

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias
Câmpus de Jaboticabal

***CARACTERIZAÇÃO DOS DEJETOS DE CAPRINOS:
RECICLAGEM ENERGÉTICA E DE NUTRIENTES***

Ana Carolina Amorim
Zootecnista

Março – 2002

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias
Câmpus de Jaboticabal



CARACTERIZAÇÃO DOS DEJETOS DE CAPRINOS: RECICLAGEM ENERGÉTICA E DE NUTRIENTES

Ana Carolina Amorim

Zootecnista

Orientador: Prof. Dr. *Jorge de Lucas Júnior*

Dissertação apresentada à
Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinárias / Unesp - Jaboticabal,
para obtenção do Título de Mestre
em Produção Animal

Março – 2002

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

ANA CAROLINA AMORIM - filha de Maria Helena Moretti Amorim e José Francisco Amorim, nascida em 17 de dezembro de 1977, é natural da cidade de Ribeirão Preto, estado de São Paulo.

Em 1.999 graduou-se em Zootecnia pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista – Unesp - Campus de Jaboticabal.

Em 2.000 ingressou no Mestrado no curso de Pós-Graduação em Zootecnia, Área de Concentração em Produção Animal, na mesma instituição.

Em novembro foi aprovada no Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Zootecnia, Área de concentração em Produção Animal, com início previsto para março deste ano.

Em 04 de fevereiro de 2002 defendeu sua dissertação, recebendo aprovação com “ Distinção e Louvor”, completando assim seu programa em Mestrado.

Dedico

À minha amada Mãe

À minha irmã

Ao meu querido Marco Antônio

Aqueles que souberam me apoiar e entender que uma vida voltada à pesquisa gera o distanciamento das pessoas que amamos, que muitas vezes somos impedidos de estarmos juntos fisicamente, temos que nos isolar, e também nos sentimos só, no entanto nossos corações jamais se desligaram, e nosso amor aumenta cada dia mais, tamanha é a admiração que existe entre nós.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP, pela bolsa de mestrado, sem a qual não seria possível a conclusão do curso e execução deste trabalho.

Ao Professor Jorge de Lucas Júnior, que além de orientador, tornou-se grande amigo, por quem tenho muito carinho, admiração e respeito, obrigada por me proporcionar crescimento profissional e humano.

Ao professor Kleber Tomas de Resende, pela dedicação e empenho na vida profissional. Por ter contribuído imensamente para que este trabalho se realizasse.

Ao professor Roberto Alves de Oliveira, pelo constante incentivo e credibilidade em mim depositada.

Às grandes amigas Lara Steil e Cecília Costa do Amaral, pelo incentivo, carinho e dedicação.

À todos os funcionários do Departamento de Engenharia Rural, em especial, Sr. José, Sr. Tico, Fiapo, Luiz Fiapo, Luizinho, Luiz Cláudio, Cido, Edvaldo, Marquinho, Ronaldo, Clarice, Miriam, David e Aléssio, pela atenção e carinho.

À todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1. Caracterização dos dejetos de origem caprina.....	5
3.2. Aproveitamento dos dejetos gerados por caprinos.....	9
3.2.1. Biodigestão Anaeróbia.....	9
3.2.1.1. Fatores que interferem no processo de biodigestão anaeróbia.....	11
3.2.2. Compostagem e Vermicompostagem.....	14
3.2.2.1. Fatores que interferem no processo de compostagem.....	17
3.2.2.2. Fatores que interferem no processo de vermicompostagem.....	19
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
4.1. Descrição do local.....	21
4.2. Ensaio de quantificação e caracterização dos dejetos gerados por caprinos.....	21
4.2.1. Quantificação dos dejetos.....	21
4.2.2. Caracterização dos dejetos.....	23
4.3. Ensaio de biodigestão anaeróbia.....	23
4.3.1. Caracterização dos biodigestores batelada.....	24
4.3.1.1. De campo	24
4.3.1.2. De bancada	25
4.4. COMPOSTAGEM.....	26

4.5. VERMICOMPOSTAGEM.....	27
4.6. Metodologias utilizadas.....	28
4.6.1. Teores de sólidos totais e voláteis.....	28
4.6.2. Digestão sulfúrica	28
4.6.3. Abastecimento dos biodigestores.....	29
4.6.4. Determinação do volume de biogás.....	31
4.6.5. Cálculo do potencial de produção de biogás.....	32
4.6.6. Determinação do número mais provável (NMP) de coliformes totais e fecais.....	33
4.6.7. Análise da composição do biogás produzido.....	33
4.6.8. Análise Estatística.....	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
5.1. Quantificação dos dejetos produzidos.....	36
5.2. Caracterização dos dejetos produzidos.....	38
5.3. Biodigestores de bancada.....	52
5.3.1. Teores de sólidos totais e voláteis.....	52
5.3.2. Distribuição da produção de biogás.....	53
5.3.3. Potenciais de produção de biogás.....	54
5.4. Biodigestores de campo.....	55
5.4.1. Teores de sólidos totais e voláteis.....	55
5.4.2. Distribuição da produção de biogás.....	57
5.4.3. Potenciais de produção de biogás.....	59
5.4.4. Composição do biogás produzido.....	60
5.4.5. Redução de coliformes totais e fecais.....	62
5.4.6. Nutrientes no afluente e efluente.....	63

5.5. Compostagem.....	65
5.5.1. Condução das leiras.....	65
5.5.2. Acompanhamento da temperatura.....	69
5.5.3. Composição química do material enleirado e do composto.....	71
5.5.4. Estimativa das reduções de volume.....	74
5.6. Vermicompostagem.....	76
5.6.1. Condução das leiras de vermicompostagem.....	76
5.6.2. Acompanhamento da temperatura.....	79
5.6.3. Composição química do material enleirado e do vermicomposto.....	81
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	84
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	86

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1. Composição média, em água, nitrogênio, fósforo e potássio, nos dejetos produzidos por várias espécies animais.....	6
TABELA 2. Composição dos dejetos produzidos por cabras estabuladas e em pastoreio.....	7
TABELA 3. Composição em nutrientes das fezes, urina e combinado de ambos, gerados por vacas leiteiras produzindo, em média, 22,7 kg de leite/dia e consumo médio de MS de 17,8 kg.....	8
TABELA 4. Composição da urina de caprinos, em g por 1000 g, na matéria natural.....	8
TABELA 5. Limites de concentração, em metais solúveis determinados por alguns autores.....	13
TABELA 6. Concentração dos metais alcalinos no afluente e seu efeito sobre a digestão anaeróbia.....	13
TABELA 7. Composição do concentrado oferecido aos animais durante a fase experimental.....	22
TABELA 8. Composição bromatológica das dietas oferecidas às cabras em diferentes categorias de idade durante o primeiro ensaio (% MN).....	23
TABELA 9. Componentes de cada substrato, teores de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV), no abastecimento de biodigestores com dejetos de caprinos produzidos nas quatro estações do ano.....	31
TABELA 10. Componentes de cada substrato, teores de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV), no abastecimento de biodigestores com dejetos de caprinos se alimentando com três dietas.....	31
TABELA 11. Esquema de análise de variância para o ensaio de quantificação e caracterização.....	34
TABELA 12. Esquema de análise de variância para o ensaio de biodigestão anaeróbia, durante as estações do ano.....	34

TABELA 13. Esquema de análise de variância para o ensaio de biodigestão anaeróbia, avaliando efeito das dietas.....	35
TABELA 14. Esquema de análise de variância para o ensaio de compostagem.....	35
TABELA 15. Produção diária de fezes por animal, em gramas de matéria natural (MN), matéria seca (MS) e de matéria seca excretada por grama de matéria seca ingerida, segundo as categorias e dietas oferecidas.....	36
TABELA 16. Teores de ST, umidade, SV e MM nas amostras de fezes, segundo as categorias de idade e dietas.....	39
TABELA 17. Teores de macronutrientes, em % da matéria seca, e micronutrientes, em gramas e mg/kg de matéria seca de fezes, segundo as categorias de idade e dietas administradas.....	41
TABELA 18. Excreção diária (por animal) na urina de caprinos em macronutrientes, em g e mg/dia e micronutrientes, µg/dia de acordo com o volume total produzido, segundo as categorias de idade e dietas administradas.....	46
TABELA 19. Teores de sólidos totais e voláteis, em porcentagem e em massa e redução de SV, em porcentagem, para estrumes obtidos com diferentes tipos de dieta dos animais.....	53
TABELA 20. Potenciais médios de produção de biogás, corrigidos para 20°C e 1 atm., para os diferentes tipos substratos, preparados com estrumes de animais se alimentando de três dietas, variando a proporção entre volumoso e concentrado.....	55
TABELA 21. Teores de sólidos totais e voláteis, em porcentagem e em massa e redução de SV, em porcentagem (abastecimento e desabastecimento), para estrumes obtidos durante os períodos de verão, outono, inverno e primavera.....	56
TABELA 22. Porcentagens de CO ₂ e CH ₄ contidas no biogás produzido com os abastecimento das estações de verão, inverno e primavera.....	59

TABELA 23. Potenciais médios de produção de biogás, corrigidos para 20°C e 1 atm., para substratos preparados com estrume de caprinos produzidos durante o verão, outono, inverno e primavera.....	61
TABELA 24. NMP de coliformes fecais e totais no abastecimento e desabastecimento dos biodigestores, e % de redução destes durante o processo, segundo as estações do ano.....	62
TABELA 25. Quantidades médias, em porcentagem da MS, de macro e micronutrientes nos períodos inicial e final e diferença (em %) destas quantias durante a biodigestão anaeróbia, nas estações de verão, outono, inverno e primavera.....	64
TABELA 26. Quantidades (em kg) de matéria natural e seca, % de sólidos totais e voláteis do esterco enleirado e do composto e de redução da quantidade de MS, para as diferentes estações do ano.....	66
TABELA 27. Temperaturas médias semanais, máximas observadas durante o processo de compostagem (°C), e dia de ocorrência.....	69
TABELA 28. Teores médios de carbono, nitrogênio e relação C/N, do esterco enleirado para compostagem, com 30 e 60 dias de formação de leira, e do composto no verão, outono, inverno e primavera.....	71
TABELA 29. Quantidades médias, na MS, de macronutrientes na leira (em kg) e de micronutrientes (em g) nos períodos inicial e final e % de redução dos nutrientes durante a compostagem, nas estações de verão, outono, inverno e primavera.....	73
TABELA 30. Volume médio (m ³) ocupado no início, aos 30, 60 e 90 dias e final da compostagem por leiras manejadas durante o verão, outono, inverno e primavera, e suas respectivas, reduções em %	74
TABELA 31. Quantidades de matéria natural (MN) e matéria seca (MS), em kg e porcentagem de sólidos totais e voláteis no esterco enleirado e no vermicomposto e de redução de MS, para as diferentes estações do ano.....	77

TABELA 32. Temperaturas (°C) médias semanais, máximas observadas durante o processo de vermicompostagem e dia de ocorrência.....	80
TABELA 33. Teores médios de carbono, nitrogênio e relação C/N, do esterco enleirado para vermicompostagem, com 30 e 60 dias de formação de leira, e do vermicomposto no verão, outono, inverno e primavera.....	81
TABELA 34. Quantidades médias, na massa total de MS, de macronutrientes na leira (em kg) e de micronutrientes (em g) nos períodos inicial e final da vermicompostagem, e as respectivas % de reduções, nas estações de verão, outono, inverno e primavera.....	83

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Principais fases de temperatura durante o processo de compostagem.....	18
FIGURA 2 .Esquema dos biodigestores batelada de campo, medidas em mm. (Fonte: ORTOLANI <i>et al.</i> , 1986).....	25
FIGURA 3. Esquema dos biodigestores tipo batelada montados em laboratório. (Fonte: Santos, 1997).....	26
FIGURA 4. Produção diária de urina (mL), por cabras em diferentes categorias de idade e dietas oferecidas.....	38
FIGURA 5. Distribuição da produção (m ³) de biogás, em biodigestores abastecidos com dejetos de caprinos alimentados com dietas variando as proporções entre volumoso e concentrado.....	54
FIGURA 6. Distribuição da produção de biogás (m ³) durante as estações de verão, outono, inverno e primavera.....	58
FIGURA 7. Produção de biogás, em % acumulada, em biodigestores abastecidos com dejetos de caprinos, nas quatro estações do ano.....	58
FIGURA 8. Teores de metano contidos no biogás produzido durante as estações de verão, outono, inverno e primavera.....	60
FIGURA 9. Leira de compostagem no início do processo.....	68
FIGURA 10. Leira de compostagem na fase final do processo.....	68
FIGURA 11. Temperaturas diárias das leiras de compostagem nas estações de verão, outono, inverno e primavera.....	70
FIGURA 12. Tendências e equações de reduções de volume em leiras de compostagem manejadas durante as estações de verão, outono, inverno e primavera.....	75
FIGURA 13. Leira de vermicompostagem durante a pré-compostagem.....	78
FIGURA 14. Leira de vermicompostagem na fase final do processo.....	78
FIGURA 15. Temperaturas diárias das leiras de vermicompostagem nas estações de verão, outono, inverno e primavera.....	80

CARACTERIZAÇÃO DOS DEJETOS DE CAPRINOS: RECICLAGEM ENERGÉTICA E DE NUTRIENTES

RESUMO. Este trabalho foi composto por duas partes, na primeira procedeu-se com a quantificação e caracterização dos dejetos gerados por caprinos e na segunda promoveu-se utilização destes resíduos em sistemas de reciclagem, entre eles, a biodigestão anaeróbia, compostagem e vermicompostagem. O ensaio de caracterização teve como objetivo principal a avaliação da interferência de categorias de idade (1 – 2 a 4 meses, 2 – 4 a 8 meses, 3 - 8 a 12 meses e 4 – acima de 12 meses) e dietas (1 – 80% volumoso, 20% concentrado, 2 – 60% volumoso e 40% concentrado e 3 – 40% volumoso e 60% concentrado) sobre a quantidade e qualidade do material excretado. No ensaio de biodigestão anaeróbia foram avaliados os efeitos das diferentes dietas e das estações do ano sobre a produção de biogás. Para o desenvolvimento da compostagem e vermicompostagem foram utilizados dejetos coletados de caprinos, em diferentes faixas etárias, mantidos em sistema de semi-confinamento com regime alimentar único, para a confecção de leiras nas quatro estações do ano. As produções de fezes, em grama de matéria seca (MS) excretada por grama de MS ingerida, foi superior para animais da categoria 1 (0,45), em relação as demais categorias, com média de 0,36. A produção média diária de urina foi maior ($P < 0,05$) nos animais da categoria 1, consumindo a dieta 1 (0,85 mL de urina/ mL de água ingerida). Os teores de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV), nas fezes, foram superiores ($P < 0,05$) para os dejetos das categorias 3 e 4 (43,1 e 42,1%, respectivamente), quando comparados aos gerados pelas categorias 1 e 2 (29,1 e 30,0%, respectivamente), já as dietas 1 e 2, também propiciaram fezes com maiores teores ($P < 0,05$) de ST em relação as dos animais alimentados com a dieta 3. Os teores médios de N, P, K, Ca, Mg e Na, nas fezes e urina, foram de 1,4, 0,8, 0,6, 0,4, 0,2, 0,3 em % da MS e 23,0, 2,5, 0,7, 0,2, 0,01 e 1,2 g/dia, respectivamente. Os totais de biogás produzidos foram 0,062 e 0,067 m³ para dejetos das dietas 1 e 2 respectivamente, inferiores ($P < 0,05$) a produção de 0,072 m³, pela dieta 3. Os potenciais de produção foram inferiores ($P < 0,05$), em m³ de biogás / kg de substrato, de ST e SV para os dejetos da dieta 1 (em média 0,0155, 0,2097 e 0,2434, respectivamente) e superiores para dejetos gerados por animais consumindo a dieta 3 (com médias de 0,0181, 0,2341 e 0,2680, respectivamente). Os totais de biogás (m³) foram de 1,06 no verão, 0,88 no outono, 0,88 no inverno e 0,99 na primavera e os potenciais médios foram de 0,02 m³ de biogás / kg de substrato e 0,2 m³ de biogás / kg de estrume para todas as estações. As reduções médias de coliformes totais e fecais foram de 99,99% em todas as estações e os

teores máximos de CH₄ no biogás foram 88,31, 84,62, 80,63 e 79,22%, para o verão, outono, inverno e primavera, respectivamente. As reduções na quantidade de matéria seca foram de 53,7, 53,4, 51,4 e 47,8 % para a compostagem e 57,4, 51,0, 41,4 e 53,6% na vermicompostagem, nas estações de verão, outono, inverno e primavera, respectivamente. As maiores (P<0,05) reduções de nutrientes durante os processos ocorreram no verão para a compostagem (maiores perdas de P, Ca e Na, em média 57,2%) e no verão e outono para a vermicompostagem (para P e Na, média de 54,42% no verão). As equações de estimativa da redução de volume nas leiras de compostagem, foram: $y = - 0,0512x + 1,0233$, $y = - 0,0552x + 1,1766$, $y = - 0,0521x + 1,1656$ e $y = - 0,0558x + 1,322$ para as estações de primavera, outono, inverno e verão, respectivamente, (x = número de semanas y = volume, em m³).

Palavras-chaves: biodigestores, cabras, fezes, leira, reciclagem, urina

CAPRINE DEJECTIONS CHARACTERIZATION: ENERGETIC AND NUTRIENTS UPDATING

ABSTRACT - This work was composed by two parts. Determination of the quantity and characterization of the dejection produced by caprines were done in the first part, and in the second part it was promoted the utilization of those residues in updating systems, among them, the anaerobic biodigestion, composition and vermicomposition. The characterization assay had as main objective the evaluation of the interference of categories of age (1 - 2 to 4 months, 2 - 4 to 8 months, 3 - 8 at 12 months and 4 - above 12 months) and diets (1 - 80% voluminous, 20% concentrated, 2 - 60% voluminous and 40% concentrated and 3 - 40% voluminous and 60% concentrated) about the amount and quality of the excreted material. In the anaerobic biodigestion assay, the effects of different diets and year seasons over the biogas production were evaluated. For the development of composition and vermicomposition were used dejections collected from caprines in different ages, kept in semi-confinement system with unique feeding regimen, making piles in each season. Feces productions in gram of excreted dry matter (DM) by gram of ingested DM, was superior for animals in the category 1 (0.45), in relation to the others categories, with average of 0.36. Daily medium production of urine was larger (P<0.05) in the animals from category 1, consuming diet 1 (0.85 ml of urine/ml of ingested water). Totals solids (TS) and volatile solids (VS) contents in the feces were superior (P<0.05) for dejections from categories 3 and 4 (43.1 and 42.1%, respectively), when compared to the

ones produced by categories 1 and 2 (29.1 and 30.0%, respectively), yet the diets 1 and 2, also produced feces with larger TS contents ($P < 0.05$) in relation to the ones from the animals fed with diet 3. Medium contents of N, P, K, Ca, Mg and Na in the feces and urine, were 1.4, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2 and 0.3 in % of DM and 23.0, 2.5, 0.7, 0.2, 0.01 and 1.2 g/day, respectively. Totals of biogas produced were 0.062, 0.067 m³ for dejections from diets 1 and 2, respectively, lower ($P < 0.05$) to the production of 0.072 by diet 3. The production potentials were lower ($P < 0.05$) by m³ of biogas/ kg of substrate, TS and VS to the dejections in the diet 1 (on average 0.0155, 0.2097 and 0.2434, respectively) and superior to dejections produced by animals consuming the diet 3 (with averages of 0.0181, 0.2341 and 0.2680, respectively). Biogas totals (m³) were 1.06 on summer, 0.88 on autumn, 0.88 on winter and 0.99 on spring and the medium production potentials were 0.02 m³ of biogas / kg of substrate and 0.2 m³ of biogas / kg of manure for all seasons. Medium reductions of total and fecal coliforms, were 99.99% in all seasons, and the maximum contents of CH₄ in biogas were 88.31, 84.62, 80.63 and 79.22% for summer, autumn, winter and spring, respectively. Reductions in dry matter quantity were 53.7, 53.5, 51.4 and 47.8 % for composition and 57.4, 51.0, 41.4 and 53.6 % for vermicomposition on summer, autumn, winter and spring, respectively. The largest ($P < 0.05$) nutrient reductions during the processes have piles on summer for composition (larger loss of P, Ca and Na, on average 57.2%) and on summer and autumn for vermicomposition (for P and Na, average of 54.42 % on summer). The volume reduction equations, in piles of composition, were: $y = - 0.0512x + 1.0233$, $y = - 0.0552x + 1.1766$, $y = - 0.0521x + 1.1656$ and $y = - 0.0558x + 1.322$ for spring, autumn, winter and summer, respectively, (x = number of weeks, y = volume in m³).

Key-words: biodigestors, goats, feces, piles, updating, urine

1. INTRODUÇÃO

As estratégias de desenvolvimento adotadas têm privilegiado o crescimento econômico a curto prazo, às custas dos recursos naturais vitais, provocando crise ambiental em escala mundial. A paisagem natural está cada vez mais ameaçada, principalmente, pelo indiscriminado uso de recursos naturais não renováveis. Por isso, em todo o mundo, o lençol freático se contamina, a área florestal diminui, os desertos se multiplicam, o clima sofre profundas alterações, a camada de ozônio se depaupera, o ar se torna irrespirável, o patrimônio genético se degrada, abreviando os anos que o homem tem para viver sobre o planeta. Afinal, ao contrário do que ocorre no funcionamento do desenvolvimento capitalista (busca de expansão constante do capital), o capital ambiental (recursos naturais) é dilapidado como se fosse infinito (RAMPAZZO, 1997).

Segundo Guimarães, 1992 citado por RAMPAZZO (1997) este final de século caracteriza-se pelo esgotamento de um estilo de desenvolvimento que se mostrou ecologicamente predatório, socialmente perverso e politicamente injusto. Neste sentido pode se dizer que, a princípio, os ambientes naturais mostravam-se em estado de equilíbrio dinâmico até o momento em que as sociedades humanas passaram, progressivamente a interferir cada vez mais intensamente na exploração dos recursos naturais. Essa exploração ambiental está diretamente ligada ao avanço do complexo desenvolvimento tecnológico, científico e econômico que, muitas vezes tem alterado, de modo irreversível, o cenário do planeta e levado a processos degenerativos profundos da natureza.

Com a crescente demanda pela produção de alimentos, a agropecuária moderna vem acentuando a sua participação nos impactos provocados ao ambiente. Cada vez mais, torna-se necessário o desenvolvimento de sistemas de produção sustentáveis, que a UNESCO (1995) definiu como aquele que permite responder às necessidades presentes sem comprometer a capacidade das futuras gerações em responder às suas próprias necessidades, afirmando ainda que na capacidade inventiva humana e em sua criatividade em substituir trabalhos penoso, repousam as fontes de sustentabilidade.

No que se refere à produção de alimentos de origem animal, observa-se que as formas empregadas para atendimento das demandas têm levado a aumentos nas densidades populacionais nas unidades produtoras e à regionalização dessas atividades (LUCAS JR., 1994). Assim, há maior geração de resíduos de origem animal com um grande potencial poluidor, concentrados em determinadas regiões.

Uma das preocupações relacionadas ao meio ambiente, diz respeito à disposição de resíduos sólidos, sejam eles de origem humana, animal ou vegetal. Entre os resíduos gerados, uma considerável parte é composta por materiais orgânicos que, não tratados e acumulados desordenadamente, podem levar à poluição da água, do ar e do solo, à disseminação de doenças entre a população humana e animal, além de provocar odores desagradáveis.

O manejo adequado de resíduos merece destaque como uma preocupação a mais dos produtores agropecuários, envolvendo qualidade, comércio, assim como interferindo nos custos de investimento e retorno, que são fatores importantes para uma produção lucrativa (SANTOS, 1997).

Dentre as diversas espécies de animais criadas, a caprina merece destaque, principalmente pelo crescimento observado nos últimos anos. Segundo levantamento realizado pela FAO (2000) a população mundial de caprinos é de aproximadamente 700 milhões de cabeças, e cerca de 92 % destes estão distribuídos nas regiões em desenvolvimento, tropicais e subtropicais. Entre as espécies de ruminantes domésticos, a de caprinos, foi a que mais cresceu nos países desenvolvidos, e este crescimento numérico ocorreu principalmente com animais especializados na produção de leite.

O Brasil possui o 11º maior rebanho caprino do mundo, com cerca de 12,6 milhões de cabeças. No período de 1980 a 1992 observou-se aumento de 51,6 % no país (FAO,1993), indicando crescente interesse na atividade.

O emprego de práticas como compostagem e vermicompostagem em dejetos de origem animal é de extrema importância, pois garante um destino próprio a este material, preservando o meio ambiente, e possibilitando sua comercialização, como fonte de renda alternativa. No caso da biodigestão anaeróbia, o efluente obtido é líquido, fato que pode dificultar a comercialização, porém o mesmo não perde o valor fertilizante, devendo ser utilizado na propriedade, com a vantagem da obtenção do biogás.

O composto é resultante de um processo controlado de decomposição bioquímica de materiais orgânicos (compostagem), sendo um produto mais estável e utilizado como fertilizante. A técnica foi idealizada para se obter rapidamente e em melhores condições a estabilização de matéria orgânica (KIEHL, 1985). Este processo exige controle de aeração, temperatura, ambiente e tempo de compostagem.

No processo de vermicompostagem o produto final pode ser definido como adubo orgânico, obtido a partir de dejetos de origem animal que são decompostos por minhocas. A partir deste processo é produzido o húmus, um composto coloidal rico em nutrientes,

principalmente nitrogênio, cálcio, fósforo, magnésio e potássio, oriundos das dejeções das minhocas. Assim como na compostagem, são requeridos controles de umidade, temperatura e pH (KNAPPER, 1987).

Para LUCAS JR. (1994) a biodigestão anaeróbia representa importante papel para tratamento inicial; pois, além de permitir redução do potencial poluente e recuperação da energia, a reciclagem do efluente é altamente viável, tendo em vista as unidades de produção se localizarem no meio rural. Outro aspecto favorável, diz respeito aos diversos modelos de biodigestores em disponibilidade. Cada um se adequando a um tipo de resíduo, no que se relaciona à diluição.

Desta forma estudos que visem a avaliação do resíduo gerado por caprinos assim como o seu aproveitamento justificam-se pela possibilidade de obterem-se novas informações para a otimização da sua utilização nos processos de compostagem, vermicompostagem e biodigestão anaeróbia, contribuindo para o saneamento, produção de biofertilizante, composto ou vermicomposto e de energia no meio rural.

2. OBJETIVOS

Considerando-se a importância sanitária e econômica da reciclagem de resíduos orgânicos provenientes da caprinocultura, no desenvolvimento deste trabalho teve-se como objetivos gerais a caracterização quantitativa e qualitativa dos dejetos produzidos por cabras, além do estudo da possibilidade de emprego e rendimentos obtidos com três processos de preparo dos dejetos para disposição final.

O desenvolvimento deste estudo teve ainda como objetivos específicos:

- a avaliação dos efeitos da idade e do tipo de alimentação de cabras na quantidade e qualidade dos dejetos produzidos;
- a avaliação do rendimento e características do composto obtido em processo de compostagem com dejetos da caprinocultura.
- a avaliação do rendimento e características do vermicomposto obtido em processo de vermicompostagem com dejetos da caprinocultura.
- a avaliação do processo de biodigestão anaeróbia (produção e qualidade do biogás e biofertilizante, e redução dos números mais prováveis de coliformes totais e fecais) utilizando-se dejetos de cabras como substrato.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Caracterização dos dejetos de caprinos

Os resíduos de origem animal são popularmente conhecidos por esterco, podendo ser definidos como uma mistura de fezes, urina e camas, que podem ser constituídas de palhas, folhas secas, serragem, turfa, casca de arroz ou até mesmo terra. Sua composição dependerá de espécie animal, se ruminante ou não, da idade e das condições do animal, da natureza e quantidade de alimento que os mesmos recebem, do tipo de manipulação e conservação do esterco e da composição das camas.

Segundo KIEHL (1985) e MALAVOLTA *et al.* (1991), os animais devolvem ao solo de 40 a 50 % das rações que lhes é oferecida como alimento. Não se deve esquecer que os animais jovens não devolvem os nutrientes recebidos nas mesmas proporções.

A permanência de fezes na pastagem também tem aspecto negativo, uma vez que de imediato trazem prejuízos ao crescimento da forragem em função do bloqueio de nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas (HIRATA *et al.*, 1990), também propicia a proliferação de moscas e aumento na multiplicação de endo e ectoparasitas (NOVAES, 1985), como ainda resulta em rejeição de 10 a 30 % da área total da pastagem devido à presença de fezes.

Quanto a deposição de urina, sabe-se que as áreas afetadas não prejudicam o pastejo, devido sua rápida absorção pelo solo, sendo um importante meio de retorno de nitrogênio para este. MacLUSKY (1960) sugeriu que a urina tem um efeito negativo sobre a palatabilidade das forrageiras no primeiro dia após a excreção, JARAMILLO e DETLING (1992) verificaram a preferência de vacas leiteiras em pastejar sobre a vegetação onde foi excretada urina.

Entre as quantidades médias de excrementos produzidos por algumas espécies a cada 1.000 kg de peso vivo, em toneladas por ano, MALAVOLTA *et al.* (1991) citam, eqüinos, bovinos, bezerros, suínos, ovinos e aves, gerando 9,1, 12,7, 7,5, 15,0, 6,0 e 4,3, respectivamente.

Os nutrientes excretados no esterco (fezes e urina) variam significativamente de acordo com a ingestão de alimento, níveis de suplementação e também com as quantidades destes nutrientes que são secretadas no leite (VAN HORN, 1994). Além disso, outros fatores podem estar envolvidos como a quantidade excretada de fezes pelos animais, entre eles pode-

se citar: peso, idade, nível de produção, estado fisiológico (animais prenhes, secas, em lactação, em acabamento), quantidade e qualidade do alimento fornecido aos animais, sistema de produção (pasto, confinamento ou semi-confinamento), e até mesmo com a estação do ano. Animais estabulados recebendo altos níveis de alimentação terão produção mais elevada de dejetos do que animais mantidos em regime de pastejo. Dados sobre a quantidade de dejetos gerados por caprinos e disponíveis na literatura são bastante escassos e variam muito, principalmente se relacionados com o nível de produção dos animais e a qualidade e quantidade da dieta fornecida.

Em relação à quantidade de esterco produzida, JARDIM (1977) estimou que uma cabra produz em média, 600 kg de esterco ao ano.

Segundo AGRAZ (1989) o esterco caprino é particularmente indicado para solos argilosos, sendo sua ação de duração mais longa que a de outras espécies de quadrúpedes domésticos. A urina é bastante rica em nitrogênio, potássio e ácido fosfórico e é particularmente utilizável nos vinhedos e hortas de flores e hortaliças.

Conforme JARDIM (1977) e SALES (1978) o esterco de cabra é um dos melhores, por sua riqueza em nitrogênio, fósforo e potássio. É indicado para diversas culturas hortícolas, de oleaginosas e de tabaco. Por seu valor, constitui um excelente adubo, existindo um comércio de esterco de cabras no qual o criador pode encontrar uma fonte interessante de retorno dos investimentos (QUITTET, 1982, SALES, 1978).

Em relação às composições médias, % de água, nitrogênio, fósforo e potássio, nos dejetos de algumas espécies, Jorge, 1983 citado por MARCHIORI (1990) relacionou valores que estão apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Composição média, em água, nitrogênio, fósforo e potássio, nos dejetos produzidos por várias espécies animais.

Animais	Água (%)	Nitrogênio (kg/t)	Fósforo (kg/t)	Potássio (kg/t)
Aves	68	14,0	9,5	3,5
Ovinos	64	14,0	5,0	12,0
Eqüinos	59	6,5	2,0	7,5
Suínos	87	5,0	3,0	4,0
Bovinos	79	5,5	2,0	6,0

Fonte: Jorge 1983, citado por MARCHIORI, 1990.

Alguns autores enfatizam as variações que ocorrem no teor de água das fezes de caprinos, que segundo JARDIM (1977), QUITET (1982) e AGRAZ (1989) pode oscilar entre 51 e 75% da matéria natural. Quando a composição é avaliada na matéria seca, as variações diminuem, principalmente para o nitrogênio e o fósforo, mantendo-se ainda assim muito variáveis para o potássio.

Na Tabela 2 são apresentadas informações dos teores de alguns nutrientes no esterco de caprinos, sob condições de estábulo e pastoreio.

TABELA 2. Composição dos dejetos produzidos por cabras estabuladas e em pastoreio.

Componente	Cabras Estabuladas			Cabras em Pastoreio		
	Seco	Fresco	Curtido	Seco	Fresco	Curtido
Umidade	21,57	63,06	72,19	12,18	51,19	65,60
Nitrogênio amoniacal (N)	0,05	0,05	0,06	0,04	0,03	0,00
Nitrogênio orgânico (N)	1,38	0,67	0,51	2,23	1,17	0,82
Fósforo (P ₂ O ₅)	1,56	0,67	0,57	1,06	0,72	0,54
Potássio (K ₂ O)	0,02	0,14	0,22	1,25	0,36	0,35
Matéria Mineral	13,68	6,19	4,99	15,60	8,88	6,69
Matéria Orgânica	64,75	30,75	22,82	72,22	39,93	27,81
Matéria Seca	78,43	36,94	27,81	87,82	48,81	34,50

(AGRAZ, 1989)

Com o objetivo de comparar o esterco caprino com outras espécies de animais domésticos, Vieira, 1985, citado por MALAVOLTA *et al.* (1991) conclui que o esterco caprino é superior ao de eqüinos e bovinos em nitrogênio, aos de ovinos, suínos, eqüinos e bovinos em fósforo e aos de ovinos, suínos, eqüinos e bovinos em potássio, sendo, de forma geral, inferior apenas ao esterco de coelho e de aves. Uma informação importante para que esta comparação fosse mais efetiva seria o teor de matéria seca de cada esterco, mas o autor não fornece este dado.

Em estudos realizados com bovinos leiteiros VAN HORN *et al.* (1994) avaliaram os dejetos excretados quanto à composição de nutrientes, em % nas fezes, urina e combinado de ambos, assim como a excreção diária (em gramas) por elemento. Os resultados obtidos neste experimento estão apresentados na Tabela 3.

TABELA 3. Composição em nutrientes das fezes, urina e combinado de ambos, gerados por vacas leiteiras produzindo, em média, 22,7 kg de leite/dia e consumo médio de MS de 17,8 kg.

Elemento	Composição (%)			Excreção diária (g)		
	fezes	urina	Combinados	fezes	urina	combinados
N	2,7	14,0	4,30	160,0	136,0	296,0
P	0,85	0,37	0,78	50,0	32,0	54,0
K	0,53	13,96	2,43	31,0	4,0	168,0
Ca	2,00	0,023	1,72	118,0	137,0	119,0
Na	0,16	4,65	0,80	9,0	0,3	55,0
Mg	0,70	0,46	0,67	41,0	46,0	0,46
Fe	0,11	-	-	7,4	5,0	7,6

Fonte: Adaptado de VAN HORN *et al.* (1994)

Ainda mais escassas são as informações referentes à composição e quantidade de urina produzida pelos caprinos. AGRAZ (1984) apresentou (Tabela 4) os teores mínimos, máximos e médios dos diversos componentes e estimou que uma cabra adulta pode produzir 0,5 e 2,9 litros de urina por dia.

TABELA 4. Composição da urina de caprinos, em g por 1000 g, na matéria natural.

Elemento	Mínimo	Máximo	Média
Uréia	10,00	23,00	16,00
Amônia	0,17	0,51	0,34
Acido fosfórico	0,40	1,00	0,70
Cloro	4,00	5,00	4,50
Potássio	0,56	0,68	0,62
Sódio	0,40	1,20	0,80

Fonte: AGRAZ (1984)

3.2. Aproveitamento dos dejetos de caprinos

3.2.1. Biodigestão Anaeróbia

A produção animal gera um considerável volume de resíduos que se gerenciados de forma inadequada provocam, como afirmou LUCAS JR. (1994), perdas de potencial energético se não forem reciclados; tanto produtivo, em termos agrícolas, através dos componentes fertilizantes, quanto calorífico, pela capacidade de produção de biogás decorrente do teor de matéria orgânica digerível (sólidos voláteis). Ainda segundo esse autor, cada kg ou L de dejetos desperdiçado representa um grande prejuízo para o ambiente e uma perda significativa para o produtor.

Os resíduos de origem animal constituem uma elevada proporção da biomassa e sua utilização em sistemas de reciclagem é de extrema importância sob aspectos econômicos e ambientais. A digestão anaeróbia é um dos vários processos existentes para tratamento dos resíduos e representa um método bastante atrativo, pois promove a geração do biogás, como fonte de energia alternativa, e do biofertilizante (Saha, 1994; Augenstein *et al.*, 1994 citados por AL-MASRI, 2001).

A digestão anaeróbia é um processo biológico natural que ocorre na ausência de oxigênio molecular, no qual um consórcio de diferentes tipos de microrganismos interagem estreitamente para promover a transformação de compostos orgânicos complexos em produtos mais simples, resultando, principalmente, nos gases metano e dióxido de carbono (Toerien *et al.*, 1969; Mosey, 1983; Novaes, 1986; Foresti *et al.*, 1999, citados por STEIL, 2001).

Este processo pode ser utilizado no tratamento tanto de resíduos sólidos como líquidos, para a redução ao mínimo do poder poluente e dos riscos sanitários dos dejetos, tendo, ao mesmo tempo, como sub - produtos deste processo, o biogás e o biofertilizante com várias aplicações práticas na propriedade rural.

Por apresentarem baixa produção de biomassa, os processos anaeróbios necessitam somente de 10 % dos nutrientes necessários para o tratamento aeróbio. Por essa razão, as águas residuárias e resíduos sólidos da agroindústria e agropecuária, nas quais muitas vezes verificam-se deficiências nutricionais, podem ser normalmente tratados anaerobiamente sem a adição de nutrientes (WEILAND, 1989).

Segundo LUCAS JR. (1994) o potencial de produção de biogás a partir do estrume de ruminantes deve sofrer variações em função da qualidade nutricional dos alimentos

fornecidos aos animais, esperando-se diferenças entre estrumes coletados a partir de animais que são mantidos a pasto em relação ao de animais que recebem alguma suplementação alimentar, principalmente, se for de alimento concentrado.

De forma geral, os potenciais são menores que os encontrados para aves e suínos, obtendo-se também menor degradação do substrato, sendo este fato explicado pela dificuldade de redução dos sólidos originários da fração que compõe o volumoso da alimentação. Por se tratar de dejetos de ruminante o processo, geralmente, ocorre de forma mais rápida devido à maior presença de microrganismos que atuam no processo de biodigestão anaeróbia, uma vez que são comuns no ambiente ruminal (LUCAS JR., 1994).

AL-MASRI (2001) avaliou o desempenho de biodigestores anaeróbios abastecidos com dejetos de caprinos e ovinos. Para tanto, utilizou-se de biodigestores modelo batelada, com 40 dias de retenção e mantidos em banho-maria a 30°C. As reduções de sólidos totais e voláteis (ST e SV) foram de 72,6 e 58,2% respectivamente, quando utilizou como substrato dejetos de ovinos e 71,3 e 58,1% em biodigestores abastecidos com dejetos de caprinos. O autor avaliou também o consumo de energia durante o processo e verificou que quando utilizou os dejetos de ovinos como substrato ao processo de biodigestão anaeróbia ocorreu maior redução de energia, 31,2%, se comparado com o consumo quando os biodigestores foram abastecidos com dejetos de caprinos, 29,2%.

Em experimento realizado por MISI e FORSTER (2001) os autores avaliaram o processo de biodigestão anaeróbia em biodigestores abastecidos com misturas a base de dejetos de caprinos, ovinos e bovinos, resíduos do processamento de frutas e cama de frangos, em diferentes proporções. Quando os dejetos de ovinos e caprinos perfizeram 70% da mistura obtiveram como valores: produção total de 4189,50 mL de CH₄ (em 35 dias de retenção e em biodigestores com capacidade de 1000 mL), 0,14 m³ de metano/kg de SV adicionado, 0,42 m³ de CH₄/kg de SV reduzido e 34,1% de redução de SV.

O biogás é composto principalmente de metano e dióxido de carbono com pequenas quantidades de sulfeto de hidrogênio, e pode ser utilizado em diversas aplicações na propriedade rural, tais como em chocadeiras, incubadoras, refrigeradores a querosene, geradores de energia elétrica, além do consumo doméstico (CAEEB, 1981).

Além do biogás, o processo de biodigestão anaeróbia produz o biofertilizante, que segundo a CAEEB (1981) apresenta as seguintes vantagens de aplicação no solo: a) o conteúdo de matéria orgânica do resíduo resulta em uma capacidade de retenção de umidade pelo solo, evitando demora no crescimento das plantas durante o tempo seco; b) melhoria na

estrutura do solo, especialmente em argilas, permitindo maior penetração de ar com conseqüente estímulo à oxidação da matéria orgânica pelos organismos do solo; c) introdução de grande número de bactérias e protozoários, resultando em aumento da velocidade de decomposição, o que torna os nutrientes mais rapidamente assimiláveis pelas plantas; d) introdução de certos minerais necessários ao crescimento das plantas.

3.2.1.1. Fatores que interferem no processo de biodigestão anaeróbia

STEIL (2001) enfatizou que o processo de tratamento anaeróbio de resíduos ocorre a partir de uma série de transformações bioquímicas envolvendo diferentes grupos de microrganismos que interagem estreitamente para promover essas transformações, e ressaltou que a avaliação qualitativa e quantitativa da biomassa presente no sistema de tratamento é de fundamental importância não apenas para o entendimento do processo, como também para alcançar melhor desempenho e estabilidade no tratamento de resíduos.

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

LUCAS JR. (1994) afirmou que a definição de uma temperatura operacional é extremamente importante do ponto de vista biológico e econômico, uma vez que a taxa de produção de biogás depende da temperatura. Biodigestores operando na faixa termofílica produzem maior quantidade de biogás em menor período quando comparados com aqueles operados na faixa mesofílica, resultando em menores tempos de retenção hidráulica (período em que o resíduo permanece no interior do biodigestor), implicando em menor volume para o tratamento e, conseqüentemente, menores custos de implantação. Entretanto, o baixo custo da câmara de fermentação é compensado pelos custos de aquecimento, uma vez que, geralmente, o gás produzido é insuficiente para aquecer os resíduos a serem tratados. Neste sentido, o tratamento na faixa termofílica torna-se interessante apenas quando o resíduo a ser tratado encontra-se em temperatura mais elevada (Lettinga *et al.*, 1997, citados por STEIL, 2001).

A disponibilidade de certos nutrientes é essencial para o crescimento e atividade microbiana. Estudos sobre requerimentos nutricionais para o tratamento anaeróbio apontam para um importante papel de íons inorgânicos, especialmente metais traços para a estimulação do metabolismo microbiano anaeróbio. Segundo SPEECE (1983), a deficiência de ferro, cobalto e níquel foi a causa de resultados negativos no tratamento de efluentes industriais no passado.

O carbono, nitrogênio e fósforo são essenciais para todos os processos biológicos. O enxofre é também considerado um dos nutrientes necessários à metanogênese, e evidências preliminares apontam para um elevado requerimento de sulfetos por parte desses microrganismos (SPEECE, 1983). Porque os microrganismos metanogênicos assimilam enxofre na forma de sulfetos, que são originados a partir da redução biológica de sulfatos (constituente comum de muitas águas residuárias), (FORESTI *et al.*, 1999).

Durante o processo alguns fatores, referentes a composição dos dejetos que originarão o substrato, podem ter efeito prejudicial sobre a atividade das bactérias no interior dos biodigestores, ocasionando diminuição na geração do biogás. Dentre estes fatores, a EMBRAPA (1993) destacou os seguintes:

- Grande parte dos compostos orgânicos nitrogenados é constituída por proteínas e produtos de sua degradação, e a hidrólise de proteínas produz aminoácidos que em condições anaeróbias liberam, entre outros produtos, algumas substâncias com odor, como mercaptanas, aminas, fenol, sulfeto de hidrogênio, gás amônio, ácidos orgânicos, álcoois, dióxido de carbono e metano. Dentre estes produtos gerados a amônia pode prejudicar o processo de biodigestão anaeróbia se presente em concentração superior a 150 mg/L.
- Os metais pesados (Zn, Ni, Cr, Cu, Mn, Hg, Pb, Cd e Fe) causam inibição na digestão anaeróbia, quando a concentração de seus íons livres, diretamente proporcional a concentração de íons sulfeto, excede uma certa concentração limite, listada a seguir, na Tabela 5.
- As concentrações de Na, K, Ca e Mg que provocam toxidez a digestão anaeróbia, estão apresentadas na Tabela 6. Alguns metais podem ser introduzido através das substâncias para correção do pH, situação em que se deve tomar precauções.

No que se refere a resíduos originados na produção animal, a administração de antibióticos aos animais, o uso de desinfetantes e pesticidas pode influir negativamente sobre a população microbiana, uma vez que esses compostos são encontrados em larga escala na

propriedade rural e podem misturar-se aos dejetos após a lavagem das instalações (STEIL, 2001).

TABELA 5. Limites de concentração, em metais solúveis determinados por alguns autores.

Elementos	Concentração (mg/L)	Fonte
Cromo	3,0	Moore
Níquel	2,0	Moore
Zinco	1,0	Moore
Cobre	0,5	Moore
Ferro	2,8	Chian e De Walle
Cobre	0,9	Chian e De Walle
Zinco	0,2	Chian e De Walle

Fonte: EMBRAPA (1993).

TABELA 6. Concentração dos metais alcalinos no afluente e seu efeito sobre a digestão anaeróbia.

Cátion	Concentração estimulante (mg/L)	Concentração moderadamente inibidora (mg/L)	Concentração fortemente inibidora (mg/L)
Cálcio	100 a 200	2.500 a 4.500	8.000
Magnésio	75 a 150	1.000 a 1.500	3.000
Potássio	200 a 400	2.500 a 4.500	12.000
Sódio	100 a 200	3.500 a 5.500	8.000

Fonte: EMBRAPA (1993).

Outro aspecto importante a ser observado na digestão anaeróbia é o teor de sólidos totais (ST) do substrato. LUCAS JR. *et al.* (1993) encontraram melhor produção de biogás em biodigestores modelo batelada quando o teor de ST do substrato foi menor que 8%, em relação a um teor de ST de 16 %.

3.2.2. Compostagem e Vermicompostagem

A compostagem não é uma prática nova, pois, vem sendo aplicada há alguns séculos no Oriente, principalmente na China. Essa técnica foi conhecida no Ocidente, provavelmente a partir de observações feitas pelo professor F. H. King do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, em 1909, e pelos experimentos de Sir Albert Howard, considerado o pai da compostagem, inglês que trabalhou vários anos na Índia, nas primeiras décadas do século XX (PEIXOTO, 1988).

O processo de compostagem pode ser definido como a oxidação biológica, exotérmica, do material orgânico, efetuada por sucessões rápidas de populações de microrganismos aeróbios. O material orgânico, inicialmente heterogêneo, é transformado, após um período adequado de compostagem, que inclui as fases bio-oxidativas e de maturação, em um produto estabilizado através da mineralização parcial ou humificação (Gray *et al.*, 1971; Viel *et al.*, 1987 citados por JIMENEZ e GARCIA, 1992).

A humificação é um processo que envolve a degradação do material orgânico e a neossíntese de polímeros de elevado peso molecular, ou seja, substâncias de baixo peso molecular, após a degradação microbiana, são condensadas, formando colóides amorfos de coloração marrom escura, alto peso molecular e grande estabilidade a ataques microbianos. Os produtos formados são genericamente conhecidos como húmus (STEVENSON, 1982). Segundo o autor o húmus contém a maioria, senão todos, os compostos bioquímicos sintetizados pelos organismos vivos.

Numa outra visão, a compostagem nada mais é do que uma oxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, caracterizada pela produção de CO₂, água, liberação de substância minerais e formação de matéria orgânica estável (Zucconi e Bertoldi, 1986, citados por FERNANDES *et al.*, 1993).

Como processo biológico e dentro de uma concepção moderna, a compostagem deve ser necessariamente aeróbia e incluir uma fase termofílica (45 a 65 °C), quando será maximizada a atividade microbiológica de degradação e higienização (1º fase do processo), e a fase de maturação ou cura, quando ocorrem a humificação e a produção do composto propriamente dito que é a 2º fase do processo (PEREIRA NETO e STENTIFORD, 1992). Ainda, segundo os mesmos autores, a compostagem é o processo de tratamento de resíduos que apresenta maior flexibilidade operacional, combinando baixo custo e alta eficiência em um só sistema. O baixo

custo é obtido, quando o sistema utiliza equipamentos simples para manter os parâmetros de projeto: umidade, oxigenação e temperatura sob controle, sem exigir mão-de-obra intensiva.

Os processos de compostagem são classificados segundo a tecnologia empregada. Neste sentido, Bertoldi e Manzoni, 1984, citados por MARCHIORI (1990) afirmaram que o suprimento de O₂ constitui um dos fatores mais influenciados pela tecnologia em torno da qual os processos são desenvolvidos. Neste contexto, os sistemas de aeração variam desde equipamentos relativamente simples, como no caso de sistemas abertos, até aqueles bastante complexos, como os reatores dos processos fechados.

Os sistemas buscam a criação de condições adequadas para o crescimento e metabolismo dos microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica e podem ser agrupados em dois tipos:

Sistemas abertos: caracterizam os processos realizados inteiramente em ambientes abertos, sendo os mais comuns na compostagem de resíduos sólidos domiciliares. A fração orgânica, após separação de materiais inertes, é disposta em pilhas ou leiras de seção transversal aproximadamente triangular e altura de 1,5 a 1,8 m (KIEHL, 1985). A aeração é feita por meio de revolvimentos periódicos das pilhas ou aeração forçada em pilhas estáticas (PEREIRA NETO, 1987; Bertoldi e Manzoni, 1984, citados por MARCHIORI, 1990).

Sistemas fechados: a compostagem passa a ser realizada no interior de reatores dos mais diversos tipos, onde os fatores que afetam o processo, como temperatura, umidade, aeração e até adição de nutrientes são controlados (PEREIRA NETO, 1987). Devido ao elevado controle do processo, a decomposição dos resíduos se dá com velocidade bem maior e o tempo de detenção do material no biodigestor (reator), em geral, é bastante curto, podendo ser de apenas 5 dias para a fase ativa (KIEHL, 1985; PEREIRA NETO, 1987; RESENDE, 1991).

O produto da compostagem, conhecido como composto orgânico, é um material homogêneo, bioestabilizado, de coloração escura, relação C/N próxima a 10/1, teor de nutrientes variável de acordo com o material processado e isento de microrganismos patogênicos, destruídos pela manutenção de elevadas temperaturas no processo. Sua utilização em agricultura mostra-se interessante para melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (KIEHL, 1985; NAKAGAWA, 1992).

O termo vermicompostagem é empregado para o processo que utiliza minhocas na

degradação biológica e humificação da matéria orgânica. A vermicompostagem pode ser aplicada diretamente a fração orgânica, contudo, isso demanda uma série de problemas a serem contornados. Outra forma de desenvolvimento da vermicompostagem é aplicando-a sobre um material previamente compostado. Assim, após a pré-compostagem que promoverá a higienização e a homogeneização do material, tem início o processo de vermicompostagem, utilizando o composto como matéria prima. O objetivo deste processo é melhorar as características físico-químicas e biológicas do composto, e conseqüentemente, melhorar sua aceitação e valor comercial (KNAPPER, 1987).

Segundo KNAPPER (1987) a espécie de minhoca *Eisenia foetida*, pelas suas características humificadoras e pela facilidade de reprodução, tem aceitado muito bem o confinamento e mostrado excelentes resultados, pois quando inoculadas ao solo, otimizam o aparecimento de minhocas nativas, para que estas possam trabalhar na decomposição dos materiais orgânicos.

As dejeções destas minhocas são ricas em nutrientes, principalmente em nitrogênio, cálcio, fósforo, magnésio e potássio apresentando ótima capacidade de troca de cátions e elevado teor de matéria orgânica de modo que ao ser analisada, segundo TIBAU (1981) apresentou: 2,19 µg / mL de nitrogênio, 350 µg / mL de potássio assimilável, 150 µg / mL de fósforo assimilável, 1,2 % de cálcio, 0,5 % de magnésio, pH = 7,0, relação C/N = 14:1 e matéria orgânica = 13 %. Além disso o tubo digestivo desses organismos proporciona a absorção de fósforo, potássio e microelementos, inclusive a matéria orgânica (NOLLA, 1982).

Os efeitos da matéria orgânica sobre as propriedades do solo, foram ressaltados por KIEHL (1985), por contribuírem substancialmente para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A matéria orgânica exerce influências benéficas sobre as propriedades físicas, químicas, físico-químicas e biológicas do solo, revertendo no aumento da produção.

Este fato foi destacado por DIAZ *et al.* (1986) quando se referiam à redução da demanda de fertilizantes minerais e da quantidade de energia requerida para o preparo do solo, bem como a redução da erosão com a conseqüente preservação das características desejáveis do solo.

Uma das preocupações quanto a utilização de compostos orgânicos, refere-se a concentração de metais pesados neste produto, podendo haver contaminação do solo, da água do lençol freático, e ainda dos alimentos que ali serão produzidos. De acordo com GILLIS (1992), alguns pesquisadores citaram que se os metais pesados estiverem na forma iônica podem ser absorvidos pela planta, mas a grande maioria dos metais está no solo na forma não

disponível para absorção, portanto o solo pode conter níveis altos de metais pesados, porém estes, podem não estar presentes nos alimentos.

BUSINELLI *et al.* (1996), em estudo realizado por seis anos acompanhando o processo de acumulação de metais pesados no solo, movimento no perfil do solo e sua disponibilidade para plantas de milho após repetidas aplicações de composto de lixo urbano, relataram que o metal pesado adicionado não causou contaminação das plantas, nem da água subterrânea, concluindo que o metal pesado não percolou pela camada arável do solo. Dentre os metais pesados, apenas cobre, zinco e chumbo tiveram suas concentrações aumentadas nas plantas e somente o primeiro alcançou altas concentrações nos grãos, porém, não causaram fitotoxicidade visível às plantas.

3.2.2.1. Fatores que interferem no processo de compostagem

Segundo KIEHL (1985), os fatores que influem na compostagem são os seguintes:

Microrganismos: Há uma sucessão de predominância de microrganismos influenciados por fatores como: substâncias químicas da matéria prima, umidade, aeração, temperatura, relação C/N, e pH. Na compostagem aeróbia normalmente não existe necessidade de adição de substâncias para controle de pH, havendo apenas o cuidado para que o pH inicial não seja na faixa alcalina, o que levaria a pesadas perdas do nitrogênio pela volatilização da amônia. Ao final do processo, o pH deve ficar compreendido entre 7,5 e 9,0, de acordo com Spitzner Jr. (1992), citado por BIDONE (1995).

Umidade: A compostagem é um processo biológico de decomposição da matéria orgânica, portanto a presença da água é imprescindível para as necessidades fisiológicas dos organismos. A matéria orgânica a ser compostada deve ter uma umidade ótima em torno de 50%, sendo os limites máximo e mínimo iguais a 60 e 40 %, respectivamente. Conforme ALVES (1996), o teor de umidade dos resíduos depende da sua granulometria, porosidade e grau de compactação. A umidade deve ficar em torno de 50 % para que o processo ocorra de maneira satisfatória. Valores abaixo de 40 % fazem com que diminua a ação dos microrganismos e acima de 60 % pode ocorrer pontos de falta de oxigênio, levando a decomposição anaeróbia, que é indesejável, por causar mau cheiro e depreciar a qualidade do composto. Nessas condições, ocorre a formação de chorume, que escorre das leiras levando a

uma situação indesejável.

Aeração: De acordo com ALVES (1996), a presença de oxigênio no meio é necessária para a atividade biológica, e em níveis adequados, possibilita a decomposição da matéria orgânica de forma mais rápida, sem odores. A aeração depende da granulometria e da umidade dos resíduos. Nos sistemas de compostagem acelerado, seu controle é feito pelo insuflamento de ar e no sistema aberto por meio de revolvimentos. Se o teor de oxigênio baixar demasiadamente, a decomposição da matéria orgânica será feita pelos microrganismos anaeróbios, os quais atuam com lentidão, produzindo maus odores e atraindo moscas, além de não conseguirem a plena estabilização da matéria orgânica.

Temperatura: Quando a matéria orgânica é decomposta em pequeno volume, o calor gerado pelo metabolismo dos microrganismos se dissipa e o material não se aquece. Quando se processa a compostagem em montes, trabalhando-se com grandes massas, por serem tais materiais bons isolantes térmicos, o calor desenvolvido se acumula e a temperatura alcança valores elevados, podendo chegar a 80° C. Na Figura 1, apresentada abaixo, está ilustrada a curva ideal da temperatura no interior de uma leira de compostagem.

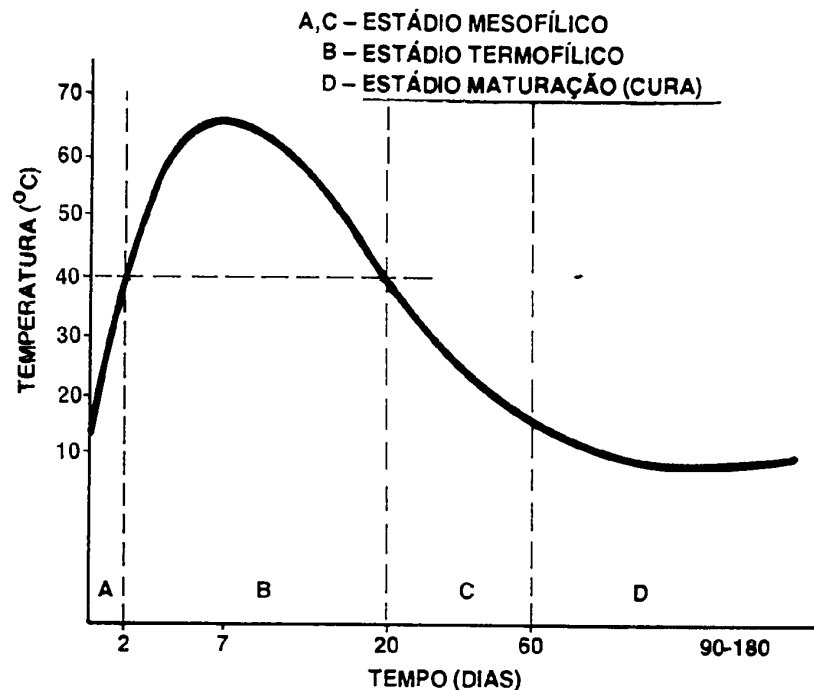


FIGURA 1. Principais fases de temperatura durante o processo de compostagem.

Relação C/N: Os microrganismos requerem uma fonte de carbono, nitrogênio, macronutrientes e microelementos para o seu crescimento. A composição do material base, irá portanto determinar a velocidade do processo de compostagem, e a relação entre carbono e nitrogênio disponíveis é a variável mais importante (Lopez-Real, 1990, citado por GORGATI, 2001). A relação C/N de microrganismos é cerca de 10:1 e em teoria, seria o melhor valor para o seu metabolismo. O intervalo de valores para C/N entre 25:1 e 50:1 é definido como ótimo para o início do processo de compostagem. Valores mais elevados reduzirão a velocidade de decomposição; por outro lado, baixa relação C/N, induz perdas de nitrogênio na forma de amônia, em particular a altas temperaturas e condições de aeração forçada (Lopez-Real, 1990, citado por GORGATI, 2001). Seguindo uma hierarquia básica, os compostos de carbono mais simples e com menor peso molecular, como açúcares solúveis e ácidos orgânicos, serão atacados na fase inicial de decomposição, gerando energia e sendo transformados em polímeros maiores e mais complexos. A seguir, nessa seqüência, estão as hemiceluloses, celulose e lignina. Lignina é extremamente resistente ao ataque de microrganismos e é assim, o último material a ser degradado na compostagem.

Os microrganismos absorvem os elementos em uma proporção de 30 partes de carbono para 1 parte de nitrogênio; o carbono é utilizado como fonte de energia, sendo 10 partes incorporadas ao protoplasma celular e 20 partes eliminadas como gás carbônico. O nitrogênio é assimilado na proporção de 10 partes de carbono para uma de nitrogênio, daí a razão do húmus ter uma relação C/N próxima de 10/1.

Redução do volume das leiras: No que diz respeito à redução do volume da leira durante a compostagem, PEIXOTO (1988) citou que pode variar em torno de 50 a 70 % e que cada metro cúbico de composto produzido pode pesar mais de 1000 kg. Ressaltou ainda que os cálculos feitos nesse sentido foram aproximados, em virtude destes valores variarem conforme o tipo e quantidade dos resíduos utilizados.

3.2.2.2. Fatores que interferem no processo de vermicompostagem

Umidade : A umidade do material orgânico no canteiro deve estar em torno de 70% (REBLIN e MAGALHÃES, 1989). No períodos secos a umidade ideal pode ser alcançada por meio de

irrigação, e nos chuvosos o excesso de água pode ser evitado com a cobertura dos canteiros com lona.

Temperatura: Para REBLIN e MAGALHÃES (1989) a temperatura ideal, que favorecerá a manutenção e reprodução das minhocas nos canteiros, está entre 20 e 24°C.

pH: KNAPPER (1987) recomenda um pH de 6,4 a 7,0 e MARTINEZ (1990) sugere que a faixa ideal está entre 5,5 a 8,0. Na prática, o monitoramento do pH dificilmente é feito, pois a minhoca possui uma glândula calcífera, no esôfago, que facilita a manutenção de pH ótimo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Descrição do local

O presente trabalho foi realizado no Setor de Caprinocultura do Departamento de Zootecnia (DZ) e Laboratório de Digestão Anaeróbia do Departamento de Engenharia Rural (DER), da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) da UNESP – Campus de Jaboticabal.

O Campus de Jaboticabal situa-se em local cujas coordenadas geográficas são: 21°15'22" S; 48°18'58" W e altitude média de 575 metros.

O clima da região, segundo a classificação de KÖPPEN é Cwa, isto é, subtropical úmido, seco no inverno e com chuvas no verão, com precipitação anual em torno de 1400 mm e temperatura média anual próxima de 21,5°C.

4.2. Ensaio de quantificação e caracterização dos dejetos gerados por caprinos

4.2.1. Quantificação dos dejetos

Para desenvolvimento do ensaio de quantificação e caracterização utilizou-se como estrutura o galpão experimental do Setor de Caprinocultura, alojando-se os animais em gaiolas metabólicas individuais de 0,7 x 1,4 m (largura x comprimento), contendo comedouros e bebedouros acoplados, assim como coletor de dejetos, possibilitando a coleta de fezes e urina separadamente.

Nesta fase foram quantificados os dejetos produzidos por cabras da raça Saanen, que se enquadraram em quatro categorias de idade e foram alimentadas por três dietas, variando as proporções entre volumoso e concentrado.

Os animais foram divididos em quatro categorias, conforme a idade, como segue:

Categoria 1: animais de 2 a 4 meses de idade.

Categoria 2: animais de 4 a 8 meses de idade.

Categoria 3: animais de 8 a 12 meses.

Categoria 4: animais com idade superior a 12 meses e considerados adultos.

Para tanto foram utilizadas 9 fêmeas em cada uma das categorias (sendo três em cada regime de alimentação), totalizando 36 animais.

A alimentação foi composta de volumoso (feno de *Tifton 85*) e concentrado, em três diferentes proporções, que foram aplicadas a todas categorias e com fornecimento “ad libitum”.

Na primeira condição ofereceu-se dieta composta por 20% de concentrado e 80% de volumoso (dieta 1); na segunda 40% de concentrado e 60% de volumoso (dieta 2) e na terceira 60% de concentrado e 40% de volumoso (dieta 3).

Esta alimentação foi fornecida no cocho, individualmente, em duas refeições diárias (às 8 e 17 horas). Havia a disposição dos animais, água (em bebedouros individuais) e sal mineral. Mediu-se o consumo diário de matéria seca pelos animais.

Os dejetos foram coletados diariamente, em todas as gaiolas, por um período de 5 dias. Os animais foram adaptados à alimentação fornecida durante o experimento por 14 dias. Após a coleta estes dejetos foram identificados e levados ao laboratório para obtenção da massa total produzida, matéria seca, umidade e sólidos voláteis.

Na Tabela 7 está apresentada a composição do concentrado que foi ofertado aos animais nas proporções já descritas.

Para o fornecimento da ração, estimou-se que o consumo em gramas de matéria seca por dia seria função do peso metabólico, levando em consideração o estado fisiológico de cada categoria, como lactação e crescimento.

TABELA 7. Composição do concentrado oferecido aos animais durante a fase experimental.

Ingredientes	Porcentagem
Milho	46,8
Soja Grão	4,0
Farelo de Soja	11,0
Farelo de Algodão	9,1
Farelo de Trigo	5,2
Feno de Alfafa	17,9
Núcleo Leite	5,0
Calcário	1,0
TOTAL	100,0

Foram coletadas amostras de cada dieta para análise de suas composições, seguindo a metodologia descrita na AOAC (1980). As análises foram realizadas no Laboratório de Biodigestão Anaeróbia (DER) da FCAV/Unesp, sendo determinados os teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibras em detergente neutro (FDN) e detergente ácido (FDA) e matéria mineral (MM).

Na Tabela 8 está apresentada a composição bromatológica das três dietas oferecidas aos animais.

TABELA 8. Composição bromatológica das dietas oferecidas às cabras em diferentes categorias de idade durante o ensaio de quantificação e caracterização (% da matéria natural - MN).

Dietas	MS	PB	EE	FDN	FDA	MM
1	91,2	13,4	0,91	75,3	36,8	5,9
2	89,6	16,2	0,96	67,7	24,8	6,1
3	89,1	17,6	1,06	66,4	20,3	6,3

4.2.2. Caracterização dos dejetos produzidos

Para as fezes foram efetuadas análises de sólidos totais e voláteis, umidade e matéria orgânica. Foi realizada a digestão sulfúrica para subsequente determinação de N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, Cu, Cr, Ni, Cd e Pb, procedimento também adotado para a urina.

4.3. Ensaio de biodigestão anaeróbia

Este ensaio foi dividido em duas partes. A primeira com o intuito de avaliar os efeitos das estações do ano nas reduções dos teores de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV) e a produção de biogás em biodigestores abastecidos com dejetos de caprinos gerados durante o verão, outono, inverno e primavera no Setor de Caprinocultura, por animais em diversas idades e sob um único regime alimentar. A segunda parte do ensaio visou avaliar a interferência da variação nos níveis de volumoso e concentrado na alimentação de caprinos sobre a produção de biogás.

O potencial energético do ensaio de biodigestão anaeróbia para observar os efeitos das estações do ano, foi determinado avaliando-se as reduções nos teores de ST e SV e a produção de biogás. Para tanto foram utilizados biodigestores tipo batelada de campo, instalados no Departamento de Engenharia Rural da FCAV/Unesp de Jaboticabal. Os dejetos para abastecimento dos biodigestores foram produzidos no Setor de Caprinocultura da FCAV/Unesp de Jaboticabal por caprinos da raça Saanen, em diferentes estados fisiológicos, de ambos os sexos e consumindo a mesma dieta. A partir deste material foram preparados os substratos para abastecimento dos biodigestores, utilizando-se água para a diluição e adotando-se teor de sólidos totais em torno de 8%.

O potencial de produção de biogás dos dejetos de caprinos obtidos de animais alimentados por três dietas (dieta 1- 80 % volumoso e 20 % concentrado, dieta 2- 60 e 40 % e dieta 3 - 40 e 60 %) foi avaliado analisando-se a produção de biogás e os teores de sólidos totais e voláteis nos afluentes e efluentes dos biodigestores. Para tanto foram utilizados 9 biodigestores de bancada (dejetos obtidos de animais com as três dietas e três repetições), instalados no Laboratório de Biodigestão Anaeróbia do Departamento de Engenharia Rural da FCAV/Unesp. Os dejetos para o abastecimento foram produzidos no Setor de Caprinocultura da FCAV/Unesp de Jaboticabal por cabras adultas da raça Saanen, e a partir deste material foram preparados os substratos para abastecimento dos biodigestores, utilizando-se água para a diluição e adotando-se teor de sólidos totais em torno de 8%.

4.3.1. Caracterização dos biodigestores batelada

4.3.1.1. De campo

Os biodigestores utilizados apresentaram capacidade útil de 60 litros de substrato em fermentação e fazem parte de uma bateria de mini-biodigestores, descrita por ORTOLANI *et al.* (1986). São constituídos, basicamente, por dois cilindros retos, um dos quais, encontra-se inserido no interior do outro, de tal forma que o espaço existente entre a parede externa do cilindro interior e a parede interna do cilindro exterior comporte um volume de água que se convencionou denominar “selo d’água”, atingindo profundidade de 480 mm. Na Figura 2 são mostrados detalhes de um biodigestor batelada. Uma campânula flutuante de fibra de vidro, emborcada no selo de água, proporciona as condições anaeróbias sob as quais se desenvolve o processo de fermentação, além de proporcionar o armazenamento do gás produzido e

pressão ao mesmo.

Os biodigestores são semi-subterrâneos, sendo que a superfície do solo a sua volta está revestida por uma calçada de concreto com 5 cm de espessura.

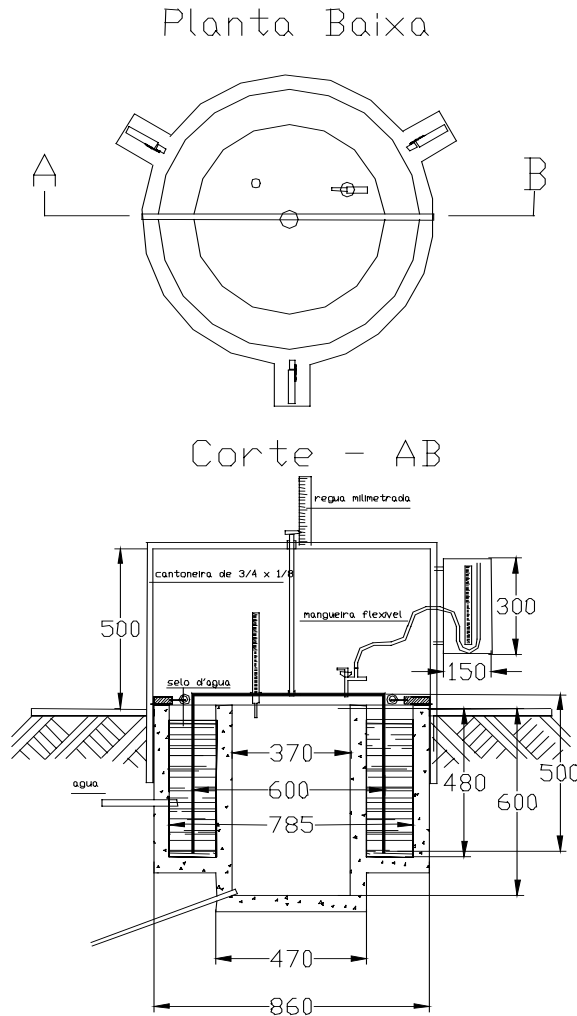


FIGURA 2. Esquema dos biodigestores batelada de campo, medidas em mm. (Fonte: ORTOLANI *et al.*, 1986).

4.3.1.2. De bancada

Os biodigestores de bancada foram constituídos por dois vidros, cada um com capacidade útil de substrato em fermentação de 2 litros, fechados com tampa de borracha com um tubo metálico acoplado no centro para permitir a saída do biogás produzido. Os vidros

foram acoplados, através de tubos de látex, a gasômetros metálicos com “selo d’água” permitindo o armazenamento e medida do biogás produzido. Na Figura 3 está apresentado um esquema do biodigestor tipo batelada, montado em laboratório.

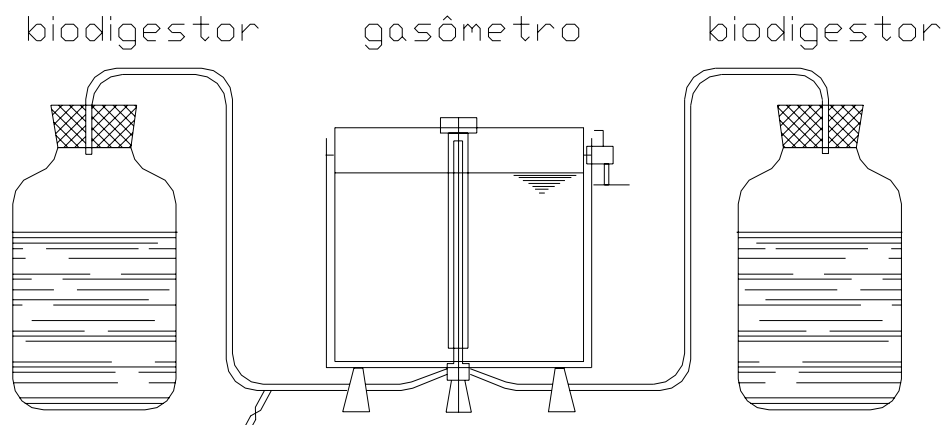


FIGURA 3. Esquema dos biodigestores tipo batelada montados em laboratório. (Fonte: Santos, 1997).

4.4. Compostagem

Para a condução deste ensaio foram utilizados os dejetos produzidos no Setor de Caprinocultura da FCAV/Unesp de Jaboticabal por caprinos da raça Saanen, em diferentes estados fisiológicos, de ambos os sexos e consumindo a mesma dieta, adotando-se a confecção de três leiras para cada estação. Para a formação das leiras nas estações, foi estabelecido como padrão a colheita dos dejetos gerados por 7 dias, coletando-se sucessivamente até atingir a quantidade desejada para que fossem montadas as leiras. Após a colheita, o material foi transportado para o Departamento de Engenharia Rural, esparramado com uma altura média de 2,0 cm, sobre lonas plásticas que foram estendidas no chão, e coberto. Este procedimento evitou a fermentação excessiva até que fosse atingida a quantidade ideal para a formação das três leiras na respectiva estação.

Todo o material coletado foi misturado, sofrendo peneiramento em peneira com malha de aproximadamente 1,0 cm para quebra das cíbalas e obtenção de maior homogeneidade. Foram coletadas amostras deste material peneirado para análise de umidade,

e os dejetos com teor de umidade acima do desejável (estações de verão e primavera) foram mantidos estendidos sobre as lonas até que se atingisse teor de ST desejável para confecção das leiras, aproximadamente 40% .

A altura inicial de cada leira foi em torno de 1,0 m e a largura de 1,5 m, como recomendado por KIEHL (1985), e comprimento médio inicial de 1,8 m. O material enleirado foi pesado e medido semanalmente, com auxílio de trena, afim de proporcionar a obtenção de equações representativas, quanto a redução de volume das leiras durante o período.

Adotaram-se revolvimentos duas vezes por semana durante a primeira quinzena após o enleiramento e semanais após este período, sendo coletadas amostras semanais para acompanhamento da umidade do processo, por todo o período de enleiramento. Quando necessário promoveu-se a elevação da umidade com adição de água, ressaltando-se que não houve a formação de chorume pois, apesar de as leiras serem manejadas ao ar livre, quando chovia as mesmas eram cobertas. Efetuaram-se medições diárias de temperatura no interior das leiras.

4.5. Vermicompostagem

Para a condução deste ensaio foram coletados dejetos de caprinos, da mesma forma como descrito no processo de compostagem, adotando-se também a confecção de três leiras para cada estação (após o peneiramento da massa de dejetos).

A altura inicial de cada leira foi em torno de 1,5 m, largura de 1,5 m e comprimento médio inicial de 1,2m. Após 30 dias, o material enleirado foi transferido para o canteiro de vermicompostagem com a altura de empilhamento reduzida a 0,5 m para maior facilidade de processamento do material pelas minhocas. Em seguida foram adicionadas as minhocas (*Eisenia foetida*). Os canteiros foram cobertos com sombrite, para que diminuísse a incidência de luz, e as minhocas pudessem percorrer o material enleirado por igual, deixando de dar preferência ao fundo do canteiro.

Efetuaram-se pesagens semanais, durante os 30 primeiros dias, e no final do processo. Foram coletadas amostras semanalmente para acompanhamento da umidade, e quando necessário adicionou-se água. Adotou-se revolvimentos duas vezes na semana, no período de pré-compostagem.

Os procedimentos para manutenção da umidade e avaliação dos teores de ST, SV e minerais foram os mesmos já descritos para o processo anterior. O resultados obtidos foram avaliados estatisticamente da mesma forma como na compostagem.

4.6 Metodologias utilizadas

4.6.1. Teores de sólidos totais e voláteis

Na determinação de sólidos totais das amostras (fezes coletadas no ensaio de caracterização, dejetos utilizados para o processo de biodigestão anaeróbia (cálculo de abastecimento), afluyente (após o abastecimento) e efluente (no desabastecimento), e dos dejetos utilizados na formação, monitoramento e finalização das leiras de compostagem e vermicompostagem) foram acondicionadas em cadinhos de porcelana previamente tarados, pesados para obtenção do peso úmido (Pu) do material e após isto, levados à estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 105°C até atingirem peso constante, sendo à seguir resfriadas em dessecador e novamente pesadas em balança com precisão de 0,01g, obtendo-se então o peso seco (Ps). O teor de sólidos totais foi determinado segundo metodologia descrita por APHA (1995).

Para a determinação dos sólidos voláteis, o material já seco em estufa, resultante da determinação dos sólidos totais, foi levado à mufla e mantido à uma temperatura de 575°C por um período de 2 horas, após queima inicial com a mufla parcialmente aberta e, em seguida, após o resfriamento em dessecadores, o material resultante foi pesado em balança analítica com precisão de 0,0001g, obtendo-se o peso das cinzas ou matéria mineral. O teor de sólidos totais foi determinado segundo metodologia descrita por APHA (1995).

4.6.2. Digestão sulfúrica para quantificação de minerais

A partir das amostras descritas no item anterior, e também com a urina coletada no ensaio de caracterização efetuou-se a digestão sulfúrica, afim de avaliar suas composições em nutrientes. Para tanto, as amostras coletadas foram digeridas utilizando-se do digestor Digesdahl Hach, que promove a digestão total da matéria orgânica à base de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2) a 50%.

Com o extrato obtido desta digestão foi possível determinar-se os teores de Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio, Cobre, Ferro, Manganês, Zinco, Sódio, Cromo, Chumbo, Níquel e Cádmiio, segundo BATAGLIA *et al.* (1983).

O nitrogênio total foi determinado através da utilização do destilador de micro-Kjeldahl, cujo princípio baseia-se na transformação do nitrogênio amoniacal ((NH₄)₂SO₄) em amônia (NH₃), a qual é fixada pelo ácido bórico e posteriormente titulada com H₂SO₄ até nova formação de (NH₄)₂SO₄, na presença do indicador ácido/base, conforme metodologia descrita por SILVA (1981).

Os teores de fósforo foram determinados pelo método colorimétrico utilizando-se espectrofotômetro HACH modelo DR-2000. O método baseia-se na formação de um composto amarelo do sistema vanadomolibdofosfórico em acidez de 0,2 a 1,6N, onde a cor desenvolvida foi medida em espectrofotômetro, determinando-se assim a concentração de fósforo das amostras, através da utilização de uma reta padrão traçada previamente a partir de concentrações conhecidas, entre 0 e 52µg de P/mL. Os padrões foram preparados conforme metodologia descrita por MALAVOLTA (1991).

As concentrações de potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês, zinco, sódio, cromo, chumbo, níquel e cádmio foram determinadas em espectrofotômetro de absorção atômica modelo GBC 932 AA.

4.6.3. Abastecimento dos biodigestores

Com os dejetos coletados no Setor de Caprinocultura da FCAV – Unesp, para avaliar os efeitos das estações do ano, foram preparados os substratos destinados ao abastecimento dos biodigestores batelada. Adotou-se o abastecimento de três biodigestores para cada estação do ano.

No dia do abastecimento dos biodigestores os dejetos apresentavam teores de ST iguais à 19,01 % para o período do verão, 25,20 % para o outono, 20,52 % para o inverno e 32,22 % para a primavera, dos quais 79,90 %, 81,83 %, 86,77 % e 92,06 % eram voláteis, respectivamente.

Com os dejetos coletados no Setor de Caprinocultura da FCAV – Unesp, afim de avaliar-se os efeitos das dietas, foram preparados os substratos destinados ao abastecimento dos biodigestores batelada de bancada. Adotou-se o abastecimento de três biodigestores para cada dieta.

No dia do abastecimento dos biodigestores batelada de laboratório, os dejetos apresentavam teores de ST iguais à 30,78 % para animais consumindo a dieta 1, 25,33 % para os que consumiam a dieta 2 e 23,32 para os animais consumindo a dieta 3, dos quais 87,79 %, 85,67 % e 87,51 % eram voláteis, respectivamente. Os teores de ST no dia do abastecimento apresentaram-se inferiores aos que foram avaliados durante o período de caracterização dos dejetos, fato este que pode ser atribuído a coleta de fezes e urina para o abastecimento, e somente fezes para a caracterização.

Procurou-se obter os substratos com teor de ST em torno de 8 %, sendo preparados conforme expressões citadas em LUCAS JR. (1994):

$$Eu = \frac{ES}{ST} \times 100 \dots\dots\dots (I)$$

$$W = Eu + A \dots\dots\dots (II)$$

$$(ES) = \frac{K \times W}{100} \dots\dots\dots (III)$$

em que:

W = massa de substrato a ser colocado no biodigestor (kg);

ES = massa seca de estrume a ser adicionado em W (kg);

K = porcentagem de sólidos totais que se pretende em W;

ST = porcentagem de sólidos totais contidos no estrume fresco;

Eu = massa de estrume fresco para se obter W (kg);

A = massa de água a ser misturada com Eu para se obter W (kg).

Nas Tabela 9 e 10 estão apresentadas as quantidades utilizadas de água e dejetos para obtenção do substrato de cada tratamento, estações e dietas, respectivamente.

Após calculadas as quantidades descritas de água e dejetos, as misturas foram homogeneizada com a utilização de liqüidificador industrial, de modo que as cíbalas (como as fezes de caprinos são excretadas) fossem quebradas, propiciando maiores condições de fermentação no interior dos biodigestores.

TABELA 9. Componentes de cada substrato, teores de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV), no abastecimento de biodigestores com dejetos de caprinos produzidos nas quatro estações do ano.

Estação	Dejeto (kg)	Água (kg)	ST (%)	ST (kg)	SV (%)	SV (kg)
Verão	24,60	33,40	8,42	4,88	6,80	3,94
Outono	18,80	39,20	7,02	4,07	5,72	3,32
Inverno	22,60	35,40	7,66	4,64	6,68	3,87
Primavera	18,80	39,20	9,23	5,35	8,44	4,89

TABELA 10. Componentes de cada substrato, teores de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV), no abastecimento de biodigestores com dejetos de caprinos se alimentando com três dietas.

Dieta	Dejeto (kg)	Água (kg)	ST (%)	ST (kg)	SV (%)	SV(kg)
1	0,95	3,05	7,41	0,296	6,38	0,255
2	1,05	2,95	7,32	0,293	6,43	0,257
3	1,20	2,80	7,72	0,309	6,76	0,270

4.6.4.Determinação do volume de biogás

Os volumes de biogás produzidos diariamente, foram determinados medindo-se o deslocamento vertical dos gasômetros e multiplicando-se pela área da seção transversal interna dos gasômetros, ou seja, 0,2827 m² (batelada de campo) e 0,03696 m² (batelada de bancada). 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), onde pelo fator de compressibilidade (Z), o biogás apresentava comportamento próximo ao ideal. Conforme descrito por SANTOS (2001), para a correção do volume de biogás, utilizou-se a expressão resultante da combinação das leis de Boyle e Gay-Lussac, onde:

$$\frac{V_o P_o}{T_o} = \frac{V_1 P_1}{T_1}$$

sendo que:

V_o = volume de biogás corrigido, m^3 ;

P_o = pressão corrigida do biogás, 10322,72 mm de H_2O ;

T_o = temperatura corrigida do biogás, 293,15 °K;

V_1 = volume do gás no gasômetro;

P_1 = pressão do biogás no instante da leitura, 9652,10mm de H_2O ;

T_1 = temperatura do biogás , em °K, no instante da leitura.

Considerando-se a pressão atmosférica de Jaboticabal igual a 9641,77 mm de coluna d'água e pressão conferida pelos gasômetros de 10,33 mm de coluna d'água, obtém-se como resultado a seguinte expressão, para correção do volume de biogás:

$$V_o = \frac{V_1}{T_1} \times 273,84575$$

Em cada leitura mediu-se a temperatura, em °C, do biogás, por meio de termômetro digital, que dispunha de uma haste longa de metal para ser introduzida dentro do gasômetro.

Nos biodigestores de bancada os volumes de biogás produzidos diariamente foram determinados medindo-se o deslocamento vertical dos gasômetros e multiplicando-se pela área da seção transversal interna dos gasômetros, ou seja, 0,03696 m^2 . Após cada leitura procedeu-se da mesma maneira descrita anteriormente.

No início do período experimental, após a determinação do volume biogás produzido, efetuou-se o teste de queima do mesmo, para que pudesse determinar, de forma simples, a predominância de metano no biogás e, portanto, a possibilidade de utilização do mesmo como gás combustível.

4.6.5. Cálculo do potencial de produção de biogás

O potencial de produção de biogás foi calculado utilizando-se os dados de

produção diária e as quantidades de estrume “in natura”, de substrato, de sólidos totais e de sólidos voláteis adicionados nos biodigestores, além das quantidades de sólidos voláteis reduzidos durante o processo de biodigestão anaeróbia. Os valores são expressos em m³ de biogás por kg de substrato, de estrume ou de sólidos totais ou voláteis.

4.6.6. Determinação do número mais provável (NMP) de coliformes totais e fecais

As amostras de substrato e efluente, em biodigestores abastecidos com dejetos provenientes do Setor de Caprinocultura, nas estações do ano, tiveram seus NMP de coliformes totais e fecais determinados segundo metodologia descrita pela APHA (1995), a qual utiliza para o desenvolvimento de coliformes, a técnica do substrato cromogênico.

As amostras de afluente substrato e efluente dos biodigestores foram diluídas em água peptonada a 0,1 % esterilizada (diluyente), adicionando-se primeiramente 10 mL da amostra em 90 mL do diluyente, obtendo-se desta forma a diluição 10⁻¹. A partir dessa primeira diluição foram obtidas as diluições sucessivas.

As diluições foram misturadas ao meio de cultura (Colilert) e após homogeneização estas misturas foram transferidas para a cartela Quanti-tray e seladas em seladora específica. Em seguida, as cartelas foram incubadas a 35 °C por 24 h. Após este período foi realizada a determinação do número de coliformes totais por meio de contagem das células com coloração amarela e utilização de tabela própria do método. O número de *E. coli* foi determinado pelo número de células que apresentarem fluorescência após incidir-se raios UV sobre a cartela, utilizando-se a mesma tabela para coliformes totais.

4.6.7. Análise da composição do biogás produzido

As análises de composição do biogás, quando utilizou-se como substrato os dejetos produzidos por caprinos nas quatro estações do ano, foram realizadas semanalmente para determinação dos teores de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) principalmente, em cromatógrafo de fase gasosa GC-2001, equipado com as colunas Porapack Q e Peneira Molecular, e detector de condutividade térmica

4.6.8. Análise estatística

Os resultados gerados no ensaio de caracterização foram comparados pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, adotando-se um delineamento inteiramente casualizado com fatorial 3 X 4 (3 dietas e 4 categorias), considerando-se 5 dias de coleta e três animais por tratamento. O esquema de análise de variância está apresentado no Tabela 11.

TABELA 11. Esquema de análise de variância para o ensaio de quantificação e caracterização.

Causas de Variação	Graus de liberdade
Categorias (C)	03
Dietas (D)	02
Interação C X D (Tratamentos)	06
Resíduo	11
Total	168
	179

Para comparar os tratamentos empregados em biodigestores abastecidos com dejetos gerados por caprinos nas diferentes estações do ano, adotou-se delineamento inteiramente casualizado, com 4 tratamentos (estações do ano) e três repetições (biodigestores). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. O esquema de análise de variância está apresentado no Tabela 12.

TABELA 12. Esquema de análise de variância para o ensaio de biodigestão anaeróbia, durante as estações do ano.

Causas de Variação	Graus de liberdade
Estações	03
Resíduo	08
Total	11

No ensaio para avaliação do efeito das dietas na produção de biogás adotou-se delineamento inteiramente casualizados, sendo composto de 3 tratamentos (dietas oferecidas aos animais), com três repetições (biodigestores), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. O esquema de análise de variância está apresentado no Tabela 13.

TABELA 13. Esquema de análise de variância para o ensaio de biodigestão anaeróbia, avaliando efeito das dietas.

Causas de Variação	Graus de liberdade
Dietas (D)	02
Resíduo	06
Total	08

Os dados gerados nos processos de compostagem e vermicompostagem tiveram suas médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, adotando-se um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições para cada tratamento (estações do ano). O esquema de análise de variância está apresentado no Tabela 14.

TABELA 14. Esquema de análise de variância para o ensaio de compostagem.

Causas de Variação	Graus de liberdade
Estações do ano	03
Resíduo	08
Total	11

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Quantificação dos dejetos produzidos

Os dados de produção diária de fezes por animal, expressos em gramas de matéria natural e de matéria seca e em gramas de matéria seca excretada em função da quantidade de matéria seca ingerida, de acordo com as categorias de idade e dietas oferecidas, estão apresentados na Tabela 15.

TABELA 15. Produção diária de fezes por animal, em gramas de matéria natural (MN), matéria seca (MS) e de matéria seca excretada por grama de matéria seca ingerida, segundo as categorias e dietas oferecidas.

Dieta	Categoria 1	Categoria 2	Categoria3	Categoria 4
Produção de MN de dejetos, g				
1	485,2 Aa	746,2 Aa	605,1 Aa	591,9 Aa
2	734,1 Aa	736,3 Aa	555,0 Aa	824,9 Aa
3	551,7 Aa	1053,1 Aa	817,4 Aa	781,9 Aa
Produção de MS de fezes, g				
1	130,9 Ba	249,8 Aa	247,2 Aa	231,3 Aa
2	207,7 Ba	227,2 Aa	267,1 Aa	379,0 Aa
3	153,7 Ba	265,9 Aa	303,4 Aa	284,6 Aa
Produção de MS de fezes (gramas) / MS ingerida (gramas)				
1	0,48 Aa	0,37 Ba	0,41 Ba	0,40 Ba
2	0,45 Aab	0,33 Bab	0,37 Bab	0,37 Bab
3	0,42 Ab	0,31Bb	0,34 Bb	0,31 Bb

Médias seguidas de diferentes letras maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

A comparação dos dados com base na matéria natural excretada diariamente ficou comprometida, pois além da escassez de informações, durante o período de coleta algumas amostras de fezes se misturaram com urina, o que elevou o peso das fezes e fez com que houvesse superestimativa, talvez este o principal motivo para que estes valores não diferissem

entre si.

A categoria 1 apresentou menor ($P < 0,05$) excreção de MS de fezes (em média 164,1g de MS/dia por animal) do que as demais, provavelmente por serem animais menores, com menor capacidade de ingestão quando comparados aos demais.

Para melhor comparação dos dados encontrados relacionou-se a quantidade de matéria seca excretada por grama, com a quantidade de matéria seca consumida, já que a produção de fezes está relacionada diretamente com o consumo de alimento, e os animais possuíram ingestões diferentes, por não serem da mesma idade. Os valores encontrados demonstram que a categoria de animais mais jovens, excretou maior ($P < 0,05$) quantidade de MS de fezes, (em média 0,45g) por grama de MS consumida, do que as demais categorias, podendo tal fato estar relacionado com a capacidade de aproveitamento dos alimentos ingeridos pelos animais, já que a categoria 1 representava animais com aparelho digestório menos desenvolvido.

A melhor qualidade da dieta 3 fica evidenciada pelos menores valores de excreção por quantidade da dieta ingerida para todas as categorias estudadas. Estes dados são particularmente importantes para a área de aproveitamento de resíduos e devem ser analisados em conjunto com a qualidade do material excretado.

Os resultados demonstraram que os animais da categoria 1, produziram volume urinário maior ($P < 0,05$), em média 0,85mL de urina / mL de água ingerida por dia, do que as categorias 2 e 3, com médias de 0,69 e 0,70mL de urina por mL de água ingerida por dia, no entanto não diferiu ($P > 0,05$) da categoria 4, que teve produção média de 0,78 mL de urina/mL de água ingerida ao dia. Tal fato pode estar associado ao aproveitamento dos alimentos ingeridos pelos animais, pois como já foi comentado os animais da categoria 1, provavelmente por ter um aparelho digestório menos eficiente que os das demais categorias, apresentaram menor digestibilidade (caracterizada pela maior excreção de fezes) podendo ter afetado da mesma maneira a produção de urina.

Nota-se que quando foi ofertada aos animais as dietas 2 e 3 houve diminuição ($P < 0,05$) na produção de urina. Segundo VAN SOEST (1994) há uma relação diretamente proporcional entre a elevação do nível de concentrado (energia) nas dietas e a ingestão de água, pois dietas mais energéticas requerem maior quantidade de água ingerida para que a digestão se processe mais eficientemente.

Na Figura 4 estão representados graficamente os volumes de produção de urina observados neste experimento.

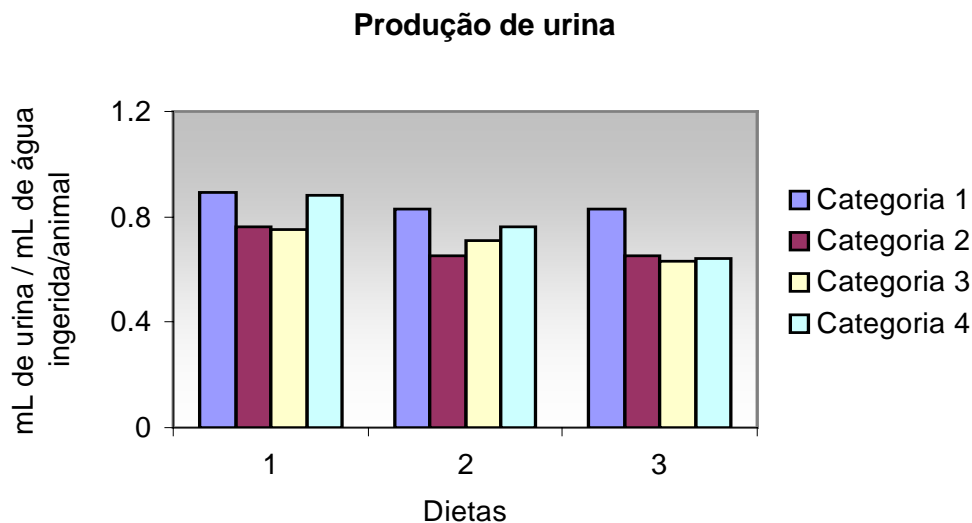


FIGURA 4. Produção diária de urina (mL), por cabras em diferentes categorias de idade e dietas oferecidas

5.2. Caracterização dos dejetos produzidos

Na Tabela 16 estão apresentados os teores de sólidos totais (ST), umidade, sólidos voláteis (SV) e matéria mineral (MM) das fezes, segundo as categorias e dietas avaliadas.

Em relação à umidade nas fezes, observa-se que nas categorias 2, 3 e 4 a dieta 3 proporcionou maiores valores ($P < 0,05$) (em média 74,1, 62,6 e 63,1%, respectivamente) e portanto menores concentrações de sólidos totais.

Os dados demonstraram também que o teor de sólidos totais nas fezes é influenciado pelas categorias em que os animais foram dispostos, e conseqüentemente a umidade também. Os valores obtidos podem ser comparados aos encontrados por AGRAZ (1984), os quais variaram de 25,0 a 87,8 % de ST, quando trabalhou com esterco de cabras estabuladas e em pastoreio, em três condições de umidade e encontrou no esterco fresco, valores próximos aos obtidos neste ensaio (em média 35,4 % de ST), porém não especificou a idade dos animais e nem o tipo de alimento utilizado.

As categorias influenciaram ($P < 0,05$) os teores de sólidos voláteis e matéria

mineral, nas fezes de caprinos, sendo que os animais da categoria, 1, produziram fezes com concentração inferior de matéria mineral (em média 3,7 % de MM na MS) quando comparadas as categorias de animais maiores, 2, 3 e 4, que atingiram médias de 4,3, 5,1 e 5,0 %, respectivamente.

TABELA 16. Teores de ST, umidade, SV e MM nas amostras de fezes, segundo as categorias de idade e dietas.

Dieta	% de ST nas fezes			
	Categoria 1	Categoria 2	Categoria3	Categoria 4
1	29,2 Ba	32,8 Ba	43,4 Aa	43,5 Aa
2	29,4 Ba	31,5 Ba	48,6 Aa	45,9 Aa
3	28,7 Ba	25,9 Bb	37,4 Ab	36,8 Ab
% de umidade nas fezes				
1	70,8 Ab	67,2 Ab	56,6 Bb	56,5 Bb
2	70,6 Ab	68,5 Ab	51,4 Bb	54,1 Bb
3	71,3 Ab	74,1 Aa	62,6 Ba	63,1 Ba
% de SV na MS				
1	25,7 Ba	28,5 Ba	39,2 Aa	39,6 Aa
2	25,6 Ba	27,2 Ba	43,1 Aa	40,6 Aa
3	24,9 Ba	22,0 Bb	32,0 Ab	31,2 Ab
% de MM na MS				
1	3,6 Ba	4,3 Aa	4,3 Aa	4,0 Aa
2	3,8 Ba	4,3 Aa	5,5 Aa	5,3 Aa
3	3,8 Ba	4,0 Aa	5,4 Aa	5,6 Aa

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P > 0,05$)

Na Tabela 17 estão apresentadas as concentrações encontradas para N, P, K, Ca e Mg (expressos em % da MS), Na e Fe (em g/kg de MS) e Zn, Mn, Cu e Cr (em mg/kg de MS) nas fezes de caprinos em quatro categorias de idade e alimentados com três dietas variando a proporção entre volumoso e concentrado.

Na Tabela 18 estão apresentadas as concentrações encontradas para N e P,

(expressos em g/dia/animal), K, Ca, Mg, Na e Fe (em mg/dia/animal) e Zn e Mn (em $\mu\text{g}/\text{dia}/\text{animal}$), na urina produzida por caprinos em quatro categorias de idade, e alimentados com três dietas variando a proporção entre volumoso e concentrado.

TABELA 17. Teores de macronutrientes, em % da matéria seca, e micronutrientes, em gramas e mg/kg de matéria seca de fezes, segundo as categorias de idade e dietas administradas.

	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Na	Zn	Mn	Cu	Cr
	% da MS					g/kg de MS		mg / kg de MS			
C1D1	0,77Cb	0,40Cc	0,31Cc	0,21Dc	0,08Cc	2,50Cb	1,80Cc	78,93Cc	162,80Cc	13,80Bc	nd
C1D2	0,97Cb	0,47Cb	0,33Cb	0,26Db	0,12Cb	2,50Cb	2,30Cb	126,32Cb	184,80Cb	16,40Bb	nd
C1D3	1,27Ca	0,70Ca	0,39Ca	0,32Da	0,16Ca	3,50Ca	3,40Ca	157,17Ca	261,80Ca	25,53Ba	nd
C2D1	0,90BCb	0,51Bc	0,33Cc	0,29Cc	0,14Bc	2,60Bb	2,00Bc	84,45Cc	272,80Cc	18,67Bc	nd
C2D2	0,98BCb	0,75Bb	0,38Cb	0,33Cb	0,17Bb	2,90Bb	3,10Bb	153,50Cb	283,80Cb	26,93Bb	nd
C2D3	1,59BCa	0,91Ba	0,43Ca	0,37Ca	0,19Ba	3,80Ba	3,70Ba	174,87Ca	301,18Ca	44,33Ba	12,33Ca
C3D1	0,99Bb	0,62Bc	0,48Bc	0,40Bc	0,20Bc	2,80Bb	2,40Bc	240,27Bc	286,95Bc	31,33Ac	22,60Bb
C3D2	1,06Bb	0,73Bb	0,60Bb	0,45Bb	0,23Bb	3,0Bb	3,10Bb	259,60Bb	297,00Bb	73,80Ab	28,13Bb
C3D3	1,71Ba	1,02Ba	0,90Ba	0,50Ba	0,27Ba	4,20Ba	4,10Ba	413,80Ba	318,15Ba	96,60Aa	40,40Ba
C4D1	1,69Ab	1,00Ac	0,72Ac	0,60Ac	0,31Ac	3,70Ab	2,90Ac	333,13Ac	325,60Ac	36,87Ac	25,20Ab
C4D2	1,84Ab	1,09Ab	0,91Ab	0,67Ab	0,34Ab	4,00Ab	4,00Ab	424,13Ab	347,60Ab	80,93Ab	36,20Ab
C4D3	2,93Aa	1,80Aa	1,15Aa	0,72Aa	0,39Aa	5,00Aa	7,40Aa	689,47Aa	352,00Aa	134,40Aa	60,00Aa
Média	1,39	0,83	0,58	0,43	0,22	3,4	3,4	261,04	282,87	49,97	18,74
CV	21,89	23,36	25,57	24,42	24,91	22,90	21,75	36,84	27,46	79,48	93,84

C1 = categoria 1, C2 = categoria 2, C3 = categoria 3, C4 = categoria 4, D1 = dieta 1, D2 = dieta 2 e D3 = dieta 3.

Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas na coluna, diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$), comparando categorias;

Médias seguidas de letras diferentes minúsculas na coluna, diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$), comparando dietas;

nd = não detectado.

Nitrogênio

Os dados apresentados na Tabela 17, evidenciaram que animais adultos, categoria 4, excretaram fezes com maior concentração de N ($P < 0,05$), em média 2,15% da MS, em relação as categorias 3 e 2, com médias de 1,25 e 1,15% da MS respectivamente, que por sua vez foram maiores que a média de excreção da categoria 1, de 1,00% N da MS.

Estes resultados podem ser atribuídos ao próprio estágio fisiológico dos animais, pois segundo VAN SOEST (1994), animais adultos tem uma fermentação ruminal mais eficiente, o que lhes confere otimização no uso do N ingerido, em relação a animais que estão em desenvolvimento, e ainda podem perder quantidades maiores de N por meio de renovações celulares, que são de maior intensidade e freqüência.

Em relação as diferenças ($P < 0,05$) atribuídas pelas dietas sob o teor de N nas fezes, em média 1,09, 1,21 e 1,87 % de N na MS para as dietas 1, 2 e 3 respectivamente, observa-se que os teores excretados por animais que consumiram a dieta 3 foram superiores aos das dietas 1 e 2.

O teor de nitrogênio presente nas fezes depende de vários fatores, entretanto o nível de ingestão irá atuar de maneira direta na quantidade de N excretada (SCHREIBMAN, 1993).

Estes resultados podem estar associados a vários fatores, como maior consumo de alimento com a elevação do nível de concentrado, devido a maior palatabilidade desta ração e seleção do animal sobre o alimento fornecido, como descrito por AZÓCAR (1987), o que provavelmente fez com que os animais que consumiram a dieta 1 selecionassem mais do que os animais que tinham as dietas 2 e 3 a disposição, fator este que pode ter aproximado o nível de ingestão de N dos animais da dieta 1 aos da dieta 2, mas que não foi suficiente, pela própria composição da ração, para ficar próximo ao nível ingerido pelos animais da dieta 3.

Em média, o valor de excreção de N nas fezes de caprinos, encontra-se bem próximo aos dados presentes na literatura, que segundo estudos realizados por AGRAZ (1989), podem oscilar de 1,7 a 2,0% da MS para cabras estabuladas, e de 1,2 a 1,5% da MS para animais em pastoreio.

Fósforo, Cálcio, Magnésio e Potássio

O esterco de caprinos é citado por alguns autores como um dos melhores pela sua riqueza em nitrogênio, fósforo e potássio.

Os dados obtidos no presente trabalho, conforme apresentados na Tabela 17, demonstraram que as categorias de idade dos animais, assim como as dietas a eles oferecidas, tem o mesmo efeito para as concentrações de P e Mg nas fezes, ou seja, os maiores teores ($P < 0,05$) excretados estão na categoria 4, em média 1,29 % de P na MS e 0,35 % de Mg na MS, que é seguida pelas categorias 2 e 3 (0,72 e 0,79 % de P e 0,17 e 0,23 % de Mg na MS, respectivamente), ficando a categoria 1 com as menores ($P < 0,05$) concentrações, 0,52 % de P na MS e 0,12 % de Mg. As dietas promoveram elevação, com diferenças significativas, na quantidade excretada destes elementos de acordo com o aumento de concentrado na ração, sendo as médias de 0,63, 0,76 e 1,11 % de P na MS, e de 0,18, 0,22 e 0,25 % de Mg na MS para fezes de animais alimentados com as rações 1, 2 e 3, respectivamente.

Os resultados encontrados demonstraram um possível incremento nos teores de P e Mg em fezes de caprinos com o desenvolvimento dos animais, provavelmente devido a menor necessidade destes elementos em animais adultos do que em fase de crescimento, como ocorreu com o nitrogênio. Já para as dietas, como considerado para o nitrogênio, o maior nível de ingestão da dieta 3, em relação a 2 e desta quando comparada a 1, pode ter propiciado uma elevação na quantidade excretada destes elementos.

Os valores de P podem ser comparados aos encontrados por AGRAZ (1989), que variam de 1,2 a 2,5 % na MS, no entanto o autor não especificou a idade nem o regime alimentar empregado aos animais. Para o Mg não foram encontrados dados de excreção para caprinos, no entanto VAN HORN *et al.* (1994) trabalhando com bovinos leiteiros encontrou resultados de Mg nas fezes em torno de 0,046 e 0,084kg/dia, considerando teor de ST de aproximadamente 10 % e 88,4kg de dejetos por dia, o que resultaria uma média de 0,6 % de Mg na MS, em média, o dobro do encontrado neste trabalho.

Para Ca e K, conforme dados apresentados na Tabela 17, as dietas afetaram da mesma forma como descrito para os elementos anteriores, ou seja, os animais alimentados com a dieta 3 produziram fezes mais ricas ($P < 0,05$) na concentração destes nutrientes, quando comparados aos alimentados com a dieta 2, que por sua vez tiveram fezes mais concentradas com relação a dieta 1, em média 0,46, 0,56 e 0,72 % de K na MS e 0,38, 0,43 e 0,48 % de Ca na MS, segundo dietas 1, 2 e 3 respectivamente.

As categorias 2, 3 e 4 afetaram ($P < 0,05$) da mesma forma as concentrações de

Ca e K nas fezes, com exceção da categoria 1, que para o K, não diferiu ($P < 0,05$) da 2, enquanto que para o cálcio sim. As médias, em % de Ca na MS para as categorias 1, 2, 3 e 4, respectivamente, foram de 0,26, 0,33, 0,45 e 0,66 e de 0,34, 0,38, 0,66 e 0,93 % de K na MS.

Os valores encontrados para estes dois minerais, de acordo com as categorias de idade dos animais, demonstraram que animais adultos tendem a excretar fezes mais ricas em nutrientes do que animais em fase de desenvolvimento. Para os minerais apresentados anteriormente ocorreu fato semelhante, provavelmente influenciados por fatores já descritos.

Os valores de K podem ser comparados aos encontrados por AGRAZ (1989) trabalhando com esterco de caprinos, os quais oscilaram entre 0,09 e 0,60 % na MS, já para o Ca o valor médio encontrado, de 0,43 % na MS pode ser comparado ao encontrado por DORIGAN (2000), trabalhando com caprinos, que obteve 0,48 % de Ca na MS para fezes.

Ferro, Sódio, Zinco, Manganês, Cobre e Cromo

Os teores de Fe, Na, Zn e Mn nas fezes foram afetados ($P < 0,05$) pelas categorias e dietas testadas.

Os teores de ferro e sódio, conforme dados apresentados na Tabela 17, foram afetados da mesma forma pelas categorias, ou seja, as fezes produzidas pela categoria 4 foram mais concentradas ($P < 0,05$) que as produzidas pelas categorias 2 e 3, que foram superiores a excretada pela categoria 1. Os valores médios de Fe em g/kg de MS foram de 2,8, 3,1, 3,3 e 4,2 para as categorias 1, 2, 3 e 4 respectivamente, e de Na foram 2,5, 2,9, 3,2 e 4,8 g/kg de MS.

Os valores indicaram que animais adultos produziram fezes mais concentradas em Na e Fe, quando comparados a animais mais jovens, que estão em desenvolvimento, reforçando o comportamento observado nos nutrientes vistos anteriormente.

As dietas influenciaram ($P < 0,05$) as concentrações de Fe e Na nas fezes, assim como as categorias, mas de forma diferente para cada um deles. Para o Fe, as dietas 1 e 2 proporcionaram fezes com teores semelhantes deste elemento, em média 2,9 e 3,1 g/kg de MS, no entanto estas concentrações diferiram ($P < 0,05$) das contidas nas fezes de animais que se alimentaram da dieta 3, com média de 4,1 g/kg de MS. Com relação ao sódio, os animais alimentados com a dieta 1 geraram fezes menos concentradas ($P < 0,05$) quando comparadas com as geradas pelos animais que consumiram a dieta 2, que por sua vez foram inferiores aos da dieta 3, com médias de 2,3, 3,1 e 4,6 g/kg de MS, respectivamente.

Não foram encontrados na literatura dados de Na e Fe nas fezes de caprinos. VAN HORN *et al.* (1994) trabalhando com dejetos de bovinos leiteiros, estimou que cada kg de MS de fezes fornece 7,7 g de sódio, mas a comparação com este dado fica comprometida, pois o autor não conseguiu coletar fezes e urina separadamente, e como a urina é muito rica em sódio pode este dado estar superestimado.

As concentrações de zinco e manganês nas fezes de caprinos, conforme dados apresentados na Tabela 17, foram igualmente influenciadas, sendo que as categorias 1 e 2 produziram fezes mais pobres na concentração destes minerais ($P < 0,05$), em relação a categoria 3, que por sua vez foi inferior a contida nas fezes produzidas pela categoria 4, com valores médios de Mn de 203,1, 285,9, 300,7 e 341,7 mg/kg de MS para a seqüência das categorias e de Zn igual a 120,8, 137,5, 303,6 e 482,8 mg/kg de MS, seguindo a mesma seqüência.

As dietas também influenciaram da mesma forma as concentrações de Zn e Mn nas fezes, sendo que as fezes com teores mais elevados ($P < 0,05$) foram produzidas pelos animais que consumiram a dieta 3 (Mn = 308,3 mg/kg de MS e Zn = 358,8 mg/kg de MS), sendo seguida da dieta 2 (Mn = 278,3 mg/kg de MS e Zn = 240,1 mg/kg de MS) e por fim a dieta 1 (Mn = 262,0 mg/kg de MS e Zn = 184,2 mg/kg de MS).

Pequenas concentrações de cobre e cromo também foram detectadas. O primeiro em todas as categorias e o segundo apenas a partir da categoria 2. Suspeita-se que estes teores tenham vindo pela alimentação oferecida aos animais, pois nota-se que as concentrações elevam-se conforme aumenta o consumo de alimento, e principalmente com a participação do concentrado na dieta.

Além destes minerais foram executadas analisados níquel, chumbo, cobalto e cádmio, no entanto não foram detectadas concentrações destes elementos nas fezes de caprinos.

TABELA 18. Excreção diária (por animal) de macro e micronutrientes na urina de caprinos, de acordo com o volume total produzido, segundo as categorias de idade e dietas administradas.

	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Na	Zn	Mn
	g/dia		µg/dia						
C1D1	8,01Cb	1,12Cb	444,96Bb	76,50Dc	5,11Bb	1,00Cc	436,97Bb	65,41Dc	26,82Cb
C1D2	12,62Cb	1,23Cb	489,57Bb	79,20Db	6,20Bab	2,23Cb	487,07Bb	173,81Db	31,12Cb
C1D3	22,38Ca	1,90Ca	737,15Ba	124,60Da	7,58Ba	2,46Ca	604,50Ba	206,88Da	35,96Ca
C2D1	9,45Cb	1,48Cb	459,92Bb	101,90Cc	6,69Bb	1,64Cc	501,77Bb	214,62Cc	51,63Cb
C2D2	14,32Cb	1,45Cb	510,65Bb	166,20Cb	7,84Bab	2,72Cb	583,60Bb	254,13Cb	55,56Cb
C2D3	24,05Ca	1,97Ca	774,31Ba	211,40Ca	9,39Ba	2,88Ca	676,20Ba	317,45Ca	60,45Ca
C3D1	13,83Bb	1,82Bb	522,75ABb	131,40Bc	8,32ABb	3,08Bc	1.292.,36Ab	419,49Bc	84,43Bb
C3D2	16,10Bb	2,13Bb	638,00ABb	191,10Bb	9,06ABab	3,26Bb	1.521,03Ab	548,20Bb	104,87Bb
C3D3	46,91Ba	6,17Ba	847,64ABa	258,90Ba	12,32ABa	4,31Ba	1.900,90Aa	838,18Ba	148,39Ba
C4D1	20,86Ab	2,50Ab	744,18Ab	253,10Ac	12,01Ab	4,51Ac	1.868,37Ab	936,54Ac	157,01Ab
C4D2	21,72Ab	2,53Ab	884,89Ab	324,50Ab	13,62Aab	4,93Ab	2.065,63Ab	997,82Ab	160,03Ab
C4D3	69,49Aa	9,11Aa	968,25Aa	445,40Aa	16,02Aa	8,22Aa	2.412.,40Aa	999,99Aa	360,94Aa
Média	23,31	2,58	668,52	197,20	9,51	3,43	1.195,90	497,71	106,44
CV	69,26	69,29	33,14	76,40	34,57	62,99	48,99	72,58	32,60

C1 = categoria 1, C2 = categoria 2, C3 = categoria 3, C4 = categoria 4, D1 = dieta 1, D2 = dieta 2 e D3 = dieta 3.
 Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas na coluna, diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$) e compararam categorias;
 Médias seguidas de letras diferentes minúsculas na coluna, diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$) e compararam dieta.

Nitrogênio

A quantidade de N excretada na urina, conforme dados apresentados na Tabela 18, foi maior ($P < 0,05$) em animais adultos, categoria 4 (37,35 g/dia), quando comparada a excreção dos animais da categoria 3 (25,61 g de N/dia), que por sua vez superou as categorias 1 e 2 (14,34 e 15,94 g/dia respectivamente).

Estes resultados podem estar associados ao estágio fisiológico dos animais, que segundo VAN SOEST (1994), quando adultos tem uma fermentação ruminal mais eficiente, que lhes confere otimização no uso do N ingerido, e requerem uma quantidade menor de N em relação a animais que estão em desenvolvimento, podendo ainda ter perdas maiores de N por meio de renovações celulares, que são de maior intensidade e frequência.

Verifica-se ainda que a dieta 3, proporcionou maior excreção ($P < 0,05$) de N na urina de caprinos, em média 40,71 g/dia, em relação a quantidade excretada pelos animais alimentados com as dietas 1 e 2 (13,04 e 16,19 g de N/dia, respectivamente).

Como já discutido para os teores de N contidos nas fezes destes animais, estes resultados podem ser reflexo dos níveis de ingestão das dietas oferecidas, assim como da seleção exercida sobre as mesmas pelos animais.

Ainda relacionado ao efeito das dietas sobre a excreção de nutrientes, especialmente o nitrogênio, VAN SOEST (1994) ressaltou que a elevação de concentrado à dieta, eleva a quantidade de proteína rapidamente degradável da ração, sendo que os microrganismos da flora ruminal não conseguem captar este nutriente com a mesma velocidade que está sendo liberado, então a parcela excedente é encaminhada ao fígado, transformando-se em uréia, e será liberado via urina.

Os valores obtidos para o presente trabalho podem ser comparados com os resultados obtidos por AGRAZ (1984) que foram de 10,0 g de N/1000 g de urina no mínimo, 23,0 no máximo e média de 16,0, o que considerando-se uma média de excreção de 3 litros de urina/animal/dia, resultaria em 48,0 g de N/dia (valor médio), valor este que estaria próximo das 37,4 g de N excretados por dia pela categoria 4, no entanto o autor não descreve a idade dos animais avaliados, assim como o regime alimentar e a produção diária de urina.

Fósforo, Cálcio, Magnésio e Potássio

Os valores de excreção de P na urina, conforme dados apresentados na Tabela 18, foram influenciados pelas categorias, sendo que a 4 excretou maior ($P < 0,05$) quantidade deste elemento na urina (4,71 g de P/dia), quando comparada a excreção pela categoria 3 (3,37 g de P/dia), que superou as quantidades médias eliminadas pelas categorias 1 e 2 (1,41 e 1,63 g de P/dia, respectivamente).

Estes resultados, como já discutidos anteriormente, podem estar sendo influenciados pela maior necessidade de fósforo nas categorias mais jovens, assim como maior quantidade de alimento ingerida pelos animais adultos.

A quantidade de P eliminada na urina também foi afetada ($P < 0,05$) pelas dietas oferecidas aos animais, onde a dieta 3, com maior proporção de concentrado, proporcionou maior excreção por animal, em média 4,87 g de P/dia, em comparação com as dietas 1 e 2, com médias de 1,72 e 1,83 g de P/dia, respectivamente.

Assim como abordado para os teores de N excretados na urina, estes resultados podem ser reflexo dos níveis de ingestão das dietas oferecidas, assim como da seleção exercida sobre as mesmas pelos animais.

Os resultados de excreção de P na urina obtidos neste trabalho foram semelhantes a média de excreção de P, em g por 1000 g de urina, apresentadas por AGRAZ (1984), a qual foi de 0,7, onde novamente considerando uma produção de 3,0 litros de urina/animal/dia estariam sendo eliminados 2,1 g de P/dia/animal, resultado este próximo do valor médio de 2,8g de P/dia/animal obtido neste trabalho.

A urina de caprinos é reconhecida pelos elevados teores de fósforo e potássio na composição. Este experimento demonstra que realmente possui elevadas concentrações de P e K, assim como sofre influência nestas concentrações de acordo com as variações das categorias de idade e dietas oferecidas aos animais.

A quantidade de K eliminada na urina de caprinos, conforme dados apresentados na Tabela 18, também revela-se alta e foi igualmente ao Mg influenciada pelas categorias. A urina gerada pela categoria 4 mostrou-se mais rica ($P < 0,05$) (865,8 mg de K e 13,9 mg de Mg/dia) que a urina produzida nas categorias 1 e 2 (557,2 e 581,6 mg de K e 6,3 e 7,9 mg de Mg/dia/animal, respectivamente), no entanto a quantidade de K e Mg eliminadas na urina pelos animais da categoria 3, não diferiram ($P < 0,05$) das demais categorias, ficando com as médias de excreção de 669,5 mg de K e 9,90mg de

Mg/dia/animal).

Em virtude desta variação ocasionada pelas categorias de idade nas quantidades de K e Mg na urina, há suspeitas de que apesar desta ser a principal via de eliminação de K, segundo SCHREIBMAN (1993), ela é pouco influenciada para animais em fase de desenvolvimento, tornando-se maior em animais adultos.

Estes minerais também tiveram suas quantidades, excretadas na urina, afetadas ($P < 0,05$) pelas dietas oferecidas aos animais. Para o K a maior média de eliminação foi de 831,8 mg de K/dia para animais recebendo a dieta 3, que superou as médias geradas pelos animais das categorias 1 e 2, que foram de 542,9 e 630,8 mg de K/dia; e para o Mg os animais alimentados com a dieta 3 excretaram, em média, 11,3 mg de Mg/dia, que foram ($P < 0,05$) maiores que os da dieta 1, de 8,0 mg de Mg/dia, mas ambos os valores não diferiram do encontrado para animais submetidos a dieta 2, de 9,2 mg/dia de Mg.

Nota-se que os animais alimentados com a dieta 3 geraram urina com maior concentração de K, este fato pode estar estritamente associado a elevação de concentrado na dieta, onde o animal além de consumir mais ração, pode estar ingerindo maior quantidade deste elemento, quando comparados as dietas 1 e 2.

Os resultados de K na urina, encontrados neste estudo (0,7 g de K/dia/animal) estão bem abaixo do obtido por AGRAZ (1984), em média 0,62 g de K/ 1000 g de urina, que considerando os cálculos já descritos para N e P, estaria em 1,86 g de K/dia.

Apesar da quantidade de Mg eliminada na urina ser maior que a excretada nas fezes, talvez seja menos susceptível as oscilações da composição das dietas, pois não refletiu, como a maioria dos nutrientes discutidos até então, as diferenças na excreção ocasionada pela variação na proporção volumoso:concentrado. Assim como relatado para fezes não foram encontrados na literatura dados deste elemento como componente da urina.

Segundo o AFRC (1991) a quantidade de Ca na urina é sempre baixa e independe da quantidade de cálcio consumida.

Nos resultados do presente trabalho, conforme apresentados na Tabela 18, foram observadas diferenças ($P < 0,05$) sobre a quantidade de cálcio excretada na urina tanto pelas categorias de idade, quanto pelas dietas oferecidas.

Os valores encontrados mostraram que a excreção de Ca na urina elevou-se conforme os animais foram se aproximando da idade adulta. A categoria 4 gerou urina

mais rica ($P < 0,05$), em média 341,0mg de Ca/dia, quando comparada a da categoria 3, 193,8 mg de Ca/dia, que por sua vez é maior que a gerada pela categoria 2, 159,9 mg de Ca/dia, que supera a da categoria 1, 93,4 mg de Ca/dia/animal.

Este fato pode estar atribuído a maior quantidade de alimento ingerida pelas categorias mais próximas da idade adulta em relação as mais jovens, fazendo com que a ingestão de cálcio também se eleve, e como considerado por SCHREIBMAN (1993), estes animais tem menor requerimento deste elemento em comparação com animais em desenvolvimento, portanto sua urina tende a ser mais concentrada em Ca.

As dietas também propiciaram efeitos ($P < 0,05$) sobre a eliminação de Ca na urina de caprinos. A dieta 1 fez com que os animais produzissem urina menos concentrada, em média 140,7 mg de Ca/dia, do que a produzida por animais consumindo a dieta 2, com média de 190,3 mg de Ca/dia, que foi inferior a eliminada por animais que se alimentaram da dieta 3, 260,1 mg de Ca/dia.

Este efeito da elevação no nível de concentrado na dieta sobre a eliminação de urina com maior quantidade de Ca também foi notada por BUENO *et al.* (1999) que trabalharam com caprinos Saanen, e constataram que o aumento do nível de concentrado na dieta afetou de maneira diretamente proporcional a liberação de Ca na urina.

Os valores obtidos neste trabalho concordam com dados existentes na literatura, que oscilam desde 8 mg de Ca/kg PV/dia (Braithwaite, 1979) até 0,21 g/dia (Wan Zahari *et al.*, 1994), ambos citados por DORIGAN, 2000.

Ferro, Sódio, Zinco e Manganês

A quantidade de Na excretada na urina, conforme dados apresentados na Tabela 18, foi afetada ($P < 0,05$) tanto pelas categorias de idade quanto pelas dietas fornecidas aos animais. As categorias 1 e 2 excretaram quantidade menor de Na ($P < 0,05$), em média 509,5 e 587,2 mg de Na/dia/animal, respectivamente, em relação as categorias 3 e 4, com médias de 1.571,4 e 2.115,5 mg de Na/dia.

A excreção de sódio na urina resultou em comportamento semelhante ao demonstrado pelo potássio, ou seja, animais mais jovens excretam menor quantidade quando comparado a animais mais próximos da idade adulta, ou adultos. Este fato, como já discutido para outros nutrientes, pode estar intimamente associado ao requerimento maior por animais mais jovens.

Assim como para N, P e K, a urina de caprinos é bastante concentrada em sódio, podendo inclusive estar presentes em maiores proporções que o K, segundo AGRAZ (1984). Os resultados encontrados para o presente estudo concordaram com esta colocação, pois notou-se que a quantidade de sódio excretada na urina elevou-se muito conforme os animais se aproximaram da idade adulta, chegando a ser superior as quantidades de potássio excretadas nesta fase. Em comparação com as quantidades excretadas de ambos os elementos quando avaliados pela influência das dietas, notou-se também níveis superiores para o sódio.

As dietas, consumidas pelos animais, também afetaram ($P < 0,05$), a excreção de Na na urina. As dietas 1 e 2 proporcionaram urina com menor quantidade de sódio, em média 1.024,9 e 1.164,3 mg de Na/dia/animal, quando comparadas com a urina produzida por animais que se alimentaram da dieta 3 (1.398,5 mg de Na/dia).

Estes resultados podem estar relacionados com a maior proporção de concentrado na dieta 3, que provavelmente estaria proporcionando aumento na ingestão de sódio, e conseqüentemente elevação na quantidade excretada.

Os resultados encontrados para esta pesquisa podem ser relacionados com os apresentados por AGRAZ (1984), que são de 0,80 g de Na/1000 g de urina, em média, e ao considerar-se um volume urinário de 3,0 litros/dia/animal, este valor chegaria a 2,4 g de Na/dia/animal, bem próximo aos 2,1 g (média) de Na excretados na urina por dia pelos animais da categoria 4.

As quantidades de Fe, Zn e Mn excretadas na urina foram influenciadas pelas categorias e pelas dietas oferecidas, conforme dados apresentados na Tabela 18. Observou-se que as quantidades de Fe e Mn excretadas na urina foram afetadas ($P < 0,05$) da mesma forma para ambos os nutrientes. As categorias 1 e 2 produziram urina mais pobre em Fe e Mn (1,89 e 2,41 mg de Fe/dia e 31,3 e 55,9 μg de Mn/dia respectivamente), do que a categoria 3 (3,55 mg de Fe e 112,56 μg de Mn/dia), que teve suas quantidades superadas pela urina gerada na categoria 4 (5,88 mg de Fe e 226,0 μg de Mn/dia/animal). Já para a quantidade de zinco excretada, os efeitos das categorias foram diretamente proporcionais a idade dos animais, ou seja, a categoria 4 gerou urina mais concentrada (em média 978,1 μg de Zn/dia) ($P < 0,05$) quando comparada a categoria 3 (602,1 μg de Zn/dia), que superou a quantidade contida na urina da categoria 2 (262,1 μg de Zn/dia), e por sua vez foi mais rica que a urina produzida por animais da categoria 1 (148,7 μg de Zn/dia).

Estes comportamentos, como mencionados anteriormente, podem estar associados ao maior aporte de nutrientes necessário para o crescimento e desenvolvimento de animais jovens quando comparados a adultos.

As dietas afetaram ($P < 0,05$) a quantidade destes nutrientes excretada na urina, sendo que para Zn e Fe, produziram o mesmo efeito, ou seja, animais alimentados com a dieta 3 geraram urina mais rica em Fe e Zn (4,46 mg e 590,6 $\mu\text{g}/\text{dia}/\text{animal}$, respectivamente), em comparação com a produzida por animais que consumiram a dieta 2 (3,28 mg de Fe e 493,5 μg de Zn/dia), que foram superiores as quantidades excretadas na urina dos animais que se alimentaram da dieta 1 (2,55 mg de Fe e 409,11 μg de Zn/dia). Os animais alimentados com as dietas 1 e 2 geraram urina com menor quantidade de Mn (78,0 e 87,9 μg de Mn/dia), quando foram comparadas com a urina produzida por animais que consumiram a dieta 3 (em média 151,4 μg de Mn/dia/animal).

Para estes dados cabe lembrar a discussão já discorrida sobre o efeito da inclusão de níveis mais elevados de concentrado nas dietas. Não foram encontrados dados na literatura para comparação dos valores obtidos.

Foram realizadas, além dos nutrientes mencionados, análises para quantificação dos teores de níquel, cádmio, chumbo, cobre, cromo e cobalto, no entanto estes elementos não foram detectados para as amostras avaliadas neste estudo.

5.3. Biodigestores de bancada

5.3.1 Teores de sólidos totais e voláteis

Os teores médios de sólidos totais e voláteis, em porcentagem e em massa, no início e final do processo de biodigestão anaeróbia, quando avaliou-se o efeito das dietas na produção de biogás, bem como as reduções nos teores de sólidos voláteis, em porcentagem, são apresentados na Tabela 19.

Os resultados apresentaram diferenças ($P < 0,01$) entre as reduções ocorridas nos teores de sólidos voláteis desde o início até o final do processo, quando se compararam os três tipos de substratos, demonstrando que o aumento na quantidade de concentrado na ração permitiu substratos com maior degradabilidade. Quando se

compara as médias de redução de sólidos voláteis, observa-se que animais alimentados com maior quantidade de concentrado (dieta 3) produziram fezes que, nos biodigestores, apresentaram 45 % de redução nos teores de sólidos voláteis, valor superior aos obtidos com o aumento nos teores de volumoso (34,99 % para a dieta 2 e 28,60 % para a dieta 1).

TABELA 19. Teores de sólidos totais e voláteis, em porcentagem e em massa e redução de SV, em porcentagem, para estrumes obtidos com diferentes tipos de dieta dos animais.

Dieta	ST				SV				Redução de SV (%)
	%		kg		%		kg		
	inicial	final	inicial	final	inicial	final	inicial	final	
1	7,41	5,34	0,296	0,214	6,38	4,56	0,255	0,182	28,60 C
2	7,32	5,09	0,293	0,204	6,43	4,18	0,257	0,167	34,99 B
3	7,72	4,57	0,309	0,183	6,76	3,72	0,270	0,149	45,00 A

Na coluna redução de SV (%) médias seguidas de letra distintas, diferem pelo teste de Tukey a 5%.

5.3.2. Distribuição da produção de biogás

Na Figura 5 estão apresentados graficamente os resultados de produção de biogás (m³), segundo as dietas avaliadas.

Considerando os resultados obtidos, verificou-se que os substratos preparados com estrumes da dieta 2 permitiram maior velocidade na produção de biogás, embora produzindo menor ($P < 0,05$) quantidade em relação aos substratos preparados com a dieta 3 (dieta 3 = 0,07235 m³ > dieta 2 = 0,06708 m³ = dieta 1 = 0,06207 m³).

Os resultados evidenciaram que a dieta oferecida ao animal alterou ($P < 0,05$) a produção de biogás. Este fato está associado à produção de fezes com maior concentração de nutrientes (representado por formas de carbono mais assimiláveis pelos microrganismos), em animais alimentados com dieta 3, mais rica em concentrado, que apesar de produção mais tardia de biogás, se comparado com a dieta 2, produziu quantidade maior. Em substratos preparados com dejetos de animais alimentados com a

dieta 1, pode ter ocorrido uma fase acidogênica e conseqüente inibição na produção de biogás no período inicial.

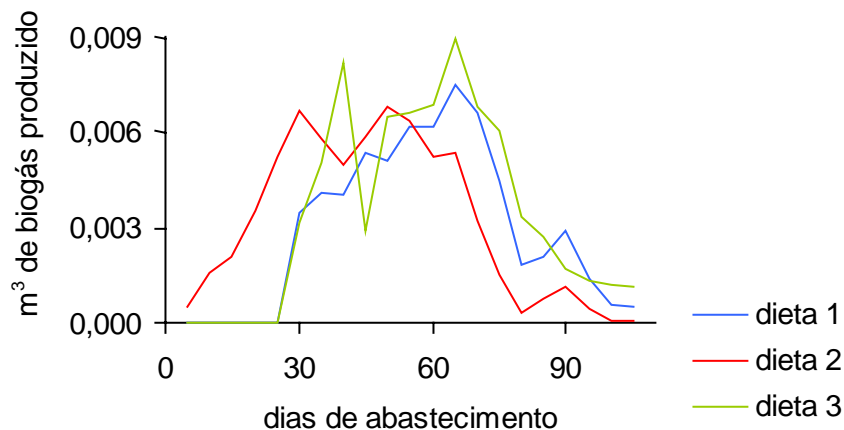


FIGURA 5. Distribuição da produção (m^3) de biogás, em biodigestores abastecidos com dejetos de caprinos alimentados com dietas variando as proporções entre volumoso e concentrado.

5.3.3. Potenciais de produção

Os potenciais médios de produção de biogás quando, corrigidos para 20 °C e 1 atm., são apresentados na Tabela 20, em m^3 de biogás por kg de substrato, por kg de ST adicionados, por kg de SV adicionados, por kg de SV reduzidos e por kg de estrume, de substratos preparados com fezes de animais recebendo dietas com variação na proporção entre volumoso e concentrado, adicionados nos biodigestores.

Considerando as produções de biogás por kg de substrato, por kg de ST adicionados e por kg de SV adicionados, observa-se que os substratos preparados com estrumes obtidos de animais alimentados com a dieta 3 produziram mais biogás ($P < 0,01$), indicando que o aumento no concentrado da ração proporcionaram aumento no potencial energético expresso em produção de biogás.

O maior potencial ($P > 0,05$) alcançado em biodigestores abastecidos com dejetos da dieta 1, em m^3 de biogás/kg de SV reduzido pode ser atribuído ao período de

retenção do material no biodigestor, que provavelmente favoreceu a degradação de compostos mais resistentes, como os componentes da parede celular.

TABELA 20. Potenciais médios de produção de biogás, corrigidos para 20 °C e 1 Tm, para os diferentes tipos substratos, preparados com estrumes de animais alimentando-se de três dietas, variando a proporção entre volumoso e concentrado.

Dieta	Potenciais (m ³ /kg)				
	substrato	ST adic.	SV adic.	SV. red.	Estrume
1	0,0155 B	0,2097 B	0,2434 B	0,8503 A	0,0327 A
2	0,0168 B	0,2289 AB	0,2610 AB	0,7453 B	0,0319 A
3	0,0181 A	0,2341 A	0,2680 A	0,5979 C	0,0302 B

Nas colunas médias seguidas de letra distintas, diferem pelo teste de Tukey a 5 %.

O melhor parâmetro para refletir o potencial de determinada biomassa e, portanto, mais indicado para se utilizar em projetos de biodigestores, é aquele que expressa a produção de biogás por kg de ST adicionados nos biodigestores, pois elimina a interferência do teor de água presente na biomassa. No que se relaciona aos potenciais expressos desta maneira, observa-se que a dieta 3 pode aumentar a produção de biogás ($P < 0,01$) em aproximadamente 10,5 % em relação à dieta 1.

5.4. Biodigestores de campo

5.4.1. Teores de sólidos totais e voláteis

Na Tabela 21 são apresentados os teores médios de sólidos totais e voláteis, no início e final do processo de biodigestão anaeróbia, bem como as reduções nos teores de sólidos voláteis, no estudo que avaliou o efeito das estações do ano sobre a produção de biogás em biodigestores abastecidos com dejetos de caprinos.

TABELA 21. Teores de sólidos totais e voláteis, em porcentagem e em massa e redução de SV, em porcentagem (abastecimento e desabastecimento), para estrumes obtidos durante os períodos de verão, outono, inverno e primavera.

Estações	ST				SV				Redução de SV (%)
	%		kg		%		Kg		
	inicial	final	inicial	final	inicial	final	inicial	final	
Verão	8,42	5,83	4,71	3,26	6,80	4,21	3,81	2,36	38,0A
Outono	7,02	5,17	3,93	2,90	5,73	3,80	3,20	2,13	34,0A
Inverno	7,66	5,48	4,44	3,18	6,69	2,60	3,88	2,60	33,0A
Primavera	9,23	6,02	5,35	3,49	8,44	5,17	4,89	3,00	39,0A

Na coluna redução de SV (%) médias seguidas de mesma letra, não diferem pelo teste de Tukey a 5 %.

Não foi observado efeito ($P>0,05$) das estações do ano sobre a redução de sólidos voláteis, que foi em média 36,0 %. Esta ocorrência pode estar relacionada com tempo de permanência dos substratos no interior dos biodigestores, que foi menor no verão (12 semanas) em relação as demais estações (18, 20 e 18 semanas no outono, inverno e primavera, respectivamente).

A porcentagem de redução de sólidos voláteis com o abastecimento de biodigestores nas quatro estações, permitiu comparar estes valores com os obtidos neste mesmo trabalho, para o abastecimento de biodigestores com avaliação do efeito das dietas fornecidas aos animais sobre a produção de biogás, que foram de 28,6 % para a dieta 1, 35,0 % para a 2 e 45,0 % para dieta 3.

Com base na média de redução de SV nas quatro estações, 36,0 %, acredita-se que a dieta ingerida pelos animais do Setor de Caprinocultura aproximou-se mais das proporções representadas pela condição 2 (40 % de concentrado e 60 % de volumoso); no entanto, ressalta-se as diferenças nas condições em que foram desenvolvidos ambos os ensaios de biodigestão, como escala (abastecimentos de 4 L – laboratoriais e 60 L – campo), efeito da temperatura e incidência de luz, entre outros.

Estes resultados podem ser comparados aos encontrados por AL-MASRI (2001), que avaliou o desempenho de biodigestores anaeróbios abastecidos com dejetos

de caprinos e ovinos. A redução de sólidos totais e voláteis (ST e SV) foram de 72,6 e 58,2% respectivamente, quando utilizou-se como substrato dejetos de ovinos e 71,3 e 58,1% em biodigestores abastecidos com dejetos de caprinos. A redução de SV foi superior a obtida neste trabalho, fato este que pode ser associado a manutenção dos biodigestores em banho-maria a 30°C, segundo o referido autor.

MISI e FORSTER (2001) obtiveram 34,1% de redução de SV quando utilizaram-se de misturas a base de dejetos de caprinos, ovinos e bovinos, resíduos do processamento de frutas e cama de frangos, em diferentes proporções, para abastecimento de biodigestores anaeróbios.

5.4.2. Distribuição da produção de biogás

Na Figura 6 está apresentada graficamente a distribuição da produção de biogás (m³) e na Figura 7 representada, a % do acumulado da produção de biogás para as estações de verão, outono, inverno e primavera.

Com base nos resultados obtidos de distribuição da produção de biogás e % acumulada ao longo do período, foi possível concluir que as estações influenciaram ($P < 0,05$), antecipando ou retardando, o início da produção de biogás, sendo que, para as estações de verão e outono, com aproximadamente 50 dias a partir da data do abastecimento, haviam sido atingidos 90 e 60 % (valores aproximados) do total de biogás produzido durante todo o processo, enquanto que nas estações de inverno e primavera, estes valores estavam em aproximadamente 5 %.

As produções totais de biogás durante as estações de verão, outono, inverno e primavera foram de 1,06, 0,88, 0,88 e 0,99 m³ de biogás, respectivamente. Apesar de produções semelhantes em todas as estações é possível observar-se que nas duas primeiras a % de metano na composição do biogás (Figura 8) apresentou elevação nas primeiras duas semanas (73,09 e 56,30%, verão e outono, respectivamente) após o abastecimento, inclusive com comportamento de queima (4^o e 12^o dia, respectivamente), o que só ocorreu na 6^o semana para os abastecimentos realizados durante as estações de inverno e primavera (43,24 e 56,14% de CH₄, com queima aos 42 e 31 dias, respectivamente).

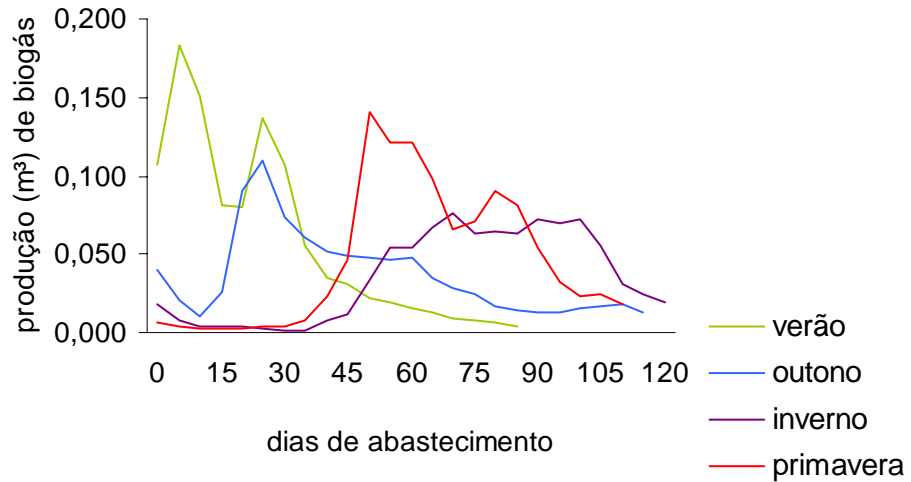


FIGURA 6. Distribuição da produção de biogás (m^3) durante as estações de verão, outono, inverno e primavera.

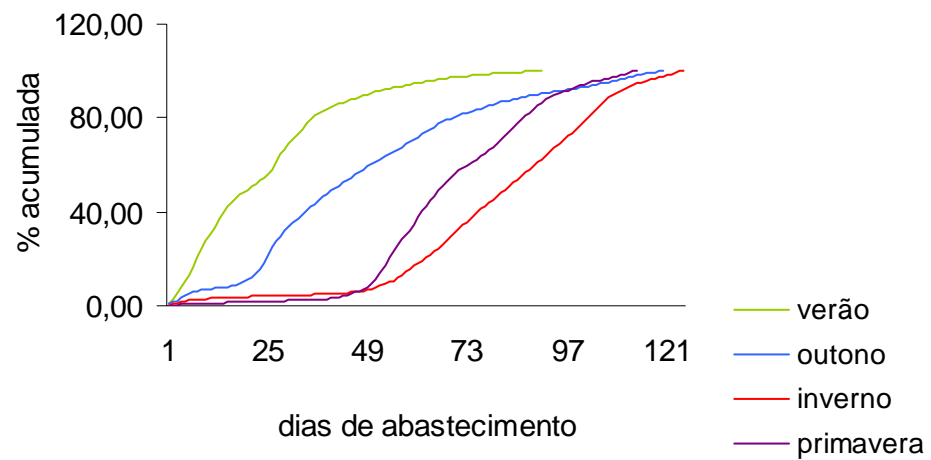


FIGURA 7. Produção de biogás, em % acumulada, nos biodigestores abastecidos com dejetos de caprinos, nas quatro estações do ano.

5.4.3. Composição do biogás produzido

Os teores de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) contidos no biogás produzido com o abastecimento dos biodigestores nas estações de verão, outono, inverno e primavera estão apresentados na Tabela 22, e os teores médios de metano encontram-se representados na Figura 8.

TABELA 22. Porcentagens de CO₂ e CH₄ contidas no biogás produzido com os abastecimento das estações de verão, inverno e primavera.

Semana	verão		outono		inverno		primavera	
	Média %	Média %	Média %	Média %	Média	Média %	Média %	Média %
	CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄	% CO ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄
1	38,48	61,09	60,10	25,97	sem produção		sem produção	
2	32,64	67,15	57,43	39,75	sem produção		sem produção	
3	26,55	73,06	41,95	56,30	sem produção		sem produção	
4	30,02	69,71	30,79	67,91	sem produção		sem produção	
5	24,37	75,37	19,64	80,06	sem produção		56,11	32,58
6	17,37	81,74	24,62	75,02	38,38	43,24	42,34	56,14
7	22,35	77,04	22,66	76,92	17,55	30,80	35,23	61,82
8	18,50	80,52	19,41	80,19	28,71	62,81	32,82	66,91
9	20,73	78,04	19,21	80,33	28,23	68,10	35,75	63,09
10	15,44	83,34	20,96	78,57	19,62	79,41	35,04	64,60
11	10,93	87,20	19,72	79,64	23,67	75,75	34,81	64,80
12	9,60	88,31	19,34	80,10	25,82	73,39	25,61	73,99
13	sem produção		15,13	84,13	27,46	72,03	23,05	76,63
14	sem produção		13,78	85,33	27,75	71,88	21,04	78,63
15	sem produção		15,25	83,75	27,28	72,05	22,33	77,07
16	sem produção		15,94	83,02	28,60	76,07	20,14	79,12
17	sem produção		10,03	84,62	23,69	75,99	21,00	78,84
18	sem produção		18,03	72,55	20,38	79,09	20,30	79,22
19	sem produção		sem produção		21,22	78,23	sem produção	
20	sem produção		sem produção		18,77	80,63	sem produção	

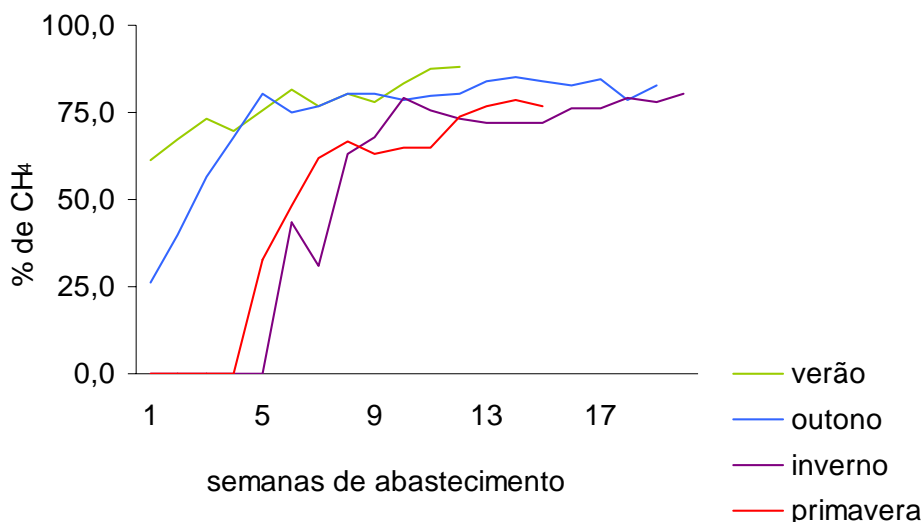


FIGURA 8. Teores de metano contidos no biogás produzido durante as estações de verão, outono, inverno e primavera.

O menor tempo, observado na estação de verão, para se atingir teores mais elevados de metano (em média 61,0 % de CH₄ na primeira semana) pode estar diretamente relacionado com o efeito da temperatura sobre a massa no interior dos biodigestores, que provavelmente intensificou da população de bactérias metanogênicas no meio.

5.4.4. Potenciais de produção de biogás

Os potenciais médios de produção de biogás, para as quatro estações, corrigidos para 20 °C e 1 atm., são apresentados na Tabela 23, em m³ de biogás por kg de substrato, por kg de ST adicionados, por kg de SV adicionados, por kg de SV reduzidos e por kg de estrume adicionados no abastecimento.

Os resultados de potenciais de produção de biogás obtidos refletiram a influência das estações do ano, com destaque para maiores produções de biogás por SV reduzido ($P > 0,05$) durante o verão e outono (em média 0,79 m³ /kg de SV reduzido), em comparação com o inverno e primavera (0,61 m³ /kg de SV reduzido). Este fato pode

estar relacionado com as menores quantidades de SV nos dejetos durante o abastecimento nas estações de verão e outono (médias de 3,8 e 3,2 kg de SV, respectivamente) em comparação com as quantidades nos abastecimentos de inverno e primavera (médias de 3,9 e 4,9 kg de SV, respectivamente).

TABELA 23. Potenciais médios de produção de biogás, corrigidos para 20 °C e 1 Tm, para substratos preparados com estrume de caprinos produzidos durante o verão, outono, inverno e primavera.

Estações	Potenciais (m ³ /kg)				
	substrato	ST adic.	SV adic.	SV. red.	Estrume
Verão	0,02A	0,23A	0,28A	0,74A	0,05A
Outono	0,02A	0,22A	0,28A	0,83A	0,05A
Inverno	0,02A	0,20A	0,23B	0,61B	0,04A
Primavera	0,02A	0,22A	0,24B	0,61B	0,06A

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (P>0,05).

Os resultados encontrados podem ser comparados aos obtidos por MISI e FORSTER (2001), que utilizaram misturas a base de dejetos de caprinos, ovinos e bovinos, resíduos do processamento de frutas e cama de frangos, em diferentes proporções, para abastecimento de biodigestores anaeróbios. Quando os dejetos de ovinos e caprinos perfizeram 70% da mistura obtiveram como valores: 0,14 m³ de metano/kg de SV adicionado e 0,42 m³ de CH₄/kg de SV.

O potencial de produção de biogás do estrume de ovinos, encontrado por JAIN *et al.* (1981), é de 0,0452 m³ de biogás/kg de estrume, foi semelhante aos obtidos neste trabalho, observando-se inclusive que ocorreu maior eficiência de conversão nos estrumes de caprinos e ovinos em relação ao de bovinos (0,048 m³/kg de estrume, LUCAS JR. 1987). Já NASCIMENTO (1991), encontrou potencial de produção de biogás de 0,08692 m³ por kg de estrume, em biodigestores abastecidos com dejetos de ovinos e capacidade de carga de 3 litros.

Os potenciais de produções de biogás durante as quatro estações podem ser comparados ao potencial médio obtido com o estudo da influência das dietas sobre a produção de biogás, deste mesmo trabalho, que foi de 0,0316 m³ de biogás por kg de dejetos adicionado, valor este inferior aos encontrados para as estas estações, que foram de 0,05 m³ de biogás por kg de dejetos adicionado, para verão e outono e 0,04 m³ para o inverno. Estes valores podem estar associados as diferenças em que ambos os ensaios foram realizados.

5.4.5. Redução de coliformes totais e fecais

Os números mais prováveis (NMP) de coliformes totais e fecais presentes nos substratos e efluentes dos biodigestores abastecidos nas quatro estações, assim como as respectivas porcentagens de redução destes números durante o processo, estão apresentados na Tabela 24.

TABELA 24. Números mais prováveis (NMP) de coliformes fecais e totais no abastecimento e desabastecimento dos biodigestores, e % de redução destes durante o processo, nas estações do ano estudadas.

Coliformes totais				
	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Afluente	2.419,42 x 10 ⁸	506,4 x 10 ⁸	945,47 x 10 ¹⁰	658,62 x 10 ⁹
Efluente	2,0 x 10 ³	1,5 X 10 ³	1,7 x 10 ³	3,1 x 10 ⁴
Redução (%)	99,99 A	99,99 A	99,99 A	99,99 A
Coliformes fecais				
Afluente	479,3 x 10 ⁸	494,1 x 10 ⁸	659,3 x 10 ¹⁰	418,79 x 10 ⁹
Efluente	3,37 x 10 ²	1,5 X 10 ³	0,0	0,0
Redução(%)	99,99.A	99,99 A	100,0 A	100,0 A

Médias seguidas da mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (P>0,05).

Os índices (em %) de redução do número de coliformes não sofreram efeitos ($P < 0,05$) das estações do ano, sendo de 99,99 % para coliformes totais (nas quatro estações) e coliformes fecais (verão e outono) e de 100,0 % para coliformes fecais, nas estações de inverno e primavera.

Resultados semelhantes foram observados por STEIL (2001), quando abasteceu biodigestores, modelo batelada, com substratos preparados a partir de dejetos de suínos, frangos de corte e aves de postura (média de 99,99 % de redução no NMP de coliformes totais e fecais).

A redução dos números de patógenos no produto final, que será retornado ao solo, é um fator importante, pois a ocorrência de altos níveis de bactérias do grupo coliformes na água de consumo podem sujeitar as propriedades a maiores taxas de incidência de doenças nos animais, com conseqüente aumento da mortalidade e diminuição da produtividade (ENNIX, 1996)

5.4.6. Nutrientes no afluente e efluente

Na Tabela 25 estão apresentadas as quantidades (kg) de macro e micronutrientes (g) na matéria seca (MS) do afluente e efluente dos biodigestores abastecidos nas estações de verão, outono, inverno e primavera, assim como as % de suas reduções durante o período.

Como os nutrientes contidos nos dejetos, na ocasião do abastecimento, apresentaram-se em quantidades diversificadas (por exemplo o potássio, em quantidade 3 vezes maior nos dejetos gerados durante o inverno, quando comparado aos excretados no verão) optou-se por comparar suas diferenças durante o período.

TABELA 25. Quantidades médias, em porcentagem da MS, de macro e micronutrientes nos períodos inicial e final e diferença (em %) destas quantias durante a biodigestão anaeróbia, nas estações de verão, outono, inverno e primavera.

Nutrientes (em % da MS)	Período	verão	outono	inverno	primavera
Nitrogênio	inicial	2,505	3,384	3,176	3,009
	final	2,577	3,586	3,459	3,610
	diferença em %	2,77 B	5,63 B	8,19 AB	16,65 A
Fósforo	inicial	1,870	1,397	1,716	1,602
	final	2,525	1,786	2,302	2,352
	diferença em %	25,91 AB	21,79 B	25,44 AB	31,91 A
Potássio	inicial	1,238	2,931	2,586	3,925
	final	1,647	3,662	3,563	5,880
	diferença em %	24,86 B	19,96 C	27,43 B	33,24 A
Cálcio	inicial	0,478	0,496	0,453	0,961
	final	0,669	0,662	0,632	1,467
	diferença em %	28,56 B	25,06 B	28,38 B	34,51 A
Magnésio	inicial	0,301	0,318	0,322	0,624
	final	0,429	0,424	0,447	0,951
	diferença em %	29,80 B	25,01 B	27,87 B	34,37 A
Ferro	inicial	0,422	0,366	0,297	0,565
	final	0,604	0,492	0,412	0,861
	diferença em %	30,07 AB	25,59 B	28,00 B	34,41 A
Sódio	inicial	0,383	0,394	0,350	0,544
	final	0,538	0,526	0,483	0,824
	diferença em %	28,76 B	25,10 B	27,46 B	33,99 A
Manganês	inicial	0,031	0,028	0,022	0,034
	final	0,043	0,038	0,030	0,052
	diferença em %	28,73 B	25,74 B	27,80 B	34,53 A
Zinco	inicial	0,032	0,032	0,023	0,045
	final	0,046	0,043	0,032	0,069
	diferença em %	30,31 AB	25,65 B	27,88 B	34,39 A
Cobre	inicial	0,010	0,008	0,007	0,010
	final	0,014	0,011	0,009	0,016
	diferença em %	30,58 AB	26,07 B	28,21 B	34,64 A

Médias seguidas de diferentes letras, na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% ($P < 0,05$).

Tomando-se por base estas diferenças e a composição inicial dos substratos

observa-se efeito das estações do ano sobre estes valores, destacando-se composição superior para o biofertilizante produzido durante a estação de primavera, onde ocorreu inclusive as maiores concentrações de nutrientes durante o processo de biodigestão anaeróbia ($P < 0,05$), porém este fato deve ser analisado com cautela, pois um aumento nos teores dos nutrientes não significa ganho durante o processo, devendo-se considerar que ocorreram reduções nos sólidos totais, o que implica em perdas de nutrientes. Provavelmente isto se deva aos maiores teores de nutrientes na matéria prima (dejetos) produzida nesta estação, que pode ter sido influenciada pela qualidade e quantidade de alimento ofertado aos animais, pelo tempo de permanência destes nas baias, pela quantidade de urina nesta massa, entre outros fatores e ainda pela provável relação entre melhor qualidade da matéria prima e do produto final.

5.5. Compostagem

5.5.1. Condução das leiras

Os resultados obtidos com a implantação e finalização do processo de compostagem, durante as estações de verão, outono, inverno e primavera, estão apresentados na Tabela 26 em quantidades de matéria natural e seca, em kg, do material enleirado e composto, e % de ST, SV e de redução da MS.

Os resultados apresentaram diferenças ($P < 0,05$) nas quantidades de MN e MS na ocasião de formação e final das leiras de compostagem para as quatro estações. No entanto estes resultados são pouco expressivos, pois durante o período de compostagem adicionou-se água diversas vezes para a correção da umidade, tendo este procedimento relação direta com estes resultados, e ainda durante as colheitas do material, no Setor de Caprinocultura, haviam diferenças quanto as quantidades defecadas (dependendo da oferta de alimento no pasto, os animais passavam mais ou menos tempo nas baias), a proporção de urina nesta massa (dependente também do tempo de permanência nas baias, assim como da temperatura ambiente, que pode estimular ou deprimir a ingestão de água) e o tempo de estocagem, dos dejetos, nas canaletas de coleta.

TABELA 26. Quantidades (em kg) de matéria natural e seca, % de sólidos totais e voláteis do esterco enleirado e do composto e redução da quantidade de MS, para as diferentes estações do ano.

	Período	Verão	Outono	Inverno	Primavera
MN (kg)	Leira 1	988,85	683,52	533,74	717,36
	Leira 2	923,70	748,85	601,15	758,92
	Leira 3	926,45	698,66	588,79	731,21
	Média enleiramento	945,11A	709,72B	574,31C	735,43B
	Final 1	276,23	235,71	220,89	139,18
	Final 2	296,50	241,80	253,42	139,71
	Final 3	273,07	236,24	237,51	137,36
	Média Final	281,76A	237,95A	237,08A	138,74B
	MS(kg)	Leira 1	199,55	274,91	224,33
Leira 2		204,60	285,46	251,70	146,32
Leira 3		202,80	276,32	236,40	150,19
Média enleiramento		202,32AB	278,90A	237,48AB	147,26B
Final 1		88,31	130,37	114,79	75,70
Final 2		94,88	138,82	127,15	74,30
Final 3		92,57	135,46	120,19	76,18
Média Final		91,92B	134,88A	120,71A	75,39B
% Redução de MS		54,57A	51,64A	49,17B	48,80B
% ST	Leira 1	20,18	40,22	42,03	20,25
	Leira 2	22,15	38,12	41,87	19,28
	Leira 3	21,89	39,55	40,15	20,54
	Média enleiramento	21,41B	39,30A	41,35A	20,02B
	Final 1	31,97	55,31	51,97	54,39
	Final 2	32,00	57,41	50,17	53,18
	Final 3	33,90	57,34	50,60	55,46
	Média Final	32,62B	56,69A	50,92A	54,34A
	% SV	Leira 1	78,08	75,74	81,59
Leira 2		79,22	76,55	80,70	89,50
Leira 3		81,14	77,13	80,60	88,89
Média enleiramento		79,48B	76,47B	80,96B	89,74A
Final 1		62,51	67,42	61,67	76,57
Final 2		63,48	66,68	61,77	77,10
Final 3		68,20	68,03	61,92	66,82
Média Final		64,73B	67,38B	61,79B	73,50A

Médias seguidas de diferentes letras, na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% ($P < 0,05$).

Um importante índice a ser observado é a % de redução de MS, que foi maior ($P < 0,05$) nas leiras conduzidas durante as estações de verão e outono (com médias de 54,6 e 51,6%, respectivamente), em relação as manejadas durante o inverno e primavera, médias de 49,2 e 48,8%, respectivamente.

Estes valores podem ser comparados aos obtidos por GORGATI (2001) em trabalhos realizados com compostagem de lixo urbano, onde obtiveram reduções médias de 53,1 e 52,9% em leiras cobertas e descobertas, respectivamente. KIEHL (1985) definiu que a redução esperada deve ser de aproximadamente 50%.

Nas figuras 9 e 10 são mostradas as leiras de compostagem, sendo a primeira de uma leira recém formada e segunda com o composto já em fase final.



FIGURA 9. Leira de compostagem no início do processo.



FIGURA 10. Leira de compostagem na fase final do processo.

5.5.2. Acompanhamento da temperatura

No período em que as leiras permaneceram no pátio de compostagem efetuou-se a medição da temperatura, no interior das mesmas, diariamente.

Os dados apresentados na Tabela 27, referem-se as temperaturas médias semanais, em °C, das leiras de compostagem, as máximas obtidas durante o processo e o dia de formação da leira em que estas ocorreram.

TABELA 27. Temperaturas médias semanais, máximas observadas durante o processo de compostagem (°C), e dia de ocorrência.

Semanas	Verão	Outono	Inverno	Primavera
1	25,6	32,0	47,1	27,8
2	62,1	46,7	52,3	43,5
3	48,1	37,5	49,7	54,1
4	36,8	30,4	47,0	50,3
5	34,2	29,6	43,1	43,7
6	28,9	30,0	30,1	45,7
7	29,7	31,4	23,9	41,1
8	29,8	31,4	20,3	32,3
9	22,0	27,8	20,6	31,2
10	21,8	24,5	21,9	30,7
11	21,2	21,5	24,7	32,0
12	21,3	19,8	23,7	28,8
13	22,3	18,4	22,9	27,2
14	21,2	18,0	21,9	25,5
15	22,5	19,3	20,7	23,4
Temp. máxima	62,4	61,3	62,4	66,7
Pico de temperatura (dia)	6º	6º	7º	12º

Na Figura 11 estão representadas as temperaturas diárias (°C) no interior das leiras de compostagem durante as quatro estações do ano.

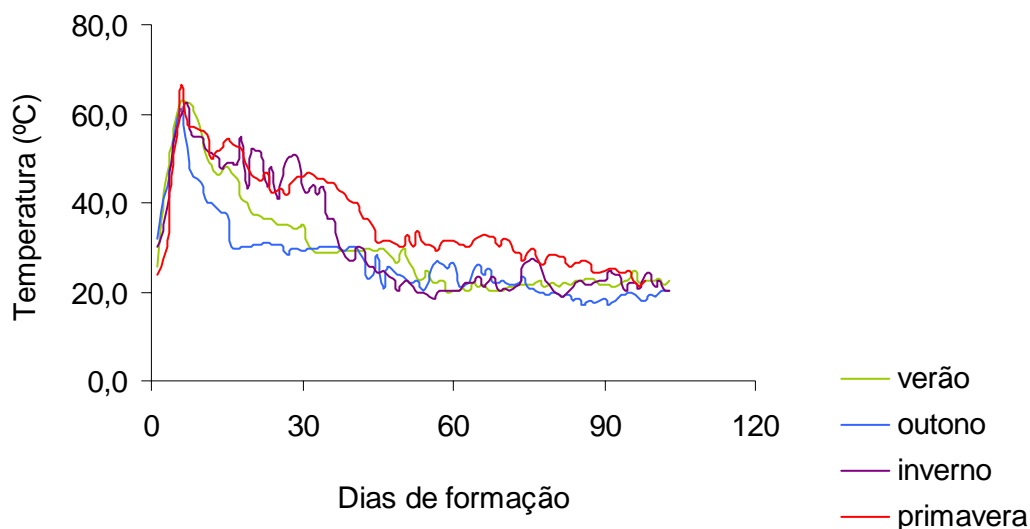


FIGURA 11. Temperaturas diárias das leiras de compostagem nas estações de verão, outono, inverno e primavera.

Observa-se na Tabela 27 e Figura 11 que as temperaturas máximas ocorreram durante os primeiros doze dias de compostagem para as estações avaliadas. Comportamento semelhante foi observado por GORGATI (2001), em trabalho estudando a compostagem de lixo urbano.

É possível observar ainda que com aproximadamente 30 dias de formação das leiras, nas estações de verão e outono a temperatura atinge valores inferiores a 30°C, comportamento este não acompanhado nas leiras de inverno e primavera.

THAMBIRAJAH *et al.* (1995) avaliaram a compostagem de mistura obtida a partir dos resíduos de extração de óleo de palma e dejetos de caprinos (90:25 kg, respectivamente) e obtiveram temperaturas abaixo de 40° C após os primeiros 25 dias de compostagem, sendo que, o pico de temperatura ocorreu com 4 dias de enleiramento e foi de 70° C. Já em experimento realizado por HANAJIMA *et al.* (2001) a temperatura máxima observada foi de 65,9° C, quando utilizaram esterco bovino como substrato para formação das leiras.

Independente do material que será utilizado como substrato para o processo de compostagem a USEPA (citado por LAU, *et al.*, 1992) recomenda que a temperatura

no interior da leira atinja, no mínimo, 55°C e mantenha-se nesta faixa por 3 dias consecutivos para que número de patógenos atinja níveis aceitáveis, permitindo a aplicação no solo.

5.5.3. Composição química do material enleirado e do composto

Na Tabela 28 estão apresentados os teores médios de carbono, nitrogênio e relação C/N (valores com base na MS), do esterco enleirado para compostagem e do composto nas diferentes estações do ano.

TABELA 28. Teores médios de carbono, nitrogênio e relação C/N, do esterco enleirado para compostagem e do composto no verão, outono, inverno e primavera.

Nutrientes	Período	Verão	Outono	Inverno	Primavera
C	Enleiramento	18,37	22,95	27,14	26,22
	Final	3,40	4,20	8,62	8,89
N	Enleiramento	1,08	1,35	1,58	1,61
	Final	0,56	0,68	1,03	1,09
Relação C/N	Enleiramento	17,01	17,00	17,18	16,29
	Final	6,07	6,18	8,37	8,16
	% Redução	64,31A	63,67A	51,28B	49,92B

Médias seguidas de diferentes letras, na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% ($P < 0,05$).

Com base nos resultados encontrados, observa-se efeito ($P < 0,05$) das estações do ano sobre o declínio da relação C/N ao longo do período de compostagem, com maiores reduções, em média 63,99%, durante o verão e outono, sendo que as demais estações apresentaram reduções inferiores não diferindo ($P < 0,05$) entre si. Esta redução mais intensa durante o verão e outono, pode estar intimamente relacionada com os menores teores de C e N no material enleirado que, segundo KIEHL (1985), ocasiona maiores perdas, quanto mais pobre for. As relações C/N encontradas neste trabalho são inferiores a encontrada por THAMBIRAJAH et al. (1995), que foi de 52:1 e 24:1, no início

e final da compostagem de uma mistura a base de resíduo de extração do óleo de palma e dejetos de cabras.

A relação C/N do composto (final) apresenta-se inferior à definida como ideal por Lopez-Real (1990) citado por GORGATI, 2001, que foi de 10:1, no entanto GORGATI (2001) encontrou no composto obtido de lixo urbano relação C/N de 6,6 em leiras cobertas, e de 11,0 em leiras manejadas sem cobertura.

Na Tabela 29 são apresentados as quantidades médias (na matéria seca) de macronutrientes, em quilos, e de micronutrientes, em gramas, na leira, para início e final do processo de compostagem, assim como as respectivas reduções, em %, dos nutrientes, nas estações avaliadas.

Com base nos resultados obtidos e apresentados na Tabela 29, conclui-se que as estações do ano tem influência ($P < 0,05$) sobre a % de redução de nutrientes nas leiras de compostagem, destacando-se que para todos os componentes as maiores perdas ($P < 0,05$), ocorreram na estação de verão, sendo que as demais estações além de apresentarem reduções inferiores, não diferiram entre si ($P > 0,05$).

É possível notar que a composição dos dejetos, no início do processo, diferiu bastante de uma estação para a outra, por isto a preferência em se comparar as % de reduções ao invés das quantidades dos nutrientes nas leiras.

Para fósforo, cálcio e sódio foram observadas as maiores reduções (59,3, 54,6 e 57,8%, respectivamente) em leiras conduzidas durante o verão, com relação as demais estações.

Em estudo realizado por EGHBALL *et al.* (1997) avaliaram-se as perdas ocorridas durante o processo de compostagem, utilizando-se como substrato esterco bovino. O material permaneceu enleirado por 45 dias e ao final deste período apresentou perdas de 42,5, 0,8, 15,8, 15,5, 1,6, e 1,9% para N, P, K, Na, Ca e Mg, respectivamente e redução de massa de 20,4%. Tomando-se por base este último valor, acredita-se que o período de enleiramento tenha sido insuficiente, pois a redução de massa esperada seria de 50%.

Tabela 29. Quantidades médias, na MS, de macronutrientes na leira (em kg) e de micronutrientes (em g) nos períodos inicial e final e % de redução dos nutrientes durante a compostagem, nas estações de verão, outono, inverno e primavera.

	Nutrientes	Período	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Massa total na leira (kg)	Fósforo	inicial	3,68	3,29	3,92	2,24
		final	1,50	2,08	2,39	1,42
	% redução		59,31A	36,88B	39,00B	36,34B
	Potássio	inicial	2,23	4,90	5,79	5,48
		final	1,40	3,24	3,80	3,58
	% redução		37,22A	33,91B	34,39B	34,78B
	Cálcio	inicial	0,97	0,81	1,05	1,27
		final	0,44	0,50	0,64	0,74
	% redução		54,57A	38,66B	38,84B	41,59B
Magnésio	inicial	0,49	0,51	0,65	0,75	
	final	0,29	0,33	0,44	0,51	
% redução		39,42A	34,58B	31,85B	32,46B	
Massa total na leira (g)	Ferro	inicial	724,29	657,53	695,97	778,92
		final	560,71	541,41	572,66	642,52
	% redução		22,58A	17,66B	17,72B	17,51B
	Sódio	inicial	645,39	708,11	849,73	784,99
		final	272,08	322,64	411,80	379,63
	% redução		57,84A	54,44AB	51,54B	51,64B
	Manganês	inicial	59,34	50,36	53,53	47,86
		final	38,42	38,80	40,28	39,88
	% redução		35,25A	22,95B	24,75B	16,68B
	Zinco	inicial	59,19	57,54	57,75	60,73
		final	41,15	44,86	44,92	45,95
	% redução		30,48A	22,05B	22,21B	24,34B
	Cobre	inicial	18,07	14,21	17,01	15,42
		final	12,77	11,41	13,07	11,97
	% redução		29,33A	19,67B	23,20B	22,35B

Médias seguidas de diferentes letras, na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% ($P < 0,05$).

HSU e LO (2001) promoveram o acompanhamento da solubilidade (em água) de C, Cu, Zn e Mn durante 120 dias de compostagem, utilizando-se de esterco suíno para confecção das leiras. Os autores verificaram que a solubilidade máxima, de todos os nutrientes avaliados, ocorreu aos 20 dias de enleiramento, com valores significativos até

aproximadamente 40 dias. Este comportamento pode ser o principal responsável pelos valores obtidos neste trabalho, pois, apesar de não haver a formação natural de chorume, quando adicionava-se água nas leiras para a correção da umidade, havia escoamento, sendo que, durante os primeiros 50 dias a frequência deste procedimento foi bastante superior em relação ao período restante (as temperaturas mais elevadas promoviam maior perda de água nas leiras).

5.5.4. Estimativa das reduções de volume

Os resultados das medições do volume ocupado pelas leiras de compostagem nas quatro estações estão apresentados na Tabela 30, assim como as % de reduções do volume durante o processo.

TABELA 30. Volume médio (m^3) ocupado no início, aos 30, 60 e 90 dias e final da compostagem, por leiras manejadas durante o verão, outono, inverno e primavera, e suas respectivas, reduções em %.

Período	início	30 dias	60 dias	90 dias	Final	% Redução
	Volume (m^3)					
Verão	1,50	1,03	0,80	0,60	0,48	68,00A
Outono	1,24	0,84	0,67	0,47	0,40	67,74A
Inverno	1,28	0,97	0,64	0,54	0,46	64,06B
Primavera	1,06	0,78	0,51	0,40	0,37	65,09B

Médias seguidas de diferentes letras, na coluna, diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% ($P < 0,05$).

As tendências e equações de reduções de volume (m^3) das leiras de compostagem desenvolvidas durante as estações de verão, outono, inverno e primavera foram estimadas através de medições semanais, e estão representadas na Figura 12.

Apesar de haver diferenças ($P < 0,05$) nas reduções dos volumes (m^3) ocupados, maiores em leiras conduzidas durante o verão e outono (médias de 68,0 e 67,7%,

respectivamente) se comparadas com as de inverno e primavera (médias de 64,1 e 65,1%, respectivamente), a tendência linear de diminuição do volume, (como representada pela Figura 12) é a mesma em todas as estações. Em estudo realizado por GORGATI (2001), com compostagem de lixo urbano, as tendências de reduções de volume, nas quatro estações são quadráticas, não verificando o mesmo comportamento das obtidas neste trabalho. Tal fato pode estar associado a maior intensidade na fermentação proporcionada durante a compostagem de lixo urbano em relação aos dejetos, visto que os dejetos são produtos de excreção e já passaram pelo processo de pré-fermentação, principalmente se forem resíduos de ruminantes, que intensificam a fermentação através da câmara ruminal.

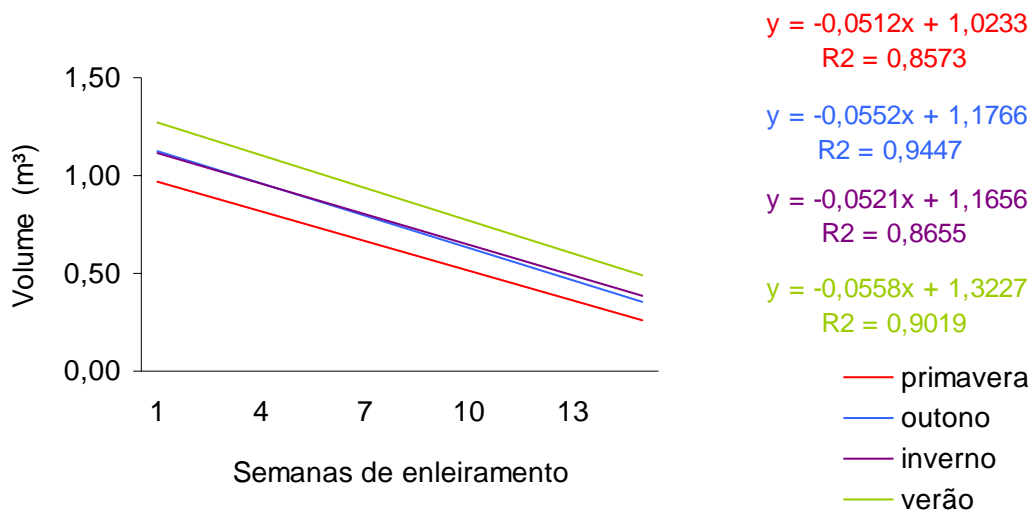


Figura 12. Tendências e equações de reduções de volume em leiras de compostagem manejadas durante as estações de verão, outono, inverno e primavera.

As equações encontradas foram: $y = -0,0512x + 1,0233$, $y = -0,0552x + 1,1766$, $y = -0,0521x + 1,1656$ e $y = -0,0558x + 1,322$ para as estações de primavera, outono, inverno e verão respectivamente, sendo que x representa o número de semanas a partir da formação da leira e y a redução do volume, em m³, e podem ser consideradas de extrema importância no planejamento da área a ser utilizada durante todo o processo, visto que as reduções são altas, em média 66,2%, e devem ser consideradas na ocasião

do dimensionamento de pátios de compostagem, pois estimam a liberação de área durante o processo em função da redução do volume das leiras.

5.6. Vermicompostagem

5.6.1. Condução das leiras de vermicompostagem

Na Tabela 31 estão apresentados os resultados obtidos com o processo de vermicompostagem em quantidades de matéria natural e matéria seca (MN e MS, respectivamente, em kg), do material enleirado e vermicomposto, e % de ST, SV e reduções de MS, para leiras conduzidas nas quatro estações.

É possível observar que no processo de vermicompostagem as % de reduções de MS, tem o mesmo comportamento observado na compostagem, ou seja, superiores ($P < 0,05$) nas estações de verão e outono (55,6 e 52,2%, respectivamente) e menores no inverno e primavera (44,5 e 41,6%, respectivamente), reforçando portanto que os efeitos discutidos anteriormente para este parâmetro, possam estar estritamente associados as estações do ano.

Nas figuras 13 e 14 são mostradas as leiras de vermicompostagem, após o período de pré-compostagem, sendo a primeira de uma leira recém formada e a segunda com o vermicomposto já em fase final.

TABELA 31. Quantidades de matéria natural (MN) e matéria seca (MS), em kg e porcentagem de sólidos totais e voláteis no esterco enleirado e no vermicomposto e de redução de MS, para as diferentes estações do ano.

	Período	Verão	Outono	Inverno	Primavera
MN (kg)	Leira 1	1143,84	418,03	585,35	453,99
	Leira 2	1017,31	433,81	708,67	512,27
	Leira 3	987,12	453,89	660,76	468,77
	Média enleiramento	1048,01A	434,61C	650,76B	477,35C
	Final 1	284,10	258,53	389,41	240,48
	Final 2	276,32	251,88	420,33	227,98
	Final 3	274,11	266,24	400,61	200,38
	Média Final	277,97B	258,77B	403,43A	222,92B
	MS (kg)	Leira 1	219,96	184,56	224,48
Leira 2		190,95	182,72	262,35	146,56
Leira 3		205,32	180,33	240,78	128,49
Média enleiramento		205,41A	182,54AB	242,54A	141,15B
Final 1		88,44	88,52	130,36	88,33
Final 2		86,24	86,32	140,19	84,99
Final 3		98,79	87,14	133,14	74,12
Média Final		91,16B	87,33B	134,56A	82,48B
% Redução de MS		55,62A	52,16 ^A	44,52B	41,57B
% ST	Leira 1	19,23	44,15	38,35	32,69
	Leira 2	18,77	42,12	37,02	28,61
	Leira 3	20,80	39,73	36,44	27,41
	Média enleiramento	19,60C	42,00 ^A	37,27A	29,57B
	Final 1	31,13	34,24	33,48	36,73
	Final 2	31,21	34,27	33,35	37,28
	Final 3	36,04	32,73	33,23	36,99
	Média Final	32,79B	33,75B	33,35B	37,00A
	% SV	Leira 1	80,30	76,29	80,41
Leira 2		81,37	75,66	82,19	80,24
Leira 3		79,56	76,79	78,47	80,56
Média enleiramento		80,41A	76,25B	80,36A	80,17A
Final 1		66,00	56,49	69,75	71,51
Final 2		67,25	56,89	69,77	70,74
Final 3		64,13	56,37	68,23	71,11
Média Final		65,79A	56,58B	69,25A	71,12A

Médias seguidas de diferentes letras, na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% (P<0,05).



FIGURA 13. Leira de vermicompostagem durante a pré-compostagem.



FIGURA 14. Leira de vermicompostagem na fase final do processo.

5.6.2. Acompanhamento da temperatura

No período em que as leiras permaneceram no pátio de compostagem e após a transferência para o canteiro de vermicompostagem foram efetuadas medições diárias de temperatura.

Os dados apresentados na Tabela 32, referem-se as temperaturas médias semanais, em °C, das leiras de compostagem, as máximas obtidas durante o processo e o dia de formação da leira em que ocorreram.

TABELA 32. Temperaturas (°C) médias semanais, máximas observadas durante o processo de vermicompostagem e dia de ocorrência.

Semanas	Verão	Outono	Inverno	Primavera
1	25,8	25,0	33,3	33,5
2	59,8	41,5	53,3	53,5
3	44,5	27,4	58,6	59,1
4	28,8	22,0	53,9	49,5
5	25,3	21,6	36,2	51,3
6	24,3	17,9	20,4	30,9
7	23,0	17,9	23,4	23,4
8	21,8	17,5	23,8	22,6
9	20,4	17,9	25,4	22,4
10	18,3	17,2	25,5	23,4
11	18,2	17,2	26,2	22,9
12	17,6	17,7	24,2	24,9
13	18,5	17,4	22,7	22,6
14	18,3	18,6	24,4	21,4
15	17,6	17,6	22,2	21,3
16	18,4	17,6	21,9	22,5
Temp. máxima	62,3	62,3	62,5	68,0
Pico de temperatura (dias)	7º	7º	12º	13º

Na figura 15 estão apresentadas as temperaturas diárias (°C) das leiras de

vermicompostagem para as estações de verão, outono e inverno

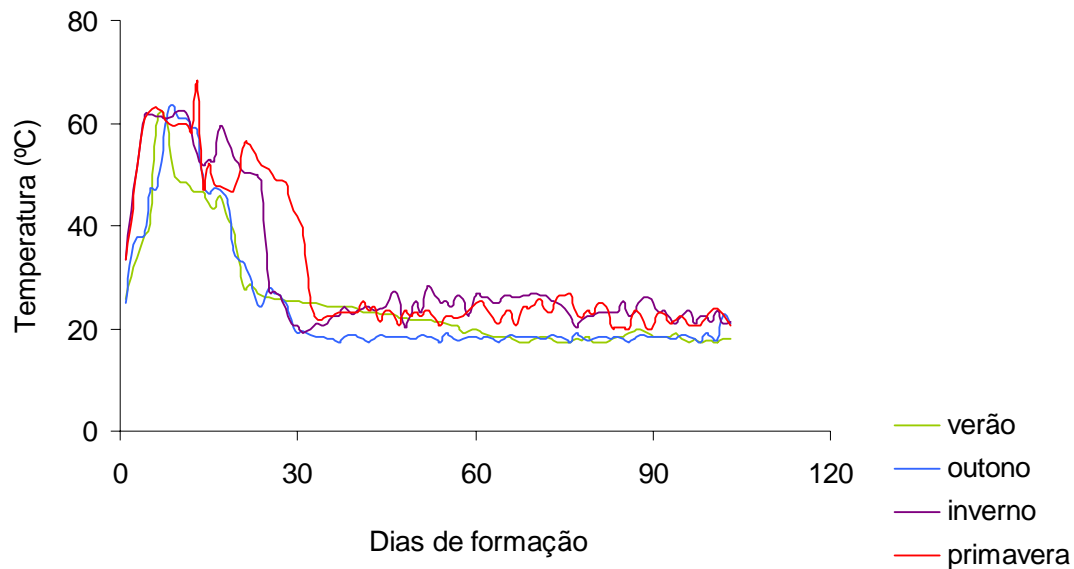


FIGURA 15. Temperaturas diárias das leiras de vermicompostagem nas estações de verão, outono, inverno e primavera.

Observa-se na Tabela 32 e Figura 15 que as temperaturas máximas ocorrem na primeira semana de vermicompostagem para as estações de verão e outono, no entanto o mesmo não ocorreu para o inverno e a primavera que tiveram seus picos de temperatura no 12º e 13º dias respectivamente, e mantiveram temperaturas superiores por um período maior em relação as demais estações.

O comportamento observado nas oscilações da temperatura, é semelhante ao apresentado, no processo de compostagem, que reflete picos menos duradouros nas estações de verão e outono, e mais prolongados no inverno e primavera.

É possível observar ainda que com aproximadamente 30 dias de formação das leiras, em todas as estações, a temperatura se manteve inferior a 30°C, comportamento este que pode estar diretamente associado a transferência da leira para o canteiro de vermicompostagem, com redução na altura de empilhamento em aproximadamente 1,0 metro e a eficiência da pré-compostagem.

5.6.3. Composição química do material enleirado e do vermicomposto

Na Tabela 33 estão apresentados os teores médios de carbono, nitrogênio e relação C/N (valores com base na MS), do esterco enleirado para vermicompostagem, com 30 e 60 dias de formação de leira, e do vermicomposto nas diferentes estações do ano.

TABELA 33. Teores médios de carbono, nitrogênio e relação C/N, do esterco enleirado para vermicompostagem, e do vermicomposto no verão, outono, inverno e primavera.

Nutrientes	Período	Verão	Outono	Inverno	Primavera
C	Enleiramento	18,31	20,66	26,18	25,66
	Final	4,63	8,15	9,33	9,45
N	Enleiramento	1,09	1,17	1,55	1,55
	Final	0,47	0,77	0,88	0,91
C/N	Enleiramento	16,80	17,66	16,89	16,55
	Final	9,85	10,58	10,60	10,38
	% Redução	41,36A	40,06A	37,23B	37,27B

Médias seguidas de diferentes letras, na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% ($P < 0,05$).

Observa-se efeito ($P < 0,05$) das estações do ano sobre a % de redução na relação C/N ao longo do período de vermicompostagem, com maiores valores, em média 40,71%, durante o verão e outono, em comparação com os valores observados nas estações de inverno e primavera. Assim como considerado para o processo de compostagem, os teores de C e N do material inicial podem ter influenciado diretamente sobre a redução. Foram encontradas reduções menores na relação C/N, em comparação com o processo de compostagem. Comportamento inverso foi observado por BANSAL e KAPOOR (2000), quando conduziram leiras de compostagem e vermicompostagem de esterco bovino; como resultados obtiveram reduções da relação C/N de 58,74 e 61,88% para compostagem e vermicompostagem, respectivamente. É possível notar que a relação C/N do vermicomposto foi superior a do composto, e muito próxima da definida

como ideal por Lopez-Real, 1990, citado por GORGATI (2001).

Na Tabela 34 são apresentadas as quantidades médias (kg) de macronutrientes e de micronutrientes (g) no início e final da vermicompostagem, assim como suas respectivas reduções, em %, durante as estações de verão, outono, inverno e primavera.

Os resultados obtidos e apresentados na Tabela 34, permitem concluir que as estações do ano tiveram influência sobre a redução de nutrientes nas leiras de vermicompostagem, destacando-se que as maiores reduções ($P < 0,05$) de nutrientes contidos nas leiras de vermicompostagem ocorreram, na maioria das vezes, durante as estações de verão e outono.

É possível notar que a vermicompostagem apresentou, independente das estações, menores reduções de nutrientes se comparada a compostagem. Este fato pode estar relacionado com a transferência do material para o canteiro e conseqüente diminuição de temperatura, além da adição de minhocas que podem ter ajudado na retenção dos nutrientes contidos no esterco.

Assim como para a compostagem, as maiores ($P < 0,05$) reduções observadas foram para fósforo e sódio (53,9 e 54,9%, respectivamente) em leiras conduzidas durante o verão, com relação as demais estações. Para o cálcio não foram observadas reduções tão drásticas como na compostagem, podendo ser em virtude das glândulas calcíferas presentes no tubo digestivo das minhocas, que favoreceram a preservação de cálcio no meio.

Talvez as condições climáticas, durante o inverno e a primavera, foram mais propícias para a multiplicação de minhocas na massa de dejetos, pois na compostagem as maiores reduções de nutrientes ocorreram no verão, e na vermicompostagem no verão e outono, portanto temperaturas mais amenas podem ter favorecido as atividades fisiológicas destes organismos, e conseqüentemente melhoria do produto final.

Tabela 34. Quantidades médias, na massa total de MS, de macronutrientes na leira (em kg) e de micronutrientes (em g) nos períodos inicial e final da vermicompostagem, e as respectivas % de reduções, nas estações de verão, outono, inverno e primavera.

	Nutrientes	Período	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Massa total na leira (kg)	Fósforo	Inicial	3,72	2,01	4,17	2,12
		Final	1,71	1,35	3,40	2,00
	% redução		53,91A	32,59B	18,39C	5,73D
	Potássio	Inicial	2,38	5,35	6,27	5,18
		Final	1,60	3,89	5,15	4,17
	% redução		33,05A	27,34A	17,79B	19,48B
	Cálcio	Inicial	0,94	0,90	1,03	1,36
		Final	0,62	0,68	0,84	1,11
	% redução		34,40A	24,36B	18,34B	17,97B
Magnésio	Inicial	0,58	0,53	0,74	0,86	
	Final	0,41	0,39	0,59	0,74	
% redução		28,68A	26,61A	19,87B	14,41B	
Massa total na leira (g)	Ferro	Inicial	866,83	667,58	718,94	796,99
		Final	767,54	665,44	728,34	810,38
	% redução		11,45A	0,32B	-1,31B	-1,68B
	Sódio	Inicial	786,72	718,94	848,34	768,23
		Final	354,60	378,30	444,84	422,06
	% redução		54,93A	47,38B	47,56B	45,06B
	Manganês	Inicial	62,64	51,13	52,61	48,18
		Final	49,24	42,13	42,04	42,13
	% redução		21,40A	17,61A	20,09A	12,57B
	Zinco	Inicial	65,97	58,42	56,45	64,22
		Final	53,25	48,36	44,19	53,32
	% redução		19,29A	17,23A	21,71A	16,97A
	Cobre	Inicial	20,19	14,42	16,11	14,61
		Final	15,02	11,91	12,59	11,86
	% redução		25,59A	17,42B	21,85AB	18,80B

Médias seguidas de diferentes letras, na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% ($P < 0,05$).

6. CONCLUSÕES

As características quantitativas e qualitativas dos dejetos excretados por caprinos, variaram com a faixa etária em que os animais se encontram, assim como sofreram interferência do tipo de alimentação que lhes foi oferecida.

Ressalta-se que as concentrações de nutrientes contidas nos resíduos gerados por caprinos foram maiores em animais adultos e alimentados com dietas mais ricas em concentrado. As concentrações de nutrientes podem ser consideradas elevadas para dejetos quando comparados aos produzidos por outras espécies.

Os resultados obtidos neste trabalho refletiram a potencialidade dos dejetos de caprinos na geração de biogás.

Maiores proporções de concentrado na dieta proporcionaram maiores reduções de SV e produções de biogás. Nas estações de verão e outono a produção de biogás foi antecipada, em relação as demais estações, com maior % de metano.

Para todas as estações avaliadas a biodigestão anaeróbia, mostrou-se extremamente eficiente na remoção de coliformes, totais ou fecais, atingindo valores de 99,99 % na redução de coliformes totais e 100,00 % em coliformes fecais.

A recuperação de nutrientes foi elevada na biodigestão anaeróbia, se comparada com sistemas de reciclagem aeróbios, como compostagem e vermicompostagem, sobretudo nas estações de inverno e primavera.

As estações influenciaram no desenvolvimento do processo de compostagem, ocasionando maiores perdas de nutrientes durante o verão e outono, quando comparados com inverno e primavera; assim como maiores reduções nos teores de MS e volume, em m³, ocupado pelas leiras.

As reduções de nutrientes contidos nos dejetos, foram mais intensas nas estações de verão e outono para o processo de vermicompostagem e no verão para a compostagem.

O produto final da vermicompostagem apresentou maiores quantidades de nutrientes, assim como sofreu menores perdas durante o processo, em relação a compostagem

A compostagem e vermicompostagem mostraram-se menos eficientes na recuperação dos nutrientes contidos nos dejetos de caprinos, se comparados com a

biodigestão anaeróbia, no entanto são sistemas de aproveitamento dos resíduos mais simples e baratos, e ainda, os produtos finais são mais fáceis de serem comercializados, se comparados ao biofertilizante, por apresentarem-se na forma sólida.

Independente da qualidade do produto final destaca-se a importância de implantação de sistemas de reciclagem, tanto pela recuperação da energia, na forma de biogás, como dos nutrientes contidos no dejetos, como biofertilizante, composto e húmus. Assim, a reciclagem dos dejetos gerados na caprinocultura além de representar uma fonte de agregação de valor, contribui para a redução do impacto ambiental que estes dejetos estariam causando se dispostos de maneira errônea, principalmente pela elevada proporção de nutrientes na sua composição.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRAZ G., A.A. **Caprinotecnia 1**. México: Limusa, 1984. 829 p.

AGRAZ G., A.A. **Caprinotecnia 2**. México: Limusa, 1989. 1212 p.

AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL (AFRC). Technical Committee on Response to Nutrients. A reappraisal of calcium and phosphorus requirements of sheep and cattle. **Nutrition Abstract Reviews**. Farnham Royal, v.61, n.9, p.573-612, 1991.

AL-MASRI, M. R. Changes in biogas production due to different ratios of some animal and agricultural wastes. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 77, n.1, p. 97-100, 2001.

ALVES, W. L. **Compostagem e vermicompostagem no tratamento de lixo urbano**. Jaboticabal: FUNEP, 1996. 53p.

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

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official Methods of analysis**, 13th ed. Washington, DC, 1980. 1011 p.

AZÓCAR, C.P. Hábitos de pastoreo y de consumo de espécies forrajeras del ganado caprino en zonas áridas. **Avances en Producción Animal**, Santiago, v.12, n. 1-2, p.35-74. 1987.

BANSAL, S., KAPOOR, K, K. Vermicomposting of crop residues and cattle dung with *Eisenia foetida*. **Bioresource Technology**, Oxford, v 73, n.2, p. 95-98, 2000.

BATAGLIA, O. G. et.al. **Métodos de análises químicas de plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. 48p. (Boletim Técnico)

BIDONE, F.R.A. **A vermicompostagem dos resíduos sólidos de curtume, brutos e previamente lixiviados, utilizando composto de lixo urbano como substrato**. 1995. 184f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

BUENO M.S.B. et al. Níveis de cálcio para caprinos em crescimento. In: REUNIÃO

ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA 36., 1999, Porto Alegre. **Anais...**
Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1999. p.246.

BUSINELLI, M.; GIGLIOTTI, G.; GIUSQUIANI, P. L. Trace element fate in soil profile and corn plant after massive applications of urban waste compost: a six year study. **Agrochimica**, Italy, v.40, n.4, p.145-152, 1996.

COMPANHIA AUXILIAR DE EMPRESAS ELÉTRICAS BRASILEIRAS - CAEEB. **O biogás e sua tecnologia**, Rio de Janeiro, 1981, (Série Estudos e Pesquisas, 2).

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

DIAZ, L.F.; GOLUEKE, C.G.; SAVAGE, G.M. Energetics of compost production and utilization. **Biocycle**, Emmaus, v.27, n.8, p.49-54, 1986.

DORIGAN, C.J. **Metabolismo e Perdas Endógenas de Cálcio em Cabritos Saanen**. 2000. 114f. Tese. (Doutorado em Zootecnia) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2000.

EGHBALL, B. et al. Nutrient, Carbon and mass loss during composting of beef cattle feedlot manure. **Journal Environmental Quality**, Madison, v.26, n.1, p.189-193, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia – Santa Catarina, 1993. 188p.

ENNIX Inc. **Product Guide**. Manual da empresa. EUA: Arizona, 1996. 327p.

FERNANDES, L.; ZHAN, W. Temperature distribution and variation in passively aerated static compost piles. **Bioresource Technology**, Oxford, v.48, n.3, p.257-263, 1993.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO, 1993. Disponível em: <www.apps.fao.org> Acesso em: 17 dez. 2001.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO,2000 **Situación de los mercados de productos básicos** .1997-1998. Disponível em:< www.fao.org.br > Acesso em: 23 dez 2001.

FORESTI, E. et al. Fundamentos do tratamento anaeróbio. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 29-52.

GILLIS, A. M. Shrinking the trash heap. **Bioscience**, Washington, v. 42, n.2, p.90-93, 1992.

GORGATI, C. Q. **Resíduos Sólidos Urbanos em Área de Proteção aos Mananciais – Município de São Lourenço da Serra – SP: Compostagem e Impacto Ambiental**. 2001. 74f. Tese. (Doutorado em Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

HANAJIMA, D.; KURODA, K.; HAFGA, K. Enhancement of the thermophilic stage in cattle waste composting by addition of the tofu residue. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 78, n.2, p. 213-216, 2001.

HIRATA, M. *et al.* Return of dung to be hiagrass (*Paspalum notatum* Fliigge) pasture by dairy cattle. **Journal Japanese Grassland Society Science**, Nishinasuno, v. 35, n. 4, p.350-357, 1990.

HSU, J, H.; LO, S, L. Effect of composting on characterization and leaching of copper, manganese and zinc from swine manure. **Environmental Pollution**, Oxford, v.114, n.1, p.119-127. 2001.

JAIN, M.K.; SINGH, R.; TAURO, P. Anaerobic digestion of cattle and sheep wastes. **Agricultural Wastes**, London, v.3. p.91-98. 1981.

JARAMILLO, V. J.; DETLING, J. K. Small scale heterogeneity in a semi-arid north american grassland. II – Cattle grazing of stimulated urine patches. **Journal Applied Ecology**, Oxford, v. 15, p.181-188, 1992.

JARDIM, W.R. **Criação de caprinos**. 3. ed. São Paulo: Livraria Nobel, 1977. 239p.

JIMENEZ, E. I.; GARCIA, V. P. Determination of maturity indices for city refuse composts. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 38, n.4, p. 331-343, 1992.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1985. 492p.

KNAPPER, C. F. U. **Manual de produção de húmus**. In: Associação Brasileira de Minhocultura – ABRAMI, 1987.p-21-25. (Boletim informativo, n.3).

LAU, A. K. et al. Aeration experiments for swine waste composting. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 41, n. 2, p. 145-152. 1992.

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

LUCAS JR., J. et al. Avaliação do uso de inóculo no desempenho de biodigestores abastecidos com estrume de frangos de corte com cama de maravalha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., 1993, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: SBEA/CEPLAC, 1993. v. 2, p. 915-930.

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

MacLUSCKY, D. S. Some estimates of the areas of pasture fouled by the excreta of dairy cows. **Journal British Grassland Society**, Oxford, v. 15, p. 181-188, 1960.

MALAVOLTA, E. et al. Micronutrientes, uma visão geral. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M. C. **Micronutrientes na Agricultura**. Piracicaba: POTAFOS / CNPq, 1991. p. 1-33.

MARCHIORI, A C. C. **Minhocas, a vermicompostagem e a matéria orgânica**. Jaboticabal: 1990. 36p. Apostila.

MARTINEZ, A. A. **Manual prático do minhocultor**. Jaboticabal, FUNEP: 1990. 101p.

MISI, S. N., FORSTER, C. F. Batch co-digestion of multi-componente agro-wastes.

Bioresource Technology, Oxford, v. 80, n.1 , p. 19-28. 2001.

NAKAGAWA, J. Compostagem: obtenção e uso. In: ENCONTRO SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO, PROBLEMAS E SOLUÇÕES, 1992, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Editora, 1992. p.159-187.

NASCIMENTO, E.F. **Aspecto energético e sanitário do uso de estrume de ovinos como substrato de biodigestores**. 1991. 67f. Trabalho de Graduação - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 1991.

NOLLA, D. **Erosão do solo**. Piracicaba: FEALQ, 1982. 176 p.

NOVAES, L. P. **Confinamento de bovinos leiteiros**. Piracicaba: FEALQ, 1985. 178p.

ORTOLANI, A. F et al. 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.

PEIXOTO, E. T. G. **Compostagem**: opção para o manejo orgânico do solo. Londrina: IAPAR, 1988. 48p. (Circular, 57).

PEREIRA NETO, J. T. **On the treatment of municipal refuse sewage sludge using aerated static piles composting**: a low technology approach. 1987. 276f. Thesis (Doctor) – University of Leeds, Leeds, 1987.

PEREIRA NETO, J. T.; STENTIFORD, E. I. Aspectos epidemiológicos da compostagem. **Revista de Biologia**, v.1, n. 1, p. 1-6, 1992. Encarte.

QUITTET, E. **La cabra**. Madrid: Mundi - Prensa, 1982. 321p.

RAMPAZZO, S. E. **Desenvolvimento sustentável, necessidade e/ou possibilidade**. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 1997. 238p.

REBLIN, L.; MAGALHÃES, E. **Minhocário Pedra Negra**. Itaúna, Editora Local, 1989. 9p. Apostila.

RESENDE A. A. P. **Estudo e avaliação de um processo de reciclagem e compostagem dos resíduos sólidos urbanos**. 1991. 151f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1991.

SALES, L.S. **A cabra produtiva**. Lisboa: Litexa - Portugal, 1978. 190p.

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

SANTOS, T. M. B. **Balço energético e adequação do uso de biodigestores em galpões de frangos de corte**. 2001. 167f. Tese (Doutorado em Produção Animal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

SCHREIBMAN, M. P.; SCANES, C. G.; PANG, P. K. T., **The endocrinology of growth, development, and metabolism in vertebrates**. San Diego: Academic Press. 1993. 607p.

SILVA, D.J. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa: Editora Universitária, 1981. 166p.

SPEECE, R. E. Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatment. **Environmental Science and Technology**, New York, v. 17, n. 9, p. 416- 427, 1983.

STEIL L. **Avaliação do uso de inóculos na biodigestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos**. 2001. 108f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia), - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2001.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry**. New York: John Wiley, 1982. 443 p.

THAMBIRAJAH, J, J., ZULKALI, M, D.; HASHIM, M, A. Microbiological and biochemical changes during the composting of oil palm empty-fruitbunches. Effect of nitrogen supplementation on the substrate. **Bioresource Technology**, Oxford, v.52, n. 52, p. 133-144. 1995.

TIBAU, A. **Matéria orgânica e fertilizantes do solo**. Jaboticabal: 1981. 284p. Apostila.

UNESCO. 1995. Disponível em: <[http // www.unesco.org](http://www.unesco.org)> Acesso em: 10 jan 2002.

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

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2. ed. Ithaca: Cornell University, 1994. 476p.

WEILAND, P. Anaerobic digestion of solid and liquid agriculture and agroindustrial wastes. Engineering aspects and progress in reactor design. In: CONFERENCIA INTERNACIONAL DE MECANIZACION AGRARIA, 21, SEMINARIO DE FAO-CNRE: TECNOLOGIA DE PRODUCCION DE BIOGAS, 1989, Zaragoza, **Annals...**, Zaragoza: Asociacion Nacional de Ingenieros Agronomos, 1989. p. 111 - 115.