

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR NA BIODIGESTÃO
ANAERÓBIA COM DEJETOS DE VACAS EM LACTAÇÃO
SOB DIFERENTES DIETAS**

**Cristiane de Almeida Neves Xavier
Zootecnista**

**Jaboticabal – São Paulo – Brasil
2009**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR NA BIODIGESTÃO
ANAERÓBIA COM DEJETOS DE VACAS EM LACTAÇÃO
SOB DIFERENTES DIETAS**

Cristiane de Almeida Neves Xavier

Orientador: Prof. Dr. Jorge de Lucas Júnior

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias-UNESP, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

**Jaboticabal – SP
Fevereiro – 2009**

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

CRISTIANE DE ALMEIDA NEVES XAVIER – nasceu em Aquidauana, Estado de Mato Grosso do Sul, em 07 de maio de 1975. Trabalhou como auxiliar de enfermagem em dois hospitais de Aquidauana de 1994 a 1997 antes de ingressar no meio acadêmico. Graduou-se em Zootecnia pela Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul no ano de 2002. Ingressou no curso de Mestrado em Zootecnia no ano seguinte pela Universidade Estadual Paulista e o concluiu em fevereiro de 2005. Em março do mesmo ano iniciou o curso de Doutorado na mesma universidade em que tem realizado pesquisas com o aproveitamento de resíduos da produção animal por meio da biodigestão anaeróbia, buscando o aumento da produção de biogás por dejetos de vacas leiteiras.

*Mãe, linda como uma rosa,
pintada de corações como catapora,
mas catapora de corações...*

Adiane

*Ao meu esposo,
à minha filha e
à minha mãe,
dedico.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu DEUS, por estar comigo sempre.

À Universidade Estadual Paulista pela realização do sonho e por ser meu orgulho.

Ao Prof. Dr. Jorge de Lucas Júnior, pela confiança, oportunidade, ensinamentos acadêmicos e de vida, pela solicitude e amizade.

À todos os outros professores de quem dependi em algum momento, em especial aos professores Mauro Dal Secco de Oliveira e Euclides Braga Malheiros.

À todos os funcionários de vários departamentos, que me ajudaram, principalmente para os abastecimentos dos biodigestores, a colheita da cana-de-açúcar, retirada do caldo e as análises que não puderam ser feitas no Laboratório de Biomassa e Biodigestão Anaeróbia em virtude de sua queima.

À todos os companheiros de laboratório e orientados do Prof. Jorge, que saíram e que chegaram durante o meu curso, pelos conhecimentos, pelas alegrias e pelas ajudas, em especial à Ana Carolina Amorim, Adélia Pereira Miranda, Adriane de Andrade Silva, Laura Vanessa Cabral da Costa e dos orientados do Prof. Roberto Alves de Oliveira, Rose Maria Duda e Adriana Miranda Santana.

À todos que me ajudaram na limpeza diária da “cama” das vacas.

À D. Julieta, D. Ana, Carla e aos meus vizinhos, Jesus, Nídia, Arnold e Jú, inesquecíveis, por momentos como em família em Jaboticabal.

Aos meus pais, sogros, irmãs, cunhados, cunhadas, sobrinhos e sobrinhas dos quais estive longe por esses anos, mas apenas por distância.

Aos meus familiares pela compreensão e paciência, pelo apoio e amor, em especial ao Adirlei, por apostar mais que eu.

SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	11
1. Os Dejetos de Vacas Leiteiras: Produção, Impactos Ambientais e Econômicos.....	14
2. A Biodigestão Anaeróbia de Dejetos de Vacas Leiteiras, Utilização de seus Produtos e Aspectos Econômicos.....	17
Objetivo Geral.....	22
Objetivos Específicos.....	22
Referências.....	23
CAPÍTULO 2 - ENSAIOS PRELIMINARES COM USO DE CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR NA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS DE VACAS EM LACTAÇÃO.....	30
Introdução.....	31
Material e Métodos.....	33
Resultados e Discussão.....	37
Conclusões.....	49
Referências.....	50
CAPÍTULO 3 - QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE DEJETOS DE VACAS EM LACTAÇÃO CONFINADAS RECEBENDO DIFERENTES VOLUMOSOS.....	52
Introdução.....	53
Material e Métodos.....	54
Resultados e Discussão.....	57
Conclusões.....	62
Referências.....	63
CAPÍTULO 4 - CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR NA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS DE VACAS EM LACTAÇÃO CONFINADAS RECEBENDO DIFERENTES VOLUMOSOS NA DIETA.....	67
Introdução.....	68
Material e Métodos.....	69
Resultados e Discussão.....	73
Conclusões.....	85
Referências.....	86

	Página
CAPÍTULO 5 - QUALIDADE DE BIOFERTILIZANTES OBTIDOS NA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA COM CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR E DEJETOS DE VACAS EM LACTAÇÃO QUE RECEBERAM DIFERENTES DIETAS.....	89
Introdução.....	90
Material e Métodos.....	91
Resultados e Discussão.....	93
Conclusões.....	99
Referências.....	100
ANEXO 1.....	102

CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR NA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA COM DEJETOS DE VACAS EM LACTAÇÃO SOB DIFERENTES DIETAS

RESUMO - Objetivou-se avaliar a adição de caldo de cana-de-açúcar em substratos contendo dejetos de vacas em lactação submetidos à biodigestão anaeróbia (BA) em biodigestores batelada e contínuos, para aumento da produção de biogás. Avaliaram-se as produções e qualidade do biogás e dos biofertilizantes. Parâmetros como pH, alcalinidade, redução de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV), potenciais de produção de biogás e de metano por unidade de ST e SV adicionados, SV reduzidos e de dejetos foram analisados. Realizaram-se ensaios preliminares de doses de caldo de cana-de-açúcar (CCA) a serem adicionados nos dejetos e de quantificação e caracterização dos dejetos produzidos por vacas da raça Holandesa em lactação que receberam dietas contendo diferentes volumosos. Menores produções diárias de dejetos foram de vacas que receberam cana-de-açúcar hidrolisada com cal hidratada na dieta, com média de 26,60 kg, contendo o dobro de cálcio em relação aos dejetos oriundos das demais dietas. Os dejetos foram submetidos à BA segundo as dietas e, naqueles dejetos de vacas que receberam cana-de-açúcar, foram adicionados 6% de CCA. Os ensaios mostraram que 6% de CCA em dejetos de animais que receberam cana-de-açúcar *in natura*, aumentaram a produção de biogás em até 42,03 e 44,89%, em biodigestores batelada e contínuo, respectivamente. Dejetos oriundos de dietas contendo cana-de-açúcar *in natura* e hidrolisada, com 6% de CCA, produziram 0,254 e 0,262 L de CH₄ g⁻¹ de SV adicionados em biodigestores batelada, respectivamente. Dejetos oriundos de dietas contendo cana-de-açúcar *in natura*, com 6% de CCA, produziram 0,208 L de CH₄ g⁻¹ de SV adicionados em biodigestores contínuos. Nesses biodigestores as dietas fornecidas aos animais e o uso de CCA nos dejetos não influenciaram os teores de nitrogênio, fósforo e potássio nos biofertilizantes, com médias de 2,60; 1,99 e 2,09%, respectivamente.

Palavras-Chave: biofertilizante, biogás, cal hidratada, metano, nutrientes, silagem de milho

JUICE SUGARCANE IN THE ANAEROBIC DIGESTION WITH MANURE OF DAIRY COW THAT RECEIVED DIFFERENT DIETS

ABSTRACT – The aim of this work was evaluate the sugarcane juice addition on substrates containing dairy cow manure submitted to anaerobic digestion (AD) under batch and continuous digesters, in order to increase biogas production. The production and quality of biogas and fertilizers were evaluated. Parameters such as pH, alkalinity, total solids (TS) and volatile solids (VS) reduction, biogas production by added TS and added VS, reduced VS and manure were evaluated. Doses of sugarcane juice (SJ) were evaluated in preliminary trials. The quantification and characterization of manure produced by lactating Holstein cows receiving diets containing different forages was evaluated. Lower daily manure production from cows that received hydrolyzed sugarcane (hydrated lime) in the diet, average 26.60 kg, with a doubling of calcium in relation to manure from the other diets. The manure was submitted to AD according to the diets. Manure from cows feed with sugarcane, had 6% of the SJ addition on it. The trials showed that 6% of SJ was able to increase biogas. The biogas production increased up to 42.03 and 44.89% in batch and continuous digester, respectively. Manure from diets containing *in nature* and hydrolyzed sugarcane, with 6% of SJ, produced 0.254 and 0.262 L CH₄ g⁻¹ added VS in continuous digester. In such digesters, the diets and the use of SJ in the manure did not affect the levels of nitrogen, phosphorus and potassium in fertilizers, the means were 2.60, 1.99 and 2.09%, respectively.

Keywords: fertilizer, biogas, hydrated lime, methane, nutrients, corn silage

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os animais domésticos destinados à produção animal são divididos em dois grandes grupos, o de animais ruminantes e o de não-ruminantes, dentre os quais se encontram animais de grande, médio e pequeno porte.

Os animais ruminantes desenvolvem uma fermentação pré-gástrica dos alimentos fibrosos com ajuda de microrganismos, produzindo ácidos graxos voláteis e biomassa bacteriana, aproveitáveis como energia e proteína, respectivamente (CABRAL et al., 2006; FURLAN et al., 2006), e metano (CH₄), não aproveitável. Só então os alimentos ingeridos pelos ruminantes sofrem digestão gástrica e absorção como na maioria dos outros animais.

Os resíduos finais da digestão são as fezes e urina, os quais contêm quantidades consideráveis de nutrientes que não foram utilizados pelos animais e, dependendo do porte do animal entre outros fatores, são excretados em grandes quantidades.

Somam-se às fezes e urina, num sistema de produção de ruminantes, “cama”, alimentos, pêlos, solo, água de higienização e água de chuva, dando origem aos dejetos que, dependendo do sistema de criação dos animais, podem ser gerados em grandes quantidades, com maior ou menor quantidade de um ou outro componente.

Esses dejetos, se não dispostos no meio de forma adequada podem contribuir para a contaminação do ar por liberação de amônia, CH₄, de compostos que causam odores, além da contaminação do solo e de águas superficiais e subterrâneas, por lixiviação de macro e micronutrientes, dentre os quais os de maior preocupação são o nitrogênio (N), o fósforo (P) e o potássio (K) (SMITH et al. 2001 e PEDREIRA & PRIMAVESI, 2006).

Na produção de ruminantes, destaca-se ainda a contaminação do ar por CH₄ liberado para o meio por eructação. Esse gás é um dos contribuintes do efeito estufa e tem sido motivo de preocupação e limitação do número de animais dos rebanhos de

algumas regiões do mundo (KOSARIC e VELIKONJA, 1995; MINAMI e TAKATA, 1997; PRIMAVESI et al., 2004).

Em 2006, de acordo com o IBGE o efetivo do rebanho nacional de ruminantes (bovinos, bubalinos, caprinos e ovinos) foi de 233.463.733 cabeças, dos quais, 1.597.701 cabeças foi o número de vacas ordenhadas naquele ano.

A maior parte das vacas leiteiras no Brasil não é criada em confinamento, mas permanece algum tempo retida no estábulo entre as ordenhas, gerando nas instalações quantidades consideráveis de dejetos. Admitindo-se que 15 kg de dejetos poderiam ser colhidos por animal diariamente nessas condições, o montante de dejetos em 2006 seria de 8,75 bilhões de kg. Na maioria das criações, os dejetos são tidos como problema e não são considerados nos custos de produção de leite.

Numa granja leiteira onde os animais recebem concentrado além do volumoso, o custo com a alimentação é o principal componente dos custos de produção do leite. Na região sudeste do Brasil, particularmente no Estado de São Paulo, em que os valores da terra são mais elevados, a opção mais viável para a produção de leite é o sistema intensivo. Se por um lado este tipo de intensificação gera um grande volume de leite por área, e para tal, demanda o fornecimento de uma alimentação adequada (em qualidade e quantidade) para os animais, por outro lado, gera um grande volume de dejetos.

Os custos de produção de alimentos de alto valor nutritivo para a alimentação animal, como o milho e a soja, são elevados e são amplamente utilizados na alimentação humana (OLIVEIRA et al., 2007). A substituição por outros alimentos mais baratos para a alimentação animal torna-se necessária mesmo porque os ruminantes, devido ao processo fermentativo microbiano ruminal, aproveitam alimentos fibrosos, podendo não ser competidor em relação à alimentação humana (FURLAN et al., 2006). Diante disso, muitas pesquisas têm dado atenção às fontes alternativas de energia e proteínas nas dietas de ruminantes (PASSINI et al., 2001; CAVALCANTI et al., 2008; MODESTO et al., 2008; PIRES et al., 2009; FERREIRA et al., 2009).

A origem, a quantidade e a qualidade das dietas fornecidas aos animais influenciam na quantidade e qualidade dos dejetos excretados. Então estudos que quantifiquem e caracterizem os dejetos segundo diferentes dietas mais comumente adotadas pelos produtores se fazem necessários para tomada de decisões quanto ao tratamento e/ou reciclagem de dejetos.

Salienta-se que o tratamento dos dejetos é relacionado à redução dos teores de matéria orgânica (MO), de microrganismos patogênicos e de nutrientes neles contidos, com potencial para causar impacto ambiental, enquanto que a reciclagem se relaciona com o aproveitamento de seus compostos.

O aproveitamento racional dos dejetos pode representar a maximização do uso do recurso alimentação - já que os dejetos ainda possuem propriedades energéticas e nutritivas que não foram aproveitadas pelos animais - contribuindo assim para a sustentabilidade do sistema de produção de leite.

A reciclagem energética dos dejetos pode ser realizada por meio da biodigestão anaeróbia em que a energia recuperada se dá na forma de biogás, uma mistura de gases contendo principalmente o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2). O biogás é passível de utilização em substituição aos combustíveis fósseis e para geração de eletricidade que pode ser utilizada para aquecimento, refrigeração, iluminação e misturadores de ração, por exemplo.

A reciclagem de nutrientes é possível simultaneamente, já que o produto resultante dos processos anaeróbios, o biofertilizante, é um adubo orgânico, rico em macro e micronutrientes que podem ser disponibilizados para as culturas vegetais quando da sua aplicação no solo.

Alguns estudos têm sido realizados com o objetivo de aumentar a produção de biogás por meio de diferentes métodos (ONG et al., 2000; SINGH et al., 2001). Um deles é o uso de aditivos que podem ser químicos (cromo, cobre, zinco, níquel, sais de ferro, sais de cálcio e sais de magnésio, dentre outros) ou biológicos (de origem vegetal, animal e fungos) (YADVIKA et al., 2004).

O caldo de cana-de-açúcar por suas propriedades, talvez possa ser utilizado como um aditivo, já que dispõe de elevadas quantidades de carboidratos prontamente

solúveis podendo proporcionar maior crescimento microbiano inicial, estabelecimento de maior população de microrganismos, maior degradação da MO do substrato e, conseqüentemente, maior produção de biogás.

A maior quantidade possível de biogás gerada por unidade de dejetos e a utilização de um volume menor de unidade de tratamento e/ou reciclagem são fatores que minimizam os custos de investimento do sistema de tratamento e/ou reciclagem de dejetos produzindo assim, energia de menor custo e essa, por sua vez, adquirida economicamente e utilizada no sistema de produção de leite, pode reduzir o custo de produção.

Os lucros podem ser ainda maiores se o biofertilizante resultante do sistema de tratamento e/ou reciclagem entrar no sistema de produção de alimentos que os animais consomem, contribuindo com nutrientes e condicionamento do solo em vez da compra de fertilizantes comerciais, tendo-se então, alimentos produzidos a custos menores.

Se a implantação dessas integrações é viável, maiores são as chances de se alcançar sustentabilidade no sistema de produção de leite, aproximando-o do conceito ambientalmente correto que, dependendo do sistema de produção, pode agregar valores ainda maiores para o leite produzido. Vantagens relacionadas com o aspecto visual e sanitário da granja leiteira podem ser trazidas por essas integrações.

1. Os Dejetos de Vacas Leiteiras: Produção, Impactos Ambientais e Econômicos

Segundo PEDREIRA & PRIMAVESI (2006) quer sejam animais criados em confinamentos ou extensivamente, ocorrem impactos ambientais negativos advindos desses sistemas. No modo extensivo em pastejo, há perdas de uma série de fatores que protegem o solo, que garantem o abastecimento de aquíferos com água de qualidade e da biodiversidade vegetal e animal. No modo confinado, apesar de serem utilizados alimentos de melhor qualidade e, portanto mais eficientemente utilizados

pelos animais, além da concentração de dejetos na área e perdas consideráveis de nutrientes por eles, devem ser consideradas as emissões de gases desde a produção desses alimentos.

Segundo TAMMINGA (2003) a intensidade da produção animal é o fator da extensão do impacto ambiental. Segundo esse autor, os impactos ambientais decorrentes da produção animal em sistema extensivo dependem da taxa de lotação e podem ser associados ao superpastejo, à degradação do solo e ao desmatamento. No caso de sistemas mistos de produção animal e vegetal, ocorrem muitas oportunidades de reciclagem de nutrientes e os impactos dependem das fontes de alimentação e do local em que são produzidas. Já nos sistemas intensivos, em que a taxa de lotação é maior do que 10 UA ha⁻¹ os alimentos geralmente são produzidos fora da propriedade, e os impactos ocorrem longe do local onde os alimentos foram produzidos.

Os dejetos como fator de impacto ambiental num sistema de produção de ruminantes devem ser manejados com responsabilidade. Em confinamentos de vacas leiteiras, o manejo dos dejetos geralmente se dá na forma líquida, como observado no levantamento realizado por SMITH et al. (2001). Na forma líquida, os dejetos apresentam menos de 5% de sólidos totais (ST) (FULHAGE, 1997).

No Brasil, onde a maior parte das granjas leiteiras é de pequena e média escala, o que parece predominar é o manejo dos dejetos na forma sólida, por raspagem do piso das instalações. Na forma sólida, os dejetos apresentam de 15 a 20% de ST (FULHAGE, 1997). De acordo com esse autor, o sistema de manejo de dejetos sólido exige maior mão-de-obra por unidade de dejetos manejado em relação aos manejos de dejetos semi-sólido e líquido que podem ser manejados por sistemas hidráulicos, com menor exigência de mão-de-obra.

ADHIKARI et al. (2005) estimaram produções anuais de dejetos por vaca de peso corporal médio de 636 kg, na matéria natural (MN), em função do teor de umidade neles contidos (frescos e estocados) e encontraram médias de 4 a 21,4 t por animal, com teores de umidade variando de 30 a 87%.

De acordo com VAN HORN et al. (1994), a água é o componente mais variável dos dejetos. Suas quantidades nos dejetos dependem dos tipos de instalações (declive

e coletores), se contêm ou não águas residuárias, água de higiene dos animais, água de limpeza do piso e equipamentos, águas pluviais e se essas entram no sistema de coleta dos dejetos.

A quantidade de urina compondo a MN dos dejetos também é muito variável. MORSE et al. (1994) encontraram média da proporção fezes:urina de 1,6:1 em quatro períodos de colheita de dejetos de 12 vacas da raça Holandesa em lactação mantidas sob temperatura ambiente inferior a 30°C, com uma variação de 1,4:1 a 1,9:1. Eles afirmaram que em regiões ou períodos com temperaturas mais elevadas, pode-se esperar que a proporção de urina nos dejetos seja maior do que em locais ou períodos com temperaturas inferiores.

Outros fatores que podem influenciar a quantidade de dejetos são o sistema de produção, o clima e o período do ano, o peso corporal dos animais, o estado fisiológico (VAN HORN et al., 1994) e o nível de produção das vacas (WILKERSON et al., 1997).

MORSE et al. (1994) colheram dejetos de vacas leiteiras de alta produção, com peso médio de 567 kg de peso corporal, recebendo dieta basal por quatro períodos de colheita e verificaram produções médias de $60,3 \pm 11,9$ kg de MN dia⁻¹ (fezes e urina). Esses autores estimaram, para vacas com peso corporal de 454 kg, ou seja, aproximadamente uma UA, 48,10 kg de MN dia⁻¹ dos quais, 6,08 kg eram de MS e desses, 5,92 kg eram de MO.

De acordo com ADHIKARI et al. (2005) o conteúdo de nutrientes nos dejetos varia com a idade, o tipo e o tamanho dos animais, a composição da dieta que recebem e o consumo. MAGALHÃES et al. (2004) estudaram a substituição da silagem de milho por cana-de-açúcar para vacas em lactação e verificaram que o consumo de nutrientes foi menor conforme aumentaram a substituição da silagem de milho, exceto para lignina e carboidratos não fibrosos, presentes em maior quantidade na cana.

Para evitar perdas de nutrientes nos dejetos, esforços têm sido realizados na nutrição de ruminantes no sentido de aumentar a eficiência alimentar pelos animais pelo fornecimento de dietas que atendam apenas o necessário, pois tão logo os dejetos são produzidos ocorrem perdas de nutrientes para o meio e, dependendo para o que os dejetos são destinados, implicam em perdas econômicas.

De acordo com TAMMINGA (2003) essas perdas são inevitáveis, mas podem ser prevenidas ou controladas. Os aspectos que influenciam as perdas são o tipo do sistema de produção, densidade populacional dos animais, a espécie e o nível de manejo alimentar e dos dejetos, sendo que significativas perdas ocorrem durante a estocagem e aplicação no solo.

Muitos trabalhos têm mostrado em que vias e quantidades as perdas de nutrientes dos dejetos ocorrem, em diferentes condições, principalmente de N, P e K e os efeitos dessas perdas para o meio (WANG et al., 1999; HOODA et al., 2001; TAMMINGA, 2003; TARKALSON et al., 2006). Dejetos contendo menos nutrientes do que quando foram produzidos necessitam ser dispostos nas culturas em maiores quantidades, elevando os custos do carregamento, do transporte e da aplicação.

ADHIKARI et al. (2005) analisaram os custos do transporte de uma região com excesso de dejetos para outras com déficit que variaram de 40 a 90 km enquanto, dependendo da cultura, a variação viável para transporte foi de 28 a 41 km, sendo necessário subsídios ou redução nos teores de umidade para compensar o transporte mais longo. Os autores citaram que a redução de 50 para 40% de umidade aumentou em 10 km a viabilidade de transporte do mesmo.

Um cuidado importante a ser tomado com relação aos dejetos é o fato deles conterem agentes biológicos que podem causar prejuízos à saúde humana e animal e, portanto, perdas econômicas (CHADWICK et al., 2008). Devendo-se evitar a aplicação direta no solo de dejetos não tratados.

2. A Biodigestão Anaeróbia de Dejetos de Vacas Leiteiras, Utilização de Seus Produtos e Aspectos Econômicos

Durante o processo de biodigestão anaeróbia no qual estão envolvidos muitos microrganismos que se beneficiam do substrato para suas atividades metabólicas e reprodutivas, ocorrem três fases de transformação dos compostos dos substratos:

hidrólise, acidogênese e metanogênese. Deve-se considerar, entretanto, que elas ocorrem simultaneamente.

A fase de hidrólise envolve a transformação mediada por enzimas extracelulares dos compostos insolúveis e dos compostos com alto peso molecular como carboidratos, proteínas, lipídios e ácidos nucleicos em compostos solúveis mais simples como os monossacarídeos, os aminoácidos e os ácidos graxos. As bactérias que hidrolisam a MO nessa primeira fase são facultativas e anaeróbias estritas.

Na fase de acidogênese, os microrganismos transformam os produtos resultantes da fase anterior em ácido acético, hidrogênio, dióxido de carbono e outros ácidos orgânicos como o propiônico e o butírico que devem ser convertidos em ácido acético.

Na fase metanogênica, o ácido acético, o hidrogênio e o dióxido de carbono são convertidos em biogás pelas *archeas* metanogênicas (RUIZ et al., 1992; GARBA, 1996; HESSAMI et al. 1996; HAMMAD et al., 1999; LASTELLA et al., 2002; LIU et al., 2002).

De acordo com ZINDER (1993) as metanogênicas têm a característica fisiológica de serem extremamente especializadas catabolicamente e se beneficiam de compostos simples. A maior parte das metanogênicas consome um ou dois substratos e, por isso, dependem de outros microrganismos. Embora as metanogênicas não cresçam nem produzam CH₄ na presença de O₂, são tolerantes à exposição e são capazes de muitas adaptações fisiológicas para sobreviverem em meio com salinidade, pH e temperatura adversos.

A biodigestão anaeróbia pode ocorrer em três faixas de temperatura, a psicrófila (até 25 °C), mesófila (de 25 a 40 °C) e termófila (acima de 40 °C) (EL-MASHAD et al., 2004; BOUALLAGUI et al., 2004).

AHN & FORSTER (2002) e BOUALLAGUI et al. (2004) citaram que o sucesso da biodigestão anaeróbia depende da manutenção da temperatura de operação do biodigestor, pois as metanogênicas são muito sensíveis a choques de temperatura. CHAE et al. (2008) encontraram redução de 7,2% na produção de biogás (considerada baixa) e afirmaram que as metanogênicas podem se adaptar às mudanças na

temperatura, desde que não hajam maiores mudanças na operação. Quando os autores promoveram choque de temperatura de 35 para 30°C, a recuperação da produção de biogás ocorreu apenas 40 horas após o choque.

No entanto, qualquer dispositivo utilizado para aquecer o substrato do biodigestor implica em maiores gastos com a construção e a operação do mesmo. É interessante então avaliar formas de aumentar a produção de biogás independente da faixa de temperatura em que os biodigestores podem ser operados. De acordo com EL-MASHAD et al. (2006) a simplicidade do projeto, de operação e os custos constituem fatores que devem ser considerados na implantação de biodigestores.

Os dejetos de vacas leiteiras como substratos para biodigestores têm alto conteúdo de fibras o que limita o processo de biodigestão anaeróbia devido à difícil decomposição e problemas de entupimento nos biodigestores (WEN et al., 2007).

Devido a esse problema, MØLLER et al. (2004) estudaram o efeito da separação de sólidos de dejetos de vacas e de suínos na produção de biogás e verificaram que os dejetos de vacas tinham a maior proporção de carboidratos mais dificilmente degradáveis do que os dejetos de suínos e atribuíram ao tipo de alimentação que esses animais recebem, o volumoso, com lignina ligada à celulose. Observaram também que vacas que receberam apenas volumosos tiveram menores produtividades de biogás do que aquelas que receberam volumoso e concentrado na dieta.

De acordo com SINGH et al. (2001) a população de microrganismos se estabelece conforme o substrato, sendo que a eficácia da conversão dos compostos em biogás depende da disponibilidade e da biodegradabilidade do substrato.

Desse modo, a avaliação da biodigestão anaeróbia de substratos cujos dejetos tenham sido produzidos por animais que receberam diferentes dietas se faz interessante, pois as características dos substratos são diferentes. Alimentos de maior qualidade (em energia, nutrientes e degradabilidade) e, conseqüentemente, dando origem a dejetos mais ricos (em energia, nutrientes e degradabilidade) podem reagir diferentemente de dejetos mais pobres quando submetidos à biodigestão anaeróbia.

Os efeitos relacionados poderiam ser na quantidade (volume) e qualidade (percentual de CH₄) do biogás, no início da sua queima, nas condições ótimas de

operação do sistema (pH e alcalinidade) e na qualidade do biofertilizante (quantidade e disponibilidade dos nutrientes).

De acordo com MØLLER et al. (2004) a produtividade de CH_4 pode ser expressa como a produção de metano (L ou m^3) por massa (g ou kg) de sólidos voláteis (SV) adicionados no biodigestor e é dita como rendimento final de metano ou B_0 (ou específico conforme AMON et al., 2007) e de SV reduzidos ou destruídos, de rendimento teórico ou B_u , o que indica que toda a MO foi degradada e para alcançá-la, um longo tempo de retenção hidráulica (TRH) é necessário.

Dependendo da estocagem dos dejetos antes da biodigestão anaeróbia, os valores de B_u podem ser menores devido perdas de CH_4 e CO_2 . Esses parâmetros são importantes para o aspecto econômico nos projetos de biodigestão anaeróbia, pois estão relacionados com o volume necessário da unidade biodigestora e a economia da instalação.

AMON et al. (2007) citaram trabalhos cujos potenciais dos dejetos de vacas variaram de 140 a 300 L de $\text{CH}_4 \text{ kg}^{-1}$. Esses autores trabalharam com a biodigestão anaeróbia de dejetos de vacas de baixa, média e alta produção de leite (11,2 a 29,2 L dia^{-1}) e alimentação à base de concentrado e volumoso (feno ou silagem de gramínea ou silagem de milho). A MS dos dejetos variou de 12,88 a 15,96%.

Observaram também que os dejetos de vacas apresentaram diferentes teores de proteína bruta quando comparados dentro dos níveis de produção de leite e que aqueles substratos com maiores teores de PB apresentaram maior produção de CH_4 nos biodigestores e que a lignina reduz a produção específica de CH_4 . As maiores produções de biogás foram alcançadas pelos dejetos oriundos de vacas alimentadas com dieta bem balanceada e de média produção de leite, cujo potencial dos SV adicionados foram de 166,3 L de $\text{CH}_4 \text{ kg}^{-1}$.

KOSARIC & VELIKONJA (1995) citaram que 1 m^3 de biogás (que contém aproximadamente 60% de CH_4 se oriundo de dejetos de vacas) pode ser aplicado para iluminação por lâmpada de 60 watts por cerca de sete horas, ou gerar 1,25 kW de eletricidade ou funcionar um motor de 2 HP por uma hora.

ESPERANCINI et al. (2007) estudaram a viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás oriundo de dejetos de suínos obtido em biodigestores modelo indiano para uso em domicílios (cocção, aquecimento de água para banho e iluminação de interior) e em atividades agroindustriais (lança-chamas, triturador e aquecimento de água para banho) e constataram viabilidade da implantação de biodigestores, com recuperação do investimento em 2,5 anos para o biodigestor para fornecimento de energia para cinco domicílios e de 11 meses para o biodigestor nas atividades agroindustriais.

Vale ressaltar que esse biodigestor tem alto custo devido o gasômetro ser de aço, o que nesse estudo chegou a equivaler à 51,62% do custo do biodigestor. Os autores produziram biogás ao custo de R\$ 190,00 o m³, porém citaram trabalhos em que biodigestores de maiores escalas produziram biogás por R\$ 80,00 o m³. Quanto ao biofertilizante, os autores consideraram a produção mas não os custos com a aplicação.

O biofertilizante, passível de ser utilizado na adubação de vegetais, tem características muito diferente das iniciais, mas não é seguro que seja inócuo e se manipulado inadequadamente pode provocar doenças nos homens e animais (SCHOCKEN-ITURRINO et al., 1995). Esses autores trabalharam com dejetos de bovinos diluídos em água (1:1) em biodigestores intermitentes, sem agitação e com TRH de 20, 35 e 50 dias e não isolaram bactérias patogênicas nos maiores TRH sendo que 20 dias foram insuficientes para a eliminação de *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*.

O TRH, portanto, deve ser uma preocupação relevante no planejamento do sistema de biodigestão anaeróbia já que esse parâmetro operacional influencia o custo de implantação do sistema, o custo de operação, a qualidade do biogás e do biofertilizante obtidos.

Nesse contexto, um levantamento de impacto ambiental, de balanceamento de nutrientes e de energia ou análise econômica num sistema de produção de ruminantes, como um todo, é complexo, envolvendo inúmeros fatores inerentes aos animais e ao meio ocorridos a curto ou longo prazo, dentro ou fora do sistema de produção. Assim, procurou-se relacionar principalmente a alimentação, a produção de dejetos

(características e quantidades) e a produção de energia e biofertilizante conforme os seguintes objetivos:

OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito da adição de caldo de cana em substratos contendo dejetos de vacas em lactação submetidos à biodigestão anaeróbia em biodigestores batelada e semi-contínuos no intuito de aumentar a produção de biogás.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a dosagem de caldo de cana-de-açúcar para aumentar a produção de biogás e a dosagem prejudicial capaz de levar à paralisação da mesma.
- Realizar ensaio de quantificação e caracterização dos dejetos de vacas da raça Holandesa em lactação, confinadas, recebendo diferentes volumosos na dieta, dentre eles, silagem de milho, cana-de-açúcar *in natura* e cana-de-açúcar hidrolisada, como alternativa à silagem de milho.
- Realizar ensaios de biodigestão anaeróbia de dejetos de vacas da raça Holandesa colhidos segundo as dietas e, naqueles oriundos de animais que receberam cana-de-açúcar na dieta, adicionar a dose ideal de caldo de cana-de-açúcar e verificar seu efeito na produção de biogás.
- Avaliar os efeitos das dietas na biodigestão anaeróbia dos dejetos.
- Avaliar a qualidade dos biofertilizantes obtidos em biodigestores batelada e contínuos dos ensaios preliminar e definitivo representando condições de manejo semi-intensivo e intensivo de vacas em lactação, respectivamente.

REFERÊNCIAS

ADHIKARI, M. PAUDEL, K. P.; MARTIN JR., N. R.; GAUTHIER, W. M. Economics of dairy waste use as fertilizer in central Texas. **Waste Management**, Oxford, v. 25, p. 1067-1074, 2005.

AHN, J. H.; FORSTER, C. F. The effect of temperature variations on the performance of mesophilic and thermophilic anaerobic filters treating a simulated paper mill wastewater. **Process Biochemistry**, London, v. 37, n. 6, p. 589-594, 2002.

AMON, T.; AMON, B.; KRYVORUCHKO, V.; ZOLITSCH, W.; MAYER, K.; GRUBER, L. Biogas production from maize and dairy cattle manure – influence of biomass composition on the methane yield. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 118, p. 173-182, 2007.

BOUALLAGUI, H.; HAOUARI, O.; TOUHAMI, Y.; BEN CHEIKH, R.; MAROUANI, L.; HANDI, M. Effect of temperature on the performance of an anaerobic tubular reactor treating fruit and vegetable waste. **Process Biochemistry**, London, v. 39, n. 12, p. 2143-2148, 2004.

CABRAL, L. S.; VALADARES FILHO, S. C.; DETMANN, E.; MALAFAIA, P. A. M.; ZERVOUDAKIS, J. T.; SOUZA, A. L.; VELOSO, R. G.; NUNES, P. M. M. Consumo e digestibilidade dos nutrientes em bovinos alimentados com dietas à base de volumosos tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.35, n.6, p. 2406-2412, 2006.

CAVALCANTI, C. V. A.; FERREIRA, M. A.; CARVALHO, M. C.; VÉRAS, A. S. C.; SILVA, F. M.; LIMA, L. E. Palma forrageira enriquecida com uréia em substituição ao feno de capim Tifton 85 em rações para vacas da raça Holandesa em lactação, **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 4, p. 689-693, 2008.

CHAE, K.J.; JANG, A.; YIM, S.K.; KIM, I.S. The effects of digestion temperature and temperature shock on the biogas yields from the mesophilic anaerobic digestion of swine manure. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, p. 1-6, 2008.

CHADWICK, D.; FISH, R.; OLIVER, D.M.; HEATHWAITE, L.; HODGSON, C.; WINTER, M. Management of livestock and their manure to reduce the risk of microbial transfers to water – the case for an interdisciplinary approach. **Trends on Food Science & Technology**, v. 20, n. 5, p. 240-247, 2008.

EL-MASHAD, H. M.; van LOON, W. K. P.; ZEEMAN, G.; BOT, G. P. A.; LETTINGA, G. Effect of inoculum addition modes and leachate recirculation on anaerobic digestion of solid cattle manure in an accumulation system. **Biosystems Engineering**, London, v. 95, n. 2, p. 245–254, 2006.

ESPERANCINI, M. S. T.; COLEN, F.; BUENO, O. C.; PIMENTEL, A. E. B; SIMON, E. J. Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do estado de São Paulo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 110-118, 2007.

FERREIRA, A. C. H.; NEIVA, J. N. M.; RODRIGUEZ, N. M.; CAMPOS, W. E.; BORGES, I. Avaliação nutricional do subproduto da agroindústria de abacaxi como aditivo de silagem de capim elefante. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 2, p. 223-229, 2009.

FULHAGE, C. D. Manure management considerations for expanding dairy herds. **Journal Dairy Science**, Champaign, v. 80, n. 8, p. 1872-1879, 1997.

FURLAN, R. L.; MACARI, M.; FARIA FILHO, D. E. Anatomia e fisiologia do trato gastrintestinal. In: BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. **Nutrição de ruminantes**. Jaboticabal, FUNEP, 2006. p. 1-21.

GARBA, B. Effect of temperature and retention period on biogás production from lignocellulosic material. **Renewable Energy**, Oxford, v. 9, n. 1-4, p. 938-941, 1996.

HAMMAD, M. BADARNEH, D.; TAHBOUD, K. Evaluating variable organic waste to produce methane. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 40, n. 13, p. 1463-1475, 1999.

HESSAMI, M. A.; CHRISTENSEN, S.; GANI, R. Anaerobic digestion of household organic waste to produce biogás. **Renewable Energy**, Oxford, v. 9, n. 1-4, p. 954-957, 1996.

HOODA, P. S., TRUESDALE, V. W.; EDWARDS, A. C.; WITHERS, P. J. A.; AITKEN, M. N.; MILLER, A.; RENDELL, A. R. Manuring and fertilization effects on phosphorus accumulation in soils and potential environmental implications. **Advances in Environmental Research**, v. 5, n. 1, p. 13-21, 2001.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2008. Disponível em: (<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores>). Acesso em: 04 agosto 2008.
KOSARIC, N.; VELIKONJA, J. Liquid and gaseous fuels from biotechnology: challenge and opportunities. **FEMS Microbiology Reviews**, Amsterdam, v. 16, n. 2, p. 111-142, 1995.

LASTELLA, G.; TESTA, C.; CORNACCHIA, G.; NOTORNICOLA, M.; VOLTASIO, F.; SHARMA, V. K. Anaerobic digestion of semi-solid organic waste: biogas production and its purification. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 43, n. 1, p. 63-75, 2002.

LIU, W. T.; CHAN, O. C.; FANG, H. H. P. Microbial community dynamics during start-up of acidogenic anaerobic reactors. **Water Resource**, New York, v. 36, n. 13, p. 3203-3210, 2002.

MAGALHÃES, A. L. R.; CAMPOS, J. M. S.; VALADARES FILHO, S. C.; TORRES, R. A.; NETO, J. M.; ASSIS, A. J. Cana-de-açúcar em substituição à silagem de milho em dietas para vacas em lactação: desempenho e viabilidade econômica. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.33, n.5, p.1292-1302, 2004.

MINAMI, K.; TAKATA, K. Atmospheric methane: sources, sinks, and strategies for reducing agricultural emissions. **Water Science Technology**, Oxford, v. 36, n. 6-7, p. 509-516, 1997.

MODESTO, E. C.; SANTOS, G. T.; ZAMBOM, M. A.; DAMASCENO, J. C.; BRANCO, A. F.; VILELA, D. Consumo, digestibilidade e parâmetros ruminais em vacas gestantes alimentadas com silagem de rama de mandioca. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 944-950, 2008.

MØLLER, H.B.; SOMMER, S.G.; AHRING, B.K. Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 26, n. 5, p. 485-495. 2004.

MORSE, D.; NORDSTEDT, R. A.; HEAD, H. H.; VAN HORN, H. H. Production and characteristics of manure from lactating dairy cows in Florida. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 37, n. 1, p. 275-279, 1994.

NICHOLSON, R.J.; WEBB, J.; MOORE, A. A review of the environmental effects of different livestock manure storage systems, and a suggested procedure for assigning environmental ratings. **Biosystems Engineering**, London, v. 84, n. 4, p. 363-377, 2002.

OLIVEIRA, V. S.; FERREIRA, M. A.; GUIM, A.; MODESTO, E. C.; ARNAUD, B. L.; SILVA, F. M. Substituição total do milho e parcial do feno do capim-tifton por palma forrageira em dietas para vacas em lactação. Produção, composição do leite e custos com alimentação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 4, p. 928-935, 2007.

ONG, H. K.; GREENFIELD, P. F.; PULLAMMANAPPALLIL, P. C. An operational strategy for improved biomethanation of cattle-manure slurry in an unmixed, single-stage, digester. **Bioresource Technology**, Essex, v. 73, n. 1, p. 87-89, 2000.

PASSINI, R.; SPERS, A.; LUCCI, C.S. Efeito da substituição de milho pelo resíduo de panificação sobre as características de carcaça de novilhos da raça Holandesa. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 5, p. 1550-1557, 2001.

PEDREIRA, M. S.; PRIMAVESI, O. Impacto da produção animal sobre o ambiente. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. **Nutrição de ruminantes**. Jaboticabal, FUNEP, 2006. p. 497-511.

PIRES, A. J. V.; CARVALHO, G. G. P.; GARCIA, R.; CARVALHO JÚNIOR, J. N.; RIBEIRO, L. S. O.; CHAGAS, D. M. T. Capim elefante ensilado com casca de café, farelo de cacau ou farelo de mandioca. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 1, p. 34-39, 2009.

PRIMAVESI, O.; FRIGHETTO, R. T. S.; PEDREIRA, M. S.; LIMA, M. A.; BERCHIELLI, T. T.; BARBOSA, P. F. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 3, p. 277-283, mar. 2004.

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

SCHOCKEN-ITURRINO, R. P.; BENINCASA, M.; LUCAS JÚNIOR, J.; FELIS, S. D. Biodigestores contínuos: isolamento de bactérias patogênicas no efluente. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 15, p. 105-108, 1995.

SINGH, S.; KUMAR, S.; JAIN, M. C.; KUMAR, D. Increased biogas production using microbial stimulants. **Bioresource Technology**, Essex, v. 78, n. 3, p. 313-316, 2001.

SINGH, S.; KUMAR, S.; JAIN, M. C.; KUMAR, D. Increased biogas production using microbial stimulants. **Bioresource Technology**, Essex, v. 78, n. 3, p. 313-316, 2001.

SMITH, K. A.; BREWER, A. J.; CRABB, J.; DAWVEN, A. A survey of the production and use of animal manures in England and Wales. III. Cattle manures. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 17, p. 77-87, 2001.

TAMMINGA, S. Pollution due to nutrient losses and its control in European animal production. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 84, p. 101-111, 2003.

TARKALSON, D. D.; PAYERO, J. O.; ENSLEY, S. M.; SHAPIRO, C. A. Nitrate accumulation and movement under deficit irrigation in soil receiving cattle manure and commercial fertilizer. **Agricultural Water Management**, v. 85, n. 1-2, p. 201-210, 2006.

VAN HORN, H. H.; WILKIE, A. C.; POWERS, W. J.; NORDSTEDT, R. A. Components of dairy manure management systems. **Journal Dairy Science**, Champaign, v. 77, n. 7, p. 2008-2030, 1994.

WANG, S. J.; FOX, D. G.; CHERNEY, D. J. R.; KLAUSNER, S. D.; BOULDIN, D. R. Impact of dairy farming on well water nitrate level and soil content of phosphorus and potassium. **Journal Dairy Science**, Champaign, v. 82, n. 10, p. 2164-2169, 1999.

WEN, Z.; FREAR, C.; CHEN, S. Anaerobic digestion of liquid dairy manure using a sequential continuous-stirred tank reactor system. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, Oxford, v. 82, p. 758–766, 2007.

WILKERSON, V. A.; MERTENS, D. R.; CASPER, D. P. Prediction of excretion of manure and nitrogen by Holstein dairy cattle. **Journal Dairy Science**, Champaign, v. 80, n. 12, p. 3193-3204, 1997.

YADVIKA, S.; SREEKRISHNAN, T. R.; KOHLI, S.; RANA, V. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques – a review. **Bioresource Technology**, Essex, v. 95, n. 1, p. 1-10, 2004.

ZINDER, S. H. Physiological ecology of methanogens. In: FERRY, J. G. **Methanogenesis: ecology, physiology, biochemistry & genetics**. Oxford: Chapman & Hall, 1993. p. 129-206.

CAPÍTULO 2 - ENSAIOS PRELIMINARES COM USO DE CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR NA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS DE VACAS EM LACTAÇÃO

RESUMO: Objetivou-se avaliar por meio do pH, alcalinidade, reduções de sólidos voláteis (SV), produções de biogás e potenciais de produção de biogás, a inclusão de caldo de cana-de-açúcar em substratos contendo dejetos de vacas leiteiras em biodigestores batelada e contínuos. O primeiro e segundo ensaios foram realizados em 24 biodigestores batelada de 60 L, contendo 0, 10, 20 e 30% e 0, 1, 3 e 6% de caldo de cana-de-açúcar em substituição de parte da água de diluição, respectivamente. O terceiro ensaio, foi realizado em seis biodigestores contínuos de 60 L, três biodigestores testemunha e três biodigestores nos quais foram aplicadas diferentes inclusões de caldo de cana-de-açúcar (de 1 a 20%) e diferentes tempos de retenção. O quarto ensaio foi realizado em garrafas de 2L contendo inóculo, dejetos frescos e 4, 8, 16, 33 ou 50% de caldo de cana-de-açúcar, avaliados com 1, 3, 5, 7 e 60 dias de tempos de retenção. Durante os ensaios 1, 2 e 3, o uso de 6% de caldo de cana-de-açúcar aumentou a produção de biogás sem quedas de pH e alcalinidade. Houve redução de SV de 58,54 e 38,32% e potenciais de 0,088 e 0,065 m³ de biogás kg⁻¹ de dejetos, para os biodigestores batelada e contínuos, respectivamente, superiores àqueles valores encontrados para os substratos que não receberam caldo de cana. Todavia, o uso de caldo nos substratos deve ser analisado economicamente, devendo o custo de sua obtenção ser superado pela receita da produção de biogás.

Palavras-chave: alcalinidade, batelada, contínuo, potenciais

PRELIMINARY TESTS USING SUGARCANE JUICE IN ANAEROBIC DIGESTION OF LACTATING COW MANURE

ABSTRACT: The aim was to evaluate the inclusion of sugarcane juice in substrates containing dairy cow manure into batch and continuous digesters, through pH, alkalinity, volatile solids reductions, biogas production and potentials. The first and second trials were conducted in batch digesters of 60 L containing 0, 10, 20 and 30% and 0, 1, 3 e 6% sugarcane juice replacing dilution water, respectively. The third trial was conducted in six continuous digesters of 60 L in stages with different inclusions of the sugar cane juice (1 at 20%) and different retention times. The fourth trial was conducted in bottles of 2 L containing inoculum, fresh manure and 4, 8, 16, 33 or 50% sugarcane juice, evaluated in 1, 3, 5, 7 and 60 days of retention times. In all trials the use of 6% sugar cane juice increased the biogas production without pH and alkalinity damage. There were volatile solid reductions 58.54 and 38.32%, volumetric potential 0.088 and 0.065 m³ kg⁻¹ from batch and continuous digesters, respectively, higher than control treatment. However, use of the juice should be considered economically because the costs for their obtaining must be overcome by biogas production.

Keywords: alkalinity, batch, continuous, potentials

INTRODUÇÃO

Concomitante à produção de leite, as granjas leiteiras produzem elevadas quantidades de dejetos que constituem biomassa passível de uso para geração de energia e adubação orgânica em culturas vegetais, reduzindo o uso de fontes convencionais de energia e fertilizantes comerciais já que a produção de leite no Brasil tem resistido às custas de pequenas margens de lucro, fazendo-se necessária a otimização dos recursos disponíveis no sistema para a redução dos custos de produção.

Com a biodigestão anaeróbia dos dejetos pode-se otimizar o processo de produção tanto pela reciclagem energética (produção e uso do biogás) como pela reciclagem de nutrientes (produção e uso do biofertilizante), contribuindo para a sustentabilidade do sistema.

Porém os custos de implantação de sistemas de biodigestão anaeróbia ainda são relativamente altos e a recuperação do investimento depende, dentre outros fatores, da quantidade e qualidade do biogás produzido, havendo necessidade de estudos que visem aumentar a eficiência total do processo para que se dê a aplicação prática dessa tecnologia (KASHYAP et al., 2003).

O caldo de cana-de-açúcar por suas propriedades, talvez possa ser utilizado como um aditivo para incremento da produção de biogás já que dispõe de elevadas quantidades de carboidratos prontamente solúveis podendo proporcionar maior crescimento microbiano inicial, estabelecimento de maior população de microrganismos, maior degradação da MO do substrato e, conseqüentemente, maior produção de biogás.

Além disso, a cana-de-açúcar é um produto com grande disponibilidade na região sudeste do Brasil, e é um alimento alternativo para os animais (AZEVEDO et al., 2003). Comumente, os produtores que costumam fornecer cana para os animais a têm na propriedade podendo acrescentar o caldo de cana na biodigestão anaeróbia.

COLEN (2003) estudou o uso de caldo de cana-de-açúcar como substrato de reator anaeróbio de fluxo ascendente. Para os abastecimentos, medidas como pré-fermentação, ajuste do pH e adição de nutrientes no substrato foram necessários.

De fato, alguns tipos de matéria orgânica (MO) contendo altas concentrações de lipídios, açúcares ou proteínas têm alto potencial para produzir metano (CH_4), mas devem ser tratados com cuidado se usados em biodigestores, devendo-se controlar suas taxas de inclusão (UMETSU et al., 2006).

Objetivou-se avaliar a biodigestão anaeróbia de dejetos de vacas em lactação com a adição de caldo de cana-de-açúcar para aumento da produção de biogás em biodigestores batelada e contínuos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista Câmpus de Jaboticabal-SP, Brasil. O clima da região é subtropical úmido, seco no inverno e com chuvas no verão, temperatura média anual de 22,2 °C, umidade relativa média anual de 70,8%.

Foram realizados, de 27 de abril de 2005 a 01 de fevereiro de 2007, ensaios de biodigestão anaeróbia em 30 biodigestores de campo (24 bateladas e 6 contínuos) com volume útil de 60 L, instalados no Departamento de Engenharia Rural, os quais foram descritos por ORTOLANI et al. (1986) e em 70 garrafas de Poli Tereftalato de Etileno (PET) com volume útil de 2 L, com mangueiras acopladas na tampa, coladas com silicone, cujas extremidades foram submersas em água e o conjunto disposto em bancada, conforme a Figura 1. Em todos os ensaios os biodigestores foram operados em temperatura ambiente.



FIGURA 1. Garrafas PET utilizadas como biodigestores batelada.

Os dejetos utilizados eram provenientes de vacas em lactação mantidas em sistema de produção semi-intensivo e ordenhadas duas vezes por dia. Eram sempre de um mesmo lote de coleta, obtidos por meio de raspagem do piso das instalações

parcialmente cobertas, sem “cama” e com poucas sobras de alimentos. Os animais eram alimentados com concentrado e silagem de milho e no fim da tarde eram liberados para pastejo.

O caldo de cana de cana-de-açúcar utilizado foi da variedade RB855536, classificada por AZEVÊDO et al. (2003) como não-precoce, mas intermediária no ciclo de produção no que se relaciona a atingir o teor de brix desejável.

No primeiro ensaio utilizaram-se 12 biodigestores batelada nos quais foram aplicados os tratamentos com 0, 10, 20 e 30% de caldo de cana (v/v) nos substratos. O segundo ensaio iniciou-se 70 dias após o início do primeiro, em 12 biodigestores batelada nos quais foram aplicados os tratamentos com 0, 1, 3 e 6% de caldo de cana (v/v) nos substratos.

O terceiro ensaio iniciou-se 21 dias após o início do segundo ensaio e foram utilizados seis biodigestores modelo indiano (contínuos) que foram abastecidos inicialmente com dejetos e água. A fase de partida teve duração de 58 dias e então iniciaram-se os abastecimentos diários. Três biodigestores receberam dejetos e água como substrato e os outros três, dejetos, água e caldo de cana como substrato. Ao longo do ensaio foram avaliados de 1 a 20% de caldo de cana-de-açúcar (v/v de carga diária).

Para a realização das cargas diárias os dejetos eram colhidos duas vezes por semana e armazenados em temperatura ambiente. Diferentes tempos de retenção hidráulica (TRH) foram testados, conforme descritos na Tabela 1.

TABELA 1 – Ensaio, tratamentos, tempos de retenção hidráulica (TRH) e as quantidades dos componentes dos substratos, dos sólidos totais (ST), dos sólidos voláteis (SV). Valores entre parênteses representam o tratamento com caldo de cana-de-açúcar

Caldo (%)	TRH (dias)	Dejeto (kg)	Água (kg)	Caldo ¹ (kg)	ST ² (kg)	SV ² (kg)
Ensaio 1						
0	210	23,22	36,78	0,00	4,00	3,34
10	210	23,22	33,10	3,68	4,69	3,94
20	210	23,22	29,42	7,36	4,86	4,12
30	210	23,22	25,75	11,03	6,12	5,28
Ensaio 2						
0	210	17,77	42,23	0,00	3,65	3,08
1	210	17,77	41,80	0,42	3,72	3,20
3	210	17,77	40,96	1,27	3,68	3,18
6	210	17,77	39,69	2,53	3,90	3,38
Ensaio 3						
1	40	17,48	27,47	0,45	2,62 (2,59)	2,35 (2,32)
2	40	19,00	27,40	0,93	3,13 (3,16)	2,77 (2,83)
2	30	21,87	30,33	1,04	3,33 (3,45)	2,97 (3,10)
3	30	25,40	30,66	1,68	3,53 (3,62)	3,08 (3,20)
4	30	27,81	37,92	2,63	4,18 (4,54)	3,65 (4,02)
6	30	26,49	33,45	3,60	4,03 (4,68)	3,43 (4,06)
8	30	24,80	39,00	5,10	4,12 (4,83)	3,50 (4,20)
10	30	38,70	57,96	9,67	6,25 (7,86)	5,54 (7,12)
10	40	15,50	25,10	4,06	2,69 (3,51)	2,41 (3,23)
Batelada ²						
5	20	39,68	64,72	5,22	6,70 (7,49)	5,98 (6,79)
7	30	18,73	23,80	2,98	2,74 (3,31)	2,40 (2,99)
8 a 20	30	20,95	29,31	7,04	3,23 (3,82)	2,88 (3,44)
Batelada ²						
	186					

¹Caldo de cana-de-açúcar. ²Fase batelada, sem cargas diárias

Após a operação com 10% de caldo de cana e TRH de 40 dias, os biodigestores do ensaio 3 foram mantidos sem carga para recuperação do processo de biodigestão anaeróbia dos substratos contendo caldo de cana. Após a retomada da produção de biogás, as cargas foram reiniciadas. Na fase final dos abastecimentos diários, elevou-se

a quantidade de caldo de cana no substrato em 2% a cada dois dias até atingir 20% de caldo de cana. Logo depois os abastecimentos diários foram suspensos.

No quarto ensaio, realizado em garrafas PET contendo 1,5 L de substrato, testaram-se sete tratamentos em cinco tempos de análises (1, 3, 5, 7 e 60 dias de TRH), com duas repetições. Todos os substratos continham efluente de biodigestor contínuo operado com TRH de 30 dias (inóculo). Os tratamentos testados e os componentes dos substratos estão apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 – Tratamentos e quantidades dos componentes dos substratos, de sólidos totais (ST) e voláteis (SV) utilizados no ensaio 4

Caldo de cana (%)	Inóculo ¹	Caldo	Dejetos	ST	SV
Testemunha ²	1,50	-	-	0,068	0,057
0	0,75	-	0,75	0,068	0,060
50	0,75	0,75	-	0,068	0,065
33	0,75	0,50	0,25	0,068	0,063
16	0,75	0,25	0,50	0,068	0,062
8	0,75	0,13	0,63	0,068	0,060
4	0,75	0,06	0,69	0,068	0,060

^{1,2} Efluente de biodigestor contínuo operado com dejetos de vacas leiteiras

Foram realizadas análises para caracterização dos dejetos, dos substratos e dos efluentes dos biodigestores. Os teores de sólidos totais (ST) e de sólidos voláteis (SV) foram determinados segundo metodologia descrita pela APHA (1995). O pH foi verificado nos inóculos, nos substratos e nos efluentes em peagâmetro digital. As produções de biogás foram calculadas com base no deslocamento do gasômetro medido com régua. O número obtido na leitura foi multiplicado pela área da seção transversal interna dos gasômetros, igual a 0,2827 m². Após cada leitura, os gasômetros foram zerados utilizando-se o registro de descarga do biogás.

A correção do volume de biogás para as condições de 1 atm e 20°C, foi efetuada com base no trabalho de CAETANO (1985). Para a correção do volume de biogás, considerou-se a pressão atmosférica média do local igual a 9641,77 mm de água e pressão conferida pelos gasômetros de 10,33 mm de água. A temperatura do biogás era verificada por ocasião da leitura da produção com o uso de um termômetro digital. Após cada leitura o termômetro era colocado no local de liberação de gás, até que ocorresse a estabilização e esta então era registrada.

Foram realizados testes de queima do biogás proveniente dos biodigestores para detecção de presença ou não de CH₄ em quantidade suficiente para manter a chama. Os testes foram realizados por meio de um bico de Bunsen cuja mangueira era acoplada à saída de biogás.

Os potenciais de produção de biogás foram calculados utilizando-se os dados de produção total de biogás e as quantidades de dejetos, de substrato, de ST e SV que entraram no biodigestor e dos SV reduzidos durante o processo. Os valores foram expressos em m³ de biogás por kg dejetos, de substrato, de ST e SV adicionados e de SV reduzidos.

A análise do biogás quanto aos teores de CH₄ e de dióxido de carbono (CO₂) foram realizados aleatoriamente durante os ensaios 1 a 3 e nos tempos de 1, 3, 5, 7 e 60 dias do ensaio 4 por meio de cromatógrafo de fase gasosa equipado com as colunas Porapack Q, peneira molecular e detector de condutividade térmica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 representa a produção de biogás durante os ensaios 1 e 2.

Nos primeiros 105 dias do ensaio 1 e 2 as temperaturas médias diárias do ar foram 19,6 e 21,4°C, nos últimos 105 dias, as mesmas foram 23,5 e 24,3°C,

respectivamente, indicando que o segundo ensaio foi conduzido em temperaturas mais altas.

No início do ensaio 1, os tratamentos contendo caldo de cana apresentaram picos de produção com queima do biogás em três dias para o tratamento com 30% de caldo de cana mas seguidos de paralisação da produção na qual observou-se que a pequena quantidade de biogás gerada tinha forte odor e não queimava, permanecendo assim por todo o período para esse tratamento.

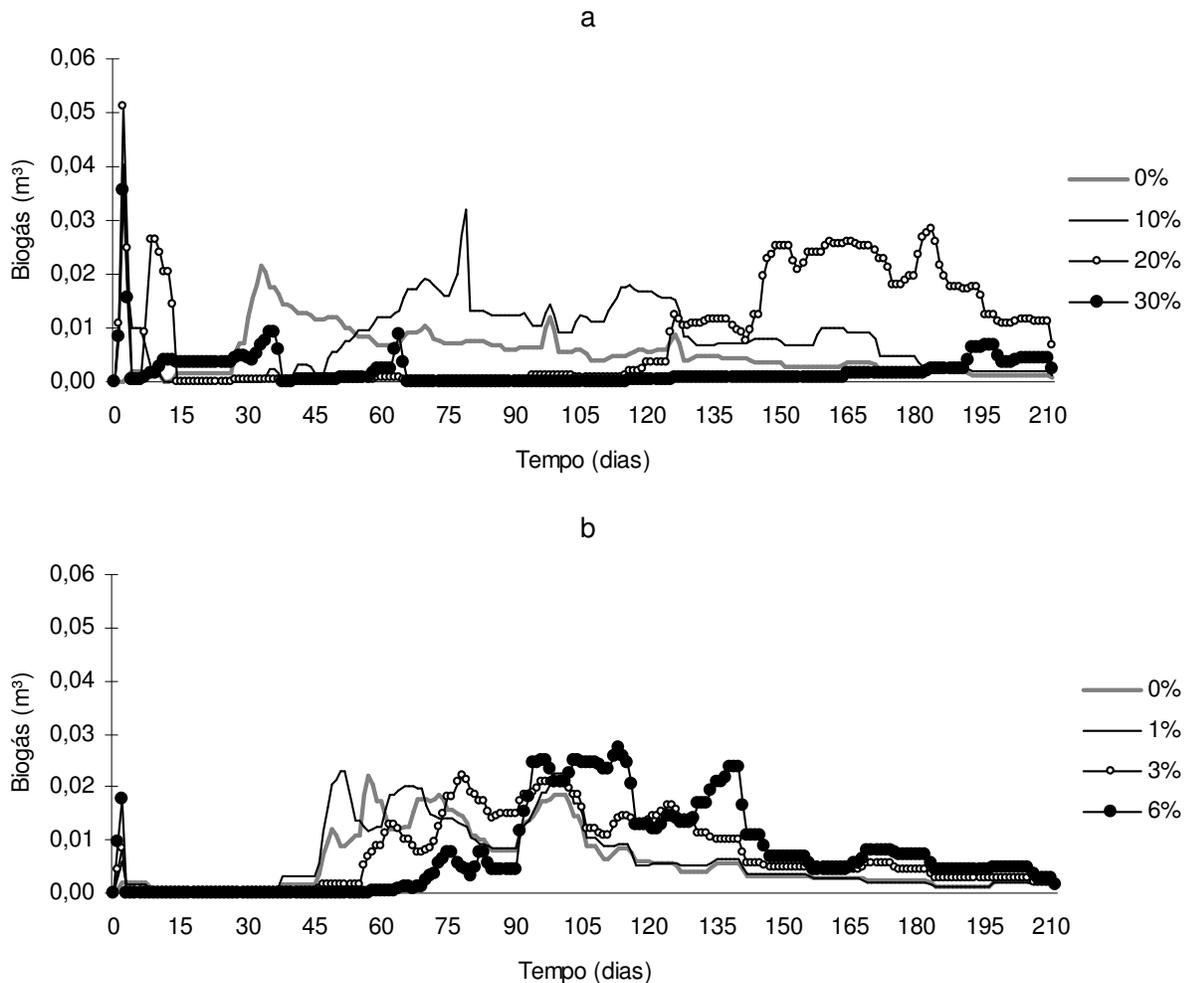


FIGURA 2. Produção de biogás em biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras, água e caldo de cana-de-açúcar (%). a) ensaio 1 e b) ensaio 2

Para o tratamento com 20% de caldo de cana houve uma retomada da produção de biogás, com queima do mesmo, mas de modo tardio, após 120 dias do abastecimento, sendo inviável sua recomendação mesmo em relação à testemunha (0% de inóculo) que apresentou menor produção de biogás.

Esse fato pode estar associado a baixas temperaturas ambientes, inadequadas para os microrganismos envolvidos no processo, à adaptação dos mesmos aos substratos ou à instalação de microrganismos mais efetivos na produção de biogás após outros microrganismos metabolizarem os ácidos graxos voláteis (AGV) produzidos em grande quantidade no início do processo tornando o meio mais favorável. Para quaisquer situações, um longo tempo foi necessário.

O tratamento contendo 10% de caldo de cana não demonstrou sinais severos de inibição. Então, realizou-se o ensaio 2, com quantidades de caldo de cana inferiores a 10%.

Nos primeiros 45 dias do segundo ensaio a temperatura média do ar foi de 18,7°C, o que deve ter promovido ambiente psicrófilo nos biodigestores apesar de serem subterrâneos. Além disso, os substratos não continham inóculo. De acordo com GARBA (1996) as metanogênicas são muito sensíveis às mudanças súbitas de temperatura.

As produções de biogás foram tardias nesse ensaio, cerca de 45 dias após os abastecimentos. O tratamento contendo 1% de caldo de cana teve produções próximas à da testemunha e os tratamentos com 3 e 6% de caldo de cana melhoraram suas produções cerca de 20 dias depois dos demais, sendo que o tratamento contendo 6% de caldo de cana apresentou maiores picos de produção de biogás.

Observou-se nos biodigestores batelada, que a carga inicial já contendo o caldo de cana, em condições de baixas temperaturas (de inverno), favoreceu uma rápida hidrólise dos compostos dos substratos, levando a grandes picos de produção de biogás no início do processo, ao que se seguiram quedas acentuadas de pH (dados não apresentados), constatadas pela amostragem de substratos por meio de seringa acoplada a uma mangueira de 5 mm de diâmetro colocada no local de liberação do

biogás. Os substratos retirados tinham aspecto viscoso e mal-cheiroso, principalmente dos tratamentos com 20 e 30% de caldo de cana.

De acordo com RIPLEY et al. (1986) a alta concentração dos substratos é um dos fatores que podem levar o processo de biodigestão anaeróbia à falência por inibição das metanogênicas. Na Tabela 3 encontram-se alguns parâmetros obtidos durante os ensaios 1 e 2.

TABELA 3 – Parâmetros obtidos nos ensaios 1 e 2 com biodigestores batelada operados com substratos contendo dejetos de vacas leiteiras e caldo de cana-de-açúcar

Inclusão de caldo	0%	10%	20%	30%	0%	1%	3%	6%
pH inicial	6,51	6,37	6,33	6,24	6,75	6,30	6,15	6,04
pH final	7,81	7,88	7,78	5,78	7,79	7,76	7,83	7,82
Produção de biogás (m ³)	1,13	1,69	1,83	0,41	1,24	1,37	1,53	1,56
Redução de ST (%)	43,23	59,24	58,54	48,54	36,71	47,66	50,14	51,17
Redução de SV (%)	49,51	63,92	61,75	50,44	45,27	55,76	57,46	58,54
Potenciais de produção de biogás								
Dejetos (m ³ kg ⁻¹)	0,049	0,073	0,079	0,018	0,070	0,077	0,086	0,088
ST adicionados (m ³ kg ⁻¹)	0,285	0,361	0,376	0,067	0,342	0,369	0,415	0,401
SV adicionados (m ³ kg ⁻¹)	0,342	0,430	0,444	0,078	0,406	0,428	0,481	0,463
SV reduzidos (m ³ kg ⁻¹)	0,702	0,674	0,719	0,143	0,925	0,772	0,841	0,790

Os valores de pH iniciais foram menores à medida que se empregou maior quantidade de caldo de cana no substrato em ambos ensaios. O pH dos efluentes foram próximos quando se utilizaram 0 a 20% de caldo de cana. O tratamento com 30% de caldo de cana apresentou pH final de 5,78, muito abaixo do ideal para condução ótima do processo de biodigestão anaeróbia, o que pode ter causado a menor produção total de biogás. Apesar do tratamento contendo 20% de caldo de cana ter apresentado o maior valor de produção total de biogás, sua maior parte foi alcançada após 120 dias de TRH.

As reduções de ST e de SV durante o processo de biodigestão anaeróbia variaram de 36,71 a 59,24% e de 45,27 a 63,92%, respectivamente, para os tratamentos com 0 a 10% de caldo de cana. O tratamento com 30% de caldo de cana,

apesar da reduzida produção de biogás, apresentou elevadas reduções de ST e de SV, indicando que esses compostos ao menos foram hidrolisados.

Esses efluentes quando retirados com seringa apresentavam forte odor de ácido acético (não medido). Para esse tratamento a análise de ST dos substratos segundo a APHA (1995) fazia restar um material com aspecto caramelizado. Após o processo de biodigestão anaeróbia, essa análise para ST nos efluentes não apresentou esse problema.

Os maiores potenciais de produção dos dejetos foram do tratamento com 6% de caldo de cana. O tratamento com 3% de caldo de cana, apesar de ter apresentado menor potencial dos dejetos, apresentou maiores potenciais para os ST e SV adicionados e para SV reduzidos, indicando que para biodigestores batelada, esse tratamento pode ser proposto já que levou à produções mais adiantadas de biogás e pelo fato de ser mais econômico em relação ao uso de 6% de caldo de cana.

Os valores de ST, SV e matéria mineral (MM) dos dejetos colhidos para os abastecimentos diários dos biodigestores contínuos estão apresentados na Tabela 4.

TABELA 4. Teores médios e desvios padrões de sólidos totais, sólidos voláteis, matéria mineral e coeficientes de variação (CV) dos dejetos de vacas leiteiras utilizados para o abastecimento de biodigestores contínuos obtidos em diferentes períodos do ano

Parâmetros	Período chuvoso	CV	Período seco	CV
	(% da MN ¹)	(%)	(% da MN ¹)	(%)
Sólidos totais	16,92 ± 1,55	9,14	17,89 ± 1,52	8,49
Sólidos voláteis	14,98 ± 1,43	1,43	15,65 ± 1,38	1,38
Matéria mineral	2,03 ± 0,47	0,47	2,24 ± 0,55	0,55

¹ MN = matéria natural; (n= 110).

Verificou-se que as médias de ST e de SV dos dejetos utilizados foram próximas em quaisquer períodos do ano e o coeficiente de variação pode ser considerado baixo. Na ausência de meios que determinem esses parâmetros em condições de campo, os valores médios apresentados podem ser úteis na formulação de substratos para biodigestores ou na elaboração de projetos, desde que os animais recebam silagem de

milho e concentrado na dieta. No entanto, é recomendável conhecer os ST e os SV dos dejetos em qualquer projeto.

A Figura 3 representa as médias das produções diárias de biogás obtidas no ensaio 3. Ver Anexo 1.

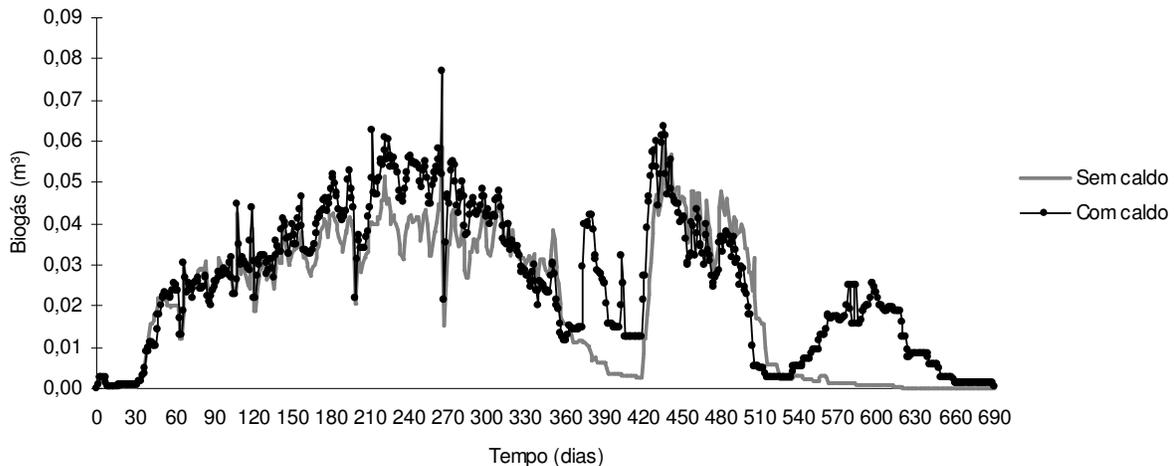


FIGURA 3. Produção de biogás de biodigestores contínuos operados com dejetos de vacas leiteiras, água, com e sem inclusão de caldo de cana-de-açúcar

Alguma diferença entre os tratamentos começou a ser observada à partir dos 148 dias, em que a inclusão de caldo de cana era de 3%. Dos 177 aos 210 dias, a inclusão de caldo de cana foi de 4%, dos 211 aos 241, 6%, dos 242 aos 274, 8% e de 275 a 324 dias, 10%, ao que se seguiu declínio da produção de biogás, mesmo depois sendo operado com 10% de caldo de cana e TRH de 40 dias. No 356º dia os abastecimentos foram suspensos e reiniciados no 421º dia. Após 505º dia os mesmos foram novamente suspensos.

Um maior distanciamento entre as curvas de produção de biogás dos tratamentos ocorreu dos 211 aos 274 dias em que os biodigestores foram operados com 6 e 8% de caldo de cana, não ocorrendo distúrbios nos biodigestores, como pode ser observado pelos dados obtidos durante o monitoramento e apresentados na Tabela 5.

Os substratos dos biodigestores testemunhas apresentaram pH de 5,03 à 6,00 e dos biodigestores com caldo de cana, de 4,97 à 5,86. Verificou-se pH ligeiramente mais baixo para esses substratos tão logo eram preparados. O valores médios de pH dos

efluentes oriundos dos biodigestores que receberam caldo de cana até 8% variaram de 6,72 à 7,38 e dos biodigestores testemunhas variaram de 6,80 à 7,40 durante todo o ensaio.

TABELA 5. Valores médios de pH, alcalinidade total (AT), parcial (AP), intermediária (AI), em mg de $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ dos efluentes, e metano (CH_4), em porcentagem, obtidos nos biodigestores contínuos. Valores entre parênteses representam as médias do tratamento com caldo de cana-de-açúcar

Caldo (%)	TRH	pH inicial	pH final	AT	AP	AI	CH_4
1	40	5,32 (5,23)	7,04 (7,00)	5288 (5033)	3043 (2487)	2057 (2547)	67,78 (64,11)
2	40	5,03 (4,97)	6,80 (6,72)	5003 (5035)	3560 (3302)	1443 (1733)	66,60 (67,37)
2	30	5,72 (5,64)	7,24 (7,21)	5240 (5240)	3840 (3854)	1400 (1420)	66,51 (64,89)
3	30	5,70 (5,54)	7,12 (7,11)	4027 (3987)	2987 (2857)	1040 (1130)	67,20 (65,40)
4	30	5,99 (5,85)	7,40 (7,38)	3880 (3617)	2950 (2793)	930 (823)	67,67 (65,59)
6	30	5,85 (5,70)	7,21 (7,15)	3520 (3480)	2807 (2580)	713 (900)	65,32 (63,39)
8	30	5,90 (5,75)	7,26 (7,21)	3140 (2640)	1700 (540)	1440 (2100)	67,44 (64,80)
10	30	6,00 (5,86)	7,36 (7,28)	3800 (3140)	2040 (760)	1760 (2380)	65,85 (61,45)
10	40	5,22 (5,16)	6,83 (6,47)	4640 (3120)	2700 (840)	1940 (2280)	63,63 (58,89)
5	20	5,48 (5,31)	7,10 (6,94)	3153 (2427)	1667 (550)	1487 (2060)	65,67 (62,67)
7	30	5,41 (5,27)	7,11 (6,56)	4040 (3300)	3300 (780)	1900 (2200)	70,74 (66,06)
8 a 20	30	5,25 (5,17)	6,86 (6,29)	4020 (3133)	2573 (907)	1447 (2227)	66,01 (56,58)

ANDERSON & YANG (1992) recomendaram pH entre 6,40 a 7,60 e afirmaram que em condições normais, o pH permanece próximo ao neutro sendo que o sistema funciona com equilíbrio de bicarbonatos e AGV.

De acordo com ANDERSON & YANG (1992) e JENKINS et al. (1991), a alcalinidade total (AT) nem sempre representa a capacidade tampão no biodigestor pois esse parâmetro inclui bicarbonatos e 80% dos ácidos voláteis (o primeiro neutraliza o segundo), são úteis apenas quando a concentração de ácidos voláteis é próxima de zero, o que não deve ter ocorrido no presente estudo.

De acordo com RIPLEY et al. (1986) a alcalinidade parcial (AP) é associada à bicarbonatos, enquanto a intermediária (AI), à ácidos voláteis; a relação AI:AP é análoga a ácidos voláteis:alcalinidade. De acordo com trabalho citado por esses autores, para biodigestores operados com esgoto doméstico, a relação AI:AP ótima deve estar entre 0,10 a 0,35, sendo que em situações de estresse no sistema, essa relação variou de 0,28 à 0,80, enquanto a estabilidade do sistema apresentou valores dessa relação em torno de 0,37. Os mesmos também recomendaram que para dejetos de aves, a melhor relação AI:AP é de 0,30.

No presente trabalho, a relação AI:AP variou de 0,25 a 0,89 para os efluentes testemunhas e de 0,29 a 0,39 para os tratamentos com 2 a 6% de caldo de cana. Quando operados com 6% de caldo de cana, a relação AI:AP foi de 0,35. Para 8% de caldo de cana, a relação AI:AP foi de 3,8 e daí em diante não ficou abaixo de 2,45.

Estudos são necessários para definir a melhor relação AI:AP para os dejetos de vacas leiteiras com diferentes concentrações de SV e TRH. Mesmo assim, a variação dos dados dos tratamentos que receberam mais de 6% de caldo de cana demonstra a instabilidade gerada no sistema, pois quanto mais alta a relação AI:AP mais altos os valores de AI e então, grandes quantidades de ácidos voláteis estão presentes no sistema e não são consumidos na mesma velocidade em que são produzidos.

Para JENKINS et al. (1991) a AP inferior a $1200 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ indica estresse no biodigestor, podendo ser um limite mínimo operacional para um bom funcionamento do processo. Os valores de AP encontrados a partir da operação com 8% de caldo de cana foram inferiores a $1200 \text{ mg de CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$, enquanto o tratamento testemunha não apresentou valores inferiores durante todo o ensaio.

SUNDH et al. (2003) verificaram quedas de alcalinidade total em biodigestores operados em condições estáveis, recebendo o mesmo tipo de substrato por três anos.

As quedas foram de 7000 mg de $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ para 5000 e 4000 mg de $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ após sobrecarga única de 15 e 25 vezes a mais de glicose em relação à carga diária. Após o consumo da glicose pelos microrganismos, os substratos voltaram a apresentar valores semelhantes aos iniciais.

Comparando-se os teores de CH_4 no biogás, o tratamento com caldo de cana apresentou, na maioria das vezes e principalmente após a operação com 8% de caldo de cana, 2,5% menos CH_4 no biogás que o tratamento testemunha. Segundo RIPLEY et al. (1986) os sintomas mais comuns de sobrecarga de MO no sistema são o aumento de CO_2 no biogás (ou redução do CH_4 nele) e quedas de pH.

A adição de 10% de caldo de cana nos biodigestores causou instabilidade no sistema, com queda na produção de biogás, no pH, na alcalinidade devida a bicarbonatos e percentual de CH_4 no biogás e então foi realizada uma tentativa de retomada da produção deixando os biodigestores por algum tempo sem efetuar os abastecimentos diários (a partir dos 353 dias).

Aos 374 dias, abriram-se todos os biodigestores e revolveram-se os substratos, tornando a fechá-los. Seguiu-se um período de altas produções de biogás por aqueles biodigestores operados com caldo de cana, sugerindo que os mesmos possuíam quantidade residual de nutrientes para os microrganismos da biodigestão anaeróbia.

Esses nutrientes, talvez carbono em excesso, estiveram presentes no substrato após vários dias, podendo ter mascarado resultados encontrados nas fases seguintes a um modelo de operação dos biodigestores (a resposta observada com 8% de caldo de cana pode ser devida à fase em que foram operados com 6%). O longo prazo para o uso desses nutrientes residuais também foi observado nos biodigestores batelada.

O caldo de cana, contribuindo com carboidratos prontamente solúveis, pode ser usado rapidamente no metabolismo e reprodução de microrganismos hidrolíticos, mas seus produtos podem não ser assimilados tão rapidamente por outros microrganismos quanto são produzidos. Segundo ANDERSON & YANG (1992) a população de microrganismos acidogênicos cresce com maior rapidez que a de metanogênicas e flutuações na carga orgânica e nas condições operacionais levam à variações na concentração de AGV, alterando o pH do substrato em fermentação.

Para VEDRENNE et al. (2008) o ideal seria diluir os dejetos de forma a conter menos do que 5 g L⁻¹ de AGV e menos do que 100 mg L⁻¹ de N para evitar inibição por AGV e amônia livre na biodigestão anaeróbia de dejetos de vacas, respectivamente. Para CHAE et al. (2008) que trabalharam com dejetos de suínos, se os substratos contiverem mais do que 45 g de SV L⁻¹, a biodigestão anaeróbia conduzida a 35 °C é mais econômica do que a 30 °C, o que implica que substratos mais concentrados são capazes de produzir mais biogás com temperaturas maiores.

As produções de biogás dos últimos 15 dias dos períodos em que os tratamentos com caldo de cana receberam 6 e 8% de caldo constam na Tabela 6.

TABELA 6. Valores médios de produção total e diária de biogás, desvios padrões e coeficientes de variação da produção diária de biogás de biodigestores contínuos operados com dejetos de vacas leiteiras quando receberam 6 ou 8% de caldo de cana-de-açúcar

Tratamento	Testemunha	6% de caldo	Testemunha	8% caldo
Produção total (m ³)	0,605	0,821	0,616	0,809
Produção diária (m ³)	0,038	0,051	0,038	0,051
Desvio padrão (m ³)	0,004	0,004	0,009	0,011
Coeficiente de variação (%)	10,51	7,84	24,26	22,71

As produções totais dos últimos 15 dias das duas fases foram próximas e as diárias iguais dentro dos tratamentos em ambas fases. Os coeficientes de variação de produção total e diária de biogás foram maiores para a testemunha e tratamento com 8% caldo de cana, talvez devido esse período coincidir com o outono, durante o qual podem ocorrer maiores variações na temperatura ambiente. A adição de 6 e 8% de caldo de cana no substrato promoveu um incremento na produção de biogás de 36,16 e 32,19%, respectivamente, em relação aos substratos sem caldo de cana.

Devido os distúrbios observados nos biodigestores operados com mais de 8% de caldo de cana, conduziu-se o quarto ensaio para monitoramento do processo de biodigestão anaeróbia logo após a sobrecarga. Nas Figuras 4, 5 e 6 estão representados os dados obtidos durante o ensaio 4.

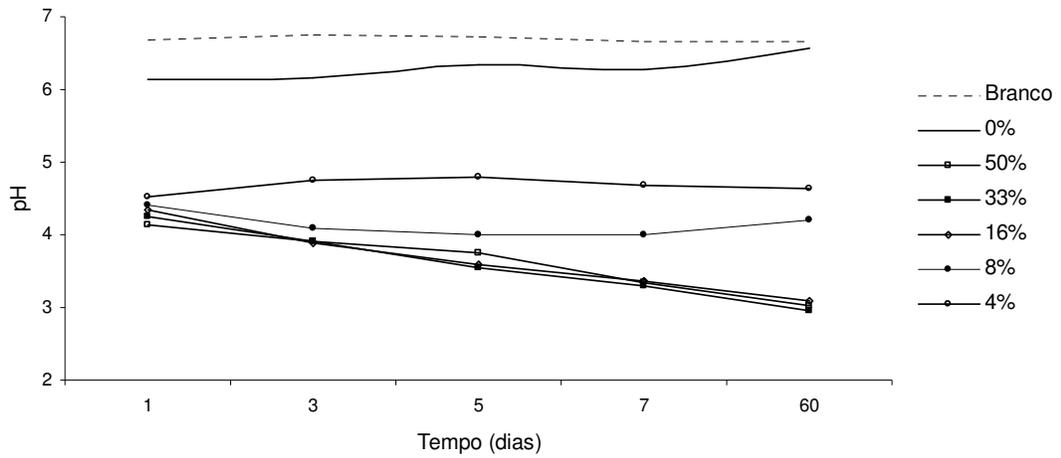


FIGURA 4. Valores de pH dos substratos fermentados em garrafas PET com diferentes concentrações de caldo de cana

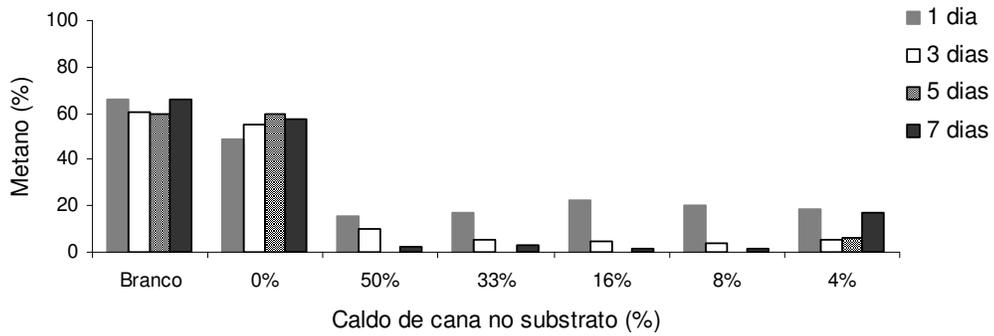


FIGURA 5. Porcentagem de metano no biogás de substratos fermentados em garrafas PET com diferentes concentrações de caldo de cana

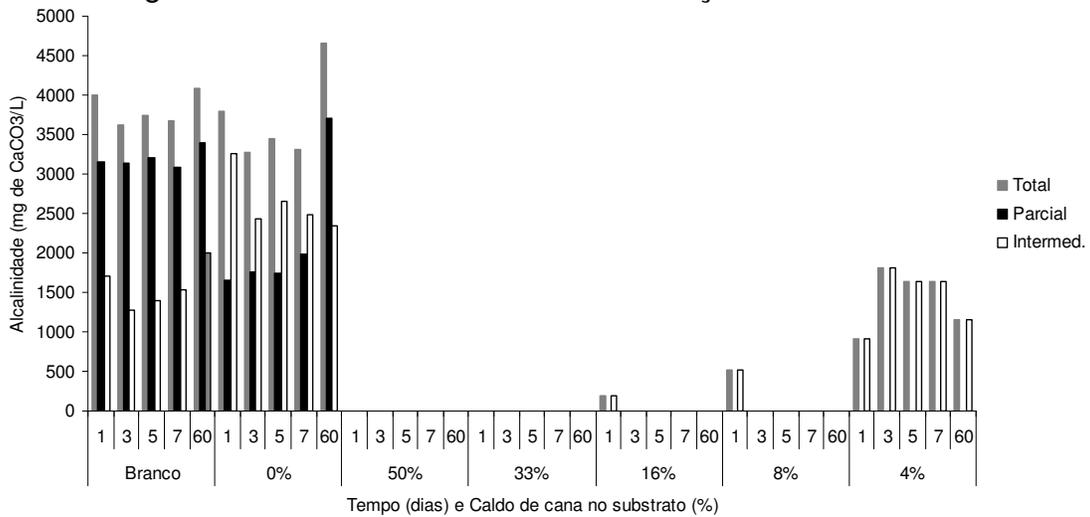


FIGURA 6. Valores de alcalinidade total, parcial e intermediária de substratos contendo dejetos de vacas leiteiras, água e diferentes concentrações de caldo de cana

O pH de todos os tratamentos contendo caldo de cana foi abaixo do recomendado para um processo de biodigestão anaeróbia satisfatório, sem tendência de elevação dentro de sete dias. Os tratamentos contendo 16, 33 e 50% de caldo de cana não se recuperaram mesmo aos 60 dias de TRH. Mesmo com 4% de caldo de cana a quantidade de CH₄ presente no biogás foi baixa nos primeiros sete dias.

Todos os tratamentos contendo caldo de cana apresentaram uma pequena quantidade de CH₄ no biogás no primeiro dia de TRH e menos ainda no terceiro e quinto dia. Todos os tratamentos contendo caldo de cana apresentaram valores nulos de alcalinidade parcial mesmo aos 60 dias de TRH, indicando a falência do processo.

O acréscimo de caldo de cana nos substratos pode ter causado a inibição das metanogênicas já que todos os substratos continham material já fermentado previamente (inóculo) em condições de estabilidade, e este, sozinho ou com dejetos fresco, apresentaram produção de CH₄ nos primeiros sete dias.

SUNDH et al. (2003) estudaram o efeito da sobrecarga de substrato com única dose de glicose na produção de biogás utilizando biodigestores de bancada. Os mesmos possuíam agitação e eram operados à 37°C, com substrato sintético por três anos, TRH de 20 dias e carga orgânica volumétrica de 1,00 g de SV L⁻¹ dia⁻¹. Os biodigestores receberam cargas 15 e 25 vezes a dose diária de glicose. Os autores tomaram amostras antes e depois (4 horas e 20 dias) e observaram que houve diferença na estrutura da comunidade microbiana e que toda a glicose foi consumida pelos microrganismos em apenas 2 a 3 dias, sendo a maior parte do carbono recuperada na forma de CH₄ e CO₂. Enquanto a glicose esteve disponível no substrato, a quantidade de CO₂ excedeu a de CH₄.

UMETSU et al. (2006) realizaram a co-digestão de dejetos de vacas e beterraba açucareira, parte aérea e raízes (moídas), que continham 17,98 e 7,80% de açúcares, respectivamente, em biodigestores batelada e contínuos, nos quais foram testadas 10, 20, 30 e 40% de inclusão de partes da planta e planta inteira em TRH de 20 dias à 55±1°C e abastecimento inicial com 50% de inóculo nos biodigestores batelada. Os autores verificaram aumento na produção de biogás em alguns tratamentos, mas paralização na produção de CH₄ quando utilizaram 30 e 40% da planta inteira e 15% de

raízes na co-digestão em biodigestores batelada. Nos contínuos, observaram que o uso de 40% da parte aérea na co-digestão aumentou 1,49 vezes a produção de CH₄ em relação à testemunha que continha apenas dejetos de vacas.

O caldo de cana foi estudado como substrato para a biodigestão anaeróbia por COLEN (2003) em reator anaeróbio de fluxo ascendente (reator UASB) a 35±1°C, com TRH de 20,00, 18,78 e 15,30 dias, com correção do pH por bicarbonato de sódio, retirada prévia do refrigerador (24 horas) para melhorar a relação C:N e adição de uréia e de fosfato diácido de potássio. O autor conseguiu maiores percentuais de CH₄ e maiores remoções de ST e SV (maior que 80%) nos maiores TRH.

O uso de caldo de cana com seus custos de obtenção, se acompanhado de correções do pH e de nutrientes podem encarecer ainda mais os custos de operação dos biodigestores. Contudo o caldo de cana talvez possa ser mais aplicável naquelas propriedades que cultivam a cana-de-açúcar para seu fornecimento na dieta dos animais.

CONCLUSÕES

Para que não haja comprometimento do processo de biodigestão anaeróbia em biodigestores batelada e contínuos por redução de pH e de alcalinidade com conseqüente redução na produção de biogás, recomenda-se a inclusão de até 6% de caldo de cana-de-açúcar em substituição de parte da água de diluição, podendo elevar a produção de biogás em até 36,16%. No entanto, a viabilidade econômica da adoção dessa tecnologia deve ser estudada já que a obtenção do caldo de cana-de-açúcar para esse fim tem custo.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, G. K.; YANG, G. Determination of bicarbonate and total volatile acid concentration in anaerobic digesters using a simple titration. **Water Environment Research**, Alexandria, v. 64, n.1, p. 53-59, 1992.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19th ed. Washington, 1995. 1100 p.

AZEVEDO, J. A. G.; PEREIRA, J. C.; CARNEIRO, P. C. S.; QUEIROZ, A. C.; BARBOSA, M. H. P.; FERNANDES, A. M.; RENNÓ, F.P. Avaliação da divergência nutricional de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.32, n.6, p.1431-1442, 2003.

CAETANO, L. **Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás**. 1985. 75 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1985.

CHAE, K. J.; JANG, A.; YIM, S. K.; KIM, I. S. The effects of digestion temperature and temperature shock on the biogas yields from the mesophilic anaerobic digestion of swine manure. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, n. 1, p. 1-6, 2008.

COLEN, F. **Potencial energético do caldo de cana-de-açúcar como substrato em reator UASB**. 2003. 85 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

GARBA, B. Effect of temperature and retention period on biogas production from lignocellulosic material. **Renewable Energy**, Oxford, v. 9, n. 1-4, p. 938-941, 1996.

JENKINS, S. R.; MORGAN, J. M.; ZHANG, X. Measuring the usable carbonate alkalinity of operating anaerobic digesters. **Journal WPCF**, v. 63, n. 1, p. 28-34, 1991.

KASHYAP, D. R.; DADHICH, K. S.; SHARMA, S. K. Biomethanation under psychrophilic conditions: a review, **Bioresource Technology**, Essex, v. 87, n. 2 , p. 147-153, 2003.

ORTOLANI, A. F.; BENINCASA, M.; LOPES, L. R.; BEDUSCHI, L. C.; LUCAS JÚNIOR, J.; ARAÚJO, J. A. C.; GALBIATTI, J. A.; MILANI, A. P.; DANIEL, L. A. Bateria de mini-biodigestores: Estudo, projeto, construção e desempenho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 15, 1986, São Paulo. **Anais...** Botucatu: FCA/UNESP, 1986. p. 229-239.

RIPLEY, L.E.; BOYLE, W.C.; CONVERSE, J.C. Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes. **Journal WPCF**, Alexandria, v. 58, n. 5, p. 406-411, 1986.

SUNDH, I.; CARLSSON, H.; NORDBERG, A.; HANSSON, M.; MATHISEN, B. Effects of glucose overloading on microbial community structure and biogas production in a laboratory-scale anaerobic digester. **Bioresource Technology**, Essex, v. 89, n. 3, p. 237-243, 2003.

UMETSU, K.; YAMAZAKI, S.; KISHIMOTO, T.; TAKAHASHI, J.; SHIBATA, Y.; ZHANG, C.; MISAKI, T.; HAMAMOTO, O.; IHARA, I.; KOMIYAMA, M. Anaerobic co-digestion of dairy manure and sugar beets. **International Congress Series**, Amsterdam, v. 1293, p. 307-310, 2006.

VEDRENNE, F.; BÉLINE, F.; DABERT, P.; BERNET, N. The effect of incubation conditions on the laboratory measurement of the methane producing capacity of livestock wastes. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, n. 1, p. 146-155, 2008.

CAPÍTULO 3 - QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE DEJETOS DE VACAS EM LACTAÇÃO CONFINADAS RECEBENDO DIFERENTES VOLUMOSOS

RESUMO: Objetivou-se quantificar e caracterizar os dejetos produzidos por vacas da raça Holandesa em lactação, confinadas, recebendo dietas contendo concentrado e quatro diferentes volumosos, silagem de milho (SM), cana-de-açúcar *in natura* (CIN), cana-de-açúcar hidrolisada com cal virgem (CHCV) e cana-de-açúcar hidrolisada com cal hidratada (CHCH). Foram utilizados oito animais em dois quadrados latinos, quatro períodos de colheita de dados, totalizando 32 dados. Houve efeito significativo de dieta ($P < 0,05$) na quantidade e na composição dos dejetos. As vacas que receberam CHCH apresentaram menores produções diárias de dejetos, média de 26,60 kg. Os nutrientes nitrogênio, fósforo e potássio dos dejetos não foram influenciados pelas dietas, as médias foram de 2,52; 1,71 e 1,22%, com base na MS, respectivamente. As dietas contendo cana-de-açúcar hidrolisada como volumoso proporcionaram o dobro da quantidade de cálcio nos dejetos em relação às dietas contendo outros volumosos.

Palavras-chave: cal, cana-de-açúcar, nutrientes, silagem de milho

QUANTIFICATION AND CHARACTERIZATION MANURE OF FEEDLOT DAIRY COW RECEIVING DIFFERENT FORAGES

ABSTRACT: The aim of this work was to quantify and characterize the manure produced by feedlot lactating Holstein cows, receiving diets containing concentrate and four different forages: corn silage (SM), sugar cane (CIN), hydrolyzed sugar cane with whitewash (CHCV), and hydrolyzed sugar cane hydrated lime (CHCH). Eight animals were used in two Latin squares, in four collection periods, totaling 32 samples. There was diet effect ($P < 0.05$) in the manure quality and composition. Cows that received

CHCH showed lower daily production, average of 26.60 kg of manure. The nutrients nitrogen, phosphorus and potassium from manure were not influenced by the diets, the averages were 2.52, 1.71 and 1.22%, % dry matter, respectively. Diets containing hydrolyzed sugarcane as roughage provided twice the amount of calcium in manure related to other diets.

Keywords: whitewash, sugar cane, nutrients, corn silage

INTRODUÇÃO

Os dejetos nas granjas leiteiras têm recebido crescente atenção, pois ocorrem perdas de nutrientes tão logo eles são produzidos, podendo causar contaminação do ar, do solo, de águas superficiais e subterrâneas (NICHOLSON et al., 2002; ADHIKARI et al., 2005); contêm microrganismos capazes de disseminar doenças no rebanho, para outras espécies e para o homem (HOODA et al., 2000); favorecem a proliferação de alguns moscas (GRUSENMEYER & CRAMER, 1997) e causam odores.

Outros problemas do uso dos dejetos são o seu grande volume e baixo valor fertilizante em relação aos fertilizantes comerciais. Outrossim, a geração de dejetos é contínua enquanto sua aplicação é sazonal, podendo ocorrer problemas de estocagem. Além disso, há dificuldade de se recomendar taxas de adubações com dejetos já que esses têm composição muito variável (ROSTON, 2001). Para WEN et al. (2004), uma alternativa para esses problemas é a transformação dos dejetos.

Essa transformação, no entanto, deve ser acompanhada do conhecimento das quantidades de dejetos geradas pelos animais e de suas características. O primeiro é uma ferramenta útil para o manejo adequado dos dejetos e para a elaboração dos sistemas de coleta e de reciclagem e/ou tratamento dos mesmos. O segundo pode ser útil para o planejamento do seu uso como fertilizante ou para medidas de controle de poluição ambiental.

No presente trabalho, objetivou-se quantificar e caracterizar os dejetos produzidos por vacas da raça Holandesa em lactação, confinadas, recebendo dietas contendo concentrado e quatro diferentes volumosos, silagem de milho, cana-de-açúcar *in natura*, cana-de-açúcar hidrolisada com cal virgem e cana-de-açúcar hidrolisada com cal hidratada.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista localizada em Jaboticabal-SP, Brasil. O clima da região é subtropical úmido, seco no inverno e com chuvas no verão, temperatura média anual de 22,2 °C, umidade relativa média anual de 70,8%.

Foram utilizadas oito vacas da raça Holandesa em lactação, com peso corporal médio de 640 kg, no período de 10 de julho à 30 de setembro de 2007, no setor de Bovinocultura de Leite, durante o qual foram fornecidas dietas isocalóricas e isoprotéicas com diferentes volumosos (quatro). O delineamento experimental utilizado foi o de quadrado latino repetido, com quatro períodos de colheita de dados e quatro vacas cada.

A instalação era do tipo *tie stall*, sentido norte-sul, com corredor central para fornecimento de alimentos, telhado abrigando os animais e no piso de concreto, “cama” de bagaço de cana-de-açúcar seco e moído, com aproximadamente 15 cm de altura. Os animais receberam vermífugo e foram contidos no canzil a fim de manter distância nos comedouros, porém dividiam a água aos pares.

Diariamente, os animais recebiam alimentação pela manhã, aproximadamente às 6 horas, e à tarde, aproximadamente às 14 horas, após as ordenhas. As dietas fornecidas continham além do concentrado, silagem de milho (SM) ou cana-de-açúcar *in natura*, folhas e colmos, picada (CIN) ou cana-de-açúcar, folhas e colmo, picada e hidrolisada com cal virgem (CHCV) ou cana-de-açúcar, folhas e colmo, picada e

hidrolisada com cal hidratada (CHCH). A cana-de-açúcar *in natura* era picada no momento do fornecimento em partículas entre 8 e 10 mm e as hidrolisadas eram picadas da mesma forma e hidrolisadas pelo menos 12 horas antes do fornecimento e fornecidas no máximo com 48 horas de armazenamento.

A hidrólise consistiu na homogeneização da cana picada com 0,5% de cal virgem ou hidratada (0,5 kg de cal misturada com 2 L de água para 100 kg de cana picada) (OLIVEIRA, 2005). As cales utilizadas tinham elevadas concentrações de óxido de cálcio e de hidróxido de cálcio e isentas de princípios tóxicos tais como dioxina e nitrofuranos.

A cana-de-açúcar era de variedade apropriada para a produção de álcool e açúcar, a RB855536, de quarto corte, com 13 meses de crescimento. Essa variedade foi classificada por AZEVÊDO et al. (2003) como não-precoce, mas intermediária no ciclo de produção no que se relaciona a atingir teor de brix desejável. De acordo com MENDES (2006) que avaliou oito variedades de cana-de-açúcar, essa variedade se destacou dentre as mais produtivas, com 161,4 t ha⁻¹ de matéria natural (MN), com teor de brix e sacarose iguais a 22,4 e 17,7%, respectivamente.

Foram adotados 15 dias como período de adaptação às dietas, aos quais se seguiram períodos de cinco dias para colheitas de dados. A composição bromatológica dos volumosos e do concentrado encontram-se na Tabela 1.

TABELA 1. Composição bromatológica dos volumosos silagem de milho (SM), cana-de-açúcar *in natura* (CIN), cana-de-açúcar hidrolisada com cal virgem (CHCV) e cana-de-açúcar hidrolisada com cal hidratada (CHCH) e do concentrado

Ingredientes	MS ¹	Nutrientes ²							
		MO	PB	EE	MM	FDN	FDA	LDA	CNF
SM	31,70	95,55	6,21	3,50	4,45	54,04	30,75	5,65	51,11
CIN	27,68	94,62	2,98	2,01	5,38	49,37	29,27	6,18	50,05
CHCV	27,69	95,76	2,99	2,46	4,24	52,01	30,11	6,03	51,17
CHCH	27,33	94,73	2,98	2,01	5,27	51,90	27,30	7,48	50,08
Concentrado	88,30	91,02	26,86	3,05	8,98	22,8	6,81	1,46	46,87

¹Porcentagem da material natural. ² Porcentagem da MS. MO: matéria orgânica, PB: proteína bruta, EE: extrato etéreo, MM: matéria mineral (SILVA & QUEIROZ, 2002), FDN: fibra em detergente neutro, FDA: fibra em detergente ácido, LDA: lignina em detergente ácido (Van SOEST et al., 1991), CNF: carboidratos não-fibrosos (SNIFFEN et AL, 1992)

Antes dos períodos de colheitas de dados, o piso de concreto era raspado e retirada toda a “cama”. Nas tardes que antecediam a quantificação dos dejetos (produzidos em 24 horas) o piso era novamente raspado e limpo. Os dejetos eram colhidos por raspagem do piso pela manhã e pela tarde enquanto os animais eram ordenhados, de modo que os dejetos depositados durante a ordenha foram desprezados.

Durante cada período de colheita foram realizadas duas quantificações de 24 horas cada e durante todo o ensaio obtiveram-se 64 amostragens. No entanto, para cada período de colheita de dados utilizaram-se as médias das duas quantificações para a análise estatística. As pesagens eram feitas em balança digital de 15 kg (com duas casas decimais).

Amostras foram colhidas e verificadas quanto ao pH e congeladas para posterior caracterização. Os teores de matéria seca (MS) e de matéria orgânica (MO) foram determinados segundo metodologia descrita pela APHA (1995). Os macro nutrientes foram quantificados nas amostras secas à 55°C e moídas após digestão nitroperclórica segundo a metodologia descrita por TEDESCO et al. (1995).

Os teores de fósforo (P) foram determinados pelo método colorimétrico. Os teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) e potássio (K), foram determinados em espectrofotômetro de absorção atômica. Os teores de nitrogênio (N) foram quantificados pelo método micro-Kjeldahl conforme descrito por SILVA & QUEIROZ (2002).

Após a constatação de ausência de dados discrepantes e de que os mesmos atendiam as pressuposições da análise de variância a mesma foi realizada por meio do procedimento GLM do SAS® (2001) para as variáveis quantidades de dejetos produzidos na MN, quantidades e percentuais de MS e MO neles contidas e teores de macro nutrientes. A comparação de médias foi realizada por meio do teste de Tukey ao nível de significância de 0,05.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As quantidades de dejetos produzidos com base na MN, na MS e de MO e resultados estatísticos segundo as diferentes dietas estão apresentadas na Tabela 2.

TABELA 2. Resultados da análise estatística e médias das quantidades diárias de dejetos produzidos por vacas da raça Holandesa em lactação na matéria natural (MN), quantidades e percentuais de matéria seca (MS) e matéria orgânica (MO) neles contidas segundo as dietas contendo diferentes volumosos

Estatísticas	MN (kg)	MS (%)	MO (%)	MS (kg)	MO (kg)
F para Quadrado Latino (QL)	60,86 ^{**}	0,15 ^{ns}	2,64 ^{ns}	44,54 ^{**}	43,62 ^{**}
F para Colheita dentro de QL	3,86 [*]	1,75 ^{ns}	3,39 [*]	1,98 ^{ns}	1,25 ^{ns}
F para Vaca dentro de QL	9,68 ^{**}	2,07 ^{ns}	1,00 ^{ns}	6,53 ^{**}	6,35 ^{**}
F para Dieta	3,61 [*]	5,77 [*]	3,50 [*]	3,55 [*]	4,19 [*]
F para QL x Dieta	4,00 [*]	2,10 ^{ns}	0,03 ^{ns}	1,47 ^{ns}	1,13 ^{ns}
F para Dieta dentro de QL1	1,15 ^{ns}				
F para Dieta dentro de QL2	6,46 ^{**}				
Coeficiente de variação (%)	12,13	6,37	2,42	14,12	14,68
Médias das dietas:					
Silagem de milho	29,90 ^{AB}	16,83 ^A	87,34 ^{AB}	5,04	4,39 ^A
Cana-de-açúcar <i>in natura</i>	31,96 ^A	14,77 ^B	87,90 ^A	4,71	4,16 ^{AB}
Cana-de-açúcar hidrolisada com cal virgem	27,79 ^{AB}	15,54 ^{AB}	86,15 ^{AB}	4,23	3,65 ^{AB}
Cana-de-açúcar hidrolisada com cal hidratada	26,60 ^B	15,75 ^{AB}	84,78 ^B	4,13	3,51 ^B

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$). ^{ns} Não significativo ($P > 0,05$). ^{*} Significativo a 0,05. ^{**} Significativo a 0,01.

Pela análise dos dados verificou-se que houve efeito significativo da dieta ($P < 0,05$) na quantidade e composição dos dejetos. Para MN a interação entre dieta e quadrado latino foi significativa, porém sem importância prática.

Houve diferença significativa ($P < 0,05$) na quantidade de dejetos produzida na MN entre as dietas contendo CIN e CHCH, sendo que a menor produção foi a da dieta contendo CHCH, com 26,50 kg de dejetos dia^{-1} , ou seja, 20,15% menos dejetos produzidos diariamente em relação à CIN.

Nesse estudo, os fatores que podem estar relacionados com o conteúdo de MN nos dejetos, intrínsecos aos animais, são o consumo de alimentos e suas variáveis e a ingestão de água, não mensurada, já que o estado fisiológico foi controlado. Os fatores intrínsecos ao ambiente poderiam ser a entrada de “cama”, de restos de alimentos, de água de lavagem do piso e de água da higiene dos animais juntos aos dejetos e a época do ano influenciando o consumo de alimentos e de água, fatores controlados no planejamento e delineamento do experimento.

O fato da dieta contendo CHCH ter levado à menor produção de dejetos em relação ao CIN pode ser devido ao tipo de preparo desse volumoso. Durante a hidrólise, a cal reage com a fração fibrosa da cana-de-açúcar, possibilitando maior aproveitamento da mesma pelos microrganismos do rúmen, devido à maior digestibilidade da MS, da FDN, da FDA e da hemicelulose (SILVA et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2006; SILVA et al., 2006). Do ponto de vista da produção de leite, TEIXEIRA JÚNIOR (2008) observou aumento de 6,88% (1,30 kg de leite vaca⁻¹ dia⁻¹) e de 5,82% (1,10 kg de leite vaca⁻¹ dia⁻¹) em favor da CHCH e CHCV, respectivamente, em relação à cana-de-açúcar *in natura*.

Para a variável MS, em porcentagem, houve diferença significativa entre as dietas contendo SM e CIN, com médias de 16,83 e 14,77% de MS nos dejetos, respectivamente. Os dejetos mais líquidos como aqueles oriundos da dieta contendo CIN podem estar relacionados ao maior consumo de água provocado pela composição dessa dieta em relação àquela com SM.

Para a quantidade de dejetos produzida na forma de MS não houve diferença significativa ($P > 0,05$) e a média geral foi de 4,53 kg de MS de dejetos produzidos diariamente.

Para a variável MO, em porcentagem, houve diferença significativa entre as dietas contendo CIN e CHCH, com médias de 87,90 e 84,78%, respectivamente.

Menor conteúdo de MO nos dejetos ($P < 0,05$) foi apresentado pelos dejetos da dieta contendo CHCH em relação à SM, com média de 3,51 kg de MO nos dejetos dia⁻¹.

A dieta contendo SM apresentou 4,39 kg de MO nos dejetos dia^{-1} . O conteúdo de MO nos dejetos pode ser devido à menor degradabilidade e digestibilidade da dieta contendo CIN em relação à SM de modo que a MO não sendo bem aproveitada é excretada em maior quantidade.

Os coeficientes de variação foram relativamente baixos e poderiam ser menores se os dejetos fossem colhidos durante as ordenhas, já que os animais podem ser estimulados a defecar e urinar durante as movimentações. Desconsiderando o consumo de água e a não colheita dos dejetos durante as ordenhas, pode-se afirmar que há diferença na produção de dejetos quando há diferença nas composições das dietas.

MORSE et al. (1994) colheram dejetos de vacas leiteiras de alta produção, com peso corporal médio de 567 kg, recebendo dieta basal por quatro períodos de colheita e verificaram produções médias de dejetos de 60,3 kg de MN dia^{-1} . Os valores encontrados no presente estudo, variando de 26,60 a 31,96 kg de dejetos dia^{-1} , são inferiores, o que pode ser justificado pelo fato das vacas utilizadas terem sido de média produção, exigindo menor fornecimento de alimentos.

No entanto, foram próximos aos obtidos por AMON et al. (2007) que encontraram médias de MS variando de 12,88 a 15,96% da MN em dejetos de vacas leiteiras obtidos em seis diferentes granjas leiteiras de uma mesma região. LIAO et al. (2007) e WEN et al. (2007) encontraram médias de 13,42 e 14,60% de MS, respectivamente, em dejetos de vacas leiteiras que receberam dieta contendo alfafa, caroço de algodão, palha de trigo e grãos. RICO et al. (2007) trabalharam com dejetos de vacas leiteiras cuja MS e MO representava apenas 7,71 e 5,98% da MN dos dejetos, respectivamente.

MØLLER et al. (2004) trabalharam com dejetos de vacas e de suínos e verificaram que os dejetos de vacas tinham uma maior variação quanto à MS do que dejetos de suínos coletados individualmente e atribuíram o fato à variação no manejo alimentar e produtividade nas granjas leiteiras maior do que nas granjas de suínos.

As quantidades de matéria mineral (MM) como a diferença entre a MS e a MO, variaram de 0,55 a 0,65 kg, não analisadas estatisticamente. Enquanto a MM

representou média de 12,87% da MS dos dejetos oriundos das dietas contendo SM, CIN e CHCV, os da dieta contendo CHCH representou 15,22%, indicando que essa dieta determinou um incremento de MM nos dejetos.

Na Tabela 3 encontram-se os teores médios dos macronutrientes presentes nos dejetos segundo as diferentes dietas.

TABELA 3. Valores médios de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na), em porcentagem da MS dos dejetos de vacas em lactação segundo as dietas contendo diferentes volumosos

Estatísticas	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)
F para Quadrado Latino (QL)	7,21 [*]	1,91 ^{ns}	1,02 ^{ns}	4,91 [*]	0,49 ^{ns}	0,09 ^{ns}
F para Colheita dentro de QL	0,97 ^{ns}	2,17 ^{ns}	2,07 ^{ns}	3,72 [*]	11,77 ^{**}	1,94 ^{ns}
F para Vaca dentro de QL	0,74 ^{ns}	2,73 ^{ns}	14,42 ^{**}	0,55 ^{ns}	1,40 ^{ns}	5,89 ^{**}
F para Dieta	1,61 ^{ns}	0,54 ^{ns}	1,02 ^{ns}	32,16 ^{**}	1,74 ^{ns}	1,39 ^{ns}
F para QL x Dieta	0,63 ^{ns}	2,28 ^{ns}	0,96 ^{ns}	1,74 ^{ns}	1,06 ^{ns}	0,65 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	5,88	12,84	10,35	17,92	18,17	20,71
Médias das dietas						
Silagem de milho	2,59	1,74	1,27	2,01 ^B	0,67	0,12
Cana-de-açúcar <i>in natura</i>	2,56	1,75	1,22	2,45 ^B	0,64	0,15
Cana-de-açúcar hidrolisada com cal virgem	2,49	1,62	1,16	4,23 ^A	0,70	0,15
Cana-de-açúcar hidrolisada com cal hidratada	2,44	1,71	1,21	4,18 ^A	0,77	0,14

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$). ^{ns} Não significativo ($P > 0,05$). ^{*} Significativo a 0,05. ^{**} Significativo a 0,01.

As dietas não apresentaram efeito significativo ($P > 0,05$) nos teores de N, P, K, Mg e Na dos dejetos. O teor médio de N foi de 2,52%, de P foi de 1,71%, de K foi de 1,22%, de Mg foi de 0,70% e de Na de 0,14%.

LIAO et al. (2007) e WEN et al. (2007) encontraram teores médios de N de 2,9 e 3,0%, respectivamente, com base na MS, em dejetos de vacas leiteiras que receberam dieta contendo alfafa, caroço de algodão, palha de trigo e grãos, superiores aos encontrados no presente trabalho.

SAFLEY et al. (1984) colheram, separadamente, fezes e urina de vacas leiteiras de sete granjas leiteiras, mensalmente por um ano e não encontraram diferença

significativa ($P>0,05$) para N entre as granjas, a média foi de 5,14% da MS. Para os teores de P e K, os autores encontraram diferença significativa ($P<0,05$) entre as granjas e as médias variaram de 0,74 a 1,30% e de 2,22 a 2,90% da MS, respectivamente.

De acordo com ADHIKARI et al. (2005) o conteúdo de nutrientes nos dejetos varia com a idade, o tipo e o tamanho dos animais, a composição da dieta que recebem e o consumo.

Para os teores médios de Ca nos dejetos houve diferença significativa ($P<0,05$) entre as dietas, com maiores médias para as dietas contendo CHCV e CHCH, de 4,20%, aproximadamente o dobro daquelas das dietas contendo SM e CIN, de 2,12%. Esse macro nutriente é um dos componentes da cal virgem e da cal hidratada, utilizadas na hidrólise da cana-de-açúcar que, acrescentado à esse volumoso, foram ingeridos e excretados em maiores quantidades em relação às demais dietas.

As cales utilizadas representam fontes de cálcio de baixo custo e mesmo aumentando a excreção de Ca nos dejetos é provável que não representem impactos negativos para o meio se fornecidas para os animais em quantidades adequadas. No caso da cal hidratada a disponibilidade de Ca para as vacas é maior e beneficia a mineralização dos animais. Na quantidade em que foi fornecida, ou seja, 0,5%, a relação Ca:P permanece dentro dos limites para bovinos segundo suas exigências (OLIVEIRA et al., 2006).

Relacionando as quantidades de cálcio presentes nos dejetos de dietas contendo CHCV e CHCH com as quantidades de MS presentes nesses dejetos, o cálcio não interferiu na MS, de modo que a produção de MS a partir dessas dietas foram semelhantes à SM e CIN.

Os valores médios de pH dos dejetos encontram-se na Tabela 4.

Houve efeito significativo ($P<0,05$) da dieta no pH dos dejetos. Os maiores valores de pH foram dos dejetos oriundos das dietas contendo CHCV e CHCH, de 7,07 e 6,67, respectivamente. As dietas contendo SM e CIN não diferiram entre si ($P>0,05$), com valores de 6,40 e 6,52, mas diferiram daqueles dejetos oriundos da dieta contendo CHCV.

TABELA 4. Resultados da análise estatística e valores médios de pH dos dejetos de vacas da raça Holandesa em lactação que receberam dietas contendo diferentes volumosos

Estatísticas	pH
F para Quadrado Latino (QL)	1,14 ^{ns}
F para Colheita dentro de QL	2,12 ^{ns}
F para Vaca dentro de QL	1,20 ^{ns}
F para Dieta	6,90 ^{**}
F para QL x Dieta	1,93 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	6,72
Médias das dietas	
Silagem de milho	6,40 ^B
Cana-de-açúcar <i>in natura</i>	6,52 ^B
Cana-de-açúcar hidrolisada com cal virgem	7,07 ^A
Cana-de-açúcar hidrolisada com cal hidratada	6,67 ^{AB}

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$). ^{ns} Não significativo ($P > 0,05$). ^{*} Significativo a 0,05. ^{**} Significativo a 0,01.

RICO et al. (2007) trabalharam com as frações sólida e líquida de dejetos de vacas leiteiras e encontram pH de 7,00 para a fração líquida, próximos aos encontrados no presente trabalho, bem como AMON et al. (2007) que verificaram valores de pH variando de 6,60 a 6,95 para dejetos de vacas leiteiras obtidos em seis diferentes granjas nas quais todas as dietas diferiam no nível de concentrado de volumosos fornecidos além das diferenças nos níveis de produção dos animais.

CONCLUSÕES

As produções de dejetos foram influenciadas pelas dietas estudadas. Menor produção diária de dejetos foi apresentada pela dieta contendo cana-de-açúcar hidrolisada com cal hidratada + concentrado, com média de 26,60 kg. A maior parte dos macronutrientes dos dejetos não foi influenciada pelas dietas. As dietas contendo cana-de-açúcar hidrolisada como volumoso proporcionaram o dobro da quantidade de cálcio nos dejetos.

REFERÊNCIAS

ADHIKARI, M.; PAUDEL, K. P.; MARTIN JR., N. R.; GAUTHIER, W. M. Economics of dairy waste use as fertilizer in central Texas. **Waste Management**, v. 25, n. 10, p. 1067-1074, 2005.

AMARAL, C.M.C.; AMARAL, L.A.; LUCAS JÚNIOR, J.; NASCIMENTO, A.A.; FERREIRA, D.S.; MACHADO, M.R.F. 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.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19th ed. Washington, 1995. 1100 p.

AMON, T.; AMON, B.; KRYVORUCHKO, V.; ZOLLITSCH, W.; MAYER, K.; GRUBER, L. Biogas production from maize and dairy cattle manure – influence of biomass composition on the methane yield. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 118, n. 1-4, p. 173-182, 2007.

AZEVEDO, J. A. G.; PEREIRA, J. C.; CARNEIRO, P. C. S.; QUEIROZ, A. C.; BARBOSA, M. H. P.; FERNANDES, A. M.; RENNÓ, F. P. Avaliação da divergência nutricional de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.32, n.6, p.1431-1442, 2003.

GRUSENMEYER, D. C.; CRAMER, T. N. A systems approach. **Journal Dairy Science**, Champaign, v. 80, n. 10, p. 2651-2654, 1997.

HOODA, P. S.; EDWARDS, A. C.; ANDERSON, H. A.; MILLER, A. A review of water quality concerns in livestock farming areas. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 250, n. 1-3, p. 143-167, 2000.

LIAO, W.; WEN, Z.; FREAR, C.; CHEN, S. Studying the effects of reaction conditions on components of dairy manure and cellulose accumulation using dilute acid treatment.

Bioresource Technology, Essex, v. 98, n. 10, p. 1992-1999, 2007.

MENDES, L.C. **Eficiência nutricional de cultivares de cana-de-açúcar**. 2006. 46 f.

Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

MØLLER, H. B.; SOMMER, S. G.; AHRING, B. K. Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 26, n. 5, p. 485-495, 2004.

MORSE, D.; NORDSTEDT, R. A.; HEAD, H. H.; VAN HORN, H. H. Production and characteristics of manure from lactating dairy cows in Florida. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 37, n. 1, p. 275-279, 1994.

NICHOLSON, R. J.; WEBB, J.; MOORE, A. A review of the environmental effects of different livestock manure storage systems, and a suggested procedure for assigning environmental ratings. **Biosystems Engineering**, London, v. 81, n. 4, p. 363-377, 2002.

OLIVEIRA, M. D. S. Cana reforça alimentação do gado. *Jornal UNESP*, v. 19, n. 203, p. 4, 2005.

OLIVEIRA, M. D. S. et al. Efeito da hidrólise da cal hidratada (hidróxido de cálcio) sobre a digestibilidade in vitro da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43, 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2006. (CD-ROM).

RICO, J. L.; GARCÍA, H.; RICO, C.; TEJERO, I. Characterization of solid and liquid fractions of dairy manure with regard to their component distribution and methane production. **Bioresource Technology**, Essex, v. 98, n. 5, p. 971-979, 2007.

ROSTON, D. M. Manejo e disposição de resíduos gerados pela bovinocultura leiteira. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38, 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBZ, 2001. 1 CD-ROM.

SAFLEY, L. M.; BARKER, J. C.; WESTERMAN, P. W. Characteristics of fresh dairy manure. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 27, n. 4, p. 1150-1153, 1162. 1984.

SILVA, R. A. et al. Efeito da adição da cal hidratada na cana-de-açúcar picada sobre a composição química e digestibilidade “in vitro” da matéria seca. REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43, 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, SBZ, 2005. 1 CD-ROM.

SILVA, T. M. et al. Efeito da hidrólise de diferentes variedades de cana-de-açúcar sobre a digestibilidade ruminal “in vitro”. REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBZ, 2005. 1 CD-ROM.

SILVA, D. J., QUEIROZ, A. C. **Análise de Alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3^a ed. Viçosa: Imprensa Universitária da UFV, 2002, 235p.

SAS INSTITUTE. **The SAS System for Windows**: version 8.02. Cary: SAS Institute, 2001. 1 CD-ROM.

SNIFFEN, C. J.; O'CONNOR, J. D.; VAN SOEST, P. J.; FOX, D. G.; RUSSEL, J. B. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 70, n. 11, p. 3562-3577, 1992.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).

TEIXEIRA JÚNIOR, D. J. Hidrólise da cana-de-açúcar com cal virgem e cal hidratada na alimentação de vacas leiteiras. 2008. 70 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 74, p. 3583-3597, 1991.

WEN, Z.; LIAO, W.; CHEN, S. Hydrolysis of animal manure lignocellulosic for reducing sugar production. **Bioresource Technology**, Essex, v. 91, n. 1, p. 31-39, 2004.

WEN, Z.; FREAR, C.; CHEN, S. Anaerobic digestion of liquid dairy manure using a sequential continuous-stirred tank reactor system. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, Oxford, v. 82, p. 758–766, 2007.

CAPÍTULO 4 - CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR NA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS DE VACAS EM LACTAÇÃO CONFINADAS RECEBENDO DIFERENTES VOLUMOSOS NA DIETA

RESUMO: Objetivou-se avaliar a produção e composição do biogás, os potenciais de metano (CH₄) e as reduções dos sólidos voláteis ocorridas em 15 biodigestores batelada e cinco contínuos, com volume de 8 L à 30±2°C, operados com dejetos de vacas da raça Holandesa em lactação que receberam dietas contendo silagem de milho (SM), cana-de-açúcar *in natura* (CIN) e cana-de-açúcar hidrolisada com cal virgem (CHCV), e outros substratos como CIN + caldo de cana (CINC) e CHCV + caldo de cana (CHCVC), 6% v/v. As quantidades de CH₄ obtidas no biogás foram de 58,81 a 62,29%. Nos biodigestores batelada a adição de caldo de cana-de-açúcar nos substratos causou instabilidade no início do processo. Maiores potenciais e reduções foram obtidos com os substratos CINC e CHCVC, com média de 0,258 e 0,226 L de CH₄ g⁻¹ de SV adicionados e reduções de SV de 55,61 e 51,86%, para os biodigestores batelada e contínuos, respectivamente.

Palavras-Chave: batelada, biogás, cana-de-açúcar, contínuos, silagem de milho

USE OF SUGARCANE JUICE IN MANURE ANAEROBIC DIGESTION OF FEEDLOT DAIRY COWS RECEIVING DIFFERENT FORAGES IN THE DIET

ABSTRACT: This work aimed to evaluate biogas production and its composition, methane potentials and volatile solid reductions in 15 batch and 5 continuous digesters, whose volume was 8 L, operated at 30±2°C using lactating Holstein cow manure that received diets containing corn silage (SM), sugarcane (CIN), and hydrolyzed sugarcane with whitewash (CHCV). Other substrates were CIN + sugarcane juice (CINC) and CHCV + sugarcane juice (CHCVC), 6% v/v, replacing dilution water. The amounts of

methane in the biogas were from 58.81 to 62.29%. In batch digesters the addition of sugarcane juice promoted early instability in the process. Higher potentials and reductions were found in the CINC and CHCVC treatments, average 0.258 and 0.226 L g⁻¹ added volatile solids and they had volatile solids reductions of 55.61 and 51.86%, for batch and continuous digesters, respectively.

Keywords: batch, biogas, sugarcane, continuous, corn silage

INTRODUÇÃO

A biodigestão anaeróbia de dejetos animais apresenta vantagens como a redução de insetos e microrganismos patógenos que se desenvolvem nos dejetos acumulados sem tratamento (HOODA et al., 2000), redução das emissões de gases malcheirosos e de poluentes do ar (VEDRENNE et al., 2008), redução de perdas de nutrientes para o solo e águas superficiais e subterrâneas devido o acúmulo indevido dos dejetos (MYINT et al., 2007), melhoria no aspecto visual da granja, redução de compra de fertilizantes e de combustíveis (DEMIRER & CHEN, 2008), desde que o projeto e o processo sejam adequadamente conduzidos (DEMIRER & CHEN, 2004).

Para a implantação de biodigestores, há custos elevados, havendo necessidade de otimização do sistema (KASHYAP et al., 2003) para obtenção de maior quantidade de metano (CH₄) por unidade de volume dos mesmos. Então, podem ser necessárias adições de elementos que incrementem as produções de CH₄, sem riscos ao processo.

Os dejetos de vacas leiteiras têm composição muito variável, em função da dieta, da época do ano, do estado fisiológico dos animais e da idade, por exemplo, sendo necessários estudos que quantifiquem a produção e composição do biogás desses dejetos segundo as dietas mais comuns nas granjas leiteiras.

Por motivos econômicos, os produtores vêm empregando alimentos alternativos na dieta dos animais, como a cana-de-açúcar em substituição à silagem de milho. A cana-de-açúcar apresenta algumas vantagens, dentre as quais, sua disponibilidade

principalmente no período seco do ano, quando outras forrageiras são escassas (OLIVEIRA, 1999; BALIEIRO NETO et al., 2007).

O caldo de cana-de-açúcar adicionado no substrato de biodigestores operados com dejetos de vacas leiteiras em lactação pode incrementar a produção de CH₄ pois contribui com carboidratos prontamente solúveis para o estabelecimento rápido e efetivo de comunidades microbianas típicas da biodigestão anaeróbia. Os produtores que fornecem cana-de-açúcar como volumoso para os animais poderiam facilmente fornecer o caldo de cana para a biodigestão anaeróbia dos dejetos.

Objetivou-se no presente trabalho, avaliar a produção e composição do biogás, os potenciais de CH₄ e as reduções de sólidos totais (ST) e voláteis (SV) ocorridas em biodigestores batelada e contínuos operados com dejetos de vacas da raça Holandesa em lactação recebendo dietas contendo silagem de milho, cana-de-açúcar *in natura* e cana-de-açúcar hidrolisada com cal virgem como volumoso. Buscou-se avaliar também os efeitos da inclusão de 6% de caldo de cana em substratos de biodigestores operados com dejetos oriundos de dietas contendo cana-de-açúcar na produção de biogás.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista localizada em Jaboticabal-SP, Brasil. O clima da região é subtropical úmido, seco no inverno e com chuvas no verão, temperatura média anual de 22,2 °C, umidade relativa média anual de 70,8%.

Concomitante a um experimento de quantificação de dejetos em que foram fornecidas dietas com diferentes volumosos para vacas em lactação, colheram-se os dejetos, separados por dietas, para o abastecimento de biodigestores batelada e contínuos. As dietas que os animais receberam continham, além do concentrado,

silagem de milho ou cana-de-açúcar *in natura*, folhas e colmos, picada e hidrolisada com cal virgem.

A cana-de-açúcar *in natura* era picada no momento do fornecimento e a hidrolisada, era picada, preparada e fornecida no mínimo 12 horas depois e no máximo com 48 horas de armazenamento. A variedade utilizada foi a RB855536 e o tamanho das partículas era de 8 a 10 mm.

Os dejetos eram isentos de “cama”, água de lavagem e de chuvas e continham quantidades desprezíveis de sobras de alimentos.

O experimento foi delineado em quadrado latino, com quatro períodos de colheita de dados, com 15 dias para adaptação dos animais às dietas. Na primeira colheita de dados, os dejetos colhidos serviram para o abastecimento dos biodigestores e na segunda, os dejetos foram colhidos e congelados para os abastecimentos diários dos biodigestores contínuos. Os dejetos utilizados não foram provenientes de animais tratados com antibiótico, conforme metodologia utilizada por KARIM et al. (2005a).

Nos dejetos oriundos de animais que receberam cana-de-açúcar na dieta foram analisados um tratamento controle e um tratamento com adição de 6% caldo de cana-de-açúcar (CCA) (v/v) em substituição de parte da água de diluição.

Nos biodigestores batelada o caldo de cana foi adicionado inicialmente e nos contínuos, as adições foram efetuadas por ocasião das cargas diárias, após um período de partida de 48 dias. Os caldos de cana utilizados foram provenientes da mesma cana-de-açúcar fornecida aos animais. As extrações de caldo de cana foram realizadas logo após a colheita e utilizado imediatamente ou para aqueles biodigestores abastecidos diariamente, congelado em pequenas quantidades.

Todos os substratos foram formulados para que contivessem 6% de ST. Os tratamentos, ou diferentes substratos, para biodigestores batelada e contínuos foram: dejetos oriundos de animais que receberam silagem de milho (SM) + água, dejetos oriundos de animais que receberam cana-de-açúcar *in natura* (CIN) + água, dejetos oriundos de animais que receberam cana-de-açúcar *in natura* + água + caldo de cana (CINC), dejetos oriundos de animais que receberam cana-de-açúcar hidrolisada com cal

virgem (CHCV) + água e dejetos oriundos de animais que receberam cana-de-açúcar hidrolisada com cal virgem +água + caldo de cana (CHCVC).

Os 15 biodigestores batelada e os cinco contínuos utilizados tinham volume útil de 8 L e eram dispostos em caixas d'água de 500 L, contendo água à $30 \pm 2^\circ\text{C}$. Os gasômetros eram separados e dispostos em caixa d'água contendo água e, superficialmente, lâmina de óleo com espessura de 30 mm, conforme descrito por HARDOIM et al. (1999).

Na Tabela 1 encontram-se as composições dos substratos dos biodigestores.

TABELA 1. Composição dos substratos de biodigestores batelada e contínuos operados com dejetos de vacas em lactação que receberam dietas contendo silagem de milho (SM), cana-de-açúcar *in natura* (CIN), cana-de-açúcar hidrolisada com cal virgem (CHCV) e os dois últimos acrescidos de caldo de cana, CINC e CHCVC

Tratamento	Dejeto (kg)	Água (kg)	Caldo de cana (kg)
Batelada			
SM	3,66	6,34	-
CIN	4,07	5,93	-
CINC	4,07	5,33	0,60
CHCV	4,05	5,95	-
CHCVC	4,05	5,35	0,60
Contínuos			
SM	3,66	6,34	-
CIN	4,07	5,93	-
CINC	4,07	5,93	-
CHCV	4,05	5,95	-
CHCVC	4,05	5,95	-

Note-se que os substratos dos biodigestores contínuos para a fase de partida não receberam caldo de cana, sendo idênticos aos dos tratamentos SM, CIN e CHCV dos

biodigestores batelada. Os abastecimentos diários foram iniciados quando os dejetos de todos os tratamentos alcançaram potencial de $0,04 \text{ m}^3$ de biogás kg^{-1} de dejetos, aos 48 dias.

As amostragens dos efluentes dos biodigestores contínuos foram realizadas aos 15, 30 e 45 dias do início dos abastecimentos diários, nas quais foram realizadas análises de alcalinidade total, parcial e intermediária conforme RIPLEY et al. (1986) e JENKINS et al. (1991).

Os teores de ST e de SV, dos dejetos, dos substratos e dos efluentes foram determinados segundo metodologia descrita pela APHA (1995).

Os dejetos oriundos de cada dieta eram do mesmo lote de colheita por todo o período de abastecimento diário. As amostragens dos substratos e dos efluentes eram diárias, mas compunham uma amostra composta semanalmente e analisada para teores de ST e SV para acompanhamento das reduções de SV e dos potenciais de produção de CH_4 .

As produções de biogás dos biodigestores foram calculadas com base nos deslocamentos dos gasômetros, medidos com régua. O número obtido na leitura foi multiplicado pela área da seção transversal interna dos gasômetros, igual a $0,03089 \text{ m}^2$. Após cada leitura, os gasômetros foram zerados utilizando-se o registro de descarga do biogás.

A correção do volume de biogás para as condições de 1 atm e 20°C , foi efetuada com base no trabalho de CAETANO (1985). Para a correção do volume de biogás, considerou-se a pressão atmosférica média do local igual a 9641,77 mm de água e pressão conferida pelos gasômetros de 10,33 mm de água. Admitiu-se que a temperatura do biogás era a mesma da sala em que os biodigestores eram abrigados, a qual era medida por um termômetro de máxima e de mínima.

Os potenciais de produção de biogás dos biodigestores foram calculados utilizando-se os dados de produção de biogás e as quantidades de dejetos, de substrato, de ST e SV que entraram no biodigestor e dos SV reduzidos durante o

processo. Os valores foram expressos em L de CH₄ g⁻¹ de dejetos, de substrato, de ST adicionado, de SV adicionado e de SV reduzido.

A análise do biogás quanto aos teores de CH₄ e de dióxido de carbono (CO₂) foram realizados semanalmente em cromatógrafo de fase gasosa equipado com coluna Porapack Q, Peneira Molecular e detector de condutividade térmica.

Para a análise de variância dos dados de produção total de CH₄, de redução de SV e dos potenciais de produção de biogás dos biodigestores batelada utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado. Para os dados de produção diária de CH₄, de redução de SV e dos potenciais de produção de biogás dos biodigestores contínuos foram considerados os dados obtidos semanalmente. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados em que as semanas foram consideradas como blocos.

Os dados foram analisados pelo procedimento GLM do SAS (2001). Todos os dados foram analisados quanto às pressuposições de normalidade, homogeneidade de variâncias e ausência de dados discrepantes. Para todas as variáveis a comparação de médias foi realizada por meio do teste de Tukey ao nível de significância de 0,05.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de pH, ST e SV dos substratos com os quais foram operados os biodigestores batelada e dos efluentes estão apresentados na Tabela 2.

TABELA 2. Composição dos substratos e dos efluentes de biodigestores batelada operados com dejetos de vacas em lactação confinadas recebendo dietas contendo silagem de milho (SM), cana-de-açúcar *in natura* (CIN), cana-de-açúcar hidrolisada com cal virgem (CHCV) e os dois últimos substratos acrescidos de caldo de cana, CINC e CHCVC

Tratamento	pH	Sólidos totais		Sólidos voláteis	
		(%)	(g)	(%)	(g)
Substrato					
SM	5,86	5,43	434	4,84	387
CIN	6,19	5,28	422	4,71	377
CINC	6,26	6,13	490	5,53	443
CHCV	5,99	5,50	440	4,81	385
CHCVC	6,06	6,38	510	5,74	459
Efluente					
SM	7,25	3,39	271	2,91	233
CIN	7,46	3,13	250	2,65	212
CINC	7,76	3,99	319	3,31	271
CHCV	7,27	3,24	259	2,71	217
CHCVC	7,59	3,92	313	3,29	264

Os substratos foram formulados para que contivessem 6% de ST, observando-se que os teores variaram de 5,28 a 6,38%.

A faixa de pH recomendada para substratos submetidos à biodigestão anaeróbia é de 6 a 8 e os valores obtidos estiveram próximos ao mínimo, garantindo meio propício para os microrganismos envolvidos no processo. Ao final do mesmo, o pH dos efluentes foi acima de 7,00, mesmo para os substratos que continham caldo de cana, indicando que não houve falência do processo para quaisquer tratamentos.

Os valores de pH, ST e SV dos substratos com os quais operaram-se os biodigestores contínuos e dos efluentes obtidos encontram-se na Tabela 3.

TABELA 3. Composição dos substratos e dos efluentes de biodigestores contínuos operados com dejetos de vacas em lactação confinadas recebendo dietas contendo silagem de milho (SM), cana-de-açúcar *in natura* (CIN), cana-de-açúcar hidrolisada com cal virgem (CHCV) e os dois últimos substratos acrescidos de caldo de cana, CINC e CHCVC

Tratamento	pH	Sólidos totais		Sólidos voláteis	
		(%)	(g)	(%)	(g)
Substrato					
SM	6,04	6,02	16,06	5,46	14,58
CIN	6,48	5,34	14,27	4,86	12,98
CINC	6,46	6,61	17,66	6,09	16,27
CHCV	6,87	5,75	15,34	5,12	13,66
CHCVC	6,90	6,89	18,40	6,23	16,62
Efluente					
SM	7,46	2,95	7,87	2,56	6,83
CIN	7,49	2,46	6,58	2,09	5,65
CINC	7,51	3,06	8,17	2,67	7,16
CHCV	7,45	2,92	7,80	2,44	6,57
CHCVC	7,46	3,46	9,24	3,02	8,05

Nos biodigestores contínuos os teores de ST nos abastecimentos diários variaram de 5,34 a 6,89%. Os valores de pH dos substratos estiveram na faixa recomendada para a biodigestão anaeróbia. Todos os valores de pH dos efluentes estiveram próximos de 7,45.

Nas Figuras 1 e 2 encontram-se as representações gráficas das produções de CH₄ dos biodigestores batelada e contínuos, respectivamente.

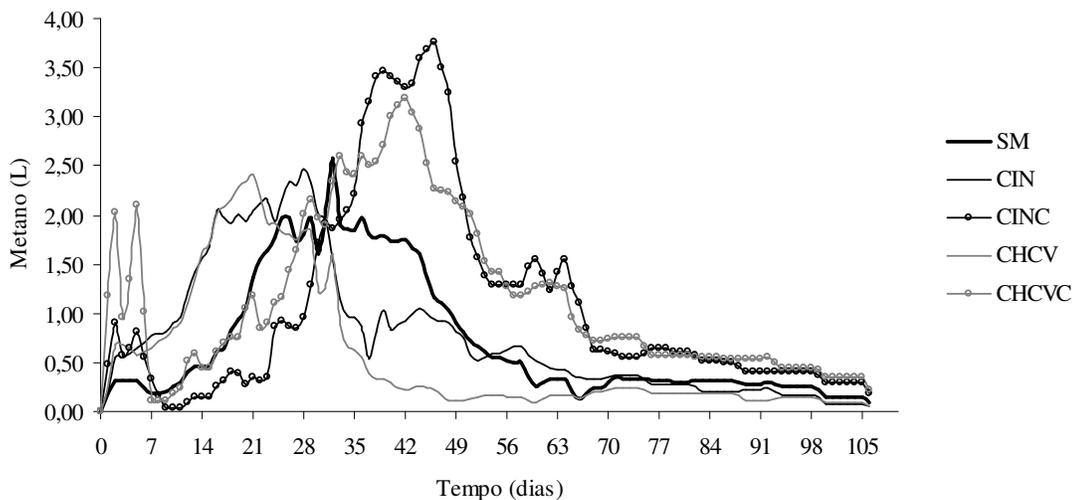


FIGURA 1- Produção de biogás em biodigestores batelada operados com dejetos de vacas da raça Holandesa em lactação, confinadas, que receberam dietas contendo silagem de milho (SM), cana-de-açúcar *in natura* (CIN), cana-de-açúcar hidrolisada com cal virgem (CHCV) e os dois últimos substratos acrescidos de caldo de cana-de-açúcar, CINC e CHCVC

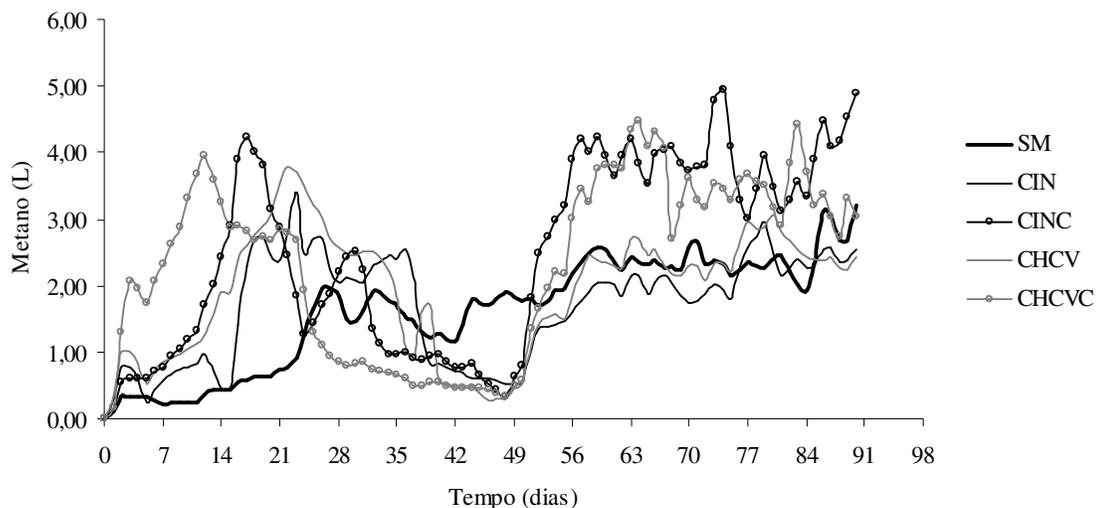


FIGURA 2- Produção de biogás em biodigestores contínuos operados com dejetos de vacas da raça Holandesa em lactação, confinadas, que receberam dietas contendo silagem de milho (SM), cana-de-açúcar *in natura* (CIN), cana-de-açúcar hidrolisada com cal virgem (CHCV) e os dois últimos substratos acrescidos de caldo de cana-de-açúcar, CINC e CHCVC

As médias da porcentagem de CH₄ no biogás para os biodigestores batelada e contínuos foram de 62,01 e 59,88% para SM, 62,05 e 61,11% para CIN, 60,66 e 58,81% para CINC, 62,29 e 62,08% para CHCV e 61,36 e 61,26% para CHCVC, respectivamente, com valores bem próximos independente do tipo do biodigestor e do tipo de dieta que originou os dejetos.

Essas concentrações de CH₄ no biogás foram inferiores àquelas encontradas por KARIM et al. (2005b) as quais variaram de 62 a 67% em biodigestores operados com dejetos de vacas leiteiras à 35±2°C. AMARAL et al. (2004) operaram dois biodigestores contínuos de 5500 L com TRH de 20, 30 e 40 dias e encontraram de 53,52 a 60,04% de CH₄ no biogás.

Nos biodigestores batelada observou-se que os substratos contendo caldo de cana apresentaram picos de CH₄ logo na primeira semana do abastecimento, ao que se seguiram quedas acentuadas de produção e retomada da mesma após a segunda semana.

Os tratamentos CINC e CHCVC tiveram produções mais expressivas de CH₄ à partir do 28º dia do processo enquanto seus respectivos sem caldo de cana, os tratamentos CIN e CHCV, tiveram após 14 dias do abastecimento e o tratamento SM após 21 dias.

Considerando os picos de produção, dos 14 aos 35 dias para CIN e CHCV e dos 35 aos 49 dias para CINC e CHCVC, o tratamento CINC produziu 19,32% mais CH₄ do que o CHCVC. O CINC em relação ao CIN chegou a produzir 42,02% mais CH₄ e o CHCVC em relação ao CHCV, 37,26% mais CH₄.

Os tratamentos CIN e CHCV aceleraram a produção de CH₄ ao menos uma semana em relação ao SM e duas semanas em relação ao CINC e CHCVC, embora os dois últimos tenham apresentado maiores picos de produção.

As maiores produções de biogás pelos tratamentos contendo caldo de cana provavelmente se deveram ao acréscimo de SV proporcionado pelo caldo. As porcentagens de SV a mais nesses substratos, CINC e CHCVC, em relação ao CIN e ao CHCV, foram de 14,89 e 16,12%, respectivamente.

O caldo de cana adicionado aos substratos por disponibilizarem para o meio, carboidratos prontamente solúveis, pode ter contribuído para acidificação acentuada do mesmo devido à facilidade de hidrólise e acidogênese, prejudicando a metanogênese por alguns dias devido à queda de pH por presença excessiva de ácidos formados.

De acordo com DEMIRER & CHEN (2004) as bactérias acidogênicas têm crescimento rápido e pH ótimo de 5,2 a 6,5 ao passo que as metanogênicas crescem mais lentamente, como as acetogênicas, e o seu pH ótimo é de 7,5 a 8,5. Então, quando o ambiente se torna ácido pela presença de AGV, o grupo predominante de microrganismos é aquele que resiste ao pH ácido, conseguindo aproveitar os nutrientes do meio liberando subprodutos que podem não ser aproveitados pelos outros grupos de microrganismos afetados pelas condições de pH alteradas. Além disso, subprodutos como propionato e butirato não podem ser diretamente aproveitados pelas metanogênicas, mas apenas acetato e H_2 .

Nesse período de instabilidade, o teor médio de CH_4 no biogás do tratamento CINC foi de 40,44% e do CHCVC, de 53,40%. Com esses teores de CH_4 presume-se que a atividade metanogênica não é suprimida totalmente, mas inibida em parte, talvez pelo uso mais lento dos precursores do CH_4 .

Aos 35 dias do processo, os tratamentos CIN e CHCV apresentaram quedas na produção de CH_4 , indicando que na temperatura de operação em que os biodigestores foram operados menores TRH poderiam ser utilizados para esses substratos, se o objetivo fosse maior produção de biogás e não maior degradação dos SV do substrato.

Nos biodigestores contínuos, como quaisquer tratamentos não receberam caldo de cana na fase de partida, todos os tratamentos contendo dejetos oriundos das dietas contendo cana-de-açúcar apresentaram produções mais expressivas e antecipadas em relação ao tratamento SM. Nota-se que os abastecimentos diários poderiam ser iniciados por volta dos 14 dias do processo.

Com exceção do tratamento SM, aos 35 dias, como para os biodigestores batelada, houve queda acentuada na produção de biogás. Nos tratamentos CIN, CINC, CHCV e CHCVC, verificou-se que, logo após os primeiros abastecimentos diários, as

respostas foram mais rápidas e maiores em relação ao tratamento SM. Para os biodigestores contínuos, maiores produções diárias de CH_4 também foram dos tratamentos contendo caldo de cana, o CINC e o CHCVC.

Durante os abastecimentos diários, o tratamento CINC produziu 10,46% mais CH_4 do que o CHCVC. O tratamento CINC produziu 44,89% mais CH_4 em relação ao CIN e o CHCVC, 30,77% mais CH_4 em relação ao CHCV.

Para esses biodigestores, os acréscimos de SV proporcionados pelo caldo de cana foram de 20,22 e 17,80% para os substratos CINC e CHCVC, em relação ao CIN e ao CHCV, respectivamente.

Em ambos tipos de biodigestores as produções dos tratamentos contendo caldo de cana tiveram proporções semelhantes a mais em CH_4 do que seus respectivos sem caldo de cana, em média, 43,45% quando os dejetos eram oriundos de dieta com cana-de-açúcar *in natura* e 34,00% quando os dejetos foram oriundos de dieta com cana-de-açúcar hidrolisada.

AMON et al. (2006) estudaram a biodigestão anaeróbia de dejetos de vacas leiteiras de diferentes níveis de produção leite (baixa, média e alta) em seis granjas leiteiras e verificaram que devido à intensificação na alimentação das vacas de alta produção, maiores quantidades de nutrientes são excretadas e que o N variou de 2,40 a 4,74% dos dejetos com base na matéria natural, resultando em diferenças significativas nas produções de CH_4 .

Do ponto de vista zootécnico, maiores excreções de nutrientes nos dejetos significam perdas econômicas; do ponto de vista da biodigestão anaeróbia, dejetos excretados com mais nutrientes podem ser mais favoráveis ao processo. Desfavoravelmente, o fornecimento de alimentos com altos teores de lignina e conseqüentemente mais lignina nos dejetos, pode refletir no processo de biodigestão anaeróbia, com menor quantidade de CH_4 produzido por unidade de dejetos ou de SV adicionados, como observado no trabalho dos referidos autores.

No presente trabalho, os dejetos oriundos da dieta contendo SM apresentaram comportamento intermediário, tanto nos biodigestores batelada como nos contínuos. Os dejetos oriundos das dietas contendo cana-de-açúcar, mas sem caldo de cana, CIN e

CHCV, apesar de terem antecipado os picos nos biodigestores batelada, apresentaram menores produções de CH_4 , sendo evidente que a composição da dieta influenciou a produção de CH_4 .

A silagem de milho é mais digestível em relação à cana-de-açúcar e por isso é melhor aproveitada pelos animais. Por outro lado, ao passar pelo trato digestório e não ser melhor aproveitada, a cana-de-açúcar pode ter um adiantamento do seu processo de degradação e como dejetos, dentro do biodigestor, pode ter sua eficiência de produção de CH_4 aumentada.

As médias de alcalinidade obtidas durante o monitoramento do processo de biodigestão anaeróbia encontram-se na Tabela 4.

TABELA 4. Médias seguidas dos desvios padrões de alcalinidade dos efluentes de biodigestores batelada e contínuos operados com dejetos de vacas em lactação, confinadas, que receberam dietas contendo silagem de milho (SM), cana-de-açúcar *in natura* (CIN), cana-de-açúcar hidrolisada com cal virgem (CHCV) e os dois últimos substratos acrescidos de caldo de cana-de-açúcar, CINC e CHCVC

Tratamento	Alcalin. Total	Alcalin. Parcial (mg de CaCO_3/L)	Alcalin. Intermediária
Batelada			
SM	4713±220	3327±127	1387±95
CIN	5460±390	4127±454	1333±76
CINC	6653±295	5160±329	1493±64
CHCV	6100±198	3930±636	2170±438
CHCVC	6180±380	5173±168	1007±230
Contínuos			
SM	4127±453	3082±373	1044±323
CIN	4820±770	3647±961	1173±374
CINC	5144±497	3989±924	1156±480
CHCV	6180±639	4380±831	1800±850
CHCVC	6182±409	4662±605	1520±556

De acordo com RIPLEY et al. (1986) a alcalinidade parcial (AP) é associada à bicarbonatos, enquanto a intermediária (AI), à ácidos voláteis. A AI dos substratos iniciais variaram de 2420 a 3600 mg de CaCO_3/L , indicando consideráveis quantidades de ácidos voláteis. Os valores de AP nos substratos que variaram de 320 a 760 mg de

CaCO₃/L podem ser considerados baixos porém, após passagem pelos biodigestores aumentaram consideravelmente, melhorando a relação Al:AP. Para JENKINS et al. (1991) a AP inferior a 1200mg CaCO₃ L⁻¹ indica estresse no biodigestor, podendo ser um limite mínimo operacional para um bom funcionamento do processo. Em nenhum momento do monitoramento os valores de AP foram iguais ou inferiores a 1200mg CaCO₃ L⁻¹, indicando estabilidade do processo para quaisquer tratamentos.

SUNDH et al. (2003) verificaram quedas na alcalinidade total de aproximadamente 7000 mg de CaCO₃ de biodigestores em condições estáveis, recebendo o mesmo tipo de substrato por três anos para 5000 e 4000 mg de CaCO₃ após sobrecarga única de 15 e 25 vezes a mais de glicose em relação à carga diária.

No presente trabalho, a dose de caldo de cana utilizada não causou sobrecarga nos biodigestores contínuos. Nos biodigestores batelada, causou instabilidade apenas no início, não medida em termos de alcalinidade, pois não havia dispositivo para colheita de substrato, mas perceptível pela queda na produção de biogás. Na Tabela 5 encontram-se as médias das reduções de ST e de SV, da produção e dos potenciais de CH₄ dos biodigestores batelada.

TABELA 5. Resultados da análise de variância e médias das reduções, produção de metano (CH₄) e potenciais de produção de biogás de biodigestores batelada operados com dejetos de vacas em lactação, confinadas, recebendo dietas contendo silagem de milho (SM), cana-de-açúcar *in natura* (CIN), cana-de-açúcar hidrolisada com cal virgem (CHCV) e os dois últimos substratos acrescidos de caldo de cana, CINC e CHCVC

	CH ₄	ST ¹	SV ²	ST ad. ³	SV ad. ⁴	SV red ⁵	Dejetos ⁶
F para tratamento	133,89**	1,22 ^{ns}	2,59 ^{ns}	51,12**	45,69**	6,54**	124,43**
CV (%)	3,17	11,39	9,68	3,16	3,16	9,41	2,88
Médias	(L)	(g)		(L CH ₄ g ⁻¹)			
SM	75 ^C	218	206	0,172 ^C	0,193 ^C	0,365 ^B	0,020 ^B
CIN	82 ^{BC}	230	220	0,193 ^B	0,217 ^B	0,374 ^B	0,023 ^B
CINC	113 ^A	229	228	0,230 ^A	0,254 ^A	0,494 ^A	0,028 ^A
CHCV	85 ^B	241	224	0,194 ^B	0,222 ^B	0,388 ^B	0,021 ^B
CHCVC	120 ^A	263	261	0,235 ^A	0,262 ^A	0,462 ^{AB}	0,029 ^A

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si (P>0,05). ^{ns} Não significativo (P>0,05). * Significativo a 0,05. ** Significativo a 0,01. ¹Redução de sólidos totais (ST). ²Redução de sólidos voláteis (SV). ³Potenciais dos ST adicionados. ⁴Potenciais de SV adicionados. ⁵Potenciais dos SV reduzidos. ⁶Potenciais dos dejetos.

Houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre as médias das produções totais e dos potenciais de CH_4 entre os tratamentos em que as maiores médias de produção e de potenciais de CH_4 foram alcançadas pelos tratamentos CINC e CHCVC que produziram 113 e 120 L de CH_4 e cujos potenciais foram de 0,230 e 0,235 L de $\text{CH}_4 \text{ g}^{-1}$ de ST adicionados, 0,254 e 0,262 L de $\text{CH}_4 \text{ g}^{-1}$ de SV adicionados, 0,494 e 0,462 L de $\text{CH}_4 \text{ g}^{-1}$ de SV reduzidos e 0,028 e 0,029 L de $\text{CH}_4 \text{ g}^{-1}$ de dejetos, respectivamente.

Os tratamentos CIN e CHCV apresentaram produções e potenciais de CH_4 intermediários, enquanto o tratamento SM apresentou as menores ($P < 0,05$) produções totais em relação ao CINC e CHCVC, de 75 L de CH_4 , e potenciais de 0,172 L de $\text{CH}_4 \text{ g}^{-1}$ de ST adicionados e 0,193 L de $\text{CH}_4 \text{ g}^{-1}$ de SV adicionados. Para os potenciais dos SV reduzidos e dos dejetos não houve diferença significativa ($P > 0,05$) para os tratamentos SM, CIN e CHCV, sendo as médias desses parâmetros de 0,375 e 0,021 L de $\text{CH}_4 \text{ kg}^{-1}$, respectivamente.

VEDRENNE et al. (2008) encontraram produções de CH_4 da ordem de 243 ± 41 L de $\text{CH}_4 \text{ kg}^{-1}$ de SV adicionados para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras nos quais foram testadas diferentes diluições dos dejetos, agitação, TRH, quantidade e tipo de inóculo em temperatura controlada à 30°C , próximos aos encontrados no presente trabalho.

DEMIRER & CHEN (2004) citaram potenciais de produção de CH_4 por SV adicionados de dejetos de vacas leiteiras em diferentes tipos de biodigestores e operações e, para os biodigestores batelada, referiram de 0,71 a 0,215 L de $\text{CH}_4 \text{ g}^{-1}$ de SV adicionados, com TRH que variaram de 40 a 100 dias.

Não houve diferença significativa ($P > 0,05$) quanto à redução de ST e SV nos biodigestores, provavelmente devido à temperatura constante para todos os tratamentos e ao longo TRH empregado. As médias gerais de reduções de ST e de SV foram de 236 e 228 g, respectivamente. Essas reduções, como porcentagem, representaram 51,50% dos ST e 55,61% dos SV que entraram nos biodigestores.

RIBEIRO et al. (2007) avaliaram a biodigestão anaeróbia de dejetos de animais da raça canchim, machos, confinados, recebendo concentrados farelados ou extrusados

com diferentes fontes protéicas (farelo de soja e farelo de algodão), em biodigestores do tipo batelada operados com TRH de 200 dias.

Esses autores encontraram diferença significativa na redução de ST e SV conforme utilizaram um ou outro tipo de processamento da dieta fornecida aos animais. No presente trabalho, apesar da hidrólise da cana ter sido uma forma de processamento desse alimento, não interferiu nas reduções de ST e SV.

Na Tabela 6 encontram-se as médias das reduções de ST e de SV, da produção diária e dos potenciais de CH₄ dos biodigestores contínuos.

TABELA 6. Resultados da análise de variância e médias das reduções, produção de metano (CH₄) e potenciais de produção de biogás de biodigestores contínuos operados com dejetos de vacas em lactação, confinadas, recebendo dietas contendo silagem de milho (SM), cana-de-açúcar *in natura* (CIN), cana-de-açúcar hidrolisada com cal virgem (CHCV) e os dois últimos substratos acrescidos de caldo de cana, CINC e CHCVC

	CH ₄ ¹	ST ²	SV ³	ST ad. ⁴	SV ad. ⁵	SV red. ⁶	Dejetos ⁷
F para Semanas	3,68*	11,52**	11,72**	5,97**	5,72**	10,56**	2,80 ^{ns}
F para Tratamento	20,12**	4,43*	5,09**	11,32**	9,88**	2,98 ^{ns}	9,20**
CV (%)	12,28	13,48	12,95	10,53	10,60	18,79	16,67
Médias	(L)	(g)		(L CH ₄ g ⁻¹)			
SM	2,564 ^{BC}	8,502 ^{AB}	8,016 ^{AB}	0,154 ^B	0,172 ^B	0,324	0,028 ^{BC}
CIN	2,064 ^C	7,604 ^{AB}	7,242 ^{AB}	0,144 ^B	0,156 ^B	0,300	0,022 ^C
CINC	3,698 ^A	9,354 ^A	8,998 ^A	0,208 ^A	0,226 ^A	0,432	0,038 ^A
CHCV	2,260 ^C	6,948 ^B	6,546 ^B	0,148 ^B	0,168 ^B	0,388	0,026 ^C
CHCVC	3,200 ^{AB}	9,314 ^A	8,790 ^A	0,170 ^B	0,188 ^B	0,382	0,036 ^{AB}

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si (P>0,05). ^{ns} Não significativo (P>0,05). * Significativo a 0,05. ** Significativo a 0,01. ¹Produção diária de CH₄. ²Redução de sólidos totais (ST). ³Redução de sólidos voláteis (SV). ⁴Potenciais dos ST adicionados. ⁵Potenciais de SV adicionados. ⁶Potenciais dos SV reduzidos. ⁷Potenciais dos dejetos.

Houve diferença significativa (P<0,05) para redução de ST e de SV entre os tratamentos em que as maiores médias (P>0,05) foram dos tratamentos contendo caldo de cana, 9,334 e 8,894 g dia⁻¹, respectivamente, em relação ao tratamento CHCV, 6,948 e 6,546 g dia⁻¹, respectivamente. Essas reduções, como porcentagem, variaram de 46,17 a 49,20% dos ST e 48,50 a 51,86% dos SV que entraram nos biodigestores.

HARDOIM et al. (1999) trabalharam com dejetos de vacas leiteiras com teor de ST próximos à 7,5%, com e sem agitação e temperaturas de 25, 35 e 40°C e verificaram que com maiores temperaturas e maiores TRH houve aumento da redução de SV. A maior redução encontrada por esses autores foi de 40,13% verificada na temperatura de 40°C e TRH de 30 dias.

AMARAL et al. (2004) trabalharam com dois biodigestores contínuos de 5500 L com TRH de 20, 30 e 40 dias, sob temperatura ambiente e encontraram reduções de 24,21 a 36,61% dos ST e de 26,08 a 40,36% dos SV. Reduções superiores foram obtidas no presente trabalho.

DEMIRER & CHEN (2004) citaram reduções de SV encontradas por diferentes autores para dejetos de vacas leiteiras em diferentes tipos de biodigestores e operações em que menores reduções foram de 22,0% dos SV que entraram num reator anaeróbio batelada seqüencial operado com TRH de 3 dias, as maiores reduções foram de 62,5% dos SV que entraram num reator com agitação contínua e TRH de 10 dias.

Com exceção dos dados dos potenciais dos SV reduzidos, houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre os tratamentos, com maiores produções diárias de CH_4 para CINC e CHCVC e maiores potenciais dos ST adicionados, dos SV adicionados e dos dejetos para CINC, com 0,208, 0,226 e 0,038 L de CH_4 por g^{-1} , respectivamente. Para os potenciais dos SV reduzidos a média geral foi de 0,365 L de CH_4 g^{-1} de SV reduzidos.

MØLLER et al. (2004) encontraram potenciais de 148 ± 41 L de CH_4 kg^{-1} de SV adicionados e 468 ± 6 L de CH_4 kg^{-1} de SV reduzidos. Valores próximos aos encontrados no presente trabalho.

DEMIRER & CHEN (2004) citaram potenciais de produção de CH_4 por SV adicionados de dejetos de vacas leiteiras em diferentes tipos de biodigestores e operações e, para os biodigestores do tipo *plug flow*, citaram de 0,326 a 0,770 L de CH_4 g^{-1} de SV adicionados, com TRH que variaram de 15 a 34 dias.

AMON et al. (2006) encontraram potenciais de 125 a 166 L de CH₄ kg⁻¹ de SV adicionados quando utilizaram dejetos de vacas leiteiras de baixa, média e alta produção de leite. Valores inferiores aos encontrados no presente trabalho.

No presente trabalho, os teores iniciais de ST e de SV dos dejetos foram próximos para os dejetos oriundos das diferentes dietas. Os tratamentos que continham apenas os dejetos + água (SM, CIN, e CHCV) não apresentaram diferenças na produção total e potenciais de produção de metano, nem nas reduções dos ST e SV.

Esse fato indica que a inclusão de caldo de cana nos substratos foi decisiva para atingir maiores produções totais e potenciais de produção de metano por ST e SV adicionados e por unidade de dejetos.

CONCLUSÕES

Os biodigestores batelada e contínuos produziram biogás contendo de 58,81 a 62,29% de CH₄ quando operados à 30±2°C com os dejetos de vacas leiteiras em lactação estudados.

Em biodigestores batelada, a adição de 6% de caldo de cana-de-açúcar nos substratos (v/v), substituindo parte da água de diluição, com dejetos oriundos das dietas contendo cana-de-açúcar *in natura* ou hidrolisada com cal virgem, houve instabilidade inicial no processo de biodigestão anaeróbia. Tanto para os biodigestores batelada quanto para os contínuos, os maiores potenciais de produção de biogás foram dos substratos que receberam 6% de caldo de cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS

AMARAL, C. M. C.; AMARAL, L. A.; LUCAS JÚNIOR, J.; NASCIMENTO, A. A.; FERREIRA, D. S.; MACHADO, M. R. F. Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. **Ciência Rural**, Santa Maria, 34, n. 6, p. 1897-1902, 2004.

AMON, T.; AMON, B.; KRYVORUCHKO, V.; BODIROZA, V.; PÖTSCH, E.; ZOLLITSCH, W. Optimizing methane yield from anaerobic digestion of manure: effects of dairy systems and of glycerine supplementation. **International Congress Series**, Amsterdam, v. 1293, p. 217-220, 2006.

BALIEIRO NETO, G.; SIQUEIRA, G. R.; REIS, R. A.; NOGUEIRA, J. R.; ROTH, M. T. P.; ROTH, A. P. T. P. Óxido de cálcio como aditivo na ensilagem de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1231-1239, 2007.

CAETANO, L. **Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás**. 1985. 75 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1985.

DEMIRER, G. N.; CHEN, S. Effect of retention time and organic loading rate on anaerobic acidification and biogasification of dairy manure. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, Oxford, v. 79, p 1381-1387, 2004.

DEMIRER, G. N.; CHEN, S. Anaerobic biogasification of undiluted dairy manure in leaching bed reactors. **Waste Management**, v. 28, n. 1, p. 112-119, 2008.

HARDOIM, P. C. Efeito do controle da temperatura e da agitação mecânica na produção de metano em biodigestor anaeróbio operado com dejetos de bovinos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29, 2000, Fortaleza.

Anais... Fortaleza: UFC/SBEA, 2000. 1 CD-ROM.

HOODA, P. S. et al. A review of water quality concerns in livestock farming areas. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 250, n. 3, p. 143-167, 2000.

KARIM, K.; KLASSON, K. T.; HOFFMANN, R.; DRESCHER, S. R.; DePAOLI, D. W.; AL-DAHMAN, M. H. Anaerobic digestion of animal waste: Effect of mixing. **Bioresource Technology**, Essex, v. 96, n. 14, p. 1607-1612, 2005a.

KARIM, K.; HOFFMANN, R.; KLASSON, K. T.; AL-DAHMAN, M. H. Anaerobic digestion of animal waste: Waste strength versus impact of mixing. **Bioresource Technology**, Essex, v. 96, n. 16, p. 1771-1781, 2005b.

JENKINS, S. R.; MORGAN, J. M.; ZHANG, X. Measuring the usable carbonate alkalinity of operating anaerobic digesters. **Journal WPCF**, Alexandria, v. 63, n. 1, p. 28-34, 1991.

KASHYAP, D. R.; DADHICH, K. S.; SHARMA, S. K. Biomethanation under psychrophilic conditions: a review, **Bioresource Technology**, Essex, v. 87, n. 2, p. 147-153, 2003.

MØLLER, H. B.; SOMMER, S. G.; AHRING, B. K. Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 26, n. 5, p. 485-495, 2004.

MYINT, M.; NIRMALAKHANDAN, N.; SPEECE, R. E. Anaerobic fermentation of cattle manure: modeling of hydrolysis and acidogenesis. **Water Research**, New York, v. 41, n. 2, p. 323-332, 2007.

OLIVEIRA, M. D. S. **Utilização da cana-de-açúcar na alimentação de bovinos.**

Jaboticabal: FUNEP, 1999. 128 p.

RIBEIRO G. M.; SAMPAIO, A. A. M.; FERNANDES, A. R. M.; HENRIQUE, W.; SUGOHARA, A.; AMORIM, A. C. Efeito da fonte protéica e do processamento físico do concentrado sobre a terminação de bovinos jovens confinados e o impacto ambiental dos dejetos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 2082-2091, 2007.

RIPLEY, L. E.; BOYLE, W. C.; CONVERSE, J. C. Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes. **Journal WPCF**, Alexandria, v. 58, n. 5, p. 406-411, 1986.

SUNDH, I.; CARLSSON, H.; NORDBERG, A.; HANSSON, M.; MATHISEN, B. Effects of glucose overloading on microbial community structure and biogas production in a laboratory-scale anaerobic digester. **Bioresource Technology**, Essex, v. 89, n. 3, p. 237-243, 2003.

SAS INSTITUTE. **The SAS System for Windows**: version 8.02. Cary, SAS Institute, 2001. 1 CD-ROM.

VEDRENNE, F.; BÉLINE, F.; DABERT, P.; BERNET, N. The effect of incubation conditions on the laboratory measurement of the methane producing capacity of livestock wastes. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, n. 1, p. 146-155, 2008.

CAPÍTULO 5 - QUALIDADE DE BIOFERTILIZANTES OBTIDOS NA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA COM CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR E DEJETOS DE VACAS EM LACTAÇÃO QUE RECEBERAM DIFERENTES DIETAS

RESUMO: Objetivou-se avaliar as quantidades de macronutrientes contidos nos biofertilizantes obtidos em biodigestores batelada e contínuos, de campo e de bancada, operados com dejetos de vacas leiteiras em lactação mantidas em sistemas semi-intensivo e intensivo, as quais receberam diferentes dietas, co-digeridos com caldo de cana-de-açúcar. Os biofertilizantes obtidos nos biodigestores batelada tiveram concentrações de macronutrientes ligeiramente maiores em relação aos contínuos. Os teores dos macronutrientes NPK foram próximos quando os dejetos utilizados foram de sistema semi-intensivo ou intensivo. Nos biodigestores batelada e contínuos de campo, equivaleram a 3,19 e 2,65% de N total, 4,08 e 3,02% de P_2O_5 e 5,76 e 2,24% de K_2O , respectivamente. Nos biodigestores batelada (dieta contendo cana-de-açúcar *in natura*) e contínuos de bancada, equivaleram a 2,80 e 2,60% de N total, 5,79 e 4,56% de P_2O_5 e 4,26 e 2,51% de K_2O , respectivamente.

Palavras-Chave: batelada, nutrientes, contínuos

BIOFERTILIZER QUALITY OBTAINED FROM ANAEROBIC DIGESTION WITH SUGARCANE JUICE AND MANURE OF THE LACTATING COW THAT RECEIVED DIFFERENT DIETS

ABSTRACT: This work aimed evaluate the quantities of nutrients contained in fertilizers obtained from batch and continuous field and bench digesters, operated with lactating dairy cow manure, which was kept in semi-intensive and intensive systems and received different diets, co-digested with sugarcane juice. The fertilizers obtained from batch digesters had slightly higher concentrations of nutrients than the continuous one.

NPK levels were similar when the manure was from semi-intensive or intensive system. To batch and continuous field digesters, 3.19 and 2.65% total N, 4.08 and 3.02% P₂O₅ and 5.76 and 2.24% K₂O were found. To batch (manure from diet containing sugarcane) and continuous bench digesters, 2.80 and 2.60% total N, 5.79 and 4.56% P₂O₅ and 4.26 and 2.51% K₂O were found.

Keywords: batch, nutrients, continuous

INTRODUÇÃO

Os teores de nutrientes dos dejetos são muito variáveis (ROSTON, 2001). Os teores de nutrientes contidos nos biofertilizantes podem ser influenciados pelas quantidades desses nutrientes presentes nos dejetos e pelas condições nas quais os biodigestores anaeróbios são operados, principalmente no que se relaciona a temperatura e tempo de retenção hidráulica (TRH). Assim, há necessidade do conhecimento da composição de biofertilizantes gerados segundo diferentes dietas fornecidas para os animais bem como diferentes sistemas de criação, diferentes tipos de biodigestores e formas de operação dos mesmos, já que estudos relacionados são escassos.

A elaboração de projetos de biodigestão anaeróbia pode se basear numa demanda de biogás, na redução do potencial poluente dos dejetos ou numa demanda de biofertilizante e, nesse caso, é imprescindível ter estimativas das quantidades de nutrientes para o planejamento adequado do uso do biofertilizante, tendo-se em mente a disponibilidade de nutrientes necessários à cultura e evitar a contaminação do solo e da água.

Objetivou-se avaliar os teores de macronutrientes contidos nos biofertilizantes obtidos em biodigestores batelada e contínuos, de campo e de bancada, operados com dejetos de vacas em lactação e caldo de cana-de-açúcar, sendo considerados sistemas semi-intensivo ou intensivo de criação dos animais e diferentes dietas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista localizada em Jaboticabal-SP, Brasil. O clima da região é subtropical úmido, seco no inverno e com chuvas no verão, temperatura média anual de 22,2 °C, umidade relativa média anual de 70,8%.

Foram realizados quatro ensaios de biodigestão anaeróbia, de 27 de abril de 2005 a 11 de dezembro de 2007. Os ensaios 1 e 2 foram em 18 biodigestores de campo (12 bateladas e 6 contínuos) com volume útil de 60 L e os ensaios 3 e 4 em 20 biodigestores de bancada (15 batelada e 5 contínuos) com volume útil de 8 L, instalados no Departamento de Engenharia Rural, os quais foram descritos por ORTOLANI et al. (1986) e HARDOIM et al. (1999), respectivamente.

Para uso nos biodigestores de campo, foram utilizados dejetos oriundos de vacas em lactação, mantidas em sistema de produção semi-intensivo e ordenhadas duas vezes por dia, recebendo dietas contendo concentrado e silagem de milho. Eram sempre de um mesmo lote de coleta, obtidos por meio de raspagem do piso de concreto das instalações. Os dejetos eram isentos de “cama” e continham pouca ou nenhuma sobra de alimentos.

Para uso nos biodigestores de bancada, foram utilizados dejetos oriundos de vacas da raça Holandesa em lactação, mantidas em confinamento total, recebendo dietas contendo silagem de milho (SM), cana-de-açúcar *in natura* (CIN) e cana-de-açúcar hidrolisada com cal virgem (CHCV). Os dejetos eram colhidos separadamente por dieta e isentos de “cama”, água de lavagem, água de chuva e sobras de alimentos.

Em todos os ensaios havia tratamentos testemunhas, cujos substratos continham apenas dejetos e água, e tratamentos cujos substratos continham dejetos, água e caldo de cana.

O caldo de cana utilizado foi da variedade RB855536. A retirada do caldo de cana dos colmos era realizada logo após a colheita e utilizado imediatamente. Para aqueles

biodigestores abastecidos diariamente o mesmo era congelado em pequenas quantidades.

Em todos os ensaios os substratos foram formulados para que contivessem 6% de matéria seca (MS).

No primeiro ensaio foram utilizados 12 biodigestores batelada nos quais foram aplicados os tratamentos com 0, 1, 3 e 6% de caldo de cana (v/v) nos substratos e TRH de 210 dias.

No segundo ensaio foram utilizados seis biodigestores modelo indiano (contínuos) que foram abastecidos inicialmente com dejetos e água. A fase de partida teve duração de 58 dias e então iniciaram-se os abastecimentos diários quando os picos de produção de biogás foram alcançados. Foram realizadas diferentes inclusões de caldo de cana ao longo do ensaio (v/v de carga diária) e TRH de 20,30 e 40 dias foram testados.

No terceiro ensaio, nos biodigestores batelada de bancada, foram aplicados cinco tratamentos cujos substratos continham dejetos oriundos de vacas que receberam SM, CIN, CHCV e CIN com adição de 6% de caldo de cana (CINC) e CHCV com adição de 6% de caldo de cana (CHCVC), com TRH de 105 dias.

No quarto ensaio, esses mesmos tratamentos foram aplicados em cinco biodigestores contínuos. Nesses ensaios, a temperatura de operação dos biodigestores era de $30 \pm 2^\circ\text{C}$. Adotou-se TRH de 30 dias, sem adição de caldo de cana na fase de partida, com início dos abastecimentos diários quando a produção de biogás atingiu $0,04 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ de dejetos.

Os dejetos utilizados não foram provenientes de animais tratados com antibiótico, como no trabalho de KARIM et al. (2005). Para todos os tratamentos, em todos os ensaios, foram feitas amostragens dos substratos e dos biofertilizantes para caracterização.

As amostragens dos biofertilizantes dos biodigestores batelada foram feitas ao final dos ensaios. Dos biodigestores contínuos de campo, duas vezes por fase de operação e, nos de bancada, aos 15, 30, e 45 dias do início dos abastecimentos diários.

As amostras foram verificadas quanto ao pH e congeladas para posterior caracterização.

Os teores de matéria seca e de matéria orgânica (MO) foram determinados segundo metodologia descrita por APHA (1995).

Os macronutrientes foram quantificados nas amostras secas à 55°C moídas, após digestão nitroperclórica, segundo a metodologia descrita por TEDESCO et al. (1995). Os teores de fósforo (P) foram determinados pelo método colorimétrico. Os teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) e potássio (K) foram determinados em espectrofotômetro de absorção atômica. Os teores de nitrogênio (N) foram quantificados pelo método micro-Kjeldahl conforme descrito por SILVA & QUEIROZ (2002).

Para os dados dos teores de macronutrientes dos biofertilizantes dos ensaios 1 e 2 foram apresentados apenas valores médios seguidos dos desvios padrões. Para os dados dos biofertilizantes do ensaio 3 foi realizada análise de variância em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições por dieta. No ensaio 4, a análise de variância foi em blocos casualizados, com cinco repetições em que os dias de colheitas foram considerados como blocos. Os dados foram analisados pelo procedimento GLM do SAS (2001). Para esses dados a comparação de médias foi realizada por meio do teste de Tukey ao nível de significância de 0,05.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores médios de macronutrientes obtidos durante o ensaio 1 encontram-se na Tabela 1.

Os substratos e os biofertilizantes apresentaram teores de macronutrientes próximos em quaisquer tratamentos, com variações relativamente pequenas. Para a maioria dos macronutrientes analisados verificou-se concentração dos mesmos nos biofertilizantes em relação aos substratos originais.

Esse fato pode estar relacionado com a redução dos teores de matéria orgânica (MO), cujos componentes se transformaram em biogás, sendo retirados do sistema, restando apenas um lodo (o biofertilizante) que continha menores quantidades de MS, da qual faziam parte menores quantidades de MO e maiores quantidades de matéria mineral (MM) em relação ao material inicial.

TABELA 1. Teores médios e desvios-padrões de macronutrientes de substratos contendo ou não caldo de cana-de-açúcar e biofertilizantes, obtidos em biodigestores batelada de campo operados com dejetos de vacas em lactação que receberam dietas contendo concentrado e silagem de milho

Nutrientes	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Sódio
(g 100g ⁻¹ de MS)						
Substratos						
0% de caldo	2,37±0,15	1,12±0,01	2,45±0,16	1,61±0,06	0,05±0,00	0,26±0,01
1% de caldo	2,50±0,05	1,12±0,05	2,37±0,04	1,60±0,07	0,05±0,00	0,26±0,00
3% de caldo	2,58±0,11	1,13±0,05	2,48±0,22	1,71±0,09	0,05±0,00	0,27±0,03
6% de caldo	2,66±0,12	1,03±0,01	2,43±0,07	1,56±0,06	0,05±0,00	0,24±0,01
Biofertilizantes						
0% de caldo	3,20±0,12	1,78±0,22	4,08±1,24	2,82±0,03	0,06±0,00	0,57±0,01
1% de caldo	3,27±0,08	1,78±0,10	5,12±0,51	2,88±0,11	0,06±0,01	0,59±0,05
3% de caldo	3,13±0,07	1,81±0,11	4,96±0,06	3,08±0,08	0,05±0,00	0,63±0,06
6% de caldo	3,16±0,14	1,73±0,09	5,02±0,21	3,30±0,19	0,05±0,00	0,55±0,08

Com o K, as concentrações chegaram a ser o dobro. O uso de caldo de cana de até 6% de caldo de cana nos dejetos de vacas em lactação tratados em biodigestores batelada de campo originou biofertilizantes com teores médios de 3,19% de N, 1,78% de P, 4,80% de K, 3,02% de Ca, 0,06% de Mg e 0,59% de Na, com base na MS, quando as vacas receberam dietas contendo concentrado e silagem de milho e foram mantidas em sistema semi-intensivo.

Na Tabela 2 encontram-se os teores médios de macronutrientes dos substratos e dos biofertilizantes, tratados ou não com caldo de cana, nos biodigestores contínuos de campo.

TABELA 2. Teores médios e desvios padrões de macronutrientes de substratos contendo ou não caldo de cana-de-açúcar e biofertilizantes, obtidos em biodigestores contínuos de campo operados com dejetos de vacas em lactação que receberam dietas contendo concentrado e silagem de milho

Nutrientes	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Sódio
	(g 100g MS ⁻¹)					
Substratos ¹						
Sem caldo	2,21±0,26	0,99±0,35	1,24±0,43	2,08±0,65	0,28±0,13	0,19±0,09
Com caldo	2,07±0,25	0,84±0,23	1,20±0,24	1,97±0,61	0,27±0,13	0,17±0,09
Biofertilizantes ²						
Sem caldo	2,57±0,37	1,32±0,45	1,87±0,35	2,73±1,17	0,13±0,12	0,29±0,09
Com caldo	2,73±0,38	1,31±0,42	1,86±0,38	2,71±1,28	0,13±0,12	0,28±0,10

¹ Fase de abastecimentos diários (n=22). ² (n=65)

Nesse ensaio, os biodigestores foram operados por longo tempo no qual foram alterados os TRH (20, 30 e 40 dias) e quantidades de caldo de cana adicionados nos substratos dos biodigestores (de 1 a 20%), o que pode ter causado maiores variações nos teores de macronutrientes nos substratos e biofertilizantes. Essas variações podem ocorrer conforme ocorrem mudanças na composição das dietas, a época do ano e o estado fisiológico dos animais, já que durante esse ensaio os animais foram mantidos em sistema semi-intensivo, sendo soltos para pastejo após a ordenha da tarde.

As maiores variações foram observadas nos valores de Ca, tanto nos substratos sem caldo de cana quanto nos que o continham. Tanto nos biofertilizantes de substratos contendo caldo de cana como nos sem caldo, os valores dos macronutrientes foram próximos, com média de 2,65% de N, 1,32% de P, 1,87% de K, 2,71% de Ca, 0,13% de Mg e 0,29% de Na, com base na MS.

Na Tabela 3 encontram-se os teores médios de macronutrientes dos abastecimentos iniciais dos biodigestores batelada e contínuos de bancada.

TABELA 3. Teores médios de macronutrientes de substratos contendo dejetos de vacas que receberam silagem de milho (SM), cana-de-açúcar *in natura* (CIN), cana-de-açúcar hidrolisada com cal virgem (CHCV), CIN e CHCV acrescido de 6% de caldo de cana, CINC e CHCVC, respectivamente, utilizados no abastecimento de biodigestores batelada e contínuos de bancada

Nutrientes	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Sódio
	(g 100g ⁻¹ de MS)					
SM	2,70	1,78	2,61	1,12	0,70	0,13
CIN	2,50	1,55	2,21	1,96	0,71	0,24
CINC	2,70	1,22	2,01	1,43	0,46	0,23
CHCV	2,30	1,64	4,15	1,10	0,62	0,19
CHCVC	2,40	1,15	3,38	1,00	0,53	0,13

Para a maioria dos nutrientes, seus teores nos substratos foram próximos, independente do uso ou não de caldo de cana. Nos substratos CHCV e CHCVC, em que os dejetos eram provenientes de cana-de-açúcar hidrolisada, os teores de Ca chegaram a ser o dobro em relação ao demais substratos. Os teores de K não aumentaram com a adição de caldo de cana, talvez pela pequena quantidade substituindo a água de diluição.

Os teores médios de NPK nos abastecimentos iniciais foram de 2,52% de N, 1,47% de P e 1,87% de K, com base na MS, para os substratos de todas as dietas com adição ou não de caldo de cana.

Na Tabela 4 encontram-se os teores médios de macronutrientes dos biofertilizantes obtidos nos biodigestores batelada de bancada.

Não houve diferença significativa ($P>0,05$) para os dados de N e P entre as dietas fornecidas para os animais, porém o coeficiente de variação para P foi maior em relação aos demais. As médias foram de 2,82% de N e 2,53% de P, com base na MS.

Para os teores de Ca houve diferença significativa ($P<0,05$) apenas entre os teores dos biofertilizantes CIN, com média de 2,57% com os do CHCV e CHCVC, com média de 4,56%, indicando que o a hidrólise da cana-de-açúcar com cal virgem influenciou a excreção de Ca nos dejetos, se refletindo nos biofertilizantes provenientes dos dejetos oriundos dessas dietas.

TABELA 4. Teores médios de macronutrientes de biofertilizantes oriundos de dejetos de vacas que receberam silagem de milho (SM), cana-de-açúcar *in natura* (CIN), cana-de-açúcar hidrolisada com cal virgem (CHCV), CIN e CHCV acrescido de 6% de caldo de cana, CINC e CHCVC, respectivamente, tratados em biodigestores batelada de bancada

Nutrientes	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Sódio
F para tratamento	1,70 ^{ns}	1,29 ^{ns}	27,70 ^{**}	5,47 [*]	3,67 [*]	25,08 ^{**}
Coeficiente de variação (%)	3,99	26,15	10,05	20,66	10,11	5,15
Médias:	(g 100g ⁻¹ de MS)					
SM	2,87	2,16	2,01 ^{BC}	2,64 ^{AB}	1,68 ^{AB}	0,22 ^C
CIN	2,84	2,14	3,55 ^A	2,57 ^B	1,51 ^B	0,33 ^A
CINC	2,72	2,54	2,48 ^B	3,27 ^{AB}	1,95 ^{AB}	0,30 ^{AB}
CHCV	2,75	2,61	1,83 ^C	4,57 ^A	1,78 ^B	0,27 ^B
CHCVC	2,93	3,21	1,88 ^C	4,54 ^A	2,00 ^A	0,27 ^B

^{ns} Não significativo (P>0,05). ^{*} Significativo a 0,05. ^{**} Significativo a 0,01.

A concentração de Mg foi maior (P<0,05) no biofertilizante CHCVC, com média de 2,00%, do que no CIN e no CHCV que apresentaram em média, 1,65%. O menor teor de Na (P<0,05) foi do biofertilizante SM, com média de 0,22% enquanto dos outros biofertilizantes variaram de 0,27 a 0,33%.

O maior teor de K foi do biofertilizante CIN, com média de 3,55%. Tendo em vista um biofertilizante mais rico em NPK, o biofertilizante CIN seria o melhor dentre todos os analisados para os biodigestores batelada, equivalendo a 2,80% de N total, 5,79% de P na forma de P₂O₅ e 4,26% de K na forma de K₂O.

Na Tabela 5 encontram-se os teores médios de macronutrientes dos biofertilizantes obtidos nos biodigestores contínuos de bancada.

Dentre os macronutrientes, houve diferença significativa (P<0,05) apenas entre os teores de Ca para os quais as maiores médias foram dos biofertilizantes CHCV e CHCVC, com média de 4,51%, chegando a ser o dobro daquelas encontradas nos biofertilizantes SM e CINC, o que também indica que a hidrólise da cana-de-açúcar fornecida para os animais incrementou os teores de Ca nos biofertilizantes. Os teores médios dos demais macronutrientes foram de 2,60% de N, 1,99% de P, 1,25% de Mg, 0,22% de Na e 2,09% de K, com base na MS, sendo o K o macronutriente com maior coeficiente de variação entre os dados, de 41%.

TABELA 5. Teores médios de macronutrientes de biofertilizantes oriundos de dejetos de vacas que receberam silagem de milho (SM), cana-de-açúcar *in natura* (CIN), cana-de-açúcar hidrolisada com cal virgem (CHCV), CIN e CHCV acrescido de 6% de caldo de cana, CINC e CHCVC, respectivamente, tratados em biodigestores contínuos de bancada

Estatísticas	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Sódio
F para Blocos (Semana)	4,80 [*]	1,16 ^{ns}	2,05 ^{ns}	2,04 ^{ns}	10,68 ^{**}	8,02 ^{**}
F para Tratamento	3,13 ^{ns}	2,64 ^{ns}	1,55 ^{ns}	92,57 ^{**}	2,20 ^{ns}	2,21 ^{ns}
Coeficiente de variação (%)	6,04	12,65	41,00	7,00	15,62	13,80
Médias:	(g 100g ⁻¹ de MS)					
SM	2,64	1,71	2,03	2,18 ^C	1,09	0,20
CIN	2,75	2,05	2,99	2,97 ^B	1,36	0,26
CINC	2,54	1,84	2,04	2,47 ^{BC}	1,09	0,23
CHCV	2,39	2,15	1,68	4,67 ^A	1,33	0,22
CHCVC	2,68	2,18	1,70	4,34 ^A	1,38	0,21

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si (P>0,05). ^{ns} Não significativo (P>0,05). ^{*} Significativo a 0,05. ^{**} Significativo a 0,01.

Para os biodigestores contínuos, os biofertilizantes obtidos com os dejetos oriundos de animais recebendo silagem de milho ou cana-de-açúcar hidrolisada ou não, com ou sem caldo de cana no substrato, os teores médios de NPK não diferiram (P>0,05), equivalendo a 2,60% de N total, 4,56% de P₂O₅ e 2,51% de K₂O.

Comparando-se os teores de macronutrientes dos biofertilizantes de biodigestores de campo, maiores concentrações ocorreram nos biodigestores batelada. Esses biodigestores foram operados com TRH de 210 dias, o que pode ter contribuído para maior concentração dos nutrientes, enquanto os contínuos foram operados com TRH muito inferiores. Nesses últimos, TRH de 20 a 40 dias ter sido insuficiente para maior degradação da matéria orgânica e, conseqüentemente, maior concentração dos macronutrientes NPK.

Nos biodigestores batelada de bancada, ocorreu o mesmo fato, embora nesses o TRH tenha sido de 105 dias e dos contínuos, de 30 dias.

Analisando do ponto de vista de sistemas de criação, semi-intensivo e intensivo, os biofertilizantes dos biodigestores de campo e de bancada, respectivamente, os teores dos macronutrientes NPK foram próximos, variando em alguns casos,

provavelmente devido às variações dos alimentos fornecidos aos animais em sistema semi-intensivo.

CONCLUSÕES

Nos biodigestores batelada de bancada, as diferentes dietas fornecidas aos animais e o uso de caldo de cana nos biodigestores não influenciaram os teores de nitrogênio e fósforo nos biofertilizantes, com médias de 2,82 e 2,53%, com base na MS, respectivamente, mas os teores de potássio foram influenciados pela dieta, com a maior média sendo de 3,55%, com base na MS, quando os animais receberam cana *in natura* na dieta.

Nos biodigestores contínuos de bancada, as dietas fornecidas aos animais e o uso de caldo de cana nos biodigestores não influenciaram os teores de nitrogênio, fósforo e potássio, com médias de 2,60, 1,99 e 2,09%, respectivamente.

A adição de 6% de caldo de cana-de-açúcar nos substratos contendo dejetos de vacas que receberam cana-de-açúcar hidrolisada com cal virgem apresentou maior concentração de cálcio nos biofertilizantes, cerca do dobro de cálcio em relação àqueles de vacas que receberam silagem de milho ou cana *in natura*.

Os biofertilizantes obtidos nos biodigestores batelada tiveram concentrações de macronutrientes ligeiramente maiores em relação aos de contínuos. Os teores dos macronutrientes foram próximos quando os dejetos utilizados foram de sistema semi-intensivo ou intensivo.

REFERÊNCIAS

AMARAL, C. M. C.; AMARAL, L. A.; LUCAS JÚNIOR, J.; NASCIMENTO, A. A.; FERREIRA, D. S.; MACHADO, M. R. F. 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.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19th ed. Washington, 1995. 1100 p

EL-MASHAD, H. M.; VAN LOON, W. K. P.; ZEEMAN, G.; BOT, G. P. A.; LETTINGA, G. Effect of inoculum addition modes and leachate recirculation on anaerobic digestion of solid cattle manure in an accumulation system. **Biosystems Engineering**, London, v. 95, n. 2, p. 245-254, 2006.

HARDOIM, P. C. Efeito do controle da temperatura e da carga orgânica na redução do teor de sólidos voláteis em biodigestor anaeróbio operado com dejetos de bovinos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28, 1999, Pelotas. **A engenharia agrícola: tendências e inovações**. Cauacaia: SBEA, 1999. 1 CD-ROM.

KARIM, K.; KLASSON, K. T.; HOFFMANN, R.; DRESCHER, S. R.; DePAOLI, D. W.; AL-DAHMAN, M. H. Anaerobic digestion of animal waste: effect of mixing. **Bioresource Technology**, v. 96, n. 14, p. 1607-1612, 2005.

ORTOLANI, A. F.; BENINCASA, M.; LOPES, L. R.; BEDUSCHI, L. C.; LUCAS JÚNIOR, J.; ARAÚJO, J. A. C.; GALBIATTI, J. A.; MILANI, A. P.; DANIEL, L. A. Bateria de mini-biodigestores: estudo, projeto, construção e desempenho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 15, 1986, São Paulo. **Anais...** Botucatu: FCA/UNESP, 1986. p. 229-239.

ROSTON, D. M. Manejo e disposição de resíduos gerados pela bovinocultura leiteira. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38, 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBZ, 2001. 1 CD-ROM.

SILVA, D. J., QUEIROZ, A. C. **Análise de Alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3^a ed. Viçosa: Imprensa Universitária da UFV, 2002, 235p.

SAS INSTITUTE. **The SAS System for Windows**: version 8.02. Cary, 2001. 1 CD-ROM.

TEDESCO, M.J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174p. (Boletim técnico, 5).

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)