,56	0,42	0,59	0,39	0,07	0,56	0,10
Rendimento de metano sobre sólidos adicionados (m ³ CH ₄ / Kg sólidos adicionados)	0,26	0,37	0,28	0,39	0,17	0,30	0,17	0,22	0,21	0,30	0,18	0,25	0,22	0,31	0,25	0,35	0,22	0,04	0,31	0,06
Rendimento de biogás sobre sólidos removidos (m ³ biogás/ Kg sólidos removidos).	3,90	3,29	3,34	2,98	1,08	1,16	0,90	0,67	6,54	4,26	1,48	1,61	10,21	4,53	-2,76	-7,67	3,09	3,95	1,35	3,90
Rendimento de metano sobre sólidos removidos (m ³ CH ₄ / Kg sólidos removidos).	2,19	1,84	1,84	1,64	0,58	0,63	0,48	0,36	3,53	2,30	0,81	0,88	5,61	2,49	-1,66	-4,60	1,67	2,20	0,69	2,27
Redução de Sólidos (%)	11,92	20,19	15,25	23,85	28,40	47,24	36,18	61,27	6,00	12,93	22,26	28,17	3,92	12,27	-15,05	-7,65	13,61	15,95	24,78	21,44

* SV – Sólidos Voláteis; ST – Sólidos Totais; DP – Desvio Padrão.

Deve ser notado, no entanto, a inversão das quantidades de sólidos totais e sólidos voláteis durante a coleta 8. Considerando que os sólidos presentes na biomassa que alimenta o biodigestor representam o alimento dos micro-organismos e o substrato para a produção de biogás, uma inversão como esta nos teores de sólidos não representa a operação usual do biodigestor.

Este resultado sugere que o afluente foi retido por tempo insuficiente na câmara de biodigestão, sem que tenha havido tempo para que os microorganismos pudessem degradar os sólidos voláteis presentes no substrato – podendo indicar a necessidade de descarte do excesso de lodo residual acumulado do fundo do biodigestor – material de degradação mais lenta e que pode estar utilizando volume útil ao processo de digestão anaeróbia.

Deve-se considerar ainda as substituições ocorridas na dieta dos animais nos dias que antecederam a coleta 8. O rebanho vinha sendo alimentado com volumoso a base de feno de aveia por três semanas, e a partir do dia 11 de outubro, os animais passaram a ser alimentados com massa de mandioca. Assim, acredita-se que no interior do biodigestor houve um acúmulo do substrato fibroso, de digestão mais complexa, resultante da alimentação com a dieta anterior baseada em feno de aveia, ao passo que o afluente da última semana apresentou baixos teores de sólidos – indicativo de maior quantidade de água de diluição, que pode ter contribuído para uma lavagem dos sólidos armazenados na câmara de biodigestão – aumentando o teor de sólidos do efluente na saída do biodigestor.

4.3 Relação SV/ST

Independente da variabilidade existente no teor de sólidos do afluente, no entanto, a relação SV/ST dos dejetos permaneceu a mesma ao longo do experimento, com um valor médio de $0,70 \pm 0,07$ para o afluente e de $0,60 \pm 0,10$ para o efluente. A variação destes valores pode ser observado no gráfico da Figura 9.

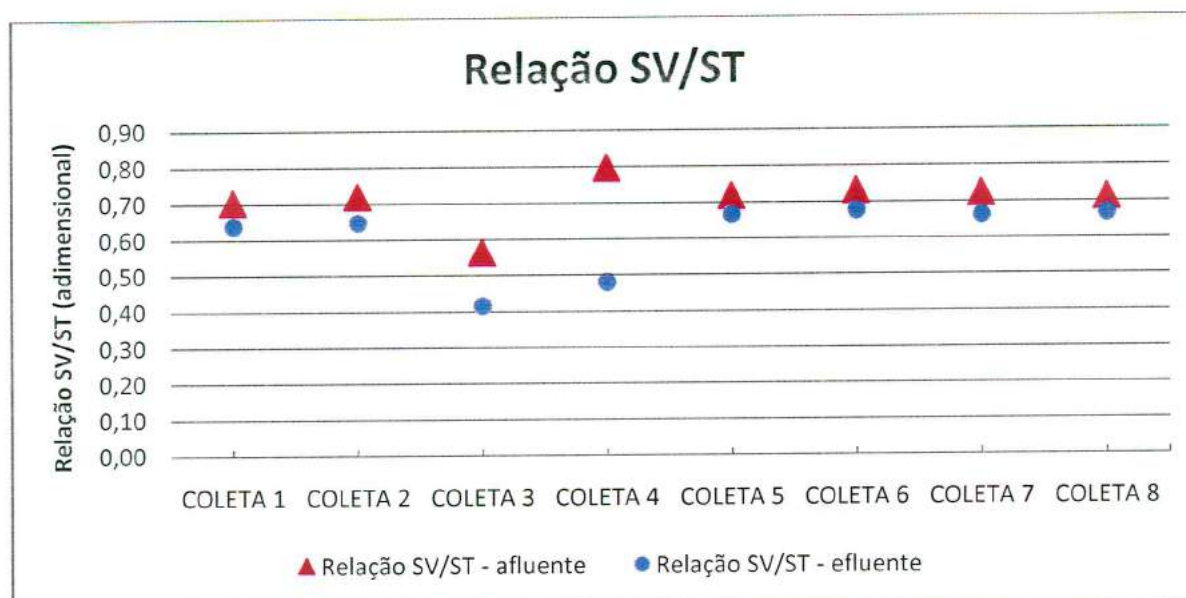


Figura 10: Relação SV/ST

Os valores de Relação SV/ST do afluente se mantiveram ao redor de 0,7 e 0,79, expressando seu potencial para a biodigestão. O único valor discrepante foi o da terceira semana, na qual a relação SV/ST foi de 0,56 – semana em que houve a troca da dieta a base de silagem de milho para a dieta a base de feno de aveia. Bortoli, Kunz e Soares (2009) explicam que a relação SV/ST está associada à biodegradabilidade dos dejetos. Estes autores citam valores de relação SV/ST de 0,83 para dejetos suínos, enquanto Amaral et al. (2004) trabalhou com dejetos bovinos com relação SV/ST de 0,81 - valor levemente superior ao encontrado neste estudo.

A diferença da Relação SV/ST existente entre o afluente e o efluente é natural – resultado da decomposição dos sólidos voláteis pelos micro-organismos, que tem nos compostos orgânicos mais simples o material mais facilmente digerível. Assim, ao diminuir-se os teores de sólidos voláteis do efluente em maior intensidade que os sólidos fixos, reduz-se o valor da relação SV/ST do efluente final.

4.4 Redução de Sólidos

A redução de sólidos se evidencia no gráfico da Figura 10, que ilustra o percentual de sólidos totais e voláteis removidos pelo biodigestor de fluxo ascendente. Com uma redução de ST variando entre 3,92% e 36,6% e a redução de

SV variando entre 12,27% e 61,27%, a redução média promovida pelo biodigestor foi de $13,61 \pm 15,95\%$ para os ST e de $24,78 \pm 21,44\%$ para os SV.

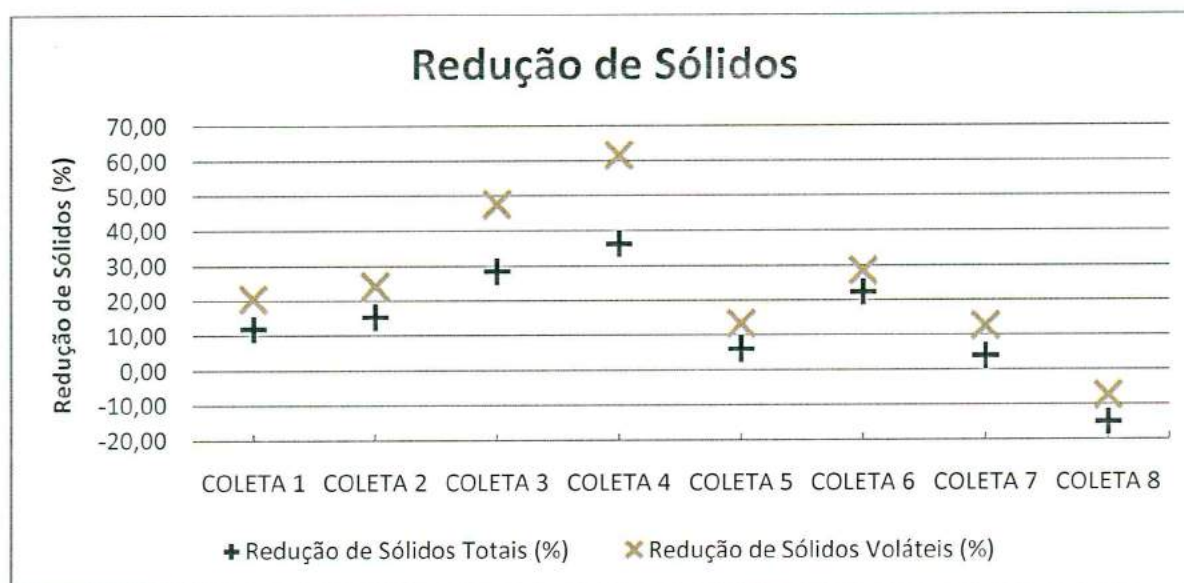


Figura 11: Redução de Sólidos Totais e de Sólidos Voláteis

Para o mesmo tempo de retenção hidráulica, Amaral et al. (2004) obtiveram uma redução de 24,47% para os ST e de 26,49% para os SV no Biodigestor modelo Indiano. Os mesmos autores também encontraram uma redução de 31,41% para os ST e de 33,17% para os SV.

Os resultados encontrados por estes autores foram obtidos a partir da alimentação do biodigestor com um afluente com 8,34% de Sólidos Totais e de 6,79% de Sólidos Voláteis. A análise realizada neste estudo, com o Biodigestor de Fluxo Ascendente foi realizada com teor de Sólidos Totais de $4,29 \pm 0,95\%$ e de Sólidos Voláteis de $3,02 \pm 0,75\%$.

Ao se analisar a redução de sólidos obtida na quarta coleta, quando o biodigestor de fluxo ascendente foi alimentado com os maiores teores de ST e SV, ou seja, 5,61% de ST e 4,45% de SV, percebe-se que também se obteve os maiores percentuais de remoção de sólidos, quando a redução foi da ordem de 36,18% para os ST e de 61,27% para os SV. Esta tendência também foi observada nas demais coletas – quanto maior foi teor de sólidos durante a alimentação do biodigestor, maior foi sua eficiência de redução de sólidos.

A redução de sólidos voláteis também foi estudada por Bortoli, Kunz e Soares (2009). Estes autores observaram a remoção de SV da ordem de 40% em reator

anaeróbio de leito fluidizado modelo UASB em laboratório, no entanto, trabalhando com o tratamento de dejetos suínos.

Como se pode observar, a redução de Sólidos Voláteis foi bem mais intensa que a de Sólidos Totais. Dois motivos influenciam neste resultado: a ação microbiótica e o modelo hidráulico do biodigestor. Os SV representam os compostos mais simples e biodegradáveis, de tal forma que esta é a fração mais atacada pelos micro-organismos envolvidos na biodigestão, enquanto os Sólidos Totais compreendem tanto os Sólidos Voláteis quanto os Sólidos Fixos, estes últimos compostos por sedimentos e outras partículas de difícil decomposição. Além disso, o modelo hidráulico de fluxo ascendente promove a retenção dos sólidos sedimentáveis, constituídos principalmente pelos Sólidos Fixos, reduzindo sua emissão na saída do biodigestor.

Salienta-se que a lavagem de sólidos ocorrida durante a Coleta 8 resultou em valores negativos de redução de sólidos – o que não ocorre em um biodigestor quando de sua operação adequada e com manejo e operação estável.

4.5 Carga Orgânica

Quanto a carga orgânica, o biodigestor foi alimentado com cargas orgânicas de 1,04 a 1,90 Kg ST/ m³ reator.dia e de 0,74 a 1,51 Kg SV/m³ reator.dia. Em média, a carga orgânica testada foi de 1,45±0,32 Kg ST/m³ reator.dia e de 1,02±0,25 Kg SV /m³ reator.dia. A carga orgânica de sólidos removida variou de 0,05 a 0,69 Kg ST/ m³ reator.dia e de 0,11 a 0,92 Kg SV / m³ reator.dia. Os valores médios de remoção de carga orgânica de sólidos foram de 0,24±0,27 Kg ST/m³ reator.dia e de 0,29±0,30 Kg SV / m³ reator.dia.

Os gráficos da Figura 11 ilustram a tendência de aumento da carga orgânica removida quanto maior for a carga orgânica adicionada, pelo menos até a carga máxima utilizada no experimento, ou seja, de 1,90 Kg ST/ m³ reator.dia e de 1,51 Kg SV/m³ reator.dia. Oliveira (1993) recomenda valores em torno de 3,8 a 8,0 kg SV/m³ reator.dia, para biodigestores tratando dejetos suínos. Para os dejetos bovinos, entretanto, estes valores podem divergir em função da água utilizada no manejo da granja.

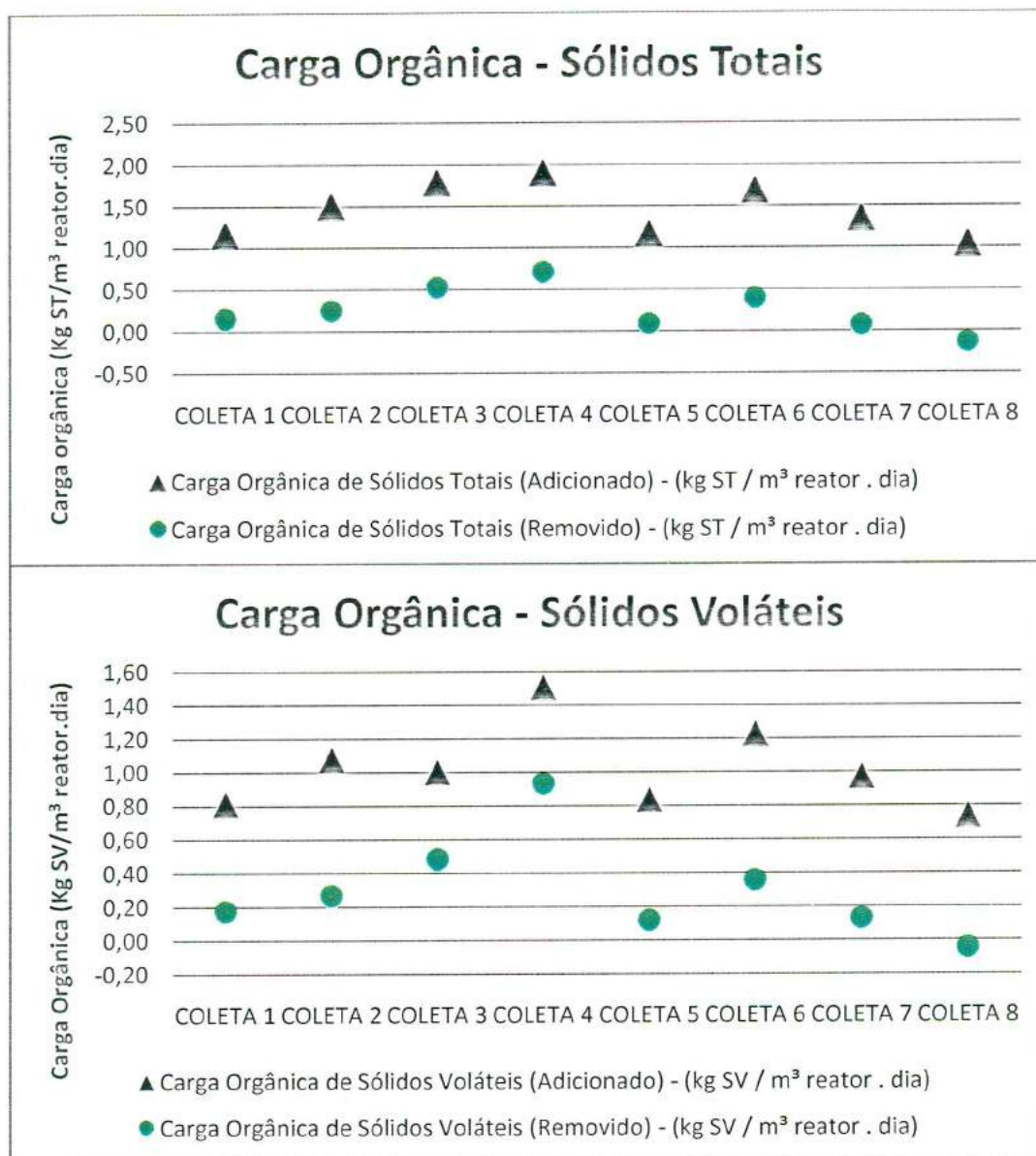


Figura 12: Carga Orgânica adicionada e removida pelo Biodigestor de Fluxo Ascendente.

4.6 Produção de Biogás e de Metano

A compreensão da capacidade de produção de biogás deste modelo de biodigestor somente se faz possível mediante o conhecimento de dados de produção e composição do biogás durante os dias de coleta. Assim, apresenta-se a Tabela 2, que ilustra as informações do biodigestor de fluxo ascendente no que se refere à produção de biogás.

Tabela 2: Eficiência do Biodigestor de Fluxo Ascendente - Produção de Biogás

PARÂMETROS	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6	C 7	C 8	MÉDIA	DP*
Produção total de biogás (m ³ biogás / dia)	10,79	15,32	10,95	12,42	9,20	11,13	10,81	8,65	11,16	2,05
Produção Específica de biogás (m ³ biogás / m ³ reator . dia)	0,54	0,77	0,55	0,62	0,46	0,56	0,54	0,43	0,56	0,10
Produção Total de metano (m ³ CH ₄ / dia)	6,04	8,42	5,91	6,58	4,97	6,12	5,95	5,19	6,15	1,05
Produção específica de metano (m ³ CH ₄ / m ³ reator . dia)	0,30	0,42	0,30	0,33	0,25	0,31	0,30	0,26	0,31	0,05

* DP – Desvio Padrão.

A produção de biogás variou de 8,65 m³/dia, na oitava semana, quando estava sendo alimentado por dejetos provenientes de bovinos leiteiros alimentados com massa de mandioca, até 15,32 m³/dia durante a segunda semana, quando os animais eram alimentados com silagem de milho. A média de produção de biogás neste reator, alimentado com os dejetos de 18 vacas leiteiras confinadas durante quatro horas diárias e oito novilhas confinadas o dia todo, foi de 11,16±2,05 m³ biogás/dia, ou, considerando os dados de composição do biogás, obteve-se uma produção total média de metano (CH₄) da ordem de 6,158±1,05 m³ CH₄/ dia.

Considerando a capacidade volumétrica do biodigestor, obteve-se a produção específica de biogás, que varia de 0,43 a 0,77 m³ biogás/m³ reator.dia. A produção específica média de biogás foi de 0,56±0,10 m³ biogás/m³ reator. dia; e a produção específica média de metano foi de 0,31±0,05 m³ CH₄/dia. A Figura 12 traz os gráficos de produção total e de produção específica de biogás e de gás metano - a fração mais importante do biogás quando o objetivo do reator anaeróbio é o fornecimento de uma fonte de energia no meio rural.

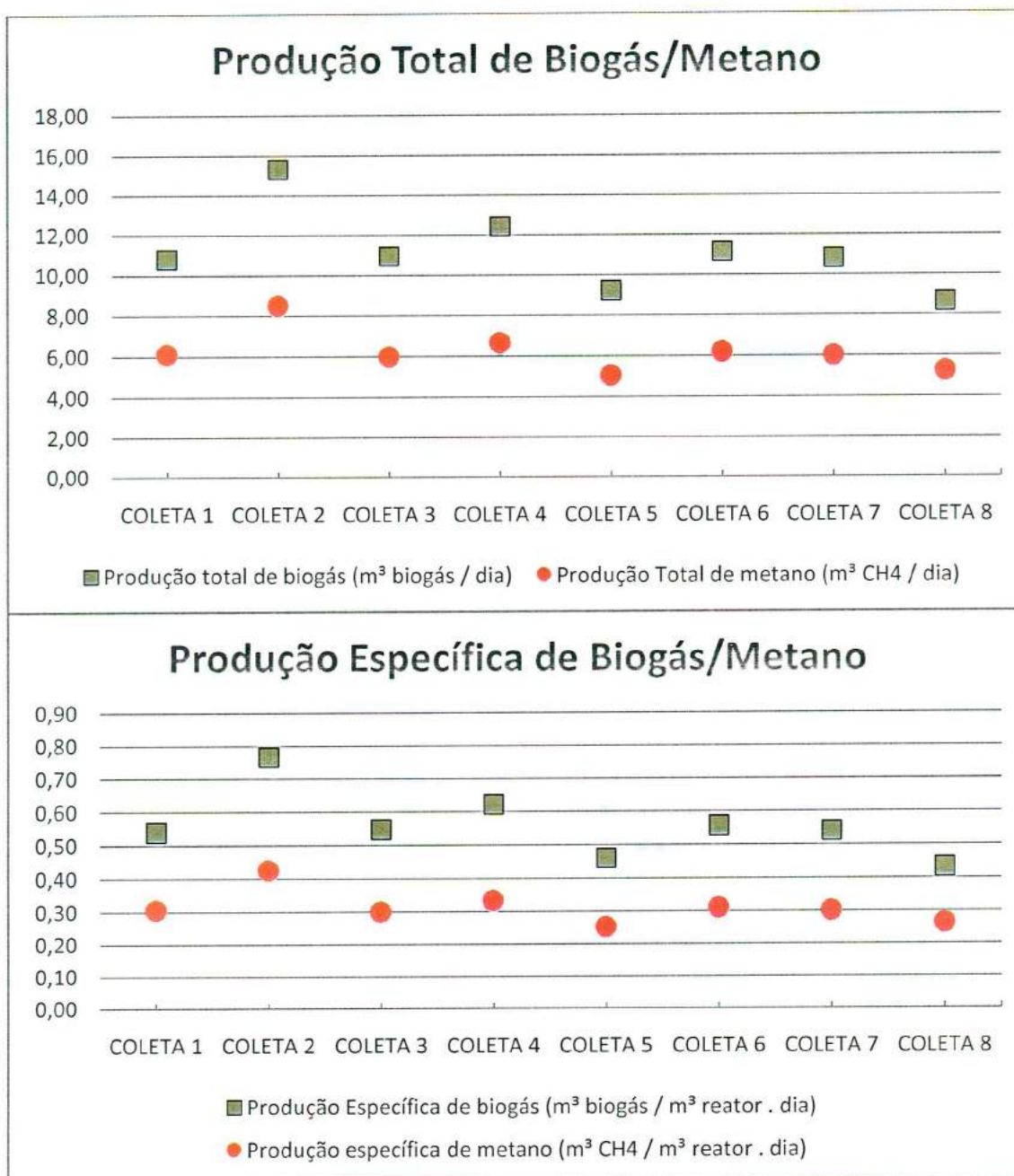


Figura 13: Produção total e específica de biogás e de metano.

4.7 Composição do Biogás

A compreensão sobre a capacidade de produzir gás metano em um biodigestor somente é possível se as características do biogás produzido forem conhecidas. Assim, a Tabela 3 ilustra a composição do biogás produzido durante as coletas realizadas.

Observa-se que o gás metano representa o principal componente do biogás, variando de 53 a 60% de sua composição. Os resultados encontrados foram próximo aos obtidos por Lucas Júnior (1987), cujo experimento realizado com dejetos bovinos, obteve biogás com teor de metano de 58%. Amaral et al. (2004), obteve biogás a partir de dejetos bovinos com teores de metano próximos a 53,79% em biodigestor modelo indiano e de 53,97% em biodigestor modelo chinês, utilizando o mesmo tempo de retenção hidráulica.

Tabela 3: Composição do biogás oriundo de dejetos da bovinocultura leiteira

Coletas	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	H ₂ S (%)	H ₂ (%)
Coleta 1	56,0	43,7	0,3	7,1x10 ⁻³	21,4x10 ⁻³
Coleta 2	55,0	45,0	0,0	0,0	0,0
Coleta 3	54,1	45,4	0,5	0,0	1,0x10 ⁻³
Coleta 4	53,0	44,7	2,4	0,0	0,0
Coleta 5	54,0	45,0	1,0	0,0	0,0
Coleta 6	55,0	44,0	0,0	3,5x10 ⁻³	13,2x10 ⁻³
Coleta 7	55,4	44,1	0,5	4,0x10 ⁻³	12,7x10 ⁻³
Coleta 8	60,0	43,0	0,6	3,0x10 ⁻³	10x10 ⁻³
MÉDIA	55,3	44,4	0,7	2,2x10 ⁻³	7,3x10 ⁻³
DESVIO PADRÃO	2,1	0,8	0,8	2,6x10 ⁻³	8,2x10 ⁻³

O dióxido de carbono ou gás carbônico (CO₂) também constitui uma fração representativa, variando entre 43 e 45,4% do biogás produzido, resultados bastante próximos aos obtidos por Amaral et al. (2004), cujo experimento foi realizado em biodigestores de modelo indiano e chinês.

Os demais gases representam apenas traços. O gás oxigênio (O₂) inexistente em ambientes anaeróbios como o interior do biodigestor, no entanto, ele surge na composição do biogás quando há entrada de ar atmosférico no sistema. No caso do biodigestor de fluxo ascendente, há uma válvula de segurança constituída por um sifão com água. Este dispositivo serve para regular a pressão do biogás produzido e armazenado no interior do reator, não permitindo que atinja pressão suficiente para danificar a câmara de biodigestão. Quando a pressão no interior do reator aumenta sem que o compressor seja acionado para coletar o biogás, a água do sifão transborda e, neste caso, ocorre a entrada do ar atmosférico.

O gás sulfídrico (H₂S) e o gás hidrogênio (H₂) também podem ser encontrados entre os constituintes do biogás proveniente da digestão de dejetos

bovinos, mas em proporções muito pequenas. O gás hidrogênio foi encontrado em proporções muito pequenas, não superiores a 0,0214% ou 213,6 ppm.

O máximo de gás sulfídrico encontrado durante o estudo foi de 0,0071% da composição, ou seja, 71,2 ppm – demonstrando que o biogás oriundo da biodigestão de dejetos bovinos, nas condições de campo ilustradas por este estudo, apresenta uma quantidade inferior de gás sulfídrico se comparado ao encontrado no biogás oriundo de dejetos suínos - o trabalho de Bortoli, Kunz e Soares (2009), compara a biodigestão de dejetos suínos em diferentes modelos de biodigestores, e seus resultados demonstraram que o teor de gás sulfídrico produzido a partir deste substrato variou entre 124 a 536 ppm - valores superiores aos encontrados neste estudo.

Com base nas médias de composição do biogás, elaborou-se o gráfico de composição média do biogás oriundo da digestão anaeróbia de dejetos bovinos em biodigestor de fluxo ascendente, apresentado na Figura 13.

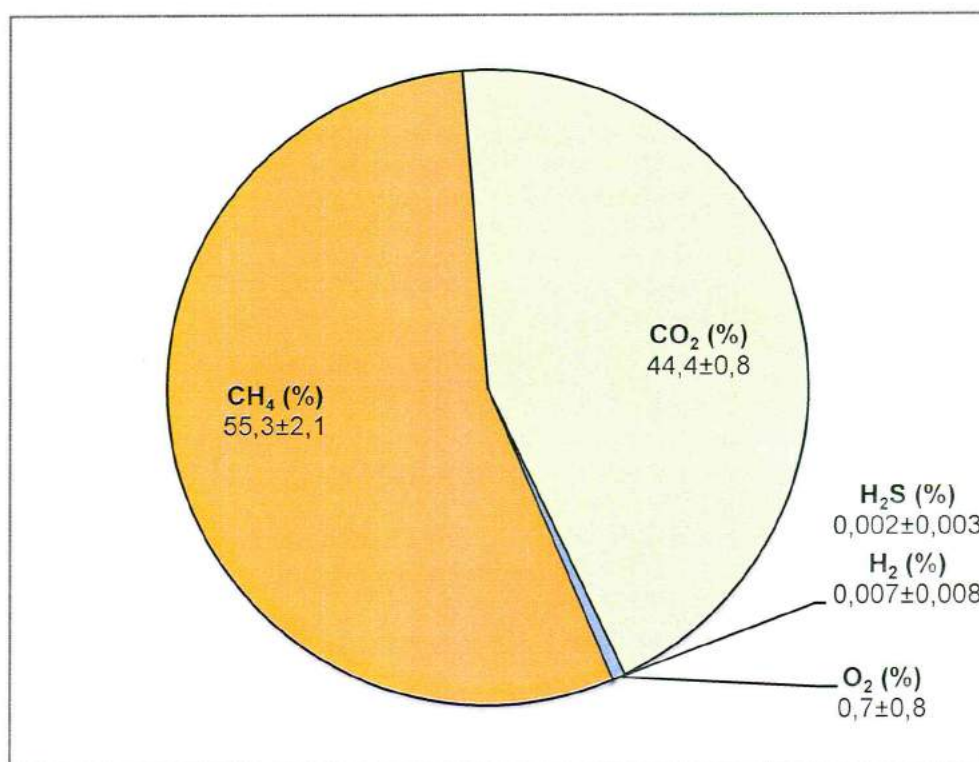


Figura 14: Composição média do biogás oriundo da digestão anaeróbia de dejetos da bovinocultura leiteira em biodigestor de fluxo ascendente.

Conforme se ilustra na Figura 13, os principais componentes do biogás oriundo da digestão anaeróbia de dejetos da bovinocultura leiteira em biodigestor de

fluxo ascendente são o gás metano e o dióxido de carbono – o primeiro representa um gás combustível de interesse para a produção de energia a partir de fontes renováveis, e o segundo um gás inerte, produzido durante as primeiras etapas da digestão anaeróbia e que pode ser removido do biogás por meio de processos de filtragem específicos quando se tem por objetivo aumentar o potencial energético do biogás.

4.8 Rendimento de Produção de Biogás

Partindo das informações sobre a produção de biogás e de metano no biodigestor de fluxo ascendente, pode-se resgatar as informações a respeito da carga orgânica adicionada e removida, para se compreender a eficiência de conversão de sólidos totais e sólidos voláteis em biogás e metano. Segundo Amaral et al. (2004) o rendimento de biogás sobre sólidos adicionados representa o melhor fator para refletir o potencial de cada biomassa na produção de biogás, pois elimina a interferência do teor de água presente na biomassa. Assim, estas informações, apresentadas na Tabela 1, são reapresentadas na forma de gráficos na Figura 14.

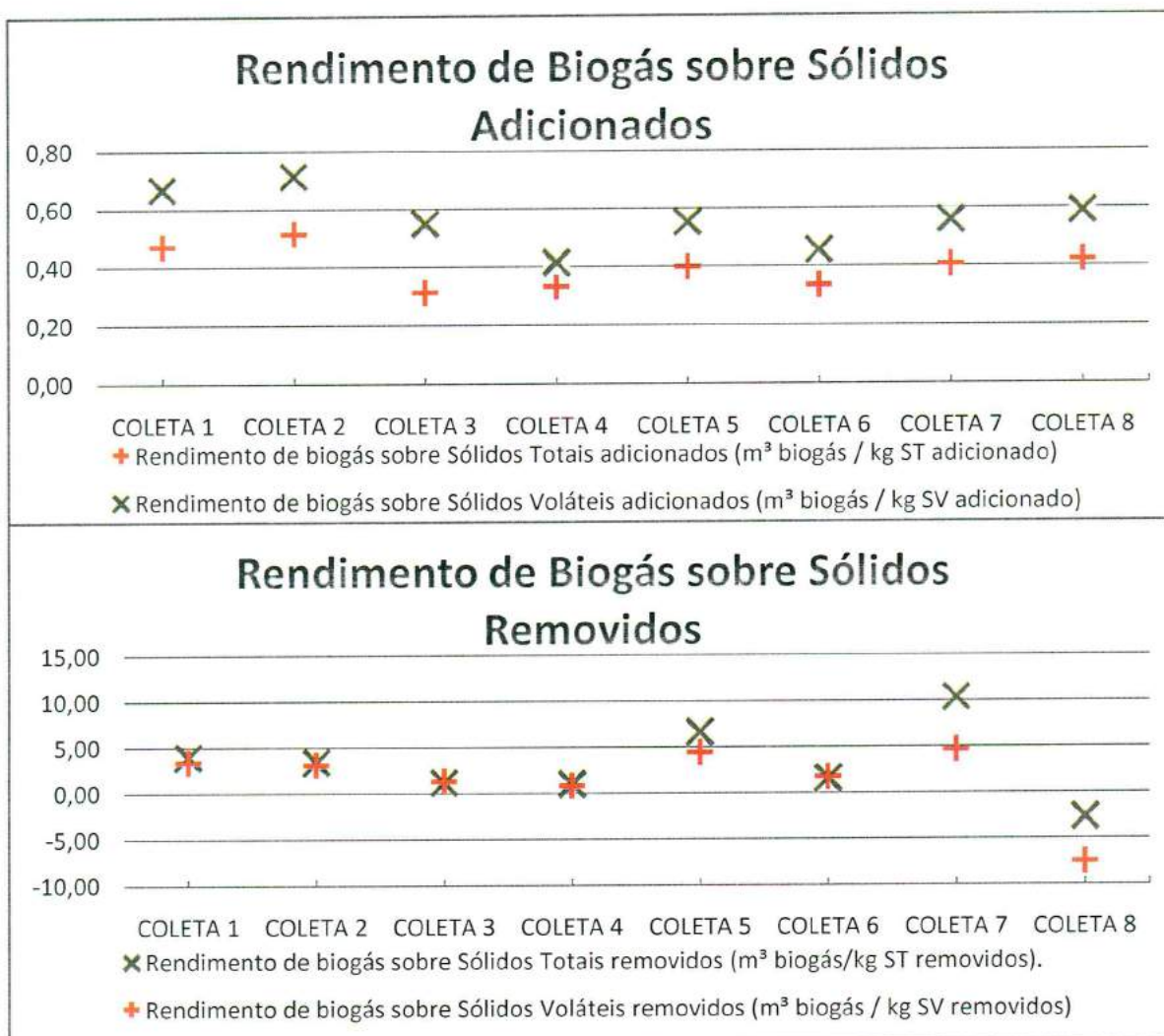


Figura 15: Rendimento de Biogás sobre Sólidos Adicionados e Removidos em Biodigestor de Fluxo Ascendente

O rendimento de produção de biogás médio foi de $0,39 \pm 0,07$ m³ biogás/Kg ST adicionados ou de $0,56 \pm 0,10$ m³ biogás/Kg SV adicionados. Embora os resultados tenham sido bastante uniformes, observou que os maiores rendimentos sobre sólidos adicionados foram observados durante as primeiras três coletas, quando a dieta dos animais era baseada no uso da silagem de milho como volumoso.

A eficiência de produção de biogás apresentada pelo biodigestor de fluxo ascendente foi maior que as encontradas por Amaral et al. (2004) para os biodigestores de modelos Indiano e Chinês, que encontraram uma produção média de $0,1162$ m³ biogás/Kg ST adicionados ou de $0,1427$ m³ biogás/Kg SV adicionados para o modelo Indiano; e de $0,1232$ m³ biogás/Kg ST adicionados ou de $0,1513$ m³ biogás/Kg SV adicionados para o modelo Chinês.

Em biodigestores de bancada, Orrico Júnior et al. (2012) obtiveram rendimento de 0,37 m³ biogás/Kg ST adicionado e de 0,42 m³ biogás/Kg SV adicionados, quando uso de dejetos de bovinos de corte alimentados com dietas com relação volumoso:concentrado de 40:60. Ao utilizar dejetos de animais alimentados com uma relação volumoso:concentrado de 60:40, estes autores obtiveram rendimento de 0,28 m³ biogás/Kg ST adicionado e de 0,30 m³ biogás/Kg SV adicionados.

O rendimento de produção de biogás sobre sólidos apresentados pelo Biodigestor de Fluxo Ascendente também foi bastante próximo aos obtidos por Feiden et al. (2004), que avaliou a eficiência do biodigestor tubular modelo Reichl (modelo embasado no Biodigestor modelo fluxo-pistão) no tratamento de dejetos suínos. Estes autores obtiveram 0,389 m³ biogás/Kg ST adicionado e de 0,571 m³ biogás/Kg SV adicionados, quando o biodigestor operou com agitação baseada na recirculação do biogás produzido. Sem agitação, este biodigestor obteve 0,32 m³ biogás/Kg ST adicionado e de 0,47 m³ biogás/Kg SV adicionados.

O rendimento de biogás sobre sólidos removidos se deu de forma menos uniforme, e os resultados foram afetados pelos resultados das análises anteriores para a Coleta 8. Observou-se que o rendimento sobre sólidos removidos é semelhante para ST e SV em pelo menos seis coletas. Isto se deve a maior remoção de sólidos voláteis durante a biodigestão, em detrimento dos sólidos fixos – de tal forma que a parcela de ST convertida em biogás foi, majoritariamente, a de sólidos voláteis.

4.9 Rendimento de Produção de Metano

De maneira análoga ao rendimento de biogás, também se pode obter o rendimento de metano no biodigestor de fluxo ascendente, conforme apresentado nos gráficos da Figura 15.

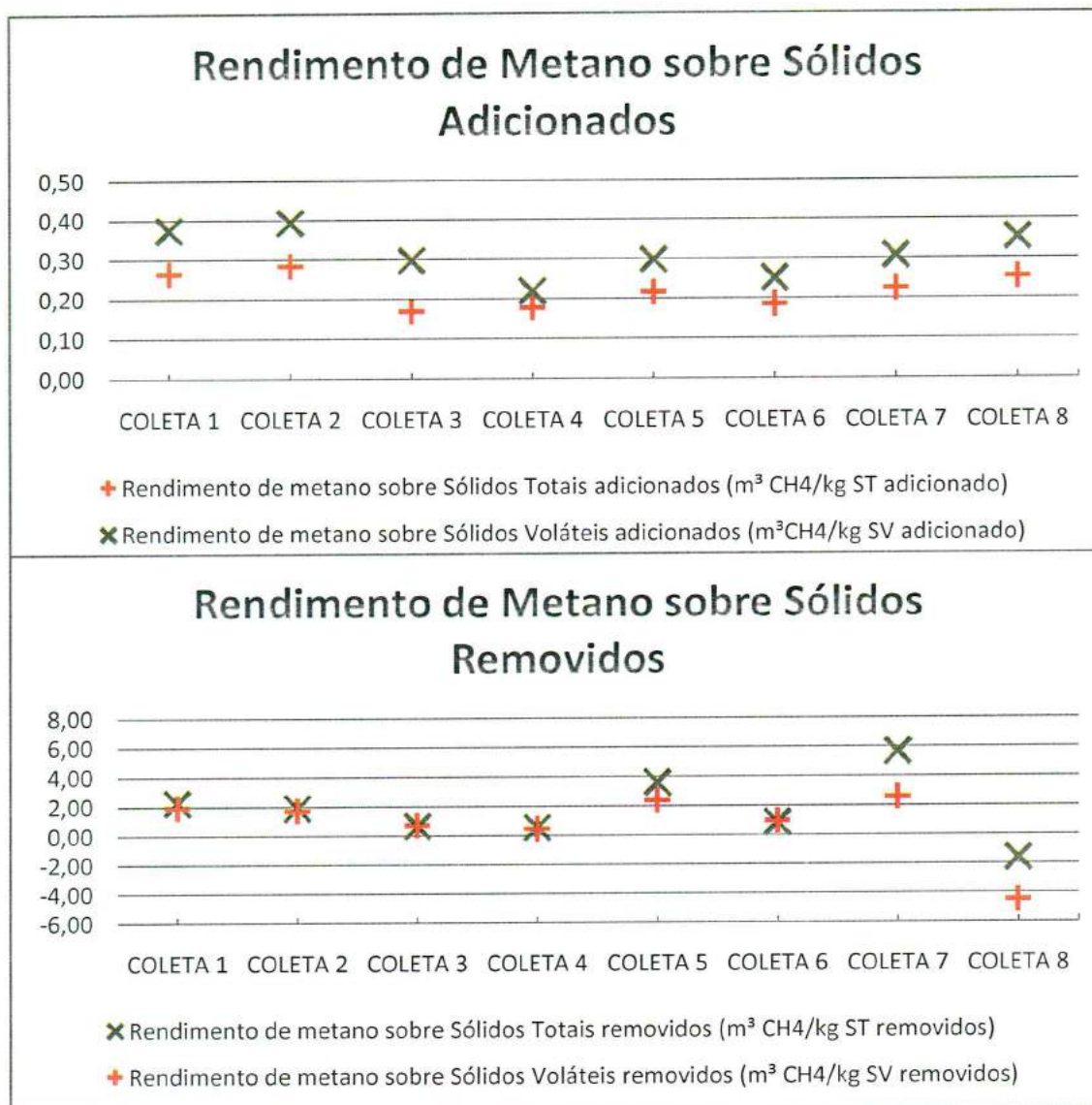


Figura 16: Rendimento de Metano sobre Sólidos Adicionados e Removidos em Biodigestor de Fluxo Ascendente

Devido a variabilidade da composição do biogás ter sido pequena, os resultados para o rendimento de metano seguem a mesma tendência que os obtidos para o rendimento de biogás. Em média, o biodigestor de fluxo ascendente apresenta rendimento de metano de $0,22 \pm 0,04$ m³ CH₄/Kg ST adicionados e de $0,31 \pm 0,06$ m³ CH₄/Kg SV adicionados.

Estes resultados são compatíveis com os encontrados por Orrico Júnior et al. (2012) que obtiveram rendimento de metano de $0,25$ m³ CH₄/Kg ST adicionados e de $0,30$ m³ CH₄/Kg SV adicionados a partir de dejetos de bovinos de corte alimentados com uma relação de volumoso:concentrado de 40:60. Para os dejetos

de animais alimentados com uma relação de 60:40, seus resultados foram 0,20 m³ CH₄/Kg ST adicionados e de 0,24 m³ CH₄/Kg SV adicionados.

A Tabela 2 sintetiza as comparações entre os indicadores de funcionamento e eficiência do biodigestor de fluxo ascendente com os dos biodigestores de modelo Indiano e Chinês, conforme descritos por Amaral et al. (2004).

Tabela 4: Comparação dos Indicadores de Diferentes Modelos de Biodigestor

Indicadores	Biodigestor de Fluxo Ascendente	Biodigestor Modelo Indiano (Amaral, 2004)	Biodigestor Modelo Chinês (Amaral, 2004)
Relação SV/ST - Afluente	0,70 ± 0,07	0,81	0,81
Teor de Sólidos Totais - Afluente (%)	4,29 ± 0,95	8,34	8,34
Teor de Sólidos Totais - Efluente (%)	3,58 ± 0,31	6,29	5,72
Redução de Sólidos Totais (%)	13,61 ± 15,95	24,47	31,41
Teor de Sólidos Voláteis - Afluente (%)	3,02 ± 0,75	6,79	6,79
Teor de Sólidos Voláteis - Efluente (%)	2,15 ± 0,4	4,97	4,5
Redução de Sólidos Voláteis (%)	24,78 ± 21,44	26,49	33,17
Rendimento biogás sobre ST adicionados (m ³ biogás/ Kg ST adicionado)	0,39 ± 0,07	0,1162	0,1232
Rendimento biogás sobre SV adicionados (m ³ biogás/ Kg SV adicionado)	0,56 ± 0,10	0,1427	0,1513
Teor de Metano (%)	55,3 ± 2,1	53,79	53,97

De forma geral, pode-se dizer que, comparativamente, o biodigestor de fluxo ascendente, nas condições em que o estudo foi conduzido, apresentou redução de sólidos voláteis equivalente ao do biodigestor indiano, mas inferior ao do biodigestor chinês. A remoção de sólidos totais também foi inferior à encontrada nos outros biodigestores. Contudo, a maior produção de biogás e o maior teor de metano no biodigestor de fluxo ascendente levaram a um maior rendimento de biogás e de metano sobre sólidos totais e voláteis adicionados, em comparação com os demais biodigestores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Biodigestor de Fluxo Ascendente estudado foi alimentado com dejetos de bovinos de leite diluídos em água, um afluente com teor de sólidos médio de 4,29% de Sólidos Totais e 3,02% de Sólidos Voláteis – valores levemente abaixo do recomendado pela literatura. A relação SV/ST média do afluente foi de 0,70, ou seja, de menor biodegradabilidade com relação ao encontrado em outros estudos.

Para este afluente, o Biodigestor de Fluxo Ascendente reduziu, em média, 13,61% dos Sólidos Totais e de 24,78% dos Sólidos Voláteis, porém, com grandes variações, em função do manejo da granja. Os valores médios se mostraram abaixo do que os encontrados na literatura para outros modelos de biodigestores – mas o rendimento de produção de biogás, por outro lado, mostrou-se elevado – apresentando uma produção de 0,39 m³ biogás/Kg ST adicionados ou de 0,56 m³ biogás/Kg SV adicionados – valores superiores aos obtidos outros modelos de biodigestores adequados para pequenas propriedades rurais.

Em média, o biogás produzido apresentou um teor de metano de 55,3%, e concentrações de gás sulfídrico inferiores às encontradas no biogás produzido a partir da biodigestão de dejetos de suinocultura.

Os resultados encontrados e discutidos indicam a possibilidade de o biodigestor estudado se encontrar com excesso de lodo acumulado no fundo da câmara de biodigestão, de tal forma que este material ocupe parte do volume útil necessário para a manutenção do tempo de retenção hidráulico de 30 dias recomendado e projetado.

Neste caso, a redução de sólidos fixos e voláteis está aquém do potencial existente neste modelo de biodigestor. A produção de biogás nesta condição de operação pode também compreender o biogás produzido pelo lodo em biodigestão em tempo superior aos 30 dias.

Estas considerações demonstram a necessidade de novos estudos para complementar e afinar as informações sobre as características de remoção de sólidos e de produção de biogás pelo biodigestor de fluxo ascendente. Acredita-se que resultados importantes possam ser obtidos em experimentos que contemplem medições diárias das vazões de entrada e saída do biodigestor; instrumentação que permita medição constante das características físicas do biogás; experimentação da operação do biodigestor com diferentes teores de sólidos e tempos de retenção hidráulica; e/ou com mais variáveis sob controle – como dieta fornecida aos animais e manejo prévio do biodigestor.

Independentemente das dificuldades existentes na pesquisa de campo, acredita-se também que os resultados obtidos são importantes no sentido de identificar indicadores das características e da eficiência do biodigestor anaeróbio – dentre as quais, evidencia-se, o rendimento de produção de biogás em função da quantidade de sólidos fornecida pelo afluente.

REFERÊNCIAS

ALTAFIN, I. **Reflexões sobre o conceito de agricultura familiar**. 2007. Disponível em: <redeagroecologia.cnptia.embrapa.br/biblioteca/agricultura-familiar>. Acesso em: 10 out. 2012.

AMARAL, C. M. C.; AMARAL, L. A.; LUCAS JÚNIOR, J.; *et al.* Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.6, p. 1897-1902, 2004.

ANDRADE, M. A. N., RANZI, T. J. D., MUNIZ, R. N. *et al.* **Biodigestores rurais no contexto da atual crise de energia elétrica brasileira e na perspectiva da sustentabilidade ambiental**. In: Encontro de Energia no Meio Rural 4., Campinas, 2002.

ASSENHEIMER, A. Benefícios do uso de biossólidos como substratos na produção de mudas de espécies florestais. In: **Ambiência**, v.5 n.2, p.321-330, mai./ago. 2009.

BELLO, P. P. G.; CASTRO, M. C. A. A. **Estudo da composição e do potencial energético dos gases de aterro sanitário e sua relação com as fases de degradação anaeróbia**. In: Anais do XXI Congresso de Iniciação Científica da UNESP, 2009. Disponível em: <http://prope.unesp.br/xxi_cic/99_32385193876.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2012.

BLEY JÚNIOR., C.; LIBÂNIO, J. C.; GALINKIN, M.; *et al.* **Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais**. 2ª ed. rev. Foz do Iguaçu/Brasília: Itaipu Binacional, Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, 2009.

BLEY JÚNIOR, C. **Reflexões sobre a economia do biogás**. Observatório de Energias Renováveis para América Latina e Caribe. Foz do Iguaçu, 2010. 19p. Disponível em: < <http://www.observatoriobrasil.org/imagens/reflexoes.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2011.

BORDIGNON, L. P.; BORDIGNON, S. M. S.; SOUZA, M. A.; SILVA, A. C. Coleta de resíduos sólidos como fator de gestão ambiental e fonte de geração de renda para catadores: um estudo de caso na associação de catadores de Medianeira – Paraná. In: **Engenharia Ambiental**. Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 4, p. 091-099, out./dez. 2011.

BORTOLI, M.; KUNZ, A.; SOARES, H. M. **Comparativo entre reatores UASB e biodigestores para geração de biogás no tratamento de dejetos de suínos.** I Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Animais. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2009

BRASIL. **Economia:** Setores da Economia – Agronegócio. 2010. Disponível em: < <http://www.brasil.gov.br/sobre/economia/setores-da-economia/agronegocio>>. Acesso em: 11 out. 2012.

BRUGNARO, R.; BACHA, C. J. C. Análise da participação da agropecuária no PIB do Brasil de 1986 a 2004. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v. 39, n. 1, Mar. 2009 .

CABRAL, J. R.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; *et al.* Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 823-831, 2011.

CASSINI, S. T.; CHERNICHARO, C. A. L.; ANDREOLI, C. V.; FRANÇA, M.; BORGES, E. S. M.; GONÇALVES, R. F. Hidrólise e atividade anaeróbia em lodos. In: CASSINI, S. T. **Digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento de biogás.** Rio de Janeiro : ABES, RiMa, 2003.

CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores anaeróbios.** Belo Horizonte: DESA-UFMG. 245 p. 2007.

COLLINS, G.; WOODS, A.; MCHUGH, S.; CARTON, M. W.; O'FLAHERTY, V. Microbial community structure and methanogenic activity during start-up of psychrophilic anaerobic digesters treating synthetic industrial wastewater. **FEMS Microbiology Ecology**. v.46, p. 159-170, 2003.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Agricultura familiar.** Disponível em: < <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1125&t=2> >. Acesso em: 09 out. 2012.

CORRÊA, J. C.; NICOLOSO, R. D. S.; MENEZES, J. F. S.; *et al.* Critérios técnicos para recomendação de biofertilizante de origem animal em sistemas de produção agrícolas e florestais. **Comunicado Técnico - Centro Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves**, v. 486, p. 1-8, 2011.

CORRELL, D.L. The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: A review. **Journal of Environmental Quality**, v 27 n 2, 1998.

DAGA, J.; CAMPOS, A. T.; FEIDEN, A.; *et al.* Análise da adequação ambiental e manejo dos dejetos de instalações para suinocultura em propriedades na região oeste do Paraná. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, 2007.

DEGANUTTI, R.; PALHACI, M. C. J. P.; ROSSI, M.; *et al.* **Biodigestores rurais:** modelo indiano, chinês e batelada.. In: Encontro de Energia no Meio Rural, 4., Campinas, 2002.

DORS, G. **Hidrólise enzimática e biodigestão de efluentes da indústria de produtos agrícolas**. 2006. 86 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; *et al.* Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol.14, n.5, 2010

FEIDEN, A.; REICHL, J.; SCHWAB, V. *et al.* **Avaliação da Eficiência de um Biodigestor Tubular na Produção de Biogas a partir de Águas Residuárias de Suinocultura**. Anais do V Encontro de Energia na Meio Rural. **Anais...** [S.l: s.n.]. , 2004.

FRARE, L. M.; GIMENES, M. L.; PEREIRA, N. C. Processo para remoção de ácido sulfídrico de biogás. In: **Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro, v. 14, n. 2, jun. 2009.

GUANZIROLI, C. E.; BUAINAIN, A. M.; DI SABBATO, A. Dez anos de evolução da agricultura familiar no Brasil: (1996 e 2006). **Revista Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 50, n. 2, 2012 .

GUILHOTO, Joaquim J. M. *et al.* . A importância do agronegócio familiar no Brasil. **Revista Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 44, n. 3, 2006 .

HERREN, R. V.; DONAHUE, R. L. **The agriculture dictionary**. Albany, NY: Delmar Publishers, 1991.

HOODA, P.S.; EDWARDS, A.C.; ANDERSON, H.A. & MILLER, A. A review of water quality concerns in livestock farming areas. **Science of the Total Environment**, 250:143-147, 2000.

IAPAR, I. A. DO P. **Cadeia Produtiva do Leite - prospecção de demandas tecnológicas do agronegócio paranaense**. . Londrina: [s.n.]. , 1999

INOUE, K. R. A.; SOUZA, C. F.; MATOS, A. T.; SANTOS, N. T.; ALVES, E. E. N. Características do solo submetido a tratamento com biofertilizantes obtidos na digestão da manipueira. In: **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v.4, n.2, p. 47-52, jun. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção pecuária municipal**. IBGE : Rio de Janeiro, v.39, 2011.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

KONZEN, E. A. Fertilização de Lavoura e Pastagem com Dejetos de Suínos e Cama de Aves. **Circular Técnica - Embrapa Milho e Sorgo**, v. 31, p. 1-10, 2003.

KONZEN, E. A.; ALVARENGA, R. C. Manejo e utilização de dejetos animais: aspectos agrônômicos e ambientais. **Circular Técnica - Embrapa Milho e Sorgo**, v. 63, p. 1-16, 2005.

KUNZ, A. **Experiência da Embrapa com biodigestão anaeróbia de dejetos suínos**. In: Anais da Reunião Técnica sobre Biodigestores para tratamento de dejetos de suínos e uso de biogás. Documento 106 : Embrapa, 2006.

KUNZ, A. Biodigestão anaeróbia, parâmetros de interesse e manejo de instalações. In: **Capacitação em tecnologias do biogás para operação e tomada de decisão em condomínios de agroenergia**, Foz do Iguaçu, 2011.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 22, n. 3, p. 651-665, 2005.

LEITE, V. D.; LOPES, W. S.; BELLI FILHO, P.; *et al.* Bioestabilização de resíduos sólidos orgânicos. In: CASSINI, S. T. **Digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento de biogás**. Rio de Janeiro : ABES, RiMa, 2003.

LUCAS JR. J. **Estudo comparativo de biodigestores modelo Indiano e Chinês**. 1987. 114f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **Brasil projeções do agronegócio 2011/2012 a 2021/2022**. MAPA – Assessoria de gestão estratégica : Brasília, 2012.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **Bovinos e bubalinos**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/animal/especies/bovinos-e-bubalinos>>. Acesso em: 09 nov. 2012.

NISHIMURA, R. **Análise de balanço energético de sistema de produção de biogás em granja de suínos**: implementação de aplicativo computacional. 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.

OLIVEIRA, P.A.V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos suínos**. Concórdia: EMBRAPA- CNPSA, 1993. 188p. il.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A., LUCAS JÚNIOR, J.; *et al.* Biodigestão anaeróbia dos dejetos da bovinocultura de corte: influência do período, do genótipo e da dieta. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n.6, 2012.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J. Produção animal e meio ambiente: uma comparação entre potencial de emissão de metano dos dejetos e a quantidade de alimento produzido. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.2, 2011.

PERDOMO, C.C. Dimensionamento de sistemas de tratamento (decantador e lagoas) e utilização de dejetos suínos. In: **Comunicado Técnico 234**, Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 1999.

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Criando Valores para todos: Estratégias para fazer negócios com os pobres**. PNUD, New York, 2008. Disponível em: <http://growinginclusivemarkets.org/media/report/full_report_portuguese.pdf>. Acesso em: 05 Set 2011.

POMPERMAYER, R. S., PAULA JÚNIOR, D. R. **Estimativa do potencial brasileiro de produção de biogás através da biodigestão da vinhaça e comparação com outros energéticos**. In: Anais do 3º. Encontro de Energia no Meio Rural, 2000.

REITAS, C. A.; BACHA, C. J. C.; FOSSATTI, D. M.. Avaliação do desenvolvimento do setor agropecuário no Brasil: período de 1970 a 2000. **Economia e Sociedade**, Campinas, v. 16, n. 1, 2007 .

SADIA. **Programa Suinocultura Sustentável Sadia – 3S**. Disponível em: <http://www.sadia.com.br/sobre-a-sadia/cadeia-produtiva_programa-suinocultura-sustentavel-sadia-3s.jsp>. Acesso em: 18 set 2011.

SALOMON, K. R. **Avaliação técnico-econômico e ambiental da utilização do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade**. 2007. 219 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.

SAVOLDI, A.; CUNHA, L. A. Uma abordagem sobre a agricultura familiar, PRONAF e a modernização da agricultura no sudoeste do Paraná na década de 1970. **Revista Geografar**, UFPR:Curitiba, v.5, n.1, p.25-45, 2010.

SCHALCH, V. **Análise comparativa do comportamento de dois aterros sanitários semelhantes e correlações de parâmetros do processo de digestão anaeróbia**. 1992. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

SCHERER, E. E.; AÍTA, C.; BALDISSERA, I. T. Avaliação da qualidade do esterco líquido de suínos da região Oeste Catarinense para fins de utilização como fertilizante. In: **Epagri – Boletim Técnico**, Florianópolis: Epagri, n. 79, 1996.

SCHUCH, S. L. **Agroenergia da biomassa residual animal: Oportunidade de negócio e renda, na região oeste do Paraná**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

SEAB, S. DE E. DA A. E A. **Panorama da pecuária leiteira - aspectos internacionais, nacionais e estaduais**. . Curitiba: [s.n.], 2005

SHIGAKI, F.; SHARPLEY, A.; PROCHNOW, L. I. **Animal-based agriculture, phosphorus management and water quality in Brazil: options for the future**. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 2, p. 194-209, 2006.

SILVA, A. A.; LUCAS JÚNIOR, J.; XAVIER, C. A. N.; *et al.* **Custo de implantação e viabilidade econômica de um biodigestor tubular de manta de PVC flexível com diferentes substratos.** In: Anais do I Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos de Animais, 2009.

SILVA, W. R. **Estudo cinético do processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos vegetais.** 2009. 175 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

SILVEIRA, F. M.; FAVARETTO, N.; DIECKOW, J.; *et al.* Dejeito líquido bovino em plantio direto: perda de carbono e nitrogênio por escoamento superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 35, 2011.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. **Integrated solid waste management: engineering principles and management issues.** USA: McGraw-Hill, 1993.

WEIRICH NETO, P. H.; ROCHA, C. H. Caracterização da produção agropecuária e implicações ambientais nos Campos Gerais. In: MELO, M. S.; MORO, R. S.; GUIMARÃES, G. B. **Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná.** Ponta Grossa: Editora UEPG, 2007. Cap

YANG, S. T.; GUO, M. Kinetics of methanogenesis from whey permeate in packed bed immobilized cells bioreactor. **Biotechnology Bioengineering**, 36:427, 1990.