

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE IMPACTO AMBIENTAL E DO  
USO DA COMPOSTAGEM E BIODIGESTÃO ANAERÓBIA NA  
PRODUÇÃO DE CAPRINOS**

**ANA CAROLINA AMORIM**

Zootecnista

JABOTICABAL – SP – BRASIL

2005

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE IMPACTO AMBIENTAL E DO  
USO DA COMPOSTAGEM E BIODIGESTÃO ANAERÓBIA NA  
PRODUÇÃO DE CAPRINOS**

**ANA CAROLINA AMORIM**

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

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

JABOTICABAL – SP – BRASIL

Novembro de 2005

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**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 1999 graduou-se em Zootecnia pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista – Unesp - Campus de Jaboticabal, sendo que neste mesmo ano foi aprovada para ingresso no curso de Mestrado em Zootecnia desta Instituição, Área de concentração em Produção Animal, com início em março de 2000. Concluiu seu mestrado em março de 2002, tendo sido aprovada com “Distinção e Louvor”. Em 2001 foi aprovada para ingresso no Curso de Doutorado em Zootecnia desta Instituição, Área de concentração em Zootecnia, com início em março de 2002. Em outubro de 2005, lhe foi concedida Bolsa na modalidade Pós Doutorado Júnior pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), para vigorar nesta mesma Instituição e com início previsto para dezembro deste ano. Completou seu programa em Doutorado em novembro de 2005.

# "Acima de tudo o amor"

(Coríntios 13, 1-7)

Ainda que eu falasse línguas,  
as dos homens e dos anjos,  
se eu não tivesse o amor,  
seria como sino ruidoso  
ou como címbalo estridente.

Ainda que eu tivesse o dom da profecia,  
o conhecimento de todos os mistérios  
e de toda a ciência;  
ainda que eu tivesse toda a fé,  
a ponto de transportar montanhas,  
se não tivesse o amor,  
eu não seria nada.

Ainda que eu distribuísse  
todos os meus bens aos famintos,  
ainda que eu entregasse  
o meu corpo às chamas,  
se não tivesse o amor,  
nada disso adiantaria

O amor é paciente,  
o amor é prestativo;  
não é invejoso, não se ostenta,  
não se incha de orgulho.

Nada faz de inconveniente,  
Não procura seu próprio interesse,  
Não se irrita, não guarda rancor.

Não se alegra com a injustiça,  
Mas regozija com a verdade.

Tudo desculpa, tudo crê,  
tudo espera, tudo suporta.

## Marco Antonio

Durante toda a minha vida esperei por  
você.

Sua presença é a maior prova de que  
Deus não somente existe, mas que me ama  
e deseja que o melhor aconteça.

Agradeço por todos os dias em que  
convivemos juntos, por todas as  
felicidades e frustrações que  
dividimos, pois foi por meio delas que  
nos tornamos mais fortes, companheiros  
e leais ao sentimento que nos une.

Você é parte de toda esta tese, seja  
pela ajuda nos trabalhos de campo ou de  
laboratório, seja pela colaboração  
fazendo almoços, jantares ou faxinas,  
pelas discussões dos resultados, não

importa como, só importa que você  
sempre dividiu todas as coisas comigo,  
como se fossem suas.

A você eu dedico não somente esta tese,  
mas tudo que vivemos para chegar até  
aqui, com você e por você tudo se  
tornou mais fácil, mais belo e  
iluminado.

Obrigada, meu amor.

## ***Agradecimentos Especiais***

### ***A minha família***

Minha mãe, Maria Helena, pelo exemplo de força e coragem diante das dificuldades;  
Meu pai, José Francisco, por todo o orgulho que sente de mim;  
Minha irmã, Juliana, pelo amor e companheirismo;  
Eu amo vocês.

### ***A minha segunda família***

Humberto (*in memorian*) e Olga (*in memorian*),  
Marco Antonio e Lourdes,  
Humberto Neto

Vocês sempre me deram tudo o que tinham: amor, ensinamentos e exemplo;  
Por isso, lhes respeito e admiro,  
Obrigada por me tornarem parte desta família, sinto muito orgulho disto.

### ***Ao meu orientador, Jorge***

Foi um imenso prazer conviver com você durante todos estes anos, agradeço a Deus por colocá-lo em meu caminho e por cada dia vivido em sua companhia. Sinto-me abençoada por nossa convivência não terminar com a defesa desta tese.

Você me acolheu quando ninguém mais foi capaz, acreditou mais em mim do que eu mesma.

Obrigada pelo exemplo e por todas as oportunidades. Espero que um dia meus orientados possam se orgulhar de mim, assim como me orgulho de você.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela bolsa de Doutorado e pela recente concessão da bolsa de Pós Doutorado Júnior e a FAPESP, pelo Auxílio à Pesquisa concedido, o que viabilizou a execução desta tese.

A esta Universidade, que há 10 anos me acolheu. Sinto imenso orgulho em ser parte deste Campus. Obrigada a todos os funcionários que tão gentilmente me receberam e auxiliaram neste período. Foram anos inesquecíveis, que muito colaboraram para a pessoa que sou hoje.

Ao professor Kleber Tomas de Resende, pela disponibilidade das Instalações do Setor de Caprinocultura.

A todos os membros da banca examinadora, pela disponibilidade, receptividade e preciosas colaborações.

Aos meus queridos amigos, presentes ou ausente no dia a dia:

- o **Meus amados cachorros Lú, Billy, Tobias e Salomé** (*in memorian*): vocês me ensinam todos os dias uma forma de amor fiel e desinteressada, que encontro em poucas pessoas. Obrigada por enriquecerem minha vida a todo instante.
- o **Carla**: Agradeço a você por cada momento de amizade que dividimos, muitas vezes você me amparou e deu forças para seguir adiante, dividiu problemas e ajudou nas soluções. Este convívio tão intenso só fez aumentar o amor e admiração que existe em nossa amizade. Esta tese também é dedicada a você, minha amiga de toda a vida.
- o **Leonardo**: Sua amizade é a mais leal que já tive, não existem palavras que possam expressar o carinho que sinto por você. Muito obrigada pelo esforço constante de alimentar este sentimento e por sua fidelidade inigualável. É

uma pessoa infinitamente querida para mim, de quem jamais gostaria de ter que viver distante.

- **Lara:** Vivemos bons dias juntas, partilhamos nossas vidas em um momento que eu precisava muito de seu apoio, foi um exemplo de perseverança e amor ao trabalho. Sinto saudade, mas sei que está feliz, e isso me conforta. Nossa amizade é tão grande, que nem a distância pôde enfraquecê-la.
- **Fernanda:** Obrigada pelo incentivo e amizade carinhosa. Convivemos juntas partilhando dificuldades, superações e alegrias. Espero que um dia, novamente possamos conviver próximas.
- **Cristiane:** Sempre essa pessoa tão calma e constante. Você é um exemplo de dedicação e esforço. Obrigada por poder contar com seu carinho.
- **Ao meu querido amigo Somália:** Um cabrito por quem tive grande paixão.
- A todos meus amigos mais distantes, no entanto não menos importante, que sempre enriqueceram minha vida: Gracie Fernandes, Dona Ana Januário, Renata Serafim, Adélia Miranda, Cecília do Amaral, Fúvio Terra, Valéria Del Vecchio, Tânia Mara Baptista dos Santos, Mônica Sarolli de Mendonça Costa e Teresa Cristina Berchieri.

À todos os funcionários do Departamento de Engenharia Rural, em especial, Fiapo, Luiz Fiapo, Luizinho, Marquinho e Miriam, pela atenção e carinho.

A todos que de alguma forma contribuíram com este trabalho.

## Sumário

	Página
<b>LISTA DE ABREVIATURAS.....</b>	xiii
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	xiv
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	xviii
<b>RESUMO.....</b>	xx
<b>SUMMARY.....</b>	xxi
<b>CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS.....</b>	1
<b>1.1. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	2
<b>1.1.1. Perfil da caprinocultura mundial e brasileira.....</b>	2
<b>1.1.2. Manejo nutricional, desempenho animal e produção de dejetos.....</b>	4
<b>1.1.3. Biodigestão anaeróbia.....</b>	7
1.1.3.1. Fatores que afetam a biodigestão anaeróbia.....	8
<b>1.1.4. Compostagem.....</b>	12
1.1.4.1. Fatores que afetam a compostagem.....	12
<b>1.2. OBJETIVOS.....</b>	17
<b>CAPÍTULO 2 - BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DOS DEJETOS DE CABRAS SAANEN E F1 (SAANEN X BOER) ALIMENTADAS COM DIETAS DE DIFERENTES PROPORÇÕES ENTRE VOLUMOSO E CONCENTRADO.....</b>	18
<b>2.1. INTRODUÇÃO.....</b>	19
<b>2.2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	20
<b>2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	23
2.3.1. Redução de sólidos voláteis.....	23
2.3.2. Produção de biogás e metano.....	27

2.3.3. Potenciais de produção de biogás e metano.....	33
2.3.4. Coliformes totais e fecais.....	37
2.3.5. Nutrientes no afluente e efluente.....	38
<b>2.4. CONCLUSÕES.....</b>	<b>41</b>
<b>CAPÍTULO 3 - COMPOSTAGEM DOS DEJETOS DE CABRAS SAANEN E F1 (SAANEN X BOER) ALIMENTADAS COM DIETAS DE DIFERENTES PROPORÇÕES ENTRE VOLUMOSO E CONCENTRADO.....</b>	<b>42</b>
<b>3.1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>43</b>
<b>3.2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>44</b>
<b>3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>47</b>
3.3.1. Conteúdos de ST, SV, C, N, MOC, MORC e DQO.....	47
3.3.2. Temperatura.....	52
3.3.3. Coliformes totais e fecais.....	54
3.3.4. Volume.....	55
3.3.5. Teores de macro e micronutrientes.....	57
<b>3.4. CONCLUSÕES.....</b>	<b>60</b>
<b>CAPÍTULO 4 - CARACTERIZAÇÃO DOS DEJETOS E DESEMPENHO DE CABRITOS SAANEN NA FASE DE ENGORDA E ALIMENTADOS POR DIETAS COM DIFERENTES PROPORÇÕES ENTRE VOLUMOSO E CONCENTRADO.....</b>	<b>61</b>
<b>4.1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>62</b>
<b>4.2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>63</b>
<b>4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>65</b>
4.3.1 Ganho de peso, conversão alimentar, coeficiente de resíduo e digestibilidades aparentes da MS, PB e FDN.....	65
4.3.2. Caracterização dos dejetos.....	68

<b>4.4. CONCLUSÕES.....</b>	<b>71</b>
<b>CAPÍTULO 5 - BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DAS FEZES DE CABRITOS SAANEN DURANTE A FASE DE ENGORDA E ALIMENTADOS COM DIETAS DE DIFERENTES PROPORÇÕES ENTRE VOLUMOSO E CONCENTRADO.....</b>	<b>73</b>
<b>5.1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>74</b>
<b>5.2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>75</b>
<b>5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>79</b>
5.3.1. Redução de sólidos voláteis.....	79
5.3.2. Produção de biogás e metano.....	82
5.3.3. Potenciais de produção de biogás e metano.....	88
5.3.4. Coliformes totais e fecais.....	90
5.3.5. Nutrientes no afluente e efluente.....	91
<b>5.4. CONCLUSÕES.....</b>	<b>93</b>
<b>CAPÍTULO 6. IMPLICAÇÕES.....</b>	<b>94</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>96</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>103</b>
1A Planta baixa, vista lateral e corte transversal dos biodigestores de bancada (medidas em cm).....	103
2A. Procedimentos empregados na colheita e formação das leiras com dejetos de cabras adultas Saanen e F1 (Saanen x Boer).....	104
3A. Procedimento adotado para pesagem das leiras e estimativa do volume.....	105
4A. Dados meteorológicos mensais do ano de 2003 em Jaboticabal.....	106
5A. Dados meteorológicos mensais do ano de 2004 em Jaboticabal.....	107

## LISTA DE ABREVIATURAS

- AGV:** ácidos graxos voláteis;
- CA:** conversão alimentar;
- CFDN:** consumo de fibra em detergente neutro;
- CMS:** consumo de matéria seca;
- CPB:** consumo de proteína bruta;
- CR:** coeficiente de resíduos;
- D1** = dieta 1;
- D2** = dieta 2;
- D3** = dieta 3;
- DFDN:** digestibilidade aparente da fibra em detergente neutro;
- DMS:** digestibilidade aparente da matéria seca;
- DPB:** digestibilidade aparente da proteína bruta;
- DQO:** demanda química de oxigênio;
- FDA:** fibra em detergente ácido;
- FDN:** fibra em detergente neutro;
- MM:** matéria mineral
- MO:** matéria orgânica;
- MOC:** matéria orgânica compostável;
- MORC:** matéria orgânica resistente a compostagem;
- MS:** matéria seca;
- NMP:** número mais provável;
- PB:** proteína bruta
- PV:** peso vivo;
- ST:** sólidos totais;
- SV:** sólidos voláteis;
- TRH:** tempo de retenção hidráulica;
- UTM:** unidade de tamanho metabólico.

**LISTA DE TABELAS**

	Página
TABELA 1. Componentes de cada substrato e teores de sólidos totais e voláteis no abastecimento de biodigestores batelada com dejetos de cabras adultas, Saanen e F1, alimentadas com três dietas.....	22
TABELA 2. Teores médios iniciais e finais de sólidos totais (ST) e voláteis (SV), e redução de sólidos voláteis nos biodigestores abastecidos com resíduos de cabras adultas, Saanen e F1, recendo três dietas distintas, com variação nas proporções entre volumoso e concentrado.....	24
TABELA 3. Quantidades de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), celulose, lignina e energia bruta e, respectivas reduções durante a biodigestão anaeróbia, em substratos preparados com dejetos de cabras Saanen e F1 (Saanen x Boer) alimentadas com três dietas.....	26
TABELA 4. Produções médias semanais de biogás (m <sup>3</sup> ) obtidas em biodigestores anaeróbios abastecidos com dejetos de cabras adultas Saanen e F1 (Saanen x Boer), alimentadas com três dietas variando a proporção entre volumoso e concentrado.....	28
TABELA 5. Teores médios semanais de CO <sub>2</sub> e CH <sub>4</sub> presentes no biogás produzido nos biodigestores operados com resíduos de cabras adultas, Saanen e F1, alimentadas com três dietas, com variação nas proporções entre volumoso e concentrado.....	31
TABELA 6. Totais de metano (m <sup>3</sup> ) produzidos nos biodigestores operados com resíduos de cabras adultas, Saanen e F1, alimentadas com três dietas, com variação nas proporções entre volumoso e concentrado.....	32
TABELA 7. Potenciais médios de produção de biogás, corrigidos para 20 °C e 1 atm, para substratos preparados com dejetos de cabras adultas, Saanen e F1 (Saanen x Boer), alimentadas por dietas com variação na proporção entre volumoso e concentrado.....	34

TABELA 8. Potenciais médios de produção de metano, corrigidos para 20 °C e 1 atm, para substratos preparados com dejetos de cabras adultas, Saanen e F1 (Saanen x Boer), alimentadas por dietas com variação na proporção entre volumoso e concentrado.....	36
TABELA 9. Número mais provável (NMP) médio de coliformes totais e fecais nos afluentes e efluentes dos biodigestores operados com resíduos de cabras adultas Saanen e F1, alimentadas com três dietas, com variação nas proporções entre volumoso e concentrado.....	38
TABELA 10. Quantidades de N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn e Mn, e respectivas variações durante a biodigestão anaeróbia, em substratos preparados com dejetos de cabras Saanen e F1 (Saanen x Boer) alimentadas com três dietas.....	40
TABELA 11. Quantidades (em kg) de matéria natural (MN) e ST, % ST e SV, redução da quantidade de ST, teores de C, N, relação C:N, matéria orgânica compostável (MOC) e resistente a compostagem (MORC) e demanda química de oxigênio (DQO), no início, aos 30, 60 e 90 dias de compostagem..	49
TABELA 12. Quantidades de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), celulose, lignina e energia bruta e respectivas reduções durante a compostagem, em leiras formadas com dejetos de cabras Saanen e F1 (Saanen x Boer) alimentadas com três dietas.....	51
TABELA 13. Temperaturas médias semanais das leiras de compostagem formadas com dejetos de cabras adultas, Saanen e F1 (Saanen x Boer), alimentadas com três dietas, com variação na proporção entre volumoso e concentrado.....	53
TABELA 14. Números mais prováveis (NMP) de coliformes totais e fecais no material de formação e do produto final das leiras de compostagem formadas a partir dos dejetos de cabras adultas, Saanen e F1 (Saanen x Boer), alimentadas com três dietas, com variação na proporção entre volumoso e concentrado.....	55

TABELA 15. Teores de macronutrientes (% dos ST) em leiras formadas a partir de dejetos de cabras Saanen e F1, alimentadas por dietas com variação na proporção entre volumoso e concentrado, no início, aos 30, 60 e 90 dias de formação..	58
TABELA 16. Teores de micronutrientes (mg/100g de ST) em leiras formadas a partir de dejetos de cabras Saanen e F1, alimentadas por dietas com variação na proporção entre volumoso e concentrado, no início, aos 30, 60 e 90 dias de formação.....	59
TABELA 17. Composição bromatológica das dietas durante o período em que se coletaram dejetos dos animais.....	64
TABELA 18. Peso vivo, conversão alimentar (CA), coeficiente de resíduo (CR) e digestibilidades aparentes da matéria seca e proteína bruta em cabritos Saanen aos 90, 120 e 150 dias de idade e alimentados com três dietas.....	66
TABELA 19. Quantidades (kg) de matéria natural, seca e orgânica, teores de MS e MO nas fezes e volume diário de urina, excretados por cabritos Saanen aos 90, 120 e 150 dias de idade e alimentados com três dietas.....	68
TABELA 20. Teores de N, P, Ca, Mg e Na (g/100g de MS) e Fe, Zn, Mn e Cu (mg/100g de MS) nas fezes de cabritos Saanen aos 90, 120 e 150 dias de idade, alimentados com três dietas.....	70
TABELA 21. Teores de N, P, K e Na (g/1000 mL de urina) e Ca, Mg, Fe, Zn, Mn e Cu (mg/1000 mL de urina) na urina de cabritos Saanen aos 90, 120 e 150 dias de idade, alimentados com três dietas.....	71
TABELA 22. Componentes de cada substrato e teores de sólidos totais e voláteis no abastecimento de biodigestores batelada com dejetos de caprinos durante a fase de engorda, aos 90, 120 e 150 dias de idade e alimentados com três dietas.....	77
TABELA 23. Teores médios iniciais e finais de sólidos totais (ST) e voláteis (SV), e redução de sólidos voláteis para os biodigestores alimentados com as fezes de cabritos Saanen aos 90, 120 e 150 dias de idade e alimentados com três dietas, variando a proporção volumoso:concentrado.....	80

TABELA 24. Quantidades de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), celulose, lignina e energia bruta e respectivas reduções durante a biodigestão anaeróbia, em substratos preparados com fezes de cabritos Saanen aos 90, 120 e 150 dias de idade e alimentados por três dietas, variando a proporção volumoso:concentrado.....	81
TABELA 25. Produções médias semanais (m <sup>3</sup> ) de biogás obtidas em biodigestores anaeróbios abastecidos com fezes de cabritos Saanen aos 90, 120 e 150 dias de idade e alimentados com três dietas, variando-se a proporção volumoso:concentrado.....	84
TABELA 26. Produções médias (m <sup>3</sup> ) semanais de metanos em biodigestores operados com fezes de cabritos em Saanen aos 90, 120 e 150 dias de idade e alimentados com três dietas, variando a proporção volumoso:concentrado...	86
TABELA 27. Potenciais médios de produção de biogás, corrigidos para 20 °C e 1 atm, para substratos preparados com fezes de cabritos Saanen aos 90, 120 e 150 dias de idade e alimentados com três dietas, variando-se a proporção volumoso:concentrado.....	88
TABELA 28. Potenciais médios de produção de metano, corrigidos para 20 °C e 1 atm, para substratos preparados com fezes de cabritos Saanen aos 90, 120 e 150 dias de idade e alimentados com três dietas, variando a proporção volumoso:concentrado.....	90
TABELA 29. Número mais provável (NMP) médio de coliformes totais e fecais nos afluentes e efluentes dos biodigestores operados com fezes de cabritos Saanen aos 90, 120 e 150 dias de idade e alimentados com três dietas.....	91
TABELA 30. Quantidades de N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn e Mn, e respectivas concentrações durante a biodigestão anaeróbia, em substratos preparados com fezes de cabritos Saanen aos 90, 120 e 150 dias de idade e alimentados com três dietas, variando a proporção volumoso:concentrado...	92

## LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Distribuição média diária da produção de biogás (A) e porcentagem acumulada do biogás produzido (B), para os biodigestores abastecidos com resíduos de cabras Saanen submetidas a três condições de alimentação.....	29
FIGURA 2. Distribuição média diária da produção de biogás (A) e porcentagem acumulada do biogás produzido (B), para os biodigestores abastecidos com dejetos de cabras F1 submetidas a três condições de alimentação.....	29
FIGURA 3. Distribuição da produção de metano em biodigestores operados com resíduos de cabras adultas Saanen alimentadas com três dietas, com variação nas proporções entre volumoso e concentrado.....	33
FIGURA 4. Distribuição da produção de metano em biodigestores operados com resíduos de cabras adultas F1 (Saanen x Boer) alimentadas com três dietas, com variação nas proporções entre volumoso e concentrado.....	33
FIGURA 5. Temperaturas médias diárias das leiras de compostagem formadas a partir dos dejetos de cabras Saanen (S) alimentadas com três dietas com variação na proporção entre volumoso e concentrado.....	53
FIGURA 6. Temperaturas médias diárias das leiras de compostagem formadas a partir dos dejetos de cabras F1 (Saanen x Boer) alimentadas com três dietas com variação na proporção entre volumoso e concentrado.....	54
FIGURA 7. Tendências e equações de reduções de volume em leiras de compostagem manejadas a partir dos dejetos de cabras adultas, Saanen e F1 (Saanen x Boer), alimentadas com três dietas, com variação na proporção entre volumoso e concentrado.....	56
FIGURAS 8. Distribuição média diária da produção de biogás (A) e porcentagem acumulada do biogás produzido (B), para os biodigestores abastecidos com fezes de cabritos Saanen aos 90 dias de idade e alimentados com três dietas.....	85

- FIGURAS 9. Distribuição média diária da produção de biogás (A) e porcentagem acumulada do biogás produzido (B), para os biodigestores abastecidos com fezes de cabritos Saanen aos 120 dias de idade e alimentados com três dietas..... 85
- FIGURAS 10. Distribuição média diária da produção de biogás (A) e porcentagem acumulada do biogás produzido (B), para os biodigestores abastecidos com fezes de cabritos Saanen aos 150 dias de idade e alimentados com três dietas..... 85
- FIGURA 11. Distribuição média semanal da produção de metano em biodigestores abastecidos com fezes de cabritos Saanen aos 90 dias de idade e alimentados com três dietas..... 87
- FIGURA 12. Distribuição média semanal da produção de metano em biodigestores abastecidos com fezes de cabritos Saanen aos 120 dias de idade e alimentados com três dietas..... 87
- FIGURA 13. Distribuição média semanal da produção de metano em biodigestores abastecidos com fezes de cabritos Saanen aos 150 dias de idade e alimentados com três dietas..... 87

## **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE IMPACTO AMBIENTAL E DO USO DA COMPOSTAGEM E BIODIGESTÃO ANAERÓBIA NA PRODUÇÃO DE CAPRINOS**

**RESUMO** - Foram objetivos da execução deste trabalho: a avaliação dos processos de biodigestão anaeróbia e compostagem utilizando-se como substrato os dejetos de cabras adultas Saanen e F1 (Saanen x Boer) alimentadas com três dietas (d1, d2 e d3 = dietas 1 (80% volumoso (V) e 20% concentrado (C)), 2 (60% V e 40% C) e 3 (40% V e 60% C), respectivamente); e o acompanhamento do desempenho de cabritos Saanen desde 90 até 150 dias de idade, alimentados com as três dietas, promovendo-se a quantificação, caracterização e biodigestão anaeróbia dos dejetos gerados nas idades de 90, 120 e 150 dias de idade. As maiores ( $P < 0,01$ ) reduções de sólidos voláteis (SV) foram de 45,14% e ocorreram com substratos preparados com os dejetos de cabras Saanen alimentadas com a dieta 3, sendo que este substrato originou os maiores ( $P < 0,05$ ) potenciais de produção de biogás e metano por kg de ST e SV adicionados e por kg de substrato. As maiores reduções ( $P < 0,05$ ) de massa seca ocorreram em leiras formadas com os dejetos gerados por cabras alimentadas com a dieta 3 (56,22%), em relação aos dejetos gerados quando consumiram as dietas 2 (44,51%) e 1 (40,57%). Em ambos os processos, as reduções de coliformes totais e fecais foram superiores a 99,0%. As melhores digestibilidades aparentes da MS, PB e FDN, assim como os melhores coeficientes de resíduos e conversões alimentares ocorreram aos 150 dias de idade e em animais alimentados com a dieta 3. As maiores ( $P < 0,05$ ) reduções de SV foram para substratos preparados com os dejetos de cabritos aos 150 dias e alimentados com a dieta 3 (39,2%), bem como as maiores ( $P < 0,05$ ) produções de biogás e metano.

**Palavras chave:** biogás, caprinocultura, composto, dietas, fezes, metano.

## **EVALUATION OF POTENTIAL OF ENVIRONMENTAL IMPACT AND USE OF COMPOSTING AND ANAEROBIC DIGESTION IN THE PRODUCTION OF GOATS**

**SUMMARY** - The main objectives of the present work were to evaluate the anaerobic digestion and composting processes by using substrate of adult Saanen and F1(Saanen X Boer) goats fed three different diets: d1, d2 and d3, whereas d1 (80% forage (V):20% concentrate (C); d2 (60% F:40% C), and d3 (40% F: 60% C); and to evaluate the performance of young Saanen goats from 90 to 150 days of age, fed three different diets, followed by quantity and characterization and anaerobic digestion of wastes produced at 90, 120 and 150 days of age. Highest volatile solid (VS) reduction ( $p < 0.01$ ) were 45.14%, which occurred using substrates prepared from Saanen wastes fed with diet 3, whereas this substrate led the higher biogas and methane production/kg of TS and VS added and per kg of substrate. Highest reduction ( $P < 0.05$ ) of dry matter occurred in piles composed by wastes from goats fed diet 3 (56.22%) in comparison with wastes produced by goats fed diet 2 (44.51%) and diet 1 (40.57%). In both processes, the reductions of total and fecal coliforms were superior to 99.0%. The higher apparent digestibility of the DM, CP and NDF, and the best coefficients of residues and feed: gain ratio were observed in the 150 days of age and in animals feed with diet 3. Higher VS reduction ( $P < 0.05$ ) were observed in substrate prepared with wastes from goats at 150 days of age and fed diet 3 (39.2%), and higher biogas and methane production.

**Keywords:** biogas, caprinoculture, composting, diets, feces, methane.

## **CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS**

Toda atividade produtiva gera algum impacto sobre o meio ambiente. As atividades agropecuárias causam modificações físicas, químicas e biológicas, sendo a extensão destas modificações dependentes da escala de produção. Para ATKINSON e WATSON (1996) o grande desafio é adequar a produção animal à demanda da população e manter a sustentabilidade ambiental.

Os modelos empregados na produção de proteína animal em forma de carne, leite e ovos, principalmente, estão na maioria das vezes, focados aos produtos nobres, restando aos produtos classificados como resíduos (dejetos, camas, restos de alimentação ou colheita) a má utilização ou disposição inadequada, acarretando no aumento do impacto ambiental e na diminuição da lucratividade nas unidades produtoras.

A maior parcela dos gastos na produção animal corresponde à alimentação, em média de 60 a 80% do recurso total é destinado à aquisição de alimentos. Ao considerar-se digestibilidades de 40 a 70% (estas taxas são dependentes, principalmente, da espécie animal, estágio fisiológico e, sobretudo dos alimentos empregados), se estima que de 18 a 48% do capital investido será transformado em fezes e urina (dejetos).

Considerando, ainda, as quantidades de dejetos geradas diariamente e a composição destes resíduos, se torna inviável, em termos econômicos e ambientais, a proposta de sistemas de produção animal que priorizem apenas produtos nobres, reservando aos resíduos um destino impróprio, onde não serão exploradas técnicas de aproveitamento e reciclagem dos dejetos, como a biodigestão anaeróbia e a compostagem, enfim a estabilização do material orgânico.

De toda a biomassa gerada nos sistemas produtivos, uma parcela significativa é composta por dejetos de animais. Estes dejetos são ricos em nutrientes, visto que muitas vezes as dietas são pouco degradadas no organismo do animal, o que beneficia e justifica a adoção de técnicas para o aproveitamento destes resíduos. Os nutrientes contidos nos dejetos garantem a sobrevivência e multiplicação dos microrganismos presentes durante a compostagem e a biodigestão anaeróbia, permitindo que ocorra a degradação da fração orgânica não estável e, portanto poluente, para formas estabilizadas, como o composto ou o biofertilizante.

Os processos de biodigestão anaeróbia e compostagem consistem na otimização da degradação da matéria orgânica contida nos dejetos, em relação ao que ocorreria naturalmente no meio ambiente, favorecendo a mineralização dos nutrientes, tornando-os assim disponíveis para as plantas. A principal diferença entre os dois processos é a ocorrência na ausência ou presença de oxigênio, caracterizando-os como anaeróbico ou aeróbico, respectivamente.

No que se refere à produção de alimentos de origem animal, observa-se que as formas empregadas para atendimento das demandas têm levado aos 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.

A caprinocultura brasileira vem apresentando crescentes números de animais alojados, no entanto com índices produtivos que divergem de acordo com a região do país e, principalmente, conforme o sistema de criação. Como nas demais atividades agropecuárias, a caprinocultura gera uma série de resíduos que poderão se bem manejados, tornarem-se importantes fontes de renda, transformando-se de um problema em uma vantagem, gerando recursos ou diminuindo despesas, somando-se aos produtos carne e leite para viabilizar economicamente os criatórios (agregação de valor).

Baseado no exposto torna-se necessário o desenvolvimento de pesquisas acerca dos resíduos gerados na criação de caprinos, não somente como propostas de modelos de desenvolvimento sustentável, mas também como forma de incrementar o lucro gerado na atividade, seja por meio da criação de caprinos machos destinados à produção de carne, usualmente descartados após o nascimento ou de fêmeas Saanen e F1 (Saanen x Boer) utilizadas na produção de leite ou de carne.

## **1.1. REVISÃO DE LITERATURA**

### **1.1.1. Perfil da caprinocultura mundial e brasileira**

De acordo com levantamento realizado pela FAO (1993) a população mundial de pequenos ruminantes estava distribuída da seguinte forma: 42% na Ásia, 22% na África, 11%

na Austrália, 8% na Europa e 7% na América do Sul. Estes dados, em comparação com os obtidos em 1973, demonstraram que ocorreu aumento de 10% no número de cabeças nestes últimos 20 anos, sendo este acréscimo mais acentuado em regiões áridas, aproximadamente 20 e 19% na Ásia e África, respectivamente (EL AICH e WATERHOUSE, 1999).

Após alguns anos este comportamento foi novamente verificado pela FAO (2001), pois o rebanho mundial de caprinos em 2000 era de aproximadamente 716.000.000 cabeças, das quais 96% estavam em países em desenvolvimento e apenas 4% nos países desenvolvidos. De acordo com RIBEIRO e RIBEIRO (2001) há 40 anos o efetivo caprino dos países desenvolvidos era de 31,7 milhões de cabeças, sendo atualmente de 29,1 milhões, o que representa um decréscimo de 9%, enquanto nos países em desenvolvimento esse número era de 315,9 milhões em 1961 e de 686,2 milhões em 2000, mostrando um aumento de 117%.

Atualmente a China possui o maior rebanho mundial, com 148,4 milhões de cabeças, o que representa 20% do efetivo mundial, seguida pela Índia e o Paquistão. O Brasil fica na décima colocação, com um rebanho de 12,6 milhões de cabeças, cerca de 2% do rebanho mundial (RIBEIRO e RIBEIRO, 2001). A distribuição geográfica do efetivo caprino brasileiro, pelos dados do IBGE (2001), apresenta um padrão idêntico ao mundial. Considerando-se as regiões Sul e Sudeste como desenvolvidas e Norte, Centro-Oeste e Nordeste como em desenvolvimento, 4% dos caprinos estão no primeiro grupo e 96% no segundo. Vale ressaltar que 94% do rebanho nacional está na região Nordeste, onde prevalecem condições edafo-climáticas desfavoráveis. Nessa situação os caprinos assumem grande importância social, pois chegam a ser a única fonte de renda em determinadas circunstâncias e deles depende a sobrevivência de muitos nordestinos (RIBEIRO e RIBEIRO, 2001).

Segundo EL AICH e WATERHOUSE (1999) a criação de ovinos e caprinos se justifica pela elevada capacidade de adaptação destes animais, sobretudo dos caprinos, em locais como regiões de estepe, de rochas, declives ou mesmo consideradas pobres e, portanto desprezadas para a agricultura. Desta forma, os pequenos ruminantes representam importante papel na diversificação da economia, sendo capazes de transformar recursos marginais em produtos de qualidade (carne, leite, lã ou pelos, couro e esterco).

Ainda sobre a visão destes autores, a produção de pequenos ruminantes seria mais vantajosa do que qualquer outra espécie animal pela elevada rusticidade e prolificidade, por contribuir em menores proporções com desgastes do solo (erosão pelo pastejo e/ou demanda

de alimento), fácil adaptação se alimentados com resíduos de colheitas e menor emissão de metano (em comparação com bovino), entre outras vantagens.

O estado de São Paulo responde pelas mais expressivas produções de leite de cabra, com rebanhos de animais puros das raças Saanen e Alpina, onde muitas vezes, os machos são descartados logo após o nascimento. Contrastando com essa realidade, existe uma procura significativa pela carne de caprinos. Este fato pode justificar a implantação de sistemas que utilizem os cabritos e o excedente das fêmeas na produção de carne, possibilitando inclusive a agregação de valor na produção de leite.

A introdução de raças produtoras de carne nestes sistemas, pode se constituir em uma alternativa para o atendimento da demanda. Neste particular, a raça Boer vem sendo apontada como aquela de melhor potencial para ser utilizada em cruzamentos com as raças leiteiras.

### **1.1.2. Manejo nutricional, desempenho animal e produção de dejetos**

Em resposta ao aumento da demanda por alimentos de origem animal vêm sendo adotadas medidas para incrementar a produtividade, priorizando manejos profiláticos, que reduzam a incidência de doenças e mortalidade e, principalmente a determinação das necessidades nutricionais, conforme as categorias animais e genótipos, em diversos ambientes e sistemas de produção (BOYAZOGLU, 2002). O conhecimento destas necessidades contribui para a formulação de dietas mais eficientes na nutrição animal, colaborando para a redução das quantidades de dejetos produzidas e abreviando o tempo de vida dos animais, favorecendo assim a diminuição do impacto ambiental. Neste intuito, TEIXEIRA (2004) afirmou que o fornecimento de dietas que atendam às exigências nutricionais pode evitar prejuízos econômicos e ambientais, reduzindo o desperdício de nutrientes e minimizando a deposição de poluentes no ambiente.

Estudos têm sido desenvolvidos no intuito de promover melhorias no aproveitamento dos alimentos pelos animais e assim diminuir as quantidades excretadas e a perda de nutrientes. DOU et al (1995) relataram que ao alimentarem vacas leiteiras com dietas

formuladas tomando por base partição das frações carboidratos e proteínas, obtiveram redução de 33% na excreção de N e acréscimo de 10% na produção de leite.

Dentre os inúmeros fatores que afetam concomitantemente o desempenho animal e a produção de dejetos, a qualidade da alimentação e a idade do animal são as responsáveis pelas maiores oscilações. AMORIM (2002) verificou que as quantidades excretadas podem variar de 130,9 a 379,0g de massa seca de fezes ao dia, em animais da raça Saanen com idade de 2 a 12 meses, e que os animais alimentados com maiores quantidades de alimento concentrado, em restrição ao volumoso, apresentaram maior consumo de alimento.

A eficiência de aproveitamento dos alimentos pelos animais pode ser medida ao se calcular o coeficiente de resíduo (CR), que é a relação entre a quantidade de dejetos produzida e a quantidade de produtos gerada (kg de carne ou leite). Juntamente com o coeficiente de disponibilidade (CD), relação entre a quantidade de resíduos disponíveis (base seca) e a massa total de resíduos, em %, ambos têm sido aplicados em estudos sobre o aproveitamento de resíduos de origem vegetal, (Risser, 1985 e Strehler & Sützle, 1987 citados por SANTOS, 1997). Os conceitos de coeficiente de resíduos e de disponibilidade foram utilizados por SANTOS (1997) em estudo com frangos de corte considerando três tipos de cama e dois ciclos de criação. Neste sentido, os conceitos de coeficiente de resíduos e de disponibilidade podem, em muitas situações, serem aplicados em estudos com animais, fornecendo importantes informações quanto ao balanço de massa no sistema alimento x animal x resíduo.

Os nutrientes excretados nos dejetos (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 com a quantidade de fezes excretada pelos animais, entre eles pode-se citar: peso, idade, nível de produção, estado fisiológico (animais prenhes, secas, em lactação ou 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 produções mais elevada de dejetos do que animais mantidos em regime de pastejo. As informações acerca das produções de dejetos por caprinos são bastante escassas e variam muito, principalmente se relacionadas com o nível de produção dos animais e a qualidade e quantidade das dietas fornecidas.

A criação de animais em sistemas confinados tem colaborado para a intensificação dos problemas ambientais, principalmente por esta atividade estar concentrada em determinadas regiões, resultando em limitação de espaço físico para a disposição dos resíduos, aumento das emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> e eutrofização de fontes de água e poluição do solo, principalmente pelo acúmulo de N e P (GÜNGÖR – DEMIRCI e DEMIRER, 2004).

Segundo KELLEHER et al. (2002), dependendo das condições ambientais uma considerável parcela do N orgânico, contida nos dejetos, será convertida em amônia, que poderá ocorrer na forma gasosa (NH<sub>3</sub>) ou ionizada (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), sendo esta última prontamente solúvel em água. O NH<sub>3</sub> será facilmente perdido para a atmosfera, por volatilização e o NH<sub>4</sub><sup>+</sup> poderá ser transformado em nitrato (NO<sub>3</sub>) por ação dos microrganismos. Assim como o nitrogênio, a presença de fósforo em cursos d'água é uma preocupação pois, o processo de eutrofização, compromete a sobrevivência de peixes, reduz a biodiversidade e aumenta a emissão de odores e o crescimento de organismos tóxicos. A presença de micronutrientes nos dejetos também deve ser considerada (BERNAL et al., 1992; NICHOLSON et al., 1999), pois ao permanecerem no solo podem provocar problemas de fitotoxicidade, percolarem ou serem transportados pela água da chuva, ocasionando a contaminação de cursos d'água.

TAMMINGA (1992) ressaltou que, em média, de 75 a 85% do N ingerido por vacas produtoras de leite será perdido como componentes das fezes e urina; exemplificou que uma vaca leiteira que consome 88,0 kg de N ao ano, irá utilizar 33,0 kg e 4,0 kg do elemento para a produção de leite e tecido muscular, respectivamente, sendo o N restante perdido nas excretas.

JARDIM (1977) estimou que uma cabra adulta produz 600 kg de dejetos ao ano, em média. Ao associar-se a quantidade produzida com a qualidade deste material, que segundo AGRAZ (1989) pode conter até 3,0 e 2,0 % de N e P, respectivamente, ter-se-ia um excelente substrato para a digestão anaeróbia ou a compostagem, pois além das concentrações de nutrientes otimizarem a atividade dos microrganismos, poderiam retornar ao solo de maneira não prejudicial e disponível para as plantas.

AMORIM (2002) verificou que cabritas Saanen, em fase de crescimento, excretaram diferentes quantidades de dejetos até que atingissem a idade adulta. Este comportamento foi verificado também para as concentrações de nutrientes nos dejetos, sendo que, cabras com um ano de idade e alimentadas com dieta contendo 60% de concentrado excretaram em média 2,93 e 1,80% de N e P nas fezes. Este fato se mostra de extrema importância no

aproveitamento de resíduos gerados na caprinocultura, visto que devido às significativas quantidades de matéria orgânica e nutrientes presentes nos dejetos haverá fácil adequação da utilização deste material como substrato para os processos biológicos de reciclagem, possibilitando inclusive a geração de um produto final com qualidade superior. As técnicas de biodigestão anaeróbia e compostagem aplicados aos dejetos de caprinos destinados ao abate, juntamente com as suas características quantitativas e qualitativas, fornecerão subsídios para o desenvolvimento da caprinocultura de forma sustentável, sob aspectos ambientais e econômicos (agregação de valor).

### **1.1.3. Biodigestão anaeróbia**

Os resíduos de origem animal constituem uma elevada proporção da biomassa e sua utilização em sistemas de reciclagem é de extrema importância sob os aspectos econômico e ambiental. 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). Este processo pode ser utilizado no tratamento tanto de resíduos sólidos como líquidos, para a redução do poder poluente e dos riscos sanitários dos dejetos.

A digestão anaeróbia se caracteriza como um processo biológico natural que ocorre na ausência de oxigênio molecular, no qual um consórcio de diferentes populações de microrganismos interage 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).

O interesse pela digestão anaeróbia de resíduos líquidos e sólidos provenientes da agropecuária e agroindústria tem crescido nos últimos anos, por apresentar vantagens significativas quando comparada com os processos mais comumente utilizados de tratamento aeróbio de águas residuárias ou processos convencionais de compostagem aeróbia de resíduos orgânicos sólidos (SANTOS e LUCAS JR., 1998).

Entre as vantagens oferecidas pela biodigestão anaeróbia se incluem a transformação da matéria orgânica, a redução da emissão de poluentes, produção de gás combustível (metano) e de resíduo estável como fertilizante e condicionador do solo (MERKEL, 1981).

O biofertilizante, segundo a CAEEB (1981) apresenta as seguintes vantagens quando aplicado 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 microrganismos do solo; c) introdução de grande número de bactérias e protozoários, resultando em aumento da velocidade de decomposição, o que torna os nutrientes disponíveis para as plantas; d) introdução de alguns minerais necessários ao crescimento das plantas.

#### 1.1.3.1. Fatores que afetam a biodigestão anaeróbia

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

A temperatura é um fator extremamente importante na digestão anaeróbia, uma vez que influi na velocidade do metabolismo bacteriano, no equilíbrio iônico e na solubilidade dos substratos (FORESTI et al., 1999). O efeito da temperatura sobre o processo de digestão anaeróbia tem sido estudado por diversos autores nas faixas psicrófila, abaixo de 20°C (MASSÉ e DROSTE, 1997; VARTAK et al., 1997; LOKSHINA e VAVILIN, 1999; MASSÉ et al., 2000; e MASSÉ e DROSTE, 2000), mesófila, entre 20 e 45°C (TORRES-CASTILHO et al., 1995; BROUGHTON et al., 1998; CHEN e SHYU, 1998), e termófila, entre 50 e 70°C (ÖZTÜRK, 1993; LEPISTO e RINTALA, 1996).

No experimento conduzido por AMORIM (2002) objetivou-se avaliar o efeito das estações do ano sobre a digestão anaeróbia de resíduos caprinos em biodigestores modelo

batelada com volume útil de 60 L de substrato em fermentação, mantidos sob temperatura ambiente e TRH de 20 semanas. As reduções de sólidos voláteis (SV) foram semelhantes em todas as estações do ano, no entanto maiores produções de biogás foram verificadas no verão e primavera. Os potenciais de produção médios foram de 0,02 m<sup>3</sup> de biogás/kg de substrato e 0,2 m<sup>3</sup> de biogás/kg de dejetos, para todas as estações. O processo se mostrou eficiente na remoção de coliformes totais e fecais, proporcionando reduções acima de 99,0%, e também nas concentrações de metano no biogás.

AL-MASRI (2001) avaliou o efeito da temperatura no desempenho de biodigestores anaeróbios abastecidos com dejetos de caprinos e ovinos. Para tanto utilizou biodigestores modelo batelada, com 40 dias de retenção e mantidos em banho-maria a 30°C. As reduções de sólidos totais (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. O autor avaliou também o consumo de energia durante o processo e verificou que quando utilizou dejetos de ovinos como substrato no processo de biodigestão anaeróbia houve maior consumo de energia (31,2%) se comparado com o consumo quando os biodigestores foram abastecidos com dejetos de caprinos (29,2%).

As espécies metanogênicas envolvidas no processo de digestão anaeróbia constituem a população mais sensível a alterações de pH. Segundo SPEECE (1996) a operação do reator anaeróbio deve ocorrer em pH entre 6,5 e 8,2 para evitar inibição da metanogênese. Ainda segundo esse autor, uma operação adequada do reator em pH até 6 é possível em determinadas condições.

A disponibilidade de certos nutrientes é essencial para a multiplicação 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 foram a causa de resultados negativos no tratamento de efluentes industriais no passado. DAMIANOVIC (1992) em revisão de literatura sobre aspectos nutricionais em processos anaeróbios fez referências a uma série de trabalhos que comprovaram a importância desses micronutrientes na estimulação do processo, sendo que a maioria desses trabalhos foi realizada em ensaios de crescimento de culturas de laboratório. O único metal traço testado em reatores de grande porte foi o ferro, com resultados bastante satisfatórios.

Neste sentido KELLEHER et al. (2002) mencionaram que a adição de 20 mM (mili mol) de  $\text{FeSO}_4$  em biodigestores abastecidos diariamente com cama de frangos resultou no acréscimo de 42% no conteúdo de metano e que ocorreu aumento nas taxas de degradação de ST, SV e ácidos graxos voláteis, sendo também verificado aumento no número de espécies metanogênicas.

O carbono, nitrogênio e fósforo são essenciais para todos os processos biológicos. As quantidades de N e P necessárias para a degradação da matéria orgânica presente dependem da eficiência dos microrganismos em obter energia para a síntese, a partir de reações bioquímicas de oxidação do substrato orgânico (FORESTI et al., 1999). A relação demanda química de oxigênio (DQO):N:P de 500:5:1 parece ser suficiente para atender às necessidades em macronutrientes dos microrganismos anaeróbios (SPEECE, 1996).

O nitrogênio, embora essencial ao processo, pode tornar-se um fator inibitório quando em altas concentrações na forma de amônia. As concentrações do íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e amônia livre ( $\text{NH}_3$ ) são ditadas pelo pH, pois com altos valores de pH a forma  $\text{NH}_3$  prevalece, e é mais inibitória que a forma ionizada (MATA-ALVAREZ et al., 2000).

A biodigestão anaeróbia também é influenciada pela presença de outros compostos potencialmente tóxicos. No que se refere aos 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.

Outro aspecto a ser considerado no processo de digestão anaeróbia e de extrema importância é a concentração de ácidos graxos voláteis (AGV), que são produtos intermediários da digestão anaeróbia. Altas concentrações de AGV podem estar relacionadas à instabilidade nas inter-relações estabelecidas entre as diferentes populações anaeróbias.

O teor de sólidos totais (ST) do substrato é outro aspecto importante a ser observado na digestão anaeróbia. LUCAS JR. et al. (1993) encontraram melhor produção de biogás em biodigestores modelo batelada quando o teor de ST do substrato era menor (8%) em relação a um teor de ST de 16%. A presença de inóculo adicional antecipou o pico de produção de biogás nos dois casos (8 e 16 % de ST).

Segundo LUCAS JR. (1994) o potencial de produção de biogás a partir do dejetos de ruminantes deve sofrer variações em função da qualidade nutricional dos alimentos fornecidos aos animais, esperando-se diferenças entre dejetos coletados de animais que são mantidos no pasto em relação ao de animais que recebem alguma suplementação alimentar, principalmente, se for de alimento concentrado. No entanto, muitos experimentos ainda são desenvolvidos com base nos teores de sólidos totais ou voláteis contidos nos dejetos, que por serem parâmetros quantitativos e não qualitativos, podem resultar em substratos com semelhantes quantidades de ST ou SV, no entanto com rendimentos de produção de biogás divergentes.

Em experimento realizado por MISI e FORSTER (2001) foi avaliado o processo de biodigestão anaeróbia em reatores 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 obteve-se como valores: produção total de aproximadamente 4,2 L de CH<sub>4</sub> (com 35 dias de retenção e em biodigestores com capacidade de 1000 mL), 0,14m<sup>3</sup> de metano/kg de SV adicionado, 0,42 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/kg de SV reduzido e 34,1% de redução de SV. A performance dos reatores alimentados com 70% de dejetos de caprinos e ovinos somente foi inferior aos substratos que contiveram 70% de dejetos de aves de postura.

O potencial de produção de biogás do dejetos de ovinos, segundo JAIN et al. (1981), foi de 0,0452m<sup>3</sup> de biogás/kg de dejetos, após 8 semanas de fermentação, observando-se degradação de celulose e maiores quantidades de ácidos graxos voláteis, em comparação com as observadas por LUCAS JR. (1987), ao trabalhar com dejetos de bovinos. Já NASCIMENTO (1991), encontrou um potencial de produção de biogás de 0,08692 m<sup>3</sup> / kg de dejetos de ovinos.

Comparando-se o NMP de coliformes totais e fecais dos afluentes e efluentes de biodigestores abastecidos com material a base de cama de frangos e carcaças de aves previamente compostado, ORRICO JR. et al. (2005) observaram que a biodigestão anaeróbia promoveu acentuada redução nos NMP de coliformes de 3,7x10<sup>5</sup> para 7,4 x 10<sup>2</sup> coliformes totais/g de material e 7,3 x 10<sup>3</sup> para 7,3 x 10 coliformes fecais/g de material no afluente e efluente respectivamente, obtendo-se reduções superiores a 99,0% nos NMP de coliformes totais e fecais.

#### 1.1.4. Compostagem

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

Como processo biológico 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. A alta eficiência, por sua vez, é obtida, quando esses parâmetros, sob controle, agem no maior volume possível de massa em compostagem, pelo maior tempo possível do total requerido para estabilizar a matéria orgânica.

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).

##### 1.1.4.1. Fatores que afetam a compostagem

O desempenho da compostagem será determinado pela consorciação de alguns parâmetros considerados essenciais como: disponibilidade de oxigênio, umidade, temperatura e composição dos resíduos, principalmente.

Neste sentido, Bertoldi e Manzoni (1984) citados por MARCHIORI (1990) afirmaram que o suprimento de  $O_2$  é considerado um fator indispensável e limitante no desenvolvimento da compostagem, já que é necessária a criação de condições adequadas para o crescimento e metabolismo dos microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica.

A condução da compostagem pode ser relativamente simples, como no caso dos sistemas abertos, que consiste na disposição do material em ambientes abertos, onde serão confeccionadas as pilhas ou leiras (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).

Nos sistemas fechados a compostagem passa a ser realizada no interior de reatores de diversos tipos, onde os fatores que afetam o processo como: temperatura, umidade, aeração e até a 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 reator, em geral, é bastante curto podendo ser de apenas 5 dias para a fase ativa (KIEHL, 1985; PEREIRA NETO, 1987; RESENDE, 1991).

Durante a compostagem ocorre uma sucessão de predominância de microrganismos, que será influenciada pela composição química do material inicial, umidade, aeração, temperatura, relação C/N e pH. Durante o processo não existe necessidade de adição de substâncias para o controle de pH, havendo apenas o cuidado para que o pH inicial não se encontre na faixa alcalina, o que levaria a elevadas 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).

A presença da água durante o desenvolvimento da compostagem é imprescindível para as necessidades fisiológicas dos microrganismos. A matéria orgânica a ser compostada deve ter umidade em torno de 50%, sendo os limites máximo e mínimo iguais a 60 e 40 %, respectivamente. Segundo ALVES (1996) o teor de umidade dos resíduos depende da sua granulometria, porosidade e grau de compactação. Valores abaixo de 40 % fazem com que diminua a ação dos microrganismos e acima de 60 % pode ocorrer pontos de falta de oxigênio, levando à decomposição anaeróbia, que é indesejável, por causar mau cheiro e depreciar a qualidade do composto. Nessas condições, ocorre a formação de chorume, acarretando a perda de nutrientes por lixiviação.

O oxigênio presente no meio é necessário para a atividade biológica e irá atuar de forma determinante sobre a velocidade de decomposição da matéria orgânica. A aeração depende da granulometria e da umidade dos resíduos. 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 (AMORIM, 2002).

A confecção das pilhas de compostagem tem como principal objetivo o aquecimento da massa, permitindo que o calor resultante da degradação da matéria orgânica não se dissipe, favorecendo o desenvolvimento da microflora termofílica e a eliminação de microrganismos indicadores de poluição fecal, sementes de plantas daninhas e possíveis substâncias fitotóxicas. Quando se processa a compostagem em montes, com massas que são bons isolantes térmicos, o calor se acumula e a temperatura alcança valores elevados, podendo chegar até 80° C (AMORIM et al., 2004).

Independente do material que será utilizado como substrato para o processo de compostagem a US EPA (2005) recomenda que a temperatura no interior da leira atinja, no mínimo, 55°C e mantenha-se nesta faixa por 3 dias consecutivos para que o número de microrganismos indicadores de poluição fecal atinja níveis aceitáveis, permitindo a aplicação no solo.

ORRICO JR. et al. (2004) verificaram significativas reduções dos NMP de coliformes totais e fecais durante a compostagem de cama de frangos + carcaças de aves, demonstrando que houve eficiência do processo na remoção de coliformes, sobretudo fecal, durante o período de enleiramento. As reduções observadas foram de aproximadamente 100,0%, com números mais prováveis de  $1,1 \times 10^8$  de coliformes totais e fecais/grama de material, no início do processo, e 3,0 coliformes totais e fecais /grama de composto.

Como em todos os processos biológicos os microrganismos presentes na compostagem requerem fontes de carbono, nitrogênio, outros macronutrientes e micronutrientes para a sua manutenção e multiplicação. A composição do material base, irá portanto determinar a velocidade do processo de compostagem, e a relação entre carbono e nitrogênio disponível é a variável mais importante (Lopez-Real, 1990, citado por GORGATI, 2001).

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 a perdas de nitrogênio na forma de amônia, sobretudo em condições de altas temperaturas e de aeração forçada (Lopez-Real, 1990, citado por GORGATI, 2001). Para a condução da compostagem os parâmetros C e N são frequentemente tomados por base, seja para a formação das leiras ou condução do processo. A composição da fração C é extremamente dependente do material de origem, sendo que poderá se apresentar em quantidades elevadas, mas pouco degradáveis, como as palhas, ou em menores quantidades, no entanto mais disponíveis, como nos dejetos, sobretudo de animais alimentados com maiores quantidades de alimento concentrado, em restrição ao volumoso. A disponibilidade das frações C e N poderão influenciar de maneira mais determinante sobre a eficiência da compostagem, do que suas quantidades.

Segundo KIEHL (1985) 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. Cada parte de nitrogênio é assimilada na proporção de 10 partes de carbono, daí a razão do húmus ter uma relação C/N próxima de 10/1. De acordo com a hierarquia básica de decomposição, os compostos de carbono mais simples e com menor peso molecular, como açúcares solúveis e ácidos orgânicos, serão atacados na fase inicial de decomposição e haverá a geração de energia. A seguir, serão degradados hemicelulose e celulose. A lignina é extremamente resistente ao ataque de microrganismos e no caso de sofrer alguma degradação, será em última instância.

Um dos principais benefícios da compostagem é a redução do volume de resíduos. PEIXOTO (1988) mencionou que a redução de volume das leiras de compostagem pode variar em torno de 50 a 70% e que cada metro cúbico de composto produzido pode pesar mais de 1000 kg.

Em experimento conduzido por AMORIM (2002) foi avaliado o comportamento de leiras formadas durante as quatro estações do ano, utilizando-se somente o esterco caprino. Os resultados obtidos foram: independente da estação do ano, as temperaturas mantiveram-se em torno de 60° C por um período superior a 10 dias, maiores reduções na relação C/N, em média 63,99%, durante o verão e outono e maiores reduções de volume 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).

THAMBIRAJAH et al. (1995) efetuaram a compostagem em leiras formadas a partir de resíduos de extração de óleo de palma e dejetos de caprinos (90:25 kg, respectivamente) e resíduos de extração de óleo de palma e dejetos de bovinos (90:25 kg, respectivamente) e observaram temperaturas abaixo de 40° C somente após os primeiros 25 dias de compostagem, sendo que, o pico de temperatura ocorreu com 4 dias de enleiramento e foi de 70° C, para as leiras que contiveram os dejetos de caprinos, já nas leiras formadas com dejetos de bovinos a temperatura máxima ocorreu no 2º dia e foi de 75° C, sendo verificado declínio nos conteúdos de celulose (de 43,0 para 18,0%) e carbono (de 47,0 para 39,0%) e acréscimo nos teores de nitrogênio (1,3 para 2,5%) e lignina (29,0 para 33,0%). As médias das relações C/N encontradas foram de 52:1 e 24:1, no início e final da compostagem de uma mistura à base de resíduo de extração do óleo de palma e dejetos de caprinos ou bovinos.

Em estudo conduzido por ATALLAH et al. (1995) foi efetuada a compostagem de dejetos de bovinos de corte alimentados com dietas distintas, o que proporcionou dejetos com diferentes conteúdos de C e N. Os autores verificaram a existência de correlação positiva entre o conteúdo de N e a elevação das temperaturas alcançadas nas leiras de compostagem, e observaram que os dejetos com maiores conteúdos de C favoreceram a atividade microbiana, e como consequência direta elevaram a mineralização do N.

Com o objetivo de avaliar os efeitos da adição de resíduo da fabricação de tofu na compostagem dos dejetos de vacas leiteiras, HANAJIMA et al. (2001) conduziram experimento confeccionando leiras com 0, 6 e 11% de adição de resíduos de tofu. Foi verificado que a adição do resíduo na compostagem dos dejetos de vacas leiteiras incrementou a amplitude térmica e a duração da fase termofílica, com melhorias nas taxas de degradação da matéria orgânica.

ORRICO JR et al. (2003) promoveram a compostagem dos dejetos de vacas leiteiras por 90 dias e verificaram resultados positivos durante o processo, como a minimização de coliformes totais e fecais no composto e elevadas reduções de massa seca e volume enleirado, concluindo que os dejetos de vacas leiteiras demonstraram ser bons substratos para o desenvolvimento do processo de compostagem.

## 1.2. OBJETIVOS

Com base na importância ambiental e econômica da reciclagem dos resíduos produzidos pela caprinocultura de corte o presente trabalho teve como objetivos:

- avaliar o processo de biodigestão anaeróbia (produção e qualidade do biogás e biofertilizante) utilizando-se como substrato os dejetos de cabras adultas Saanen e F1 (Saanen x Boer) alimentadas com três dietas distintas;
- avaliar o processo de compostagem e qualidade do composto, utilizando-se dejetos de cabras adultas Saanen e F1 (Saanen e Boer) alimentadas com três dietas;
- acompanhar o desempenho de cabritos Saanen desde 90 até 150 dias de idade, alimentados com diferentes dietas, quantificando e caracterizando os dejetos gerados por estes animais aos 90, 120 e 150 dias de idade;
- avaliar o processo de biodigestão anaeróbia (produção e qualidade do biogás e biofertilizante) utilizando-se como substrato os dejetos de cabritos aos 90, 120 e 150 dias de idade e alimentados com três dietas distintas.

## **CAPÍTULO 2 - BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DOS DEJETOS DE CABRAS SAANEN E F1 (SAANEN X BOER) ALIMENTADAS COM DIETAS DE DIFERENTES PROPORÇÕES ENTRE VOLUMOSO E CONCENTRADO**

**RESUMO** - Os resíduos gerados na produção animal representam uma significativa parcela da biomassa oriunda dos sistemas produtivos e sua reciclagem em busca da maior sustentabilidade econômica e ambiental se mostra favorável. Para isso, a biodigestão anaeróbia representa um método bastante atrativo, pois promove a geração do biogás, como fonte de energia alternativa, e do biofertilizante, além de reduzir ou eliminar os microrganismos indicadores de poluição fecal e concentrar os teores de nutrientes, principalmente N, P e K. Para avaliação dos efeitos de dois genótipos e três dietas sobre a biodigestão anaeróbia dos dejetos de caprinos, na condução deste ensaio utilizaram-se os dejetos produzidos por cabras Saanen e F1 (Saanen x Boer) alimentadas com três dietas (d1, d2 e d3 = dietas 1 (80% volumoso (V) e 20% concentrado (C)), 2 (60% V e 40% C) e 3 (40% V e 60% C), respectivamente). Para tanto foram adotados: biodigestores batelada de bancada com capacidade para 12 litros de substrato em fermentação e teor de sólidos totais (ST) inicial igual a 8%; e quantificados: produções e potenciais de produção de biogás e metano, redução de sólidos voláteis (SV) e os conteúdos de N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn e Mn no afluente e efluente. As maiores ( $P < 0,01$ ) reduções de SV foram de 45,14% e ocorreram com substratos preparados com os dejetos de cabras Saanen alimentadas com a dieta 3, sendo que este substrato originou os maiores ( $P < 0,05$ ) potenciais de produção de biogás (0,233, 0,268 e 0,380 m<sup>3</sup> de biogás por kg de ST, SV e FDN adicionados) e de metano, bem como os maiores ( $P < 0,05$ ) potenciais de produção de biogás e metano por kg de ST e SV adicionados e por kg de substrato.

**Palavras chave:** biogás, caprinocultura, metano, reciclagem.

## 2.1. INTRODUÇÃO

Não há dúvidas que ocorre, cada vez com maior intensidade, um distanciamento entre a utilização dos recursos naturais para a produção de alimentos e a disponibilidade destes recursos. Neste sentido OMER e FADALLA (2003) destacaram que a sustentabilidade para o crescimento e desenvolvimento econômico da produção animal somente poderá ocorrer quando o sistema produtivo incluir a geração de energia por meio da reciclagem dos resíduos produzidos.

O crescimento da caprinocultura nos últimos anos tem se dado nos países em desenvolvimento, principalmente pelo fato dos caprinos serem animais pequenos, com menores exigências de espaço físico e serem abatidos em menor tempo, em comparação com os bovinos. A prolificidade e rusticidade destes animais também têm sido destacadas como características desejáveis para a implantação da atividade.

Como parte do processo produtivo está a geração de resíduos com a criação dos animais, que segundo AMORIM (2002), são caracterizados pelas elevadas quantidades de nutrientes, especialmente N, P e K, que são os elementos mais requeridos pelas plantas e, portanto devem ser reciclados para retornarem ao solo. A biodigestão anaeróbia pode ser utilizada na reciclagem e tratamento destes resíduos, pois além de reduzir o poder poluente e os riscos sanitários dos dejetos, oferece como subprodutos o biogás e o biofertilizante (SANTOS e LUCAS JR., 1998).

Estudos recentes demonstraram que existe relação direta entre a qualidade dos dejetos gerados pelos animais e a produção de biogás, evidenciando que somente a quantidade de fração volátil (ou orgânica) não se mostrou suficiente para determinar a qualidade dos substratos. Portanto torna-se necessária a partição da fração fibrosa, pois os diversos constituintes desta fração apresentam diferentes taxas de degradação e irão fornecer a maior parte da energia necessária durante a biodigestão anaeróbia, acelerando a produção de biogás, quando de degradação rápida, ou retardando, quando forem de difícil degradação.

Com base no exposto, o objetivo da condução deste trabalho foi avaliar as influências dos genótipos de cabras Saanen e F1 (Saanen x Boer) alimentadas com dietas contendo três diferentes proporções entre volumoso e concentrado, sobre a biodigestão anaeróbia dos dejetos.

## 2.2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Digestão Anaeróbia do Departamento de Engenharia Rural, utilizando-se os dejetos gerados no Setor de Caprinocultura do Departamento de Zootecnia, ambos pertencentes à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da Universidade Estadual Paulista/Unesp – Câmpus de Jaboticabal, situado em local cujas coordenadas geográficas são: 21°14'05" S; 48°17'09" W e altitude média de 613,68 metros. O período de execução do experimento foi compreendido entre os meses de agosto de 2003 e março do ano de 2004, os dados meteorológicos deste período estão apresentados nos Apêndices 4A e 5A.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Aw com transição para Cwa (VOLPE, 2004, comunicação pessoal). De acordo com as normais (1971-2000) observadas em Jaboticabal, o clima caracteriza-se por ser subtropical úmido, seco no inverno e com chuvas no verão, com precipitação anual de 1.424,6 mm, temperatura média anual de 22,2° C e umidade relativa média anual de 70,8%.

O ensaio foi conduzido os dejetos provenientes de 60 cabras adultas, Saanen e F1 (Saanen x Boer), sendo 30 cabras de cada genótipo, com idade de aproximadamente 2 anos, em final de lactação ou secas e com médias de peso de 45,0 e 58,0 kg, para F1 e Saanen, respectivamente. As dietas empregadas na alimentação das cabras foram compostas por volumoso e concentrado, com as seguintes variações: dieta 1 (d1) = 80% volumoso e 20% concentrado, dieta 2 (d2) = 60% volumoso e 40% concentrado e dieta 3 (d3) = 40% volumoso e 60% concentrado. O fornecimento da alimentação foi em cochos, "ad libitum", em duas refeições diárias, havendo à disposição dos animais água e sal mineral.

O volumoso foi o feno (picado) de Tifton 85 (*Cynodon dactylon*) e o concentrado foi composto por: 53,8% de milho moído, 10,0% de soja grão, 15,0% de farelo de soja, 10,0% de farelo de algodão, 5,0% de farelo de trigo, 4,2% de núcleo leite e 2,0% de calcário. As dietas foram balanceadas para atender as exigências dos animais segundo recomendações do NRC (1981).

Cada grupo de genótipo foi alocado em uma única baia, composta por piso suspenso com ripado de madeira e canaleta de alvenaria para o acúmulo e colheita dos resíduos. A

alimentação foi mantida a mesma para ambos os genótipos e os dejetos para abastecimento dos biodigestores foram coletados em no máximo 24 horas após a excreção.

Os biodigestores (Apêndice 1A) utilizados foram constituídos, basicamente, de três cilindros retos de PVC com diâmetros de 200, 250 e 300 mm, acoplados sobre uma placa de PVC com 2,5 cm de espessura e podem ser caracterizados como biodigestores de bancada, com capacidade média de 12 litros de substrato, cada. Os cilindros de 200 e 300 mm encontram-se inseridos um 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 (“selo de água”), atingindo profundidade de 500 mm. O cilindro de diâmetro intermediário teve uma das extremidades vedadas, conservando-se apenas uma abertura para descarga do biogás, e foi emborcado no selo de água, para propiciar condições anaeróbias e armazenar o gás produzido. Os biodigestores foram dispostos sobre uma bancada, em condições de temperatura ambiente, abrigados da luz solar e chuva.

Os teores de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV) foram determinados segundo metodologia descrita por APHA (1995). Os abastecimentos foram efetuados procurando-se obter substratos com teor de ST em torno de 8%, conforme expressões citadas por LUCAS JR. (1994). Os biodigestores foram avaliados por todo o período em que apresentaram produções de biogás.

No dia do abastecimento dos biodigestores batelada se observou teores de ST iguais a 31,62%, 32,66% e 32,87% para os dejetos provenientes de cabras Saanen alimentadas pelas dietas 1, 2 e 3, respectivamente, dos quais 91,14 %, 86,89 % e 86,95 % eram voláteis e teores de ST iguais a 32,65%, 39,59% e 32,93% nos dejetos produzidos por cabras F1 alimentadas pelas dietas 1, 2 e 3, respectivamente, dos quais 91,49 %, 88,76 % e 88,47 % eram voláteis. Na Tabela 1 estão apresentadas as quantidades utilizadas de água e dejetos para a obtenção do substrato de cada tratamento descrito.

Depois de calculadas as quantidades descritas de água e dejetos, as misturas foram homogêneas com a utilização de liquidificador industrial, de modo que as cúbicas fossem rompidas, propiciando melhores condições de fermentação no interior dos biodigestores.

TABELA 1. Componentes de cada substrato e teores de sólidos totais e voláteis no abastecimento de biodigestores batelada com dejetos de cabras adultas, Saanen e F1, alimentadas com três dietas

	Dejeto (kg)	Água (kg)	ST (%)	ST (kg)	SV (%)	SV (kg)
Saanen d1	2,53	9,47	7,77	0,77	7,08	0,70
Saanen d2	2,94	9,06	6,69	0,80	5,81	0,70
Saanen d3	2,92	9,08	8,01	0,96	6,96	0,84
F1 d1	2,45	9,55	6,82	0,68	6,24	0,62
F1 d2	2,42	9,58	7,43	0,89	6,59	0,79
F1 d3	2,92	9,08	7,80	0,94	6,85	0,82

F1= cabras resultantes do cruzamento entre Saanen e Boer, d1, d2 e d3 = dietas 1 (80% volumoso e 20% concentrado), 2 (60% volumoso e 40% concentrado) e 3 (40% volumoso e 60% concentrado), respectivamente.

Os volumes de biogás produzidos diariamente, foram determinados medindo-se o deslocamento vertical dos gasômetros e multiplicando-se pela sua área da seção transversal interna, ou seja, 0,0507 m<sup>2</sup>. 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).

O potencial de produção de biogás foi calculado utilizando-se os dados de produção diária e as quantidades de dejetos “in natura”, de substrato, de ST, SV, FDN, FDA e N adicionados nos biodigestores, além das quantidades de SV, FDN, FDA e N reduzidos durante o processo de biodigestão anaeróbia. Os valores foram expressos em m<sup>3</sup> de biogás por kg de substrato, de dejetos ou de sólidos totais e voláteis. O potencial de produção de metano foi calculado com base nas produções de biogás e nos teores de metano contidos no biogás.

Os números mais prováveis (NMP) de coliformes totais e fecais foram avaliados nos afluente e efluente dos biodigestores batelada de bancada por meio da técnica de tubos múltiplos, a partir de metodologia descrita pela APHA (1995).

As análises da composição do biogás foram realizadas semanalmente para determinação dos teores de metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), em cromatógrafo de fase gasosa Finigan GC-2001, equipado com as colunas Porapack Q e Peneira Molecular, e detector de condutividade térmica.

As amostras coletadas durante o desenvolvimento do ensaio de biodigestão anaeróbia foram pré-secadas à 60° C, em estufa de circulação forçada de ar, por 48 horas, com a finalidade de evitar perdas, especialmente de N. Após esta secagem foram finamente moídas, em moinho de facas, e então utilizadas para a determinação dos ST (na temperatura de 105° C), dos SV e utilizadas para a digestão da matéria orgânica. Para a digestão utilizou-se o digestor Digesdahl Hach, que promove a digestão total da matéria orgânica ao se utilizar ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a 50%.

Com o extrato obtido da digestão sulfúrica foi possível determinar os teores de Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio, Sódio, Ferro, Cobre, Zinco e Manganês, segundo BATAGLIA et al. (1983). O nitrogênio foi determinado conforme metodologia descrita por SILVA (1981). Os teores de fósforo foram determinados pelo método colorimétrico, conforme descrito por MALAVOLTA (1989), utilizando-se espectrofotômetro HACH modelo DR-2000. As concentrações de K, Ca, Mg Na, Fe, Cu, Zn e Mn foram determinadas em espectrofotômetro de absorção atômica modelo GBC 932 AA.

As determinações dos conteúdos de fibras em detergente neutro e ácido, celulose e lignina foram efetuadas conforme metodologias propostas no AOAC (1980). A energia bruta foi determinada em bomba calorimétrica PARR 1821.

Para avaliação dos resultados gerados adotou-se delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial constando de 6 tratamentos (3 dietas e 2 genótipos) e três repetições (biodigestores), com comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

## **2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **2.3.1. Redução de sólidos voláteis**

Notou-se (Tabela 2) que as maiores reduções (P<0,01) de SV ocorreram em substratos preparados com os dejetos de cabras alimentadas com a dieta 3 (em média 43,74% de SV reduzido), situação em que foi fornecida a maior quantidade de alimento concentrado (60%).

Este comportamento pode estar associado aos conteúdos de FDN e FDA (fibras em detergente neutro e ácido, respectivamente) e, principalmente, de lignina nos substratos, visto que a presença destas frações em maiores quantidades compromete a degradação dos substratos, dificultando a redução de material orgânico no interior dos biodigestores. Desta forma, verificou-se que as concentrações de FDN (70,34; 65,14; 61,29; 66,79; 62,49 e 59,74% de FDN em substratos preparados com os dejetos de cabras Saanen e F1, alimentadas com as dietas 1, 2 e 3, respectivamente), FDA (41,60; 36,12; 30,17; 39,29; 35,89 e 32,05% de FDA em substratos preparados com os dejetos de cabras Saanen e F1, alimentadas com as dietas 1, 2 e 3, respectivamente), celulose (26,00; 23,04; 20,16; 24,93; 22,43 e 21,37% de celulose em substratos preparados com os dejetos de cabras Saanen e F1, alimentadas com as dietas 1, 2 e 3, respectivamente) e lignina (13,00; 12,46; 8,32; 14,66; 12,98; 10,13% de lignina em substratos preparados com os dejetos de cabras Saanen e F1, alimentadas com as dietas 1, 2 e 3, respectivamente) nos substratos iniciais sofreram influência ( $P < 0,05$ ) dos genótipos e das dietas.

TABELA 2. Teores médios iniciais e finais de sólidos totais (ST) e voláteis (SV), e redução de sólidos voláteis nos biodigestores abastecidos com resíduos de cabras adultas, Saanen e F1, recendo três dietas distintas, com variação nas proporções entre volumoso e concentrado.

	ST				SV				Redução de SV (%)
	%		kg		%		kg		
	afluente	efluente	afluente	efluente	afluente	efluente	afluente	efluente	
Saanen d1	7,77	5,35	0,77	0,53	7,08	4,75	0,70	0,47	32,98 Ac
F1 d1	6,82	4,85	0,68	0,49	6,24	4,36	0,62	0,44	30,18 Bc
Saanen d2	6,69	4,45	0,80	0,53	5,81	3,72	0,70	0,45	36,06 Ab
F1 d2	7,43	5,30	0,89	0,64	6,59	4,40	0,79	0,53	33,30 Bb
Saanen d3	8,01	4,50	0,96	0,54	6,96	3,82	0,84	0,46	45,14 Aa
F1 d3	7,80	4,50	0,94	0,54	6,85	4,00	0,82	0,47	42,34 Ba

F1= cabras resultantes do cruzamento entre Saanen e Boer, d1, d2 e d3 = dietas 1 (80% volumoso e 20% concentrado), 2 (60% volumoso e 40% concentrado) e 3 (40% volumoso e 60% concentrado), respectivamente.

Na coluna, letras maiúsculas comparam genótipo e letras minúsculas comparam dietas. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,01$ ).

Outro fator que pode ter sido responsável pelos valores de redução de sólidos voláteis foi a presença de nutrientes no afluente (Tabela 9), visto que os substratos que apresentaram maiores ( $P < 0,05$ ) quantidades de nutrientes foram preparados com os dejetos produzidos por cabras alimentadas com a dieta 3, sendo seguidos pelos substratos preparados com os dejetos de cabras que consumiram a dieta 2, que foram superiores aos gerados por dejetos provenientes de cabras alimentadas com a dieta 1. A presença de nutrientes em maiores quantidades pode favorecer a multiplicação de microrganismos anaeróbios, incrementando a degradação da matéria orgânica e a geração de biogás.

Em relação à influência dos genótipos sobre a redução de sólidos voláteis, observou-se que as maiores proporções ( $P < 0,01$ ) ocorreram em substratos preparados com os dejetos de cabras Saanen, independente da dieta consumida. Esta ocorrência reforçou a menção feita por TEIXEIRA (2004) de que a introdução da raça Boer em rebanhos Saanen, resulta em animais (F1) de maiores exigências nutricionais, apresentando inclusive maiores digestibilidades. Sendo assim, quanto melhor for a digestibilidade de uma determinada dieta, menor será sua proporção nos dejetos, resultando em substratos com menor quantidade de nutrientes e, portanto com menor potencial de degradação. Este conceito poderá ser observado nas Tabelas 3 e 10, se avaliando as composições dos substratos originados de cabras Saanen e F1.

Em trabalho realizado por AMORIM (2002) avaliou-se a interferência das dietas, com variações nas proporções entre volumoso e concentrado, sobre o processo de biodigestão anaeróbia a partir dos dejetos gerados por cabritas Saanen, verificando-se que o aumento na quantidade de concentrado na ração permitiu substratos com maior degradabilidade, comportamento que foi idêntico ao observado neste estudo. As médias de redução de SV foram: 45,00 % para a dieta 3 (40% volumoso e 60% concentrado), 34,99 % para a dieta 2 (60% volumoso e 40% concentrado) e 28,60 % para a dieta 1 (80% volumoso e 20% concentrado). AL-MASRI (2001) avaliou o desempenho de biodigestores anaeróbios abastecidos com dejetos de caprinos e ovinos. As reduções de sólidos totais e voláteis (ST e SV) foram de 72,6 e 58,2% respectivamente, quando se utilizou como substrato dejetos de ovinos e 71,3 e 58,1% em biodigestores abastecidos com dejetos de caprinos. As reduções de SV foram superiores às obtidas neste trabalho, fato este que pode ser associado à manutenção dos biodigestores em banho-maria a 30°C, conforme procedimento utilizado pelo referido autor, o que provavelmente favoreceu a degradação de SV, em comparação com este trabalho, onde não houve controle ou manutenção da temperatura dos substratos. As reduções de SV

encontradas foram semelhantes às obtidas por MISI e FORSTER (2001) que observaram 34,1% de redução de SV quando utilizaram misturas à 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.

Na Tabela 3 estão apresentadas a fração fibrosa (FDN, FDA, celulose) e lignina contidas nos afluentes utilizados na alimentação dos biodigestores e nos efluentes (biofertilizante), e as quantidades de energia bruta no início e final da biodigestão anaeróbia dos dejetos de cabras Saanen e F1 alimentadas com três dietas.

TABELA 3. Quantidades de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), celulose, lignina e energia bruta e, respectivas reduções durante a biodigestão anaeróbia, em substratos preparados com dejetos de cabras Saanen e F1 (Saanen x Boer) alimentadas com três dietas

Fração		Saanen			F1		
		dieta 1	dieta 2	dieta 3	dieta 1	dieta 2	dieta 3
FDN (kg)	Afluente	0,54	0,52	0,59	0,46	0,56	0,56
	Efluente	0,36	0,33	0,32	0,32	0,37	0,32
	Red (%)	33,47 Ac	36,90 Ab	45,68 Aa	30,38 Bc	33,56 Bb	42,09 Ba
FDA (kg)	Afluente	0,32	0,29	0,29	0,27	0,32	0,30
	Efluente	0,21	0,18	0,16	0,19	0,21	0,17
	Red (%)	34,38 Ac	37,93 Ab	44,83 Aa	29,09 Bc	34,38 Bb	43,33 Ba
Celulose (kg)	Afluente	0,20	0,18	0,19	0,17	0,20	0,20
	Efluente	0,14	0,12	0,11	0,12	0,13	0,11
	Red (%)	32,30 Ac	35,12 Ab	45,58 Aa	29,41 Bc	33,24 Bb	42,63 Ba
Lignina (kg)	Afluente	0,10	0,10	0,08	0,10	0,12	0,09
	Efluente	0,11	0,10	0,08	0,10	0,11	0,10
	Red (%)	-10,04 Aa	0,00 Aa	0,00 Aa	0,00 Aa	4,92 Aa	-5,48 Aa
Energia (Kcal)	Afluente	3049,50	3028,99	3590,06	2720,32	3467,17	3551,41
	Efluente	2051,47	1807,21	1945,27	1885,44	2154,17	1998,74
	Red (%)	32,73 Ac	40,34 Ab	45,82 Aa	30,69 Bc	37,87 Bb	43,72 Ba

F1= cabras resultantes do cruzamento entre Saanen e Boer, d1, d2 e d3 = dietas 1 (80% volumoso e 20% concentrado), 2 (60% volumoso e 40% concentrado) e 3 (40% volumoso e 60% concentrado), respectivamente.

Na linha, letras maiúsculas comparam genótipo e letras minúsculas comparam dietas. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

As reduções da fração fibrosa (FDN, FDA e celulose) e dos conteúdos de energia bruta apresentaram o mesmo comportamento das reduções de sólidos voláteis na biodigestão anaeróbia dos dejetos de cabras Saanen e F1 alimentadas com três dietas, provavelmente por influência de todos os fatores discutidos anteriormente. No entanto, verifica-se que de maneira geral, não houve redução dos conteúdos de lignina durante o processo, sendo que as pequenas variações observadas entre os conteúdos inicial e final podem ser atribuídas a manipulação laboratorial das amostras.

### 2.3.2. Produção de biogás e metano

De acordo com os resultados obtidos (Tabela 4) notaram-se produções crescentes de biogás conforme se aumentou os níveis de concentrados nas dietas das cabras, independente do substrato ser oriundo de Saanen e F1, com médias de 0,126 m<sup>3</sup>, 0,150 m<sup>3</sup> e 0,198 m<sup>3</sup> de biogás, para as dietas 1, 2 e 3, respectivamente, e que todas estas produções diferiram entre si ( $P < 0,05$ ). Observou-se também que dentro da mesma dieta, as maiores produções de biogás foram obtidas com os substratos preparados com dejetos de cabras Saanen ( $P < 0,05$ ), quando alimentadas com as dietas 2 e 3. Acredita-se que este comportamento possa estar relacionado com a maior presença de nutrientes nos substratos durante a biodigestão anaeróbia, favorecendo a produção de biogás.

Conforme o comportamento demonstrado nas Figuras 1 e 2, observou-se que os substratos preparados com os dejetos de cabras Saanen produziram biogás mais rapidamente, em relação aos substratos preparados com os dejetos provenientes de cabras F1. No entanto foi possível notar que quando os substratos foram originados de cabras F1 alimentadas com a dieta 1 o comportamento foi inverso, ocorrendo a geração de biogás mais rapidamente do que os substratos provenientes dos dejetos de cabras Saanen alimentadas com a dieta 1. Este acontecimento pode estar associado com as menores quantidades de FDN ( $P < 0,05$ ) observadas nos afluentes preparados com dejetos de cabras F1 (Tabela 3), em relação a Saanen. Apesar de em todos os afluentes originados dos dejetos de cabras F1 terem ocorrido menores quantidades de FDN e FDA, a produção de biogás somente foi antecipada na condição da dieta 1, pois provavelmente as maiores quantidades de nutrientes contidas nos substratos com dejetos de cabras Saanen, influenciaram mais significativamente a velocidade e a quantidade de produção de biogás, em comparação aos conteúdos de FDN.

TABELA 4. Produções médias semanais de biogás (m<sup>3</sup>) obtidas em biodigestores anaeróbios abastecidos com dejetos de cabras adultas Saanen e F1 (Saanen x Boer), alimentadas com três dietas variando a proporção entre volumoso e concentrado

Semana	Saanen			F1 (Saanen x Boer)		
	dieta 1	dieta 2	dieta 3	dieta 1	dieta 2	dieta 3
1	0,000139	0,000303	0,000969	0,000257	0,000238	0,000439
2	0,000150	0,000329	0,000989	0,000279	0,000257	0,000475
3	0,000150	0,000329	0,000792	0,000279	0,000257	0,000475
4	0,000873	0,001350	0,000792	0,000700	0,001136	0,000475
5	0,001234	0,001860	0,002470	0,000911	0,001576	0,000532
6	0,001683	0,002750	0,005321	0,001766	0,001234	0,000545
7	0,003118	0,005596	0,017186	0,004503	0,000141	0,000439
8	0,007368	0,006536	0,031977	0,004831	0,000141	0,000098
9	0,011410	0,008068	0,018384	0,004903	0,001386	0,000098
10	0,010818	0,010599	0,010300	0,004602	0,002009	0,000869
11	0,008336	0,010879	0,008436	0,006333	0,002009	0,009652
12	0,005971	0,006971	0,006836	0,007127	0,009209	0,027667
13	0,010067	0,011866	0,009073	0,012434	0,014073	0,017229
14	0,012691	0,013210	0,014744	0,015140	0,010497	0,010046
15	0,019787	0,017577	0,015473	0,014325	0,008873	0,008404
16	0,012701	0,011405	0,020399	0,007409	0,004318	0,010036
17	0,010039	0,010820	0,014110	0,006384	0,005578	0,012183
18	0,007760	0,008588	0,007906	0,004936	0,006877	0,016569
19	0,003987	0,005353	0,006790	0,002826	0,008518	0,017293
20	0,004559	0,005041	0,004979	0,003506	0,015327	0,009167
21	0,003450	0,002533	0,004751	0,002671	0,016642	0,007629
22	0,002497	0,001495	0,004780	0,001998	0,011951	0,005353
23	0,002059	0,001783	0,005055	0,001900	0,008829	0,004437
24	0,000093	0,000088	0,005632	0,000090	0,004883	0,004534
25	sem produção	sem produção	0,002465	sem produção	0,004870	0,002774
26	sem produção	sem produção	0,002307	sem produção	0,004094	0,002686
27	sem produção	sem produção	0,001098	sem produção	0,002669	0,001279
28	sem produção	sem produção	sem produção	sem produção	0,002138	sem produção
29	sem produção	sem produção	sem produção	sem produção	0,000475	sem produção
Total (m <sup>3</sup> )	0,141 Ac	0,151 Ab	0,224 Aa	0,110 Bc	0,150 Bb	0,171 Ba

F1= cabras resultantes do cruzamento entre Saanen e Boer, d1, d2 e d3 = dietas 1 (80% volumoso e 20% concentrado), 2 (60% volumoso e 40% concentrado) e 3 (40% volumoso e 60% concentrado), respectivamente.

Na linha, letras maiúsculas comparam genótipo e letras minúsculas comparam dietas. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,01).

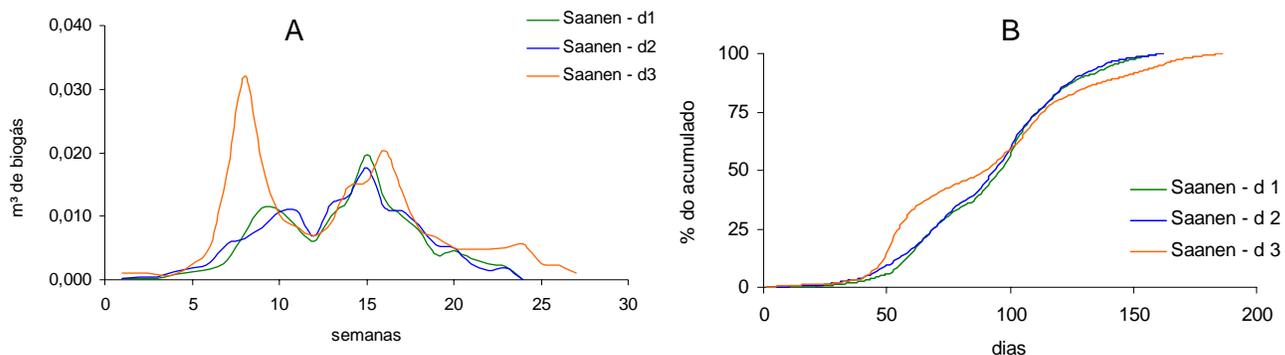


FIGURA 1. Distribuição média diária da produção de biogás (A) e porcentagem acumulada do biogás produzido (B), para os biodigestores abastecidos com dejetos de cabras Saanen submetidas a três dietas.

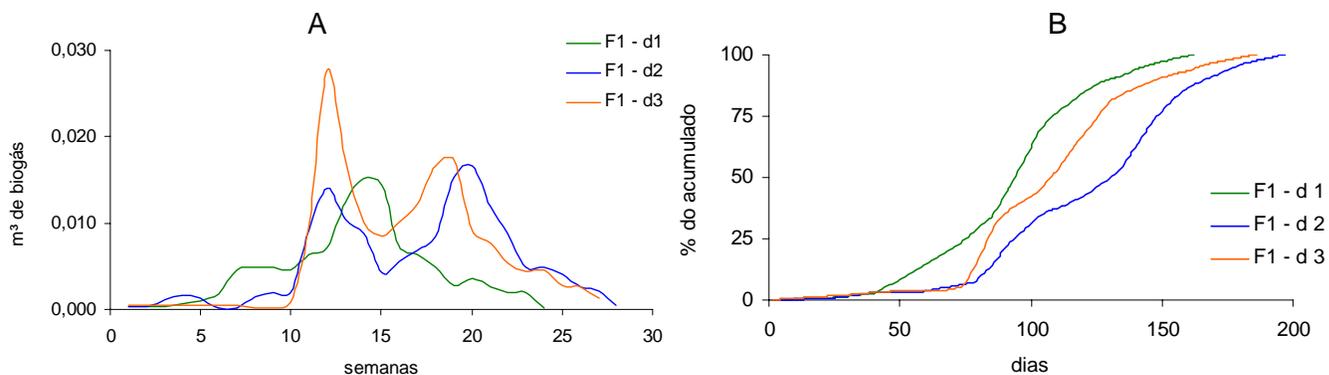


FIGURA 2. Distribuição média diária da produção de biogás (A) e porcentagem acumulada do biogás produzido (B), para os biodigestores abastecidos com dejetos de cabras F1 submetidas a três dietas.

Independente do substrato as produções de biogás foram maiores somente após 50 dias de retenção. Este fato pode estar associado à época do ano em que os biodigestores foram abastecidos (inverno), pois em ensaio conduzido por AMORIM (2002) foi observado que nas estações de verão e outono, com aproximadamente 50 dias de retenção haviam sido atingidos 90 e 60%, respectivamente, do total de biogás produzido durante todo o processo, enquanto que no inverno e primavera estes valores estavam em aproximadamente 5%. Esta condição

pode ter sido agravada ao considerar-se que os biodigestores utilizados eram de bancada, sendo assim, todo o conteúdo dos substratos ficou exposto as variáveis do meio, principalmente a temperatura. Os dados meteorológicos desta época do ano podem ser visualizados no Apêndice 4A.

Conforme os resultados obtidos, observou-se (Tabela 5) que a partir do início da produção de biogás houve antecipação no incremento dos teores de  $\text{CH}_4$ , quanto menor foi a proporção de concentrado nas dietas das cabras, com médias de 50,0% ou mais de  $\text{CH}_4$  na composição do biogás produzido durante as primeiras semanas em substratos preparados com dejetos de cabras que consumiram as dietas 1 e 2 e abaixo de 30,0% de  $\text{CH}_4$  no biogás gerado com os substratos preparados com dejetos de cabras alimentadas pela dieta 3, no mesmo período de tempo. Este comportamento pode estar estreitamente relacionado com a participação das frações FDN e FDA em maiores quantidades nos substratos, conforme se incrementaram as proporções de volumosos na alimentação dos animais. No entanto verificou-se que os maiores volumes ( $P < 0,05$ ) (Tabela 6) de  $\text{CH}_4$  ocorreram em substratos preparados com dejetos de cabras que consumiram a dieta 3, em relação às alimentadas com a dieta 2, que por sua vez foram superiores aos totais produzidos quando se forneceu a dieta 1.

Nota-se também que houve variações quanto aos teores de metano na composição do biogás produzido, sendo mais elevados nas primeiras semanas de produção, decaindo nas semanas intermediárias e elevando-se novamente nas últimas semanas de produção, sendo os teores finais de: 77,97%, 77,87%, 80,23%, 79,01%, 82,87% e 78,49% de  $\text{CH}_4$  no biogás produzido por substratos preparados com os dejetos de cabras Saanen e F1 alimentadas com as dietas 1, 2 e 3, respectivamente.

Na Tabela 6 estão apresentadas as produções totais de metano observadas em biodigestores batelada alimentados com substratos preparados com os dejetos de cabras Saanen e F1, recebendo três dietas. Os valores apresentados na Tabela 6 estão representados graficamente nas Figuras 3 e 4.

Conforme os resultados apresentados na Tabela 6 verificam-se, que os substratos originados dos dejetos de cabras Saanen produziram maiores quantidades de metano ( $P < 0,05$ ), em comparação com os que contiveram dejetos de cabras F1. Este comportamento pode estar associado as maiores produções de biogás em biodigestores alimentados com os dejetos de cabras Saanen e aos maiores conteúdos de FDN e FDA presente nos substratos.

TABELA 5. Teores médios semanais de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> (em %) presentes no biogás produzido nos biodigestores operados com resíduos de cabras adultas, Saanen e F1, alimentadas com três dietas, com variação nas proporções entre volumoso e concentrado

Semana	Saanen d1		F1 d1		Saanen d2		F1 d2		Saanen d3		F1 d3	
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>										
1	sem produção											
2	sem produção											
3	sem produção											
4	sem produção											
5	sem produção											
6	sem produção		sem produção		sem produção		sem produção		72,14	25,16	sem produção	
7	sem produção		sem produção		sem produção		sem produção		51,53	47,18	64,00	29,98
8	sem produção		sem produção		sem produção		sem produção		31,18	68,45	68,12	29,26
9	50,13	48,90	29,90	66,17	47,12	50,79	sem produção		35,54	64,09	69,87	27,41
10	32,31	66,12	25,52	72,66	45,00	53,69	sem produção		33,35	66,22	71,12	28,56
11	25,94	72,98	23,56	75,00	37,79	60,57	sem produção		27,32	72,13	50,68	48,17
12	26,95	72,50	24,18	74,68	31,00	68,12	sem produção		26,64	72,72	30,67	68,19
13	28,70	70,54	26,05	72,95	22,31	77,05	38,51	57,99	35,92	63,73	18,88	80,68
14	30,59	68,84	28,12	71,27	19,13	80,28	27,53	71,37	33,03	66,47	27,77	71,71
15	36,35	63,08	35,28	64,37	23,45	75,83	22,48	77,12	30,89	68,52	20,80	78,83
16	37,32	62,11	27,21	72,07	24,36	74,96	19,32	80,12	28,52	71,06	16,40	82,60
17	34,57	65,02	32,32	67,25	33,25	66,20	20,82	78,41	24,41	75,20	16,26	82,90
18	28,46	70,94	28,42	71,17	29,60	69,37	21,44	77,60	19,48	80,04	20,02	79,34
19	28,58	70,60	28,92	70,48	31,71	67,88	28,28	70,92	24,32	75,02	29,12	70,43
20	26,64	72,59	25,64	73,60	26,58	72,78	32,21	67,19	22,26	76,89	27,95	71,50
21	24,01	75,23	23,26	75,84	22,31	76,95	32,27	67,01	22,58	76,58	28,50	71,15
22	25,92	73,15	25,77	73,25	22,62	76,73	35,90	63,73	24,32	74,87	31,18	68,21
23	21,31	74,31	21,79	76,59	22,24	77,00	30,59	69,04	24,28	75,00	24,58	72,00
24	20,83	77,83	20,88	77,66	17,46	81,42	29,21	70,30	23,21	76,00	22,99	76,00
25	20,87	77,97	20,62	77,87	18,63	80,23	27,89	71,59	18,87	80,00	21,13	78,00
26	sem produção		sem produção		sem produção		26,45	72,31	15,65	82,87	20,23	78,49
27	sem produção		sem produção		sem produção		23,22	75,44	sem produção		sem produção	
28	sem produção		sem produção		sem produção		21,14	77,78	sem produção		sem produção	
29	sem produção		sem produção		sem produção		20,18	79,01	sem produção		sem produção	

TABELA 6. Totais de metano (m<sup>3</sup>) produzidos nos biodigestores operados com resíduos de cabras adultas, Saanen e F1, alimentadas com três dietas, com variação nas proporções entre volumoso e concentrado

Semana	Saanen			F1		
	dieta 1	dieta 2	dieta 3	dieta 1	dieta 2	dieta 3
1	sem produção					
2	sem produção					
3	sem produção					
4	sem produção					
5	sem produção					
6	sem produção	sem produção	0,001339	sem produção	sem produção	sem produção
7	sem produção	sem produção	0,008108	sem produção	sem produção	0,000132
8	0,003603	0,004325	0,021887	0,003197	sem produção	0,000029
9	0,007544	0,005862	0,011783	0,003562	sem produção	0,000027
10	0,007895	0,007949	0,006820	0,003452	sem produção	0,000248
11	0,006043	0,008125	0,006085	0,004729	sem produção	0,004650
12	0,004212	0,005085	0,004971	0,005199	sem produção	0,018866
13	0,006930	0,008457	0,005782	0,008861	0,008160	0,013900
14	0,008005	0,008503	0,009801	0,009745	0,007492	0,007204
15	0,012289	0,012668	0,010602	0,010324	0,006843	0,006625
16	0,008258	0,007670	0,014496	0,004982	0,003460	0,008290
17	0,007122	0,007701	0,010610	0,004544	0,004374	0,010100
18	0,005479	0,006053	0,006327	0,003479	0,005337	0,013146
19	0,002894	0,003940	0,005094	0,002080	0,006041	0,012179
20	0,003430	0,003823	0,003828	0,002659	0,010298	0,006554
21	0,002524	0,001856	0,003639	0,001956	0,011153	0,005428
22	0,001856	0,001145	0,003579	0,001530	0,007616	0,003652
23	0,001602	0,001384	0,003791	0,001476	0,006095	0,003195
24	0,000073	0,000069	0,004280	0,000070	0,003433	0,003446
25	sem produção	sem produção	0,001972	sem produção	0,003486	0,002164
26	sem produção	sem produção	0,001911	sem produção	0,002948	0,002108
27	sem produção	sem produção	0,000921	sem produção	0,002001	0,001047
28	sem produção	sem produção	sem produção	sem produção	0,001646	sem produção
29	sem produção	sem produção	sem produção	sem produção	0,000375	sem produção
M <sup>3</sup>	0,090 Ac	0,095 Ab	0,148 Aa	0,072 Bc	0,091 Bb	0,123 Ba

F1= cabras resultantes do cruzamento entre Saanen e Boer, d1, d2 e d3 = dietas 1 (80% volumoso e 20% concentrado), 2 (60% volumoso e 40% concentrado) e 3 (40% volumoso e 60% concentrado), respectivamente.

Na linha, letras maiúsculas comparam genótipo e letras minúsculas comparam dietas. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

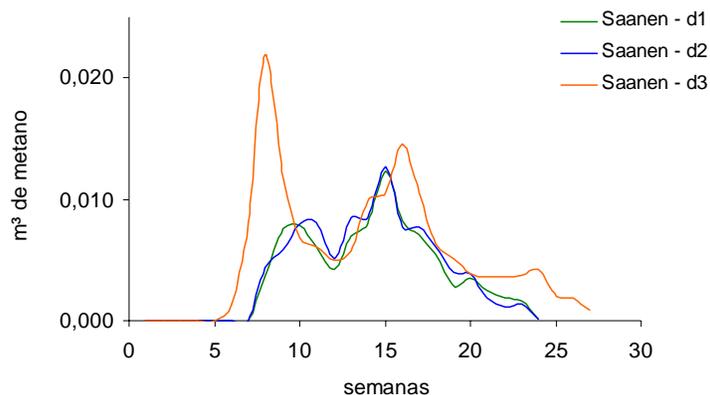


FIGURA 3. Distribuição da produção de metano em biodigestores operados com resíduos de cabras adultas Saanen alimentadas com três dietas, com variação nas proporções entre volumoso e concentrado.

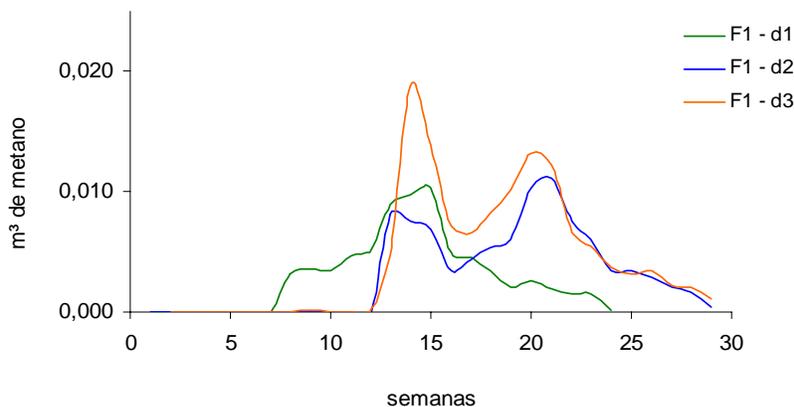


FIGURA 4. Distribuição da produção de metano em biodigestores operados com resíduos de cabras adultas F1 (Saenen x Boer) alimentadas com três dietas, com variação nas proporções entre volumoso e concentrado.

### 2.3.3. Potenciais de produção de biogás e metano

De acordo com os resultados obtidos (Tabela 7) observa-se que os potenciais de produção de biogás por kg de ST e SV adicionados e SV reduzidos foram superiores, dentro de

uma mesma dieta, nos biodigestores abastecidos com dejetos provenientes de cabras Saanen, em relação aos oriundos de cabras F1. Os maiores potenciais de produção de biogás ocorreram nos substratos preparados com os dejetos gerados por cabras Saanen alimentadas com a dieta 3, o que provavelmente ocorreu em decorrência da elevação dos conteúdos de nutrientes presentes no afluente e diminuição das quantias de lignina, facilitando assim a degradação e proporcionando substratos que apresentaram maior eficiência na conversão de biomassa em biogás.

TABELA 7. Potenciais médios de produção de biogás, corrigidos para 20 °C e 1 atm, para substratos preparados com dejetos de cabras adultas, Saanen e F1 (Saanen x Boer), alimentadas por dietas com variação na proporção entre volumoso e concentrado

Potenciais produção (m <sup>3</sup> de biogás)	Saanen			F1		
	dieta 1	dieta 2	dieta 3	dieta 1	dieta 2	dieta 3
kg de ST adicionado	0,183 Ac	0,188 Ab	0,233 Aa	0,161 Bc	0,168 Bb	0,183 Ba
kg de SV adicionado	0,201 Ac	0,216 Ab	0,268 Aa	0,176 Bc	0,190 Bb	0,208 Ba
kg de substrato	0,014 Ac	0,013 Ab	0,019 Aa	0,011 Bc	0,013 Bb	0,014 Ba
kg de dejetos	0,056 Ab	0,051 Ab	0,077 Aa	0,045 Ac	0,062 Ab	0,059 Ab
kg de SV reduzido	0,610 Ab	0,802 Aa	0,594 Ab	0,585 Bb	0,570 Bb	0,492 Bc
kg de FDN adicionado	0,260 Ac	0,289 Ab	0,380 Aa	0,242 Bc	0,270 Bb	0,306 Ba
kg de FDN reduzido	0,778 Aa	0,783 Aa	0,832 Aa	0,796 Aa	0,804 Aa	0,728 Aa
kg de FDA adicionado	0,440 Ac	0,521 Ab	0,772 Aa	0,411 Bc	0,469 Bb	0,571 Ba
kg de FDA reduzido	1,281 Ac	1,373 Ab	1,723 Aa	1,413 Bb	1,366 Bb	1,318 Ab
kg de N adicionado	0,120 Aa	0,118 Aa	0,131 Aa	0,109 Aa	0,132 Aa	0,106 Aa
kg de N reduzido	0,352 Aa	0,315 Aa	0,287 Ab	0,367 Aa	0,385 Aa	0,245 Aa

F1= cabras resultantes do cruzamento entre Saanen e Boer,  
d1, d2 e d3 = dietas 1 (80% volumoso e 20% concentrado), 2 (60% volumoso e 40% concentrado) e 3 (40% volumoso e 60% concentrado), respectivamente.

Na linha, letras maiúsculas comparam genótipo e letras minúsculas comparam dietas. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Considerando-se os potenciais de produção de biogás por kg de ST ou SV adicionados, substrato ou dejetos, observa-se que os substratos preparados com dejetos de cabras, Saanen

ou F1, que consumiram a dieta 3, produziram mais biogás, em relação as demais dietas, indicando que o aumento da proporção de concentrado na alimentação proporcionou maior potencial energético, expresso em produção de biogás. Comportamento idêntico foi relatado por AMORIM (2002) ao abastecer biodigestores com dejetos de cabritas consumindo diferentes níveis de concentrado.

AMORIM et al. (2004) consideraram que o melhor parâmetro para refletir o potencial de determinada biomassa e, portanto, mais indicado para utilizar em projetos de biodigestores, é aquele que elimina a interferência do teor de água presente na biomassa. Neste sentido, os potenciais observados em substratos preparados com dejetos de animais alimentados com a dieta 3 podem ser considerados melhores, pois elevaram em 21,45% e 12,02% a produção de biogás, dejetos de cabras Saanen e F1, respectivamente, em relação ao substrato proveniente de animais alimentados com a dieta 1.

JAIN et al. (1981) avaliaram o potencial de produção de biogás do dejetos de ovinos por kg de dejetos e verificaram valores médios de 0,0452 m<sup>3</sup> de biogás/kg de dejetos, que foram semelhantes aos potenciais médios obtidos por LUCAS JR (1987), de 0,04 m<sup>3</sup> de biogás/kg de dejetos bovino, em ambos os estudos os valores foram inferiores aos obtidos neste trabalho. NASCIMENTO (1991) encontrou valor superior para o potencial de produção de biogás de 0,08692 m<sup>3</sup> por kg de dejetos de ovinos, no entanto a autora não mencionou a dieta dos animais.

Os cálculos dos potenciais de produção de biogás com base nas quantidades adicionadas e reduzidas de FDN, FDA e N, foram desenvolvidos no intuito de evidenciar a qualidade das dietas sobre a produção de biogás, no entanto, não existem trabalhos semelhantes na literatura, o que inviabiliza a comparação destes resultados. Não foi observado efeito ( $P > 0,05$ ) dos genótipos sobre o potencial de produção de biogás por quantidade de N adicionado e reduzido, somente efeito das dietas sobre a produção de biogás por kg de N reduzido, que foi maior ( $P < 0,05$ ) em substratos preparados com os dejetos das cabras alimentadas com as dietas 1 e 2. Verificou-se ainda, que com o aumento de N na composição dos substratos (Tabela 10), houve acréscimo nas produções de biogás. Em relação aos potenciais calculados a partir das quantidades de FDN e FDA, foi observado que houve efeito ( $P < 0,05$ ) do genótipo quando foram consideradas as produções de biogás por kg de FDN e FDA adicionado e kg de FDA reduzido, demonstrando que os substratos originados dos dejetos de cabras Saanen apresentaram maior eficiência de conversão em biogás. Comportamento semelhante foi observado ao se considerar os potenciais de produção de biogás por kg de FDN

e FDA adicionado, a partir dos dejetos de cabras alimentadas com a dieta 3, ou seja, o acréscimo de concentrado na dieta dos animais proporcionou maiores rendimentos nas produções de biogás.

Na Tabela 8 estão apresentados os resultados dos potenciais de produção de metano obtidos na digestão anaeróbia de substratos preparados com os dejetos de cabras Saanen e F1 (Saanen x Boer), alimentadas com três dietas.

TABELA 8. Potenciais médios de produção de metano, corrigidos para 20 °C e 1 atm, para substratos preparados com dejetos de cabras adultas, Saanen e F1 (Saanen x Boer), alimentadas por dietas com variação na proporção entre volumoso e concentrado

Potenciais produção (m <sup>3</sup> de metano)	Saanen			F1		
	dieta 1	dieta 2	dieta 3	dieta 1	dieta 2	dieta 3
kg de ST adicionado	0,117 Ac	0,118 Ac	0,154 Aa	0,105 Bc	0,102 Bc	0,131Bb
kg de SV adicionado	0,128 Ac	0,136 Ac	0,177 Aa	0,115 Bc	0,115 Bc	0,150 Bb
kg de substrato	0,009 Aa	0,008 Aa	0,012 Aa	0,007 Aa	0,008 Aa	0,010 Aa
kg de dejetos	0,035 Ab	0,032 Ab	0,051 Aa	0,029 Bb	0,038 Bb	0,042 Ba
kg de SV reduzido	0,388 Aa	0,376 Aa	0,391 Aa	0,382 Ba	0,344 Ba	0,353 Ba

F1= cabras resultantes do cruzamento entre Saanen e Boer, d1, d2 e d3 = dietas 1 (80% volumoso e 20% concentrado), 2 (60% volumoso e 40% concentrado) e 3 (40% volumoso e 60% concentrado), respectivamente.

Na linha, letras maiúsculas comparam genótipo e letras minúsculas comparam dietas. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Os potenciais de produção de metano apresentaram comportamento distinto do observado nos valores de potenciais de produção de biogás. Os efeitos dos genótipos foram semelhantes, maiores (P<0,05) nos substratos produzidos com os dejetos de cabras Saanen, em relação aos gerados de cabras F1, no que se refere aos potenciais de produção de metano por ST e SV adicionados, dejetos e SV reduzido, no entanto houve diferenças em relação aos efeitos das dietas sobre estes parâmetros.

Estes potenciais são particularmente importantes para a avaliação do impacto ambiental ocasionado com a disposição inadequada dos resíduos, pois refletem a eficiência de conversão

da matéria orgânica em metano, que quando empregado corretamente representa uma importante agregação de valor à atividade, no entanto quando é gerado em condições que não poderá ser utilizado, irá contribuir para o aumento do impacto dos dejetos da produção animal sobre o meio ambiente.

MISI e FORSTER (2001) obtiveram valores próximos aos observados neste experimento, verificando produção total de aproximadamente 4,2 L de CH<sub>4</sub>, que resultou em 0,14 m<sup>3</sup> de metano/kg de SV adicionado e 0,42 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/kg de SV reduzido, quando promoveram a biodigestão anaeróbia dos dejetos de caprinos com 35 dias de retenção em biodigestores com capacidade de 1000 mL.

#### 2.3.4. Coliformes totais e fecais

Verificou-se que não houve influência ( $P>0,05$ ) dos genótipos e das dietas sobre a redução dos números mais prováveis de coliformes totais e fecais durante a biodigestão anaeróbia dos dejetos de cabras Saanen e F1, alimentadas com três dietas (Tabela 9). Os índices de redução nos número de coliformes totais e fecais foram elevados, acima de 99,98%, demonstrando a eficiência do processo de biodigestão anaeróbia na remoção de microrganismos indicadores de poluição fecal. Neste sentido o tempo de retenção dos substratos no interior dos biodigestores favoreceu as elevadas reduções observadas.

Resultados semelhantes foram observados por STEIL (2001), quando manejou biodigestores 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). AMORIM (2002) também verificou reduções de 99,99% ao se utilizar dos dejetos de caprinos para abastecimento de biodigestores batelada de campo nas estações de verão, outono, inverno e primavera e com TRH de 20 semanas.

A redução dos números de microrganismos indicadores de poluição fecal 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 pode sujeitar as propriedades a maiores taxas de incidência de doenças nos animais, com conseqüente aumento da mortalidade e diminuição da produtividade (ENNIX, 1996).

TABELA 9. Número mais provável (NMP) médio de coliformes totais e fecais (por grama) nos afluentes e efluentes dos biodigestores operados com resíduos de cabras adultas Saanen e F1, alimentadas com três dietas, com variação nas proporções entre volumoso e concentrado

		Saanen			F1		
		d1	d2	d3	d1	d2	d3
Colif totais	Afluente	$2 \times 10^6$	$6 \times 10^6$	$7 \times 10^6$	$6 \times 10^9$	$6 \times 10^7$	$0,58 \times 10^8$
	Efluente	$4,3 \times 10^2$	$4,3 \times 10^2$	$9,3 \times 10^2$	$0,39 \times 10^2$	$1,1 \times 10^4$	$0,35 \times 10^2$
	Red (%)	99,98 Aa	99,99 Aa	99,99 Aa	100,00 Aa	99,98 Aa	100,00 Aa
Colif fecais	Afluente	$2 \times 10^6$	$2 \times 10^6$	$5 \times 10^6$	$2 \times 10^9$	$6 \times 10^7$	$0,58 \times 10^8$
	Efluente	$4,3 \times 10^2$	$0,9 \times 10^2$	$4,3 \times 10^2$	$0,39 \times 10^2$	$0,23 \times 10^2$	4
	Red (%)	99,98 Aa	100,00 Aa	99,99 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa

F1= cabras resultantes do cruzamento entre Saanen e Boer,

d1, d2 e d3 = dietas 1 (80% volumoso e 20% concentrado), 2 (60% volumoso e 40% concentrado) e 3 (40% volumoso e 60% concentrado), respectivamente.

Na linha, letras maiúsculas comparam genótipo e letras minúsculas comparam dietas. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Os números de coliformes nos efluentes não ultrapassaram os limites recomendados para os rios de classe 2, destinados à aquicultura ou à recreação de contato primário, (CONAMA, 2005), que foram preconizados em no máximo 1.000 coliformes termotolerantes (fecais) por 100 mL de efluente. Estes efluentes, segundo disposição do CONAMA (2005), poderão ser empregados na irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto.

### 2.3.5. Nutrientes no afluente e efluente

Os resultados apresentados na Tabela 10 indicam que as maiores concentrações ( $P < 0,05$ ) de nutrientes ocorreram em substratos preparados com dejetos de cabras Saanen, independente da alimentação fornecida. Estes valores podem ter auxiliado sobre as maiores reduções de SV e maiores produções de biogás observadas na biodigestão anaeróbia destes substratos. Ressaltam-se também que as concentrações de nutrientes foram proporcionais as

reduções de SV observadas, independente do substrato, indicando a eficiência da biodigestão anaeróbia na redução de matéria orgânica e conservação do conteúdo de nutrientes.

Os substratos originados de cabras que consumiram a dieta 3 apresentaram maiores conteúdos de nutrientes ( $P < 0,05$ ) e concentração destas frações durante a biodigestão anaeróbia, em relação aos originados de cabras que receberam a dieta 2, que por sua vez foram superiores aos preparados com os dejetos de cabras alimentadas com a dieta 1.

AMORIM (2002) observou concentrações superiores nos teores de N, P e K que oscilaram de 2,6 a 3,6; 1,79 a 2,5 e 1,2 a 1,6% da MS, respectivamente, em biofertilizantes obtidos durante as quatro estações do ano, a partir dos dejetos de cabras Saanen. Os maiores conteúdos de nutrientes observados pela autora podem ter ocorrido devido a maior proporção de alimento na massa de dejetos coletada, já que o período de acúmulo de dejetos para a colheita foi superior a 24 horas e também a diferença na composição das dietas, já que o volumoso ofertado foi a silagem de milho.

TABELA 10. Quantidades de N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn e Mn, e respectivas variações durante a biodigestão anaeróbia, em substratos preparados com dejetos de cabras Saanen e F1 (Saanen x Boer) alimentadas com três dietas

Nutriente	Saanen			F1			
	dieta 1	dieta 2	dieta 3	dieta 1	dieta 2	dieta 3	
N	Afluente	1,17	1,28	1,71	1,01	1,14	1,62
	Efluente	1,57	1,76	2,49	1,31	1,53	2,32
	Variação (%)	34,19 Ac	37,50 Ab	45,61 Aa	29,70 Ba	34,21 Bb	43,21 Bc
P	Afluente	0,57	0,63	0,84	0,49	0,56	0,79
	Efluente	0,77	0,87	1,23	0,65	0,75	1,13
	Variação (%)	34,43 Ac	38,84 Ab	46,93 Aa	31,46 Ba	34,38 Bb	42,48 Bc
Ca	Afluente	0,58	0,66	0,90	0,41	0,54	0,73
	Efluente	0,77	0,90	1,31	0,53	0,72	1,05
	Variação (%)	33,03 Ac	36,36 Ab	45,56 Aa	29,27 Ba	33,33 Bb	43,84 Bc
Mg	Afluente	0,28	0,39	0,52	0,26	0,36	0,51
	Efluente	0,37	0,52	0,75	0,34	0,49	0,73
	Variação (%)	32,14 Ac	33,33 Ab	45,14 Aa	30,77 Ba	34,89 Bb	43,95 Bc
K	Afluente	0,73	0,89	0,98	0,69	0,74	0,90
	Efluente	0,97	1,21	1,42	0,90	0,99	1,29
	Variação (%)	33,35 Ac	36,34 Ab	45,26 Aa	30,64 Ba	33,81 Bb	43,05 Bc
Na	Afluente	0,44	0,61	0,75	0,33	0,48	0,65
	Efluente	0,59	0,83	1,10	0,44	0,65	0,92
	Variação (%)	34,41 Ac	36,11 Ab	46,67 Aa	32,08 Ba	34,98 Bb	42,23 Bc
Fe	Afluente	83,38	92,93	98,43	68,40	78,11	84,01
	Efluente	112,35	126,09	144,65	89,41	105,11	120,62
	Variação (%)	34,74 Ac	35,68 Ab	46,96 Aa	30,72 Ba	34,57 Bb	43,58 Bc
Cu	Afluente	4,14	5,60	5,71	2,76	2,92	4,38
	Efluente	5,52	7,62	8,29	3,61	3,91	6,25
	Variação (%)	33,33 Ac	36,06 Ab	45,14 Aa	30,80 Ba	33,90 Bb	42,69 Bc
Zn	Afluente	20,80	25,63	22,24	9,54	11,30	15,25
	Efluente	27,71	34,91	32,09	12,44	15,11	21,54
	Variação (%)	33,22 Ac	36,21 Ab	44,29 Aa	30,40 Ba	33,72 Bb	41,25 Bc
Mn	Afluente	24,79	27,25	28,10	21,86	27,26	26,91
	Efluente	33,01	37,12	41,02	28,14	37,12	38,28
	Variação (%)	33,16 Ac	36,22 Ab	45,98 Aa	28,73 Ba	36,17 Bb	42,23 Bc

F1= cabras resultantes do cruzamento entre Saanen e Boer,

d1, d2 e d3 = dietas 1 (80% volumoso e 20% concentrado), 2 (60% volumoso e 40% concentrado) e 3 (40% volumoso e 60% concentrado), respectivamente.

Na linha, letras maiúsculas comparam genótipo e letras minúsculas comparam dietas. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

## 2.4. CONCLUSÕES

Os genótipos, assim como as dietas avaliadas apresentaram efeitos sobre a biodigestão anaeróbia dos dejetos. Os melhores resultados para os parâmetros redução de sólidos voláteis, produções totais e potenciais de produção de biogás e metano foram obtidos quando se utilizou os dejetos de cabras Saanen alimentadas com a dieta 3 (60% de concentrado). Os substratos preparados com dejetos de cabras F1 alimentadas com a dieta 1 proporcionaram os menores resultados de redução de SV, produção total de biogás e metano e potenciais de produção de biogás e metano.

O efeito da fração fibrosa foi pronunciado por meio de todos os parâmetros avaliados, sendo que, os substratos que contiveram os menores teores de FDN, FDA e celulose na composição, apresentaram os melhores rendimentos durante a biodigestão anaeróbia. Da mesma forma, o aumento de lignina na composição dos substratos prejudicou sua degradação durante o processo.

Independente dos genótipos e dietas que foram utilizados para a produção dos substratos, ocorreu elevadas reduções dos NMP de coliformes totais e fecais, que foram acima de 99,99%.

Na maioria das propriedades com sistema de criação intensivo de caprinos, a alimentação dos animais consiste na oferta de dietas contendo aproximadamente 40% de concentrado e 60% de volumoso. Neste caso, os dejetos poderiam originar quantidades satisfatórias de biogás, que seriam caracterizadas por menores produções que as observadas em dejetos de caprinos consumindo 60% de concentrado, no entanto superiores as observadas por animais alimentados com 20% de concentrado. Associado a produção de biogás, estaria a qualidade do biogás (concentração de metano) e biofertilizante, seja no conteúdo de minerais de interesse agrônômico ou nos números de coliformes totais e fecais.

### **CAPÍTULO 3 - COMPOSTAGEM DOS DEJETOS DE CABRAS SAANEN E F1 (SAANEN X BOER) ALIMENTADAS COM DIETAS DE DIFERENTES PROPORÇÕES ENTRE VOLUMOSO E CONCENTRADO**

**RESUMO** - A eficiência da compostagem na redução das características poluentes dos dejetos, como material orgânico, microrganismos indicadores de poluição fecal e substâncias tóxicas, entre outros, representa uma alternativa viável para o tratamento e reciclagem dos nutrientes contidos nos dejetos de caprinos. Deste modo, neste trabalho o objetivo foi avaliar a compostagem dos dejetos gerados por cabras Saanen e F1 (Saanen x Boer), alimentadas com três dietas (dieta 1 = 80% volumoso (V) e 20% concentrado (C), dieta 2 = 60% V e 40% C e dieta 3 = 40% V e 60% C). A compostagem foi conduzida por 90 dias e neste período avaliou-se: temperatura, reduções de massa seca, volume e coliformes totais e fecais no material de formação das leiras e no composto e, concentração de nutrientes a cada 30 dias de compostagem. As maiores reduções ( $P < 0,05$ ) das quantidades de massa seca ocorreram em leiras formadas com os dejetos gerados por cabras alimentadas com a dieta 3 (56,22%), em relação aos dejetos gerados quando consumiram as dietas 2 (44,51%) e 1 (40,57%). A maior média da temperatura semanal ocorreu na primeira semana em leiras formadas a partir dos dejetos de cabras que consumiram a dieta 3. As leiras originadas da dieta 1 mantiveram a temperatura superior por mais tempo (50,75° C na terceira semana), em relação às originadas de cabras alimentadas pelas dietas 2 e 3 (45,90 e 42,00° C, respectivamente, no mesmo período). As reduções de coliformes totais e fecais foram de no mínimo 99,99%. As reduções de volume geraram equações quadráticas em todas as condições. As quantidades de N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn e Mn foram maiores ( $P < 0,05$ ) nos compostos obtidos dos substratos oriundos dos dejetos de cabras Saanen e F1, alimentadas com a dieta 3.

**Palavras-chaves:** leiras, microrganismos indicadores de poluição fecal, reciclagem.

### 3.1. INTRODUÇÃO

De toda a biomassa gerada nos sistemas produtivos, uma parcela significativa é composta por dejetos de animais. Estes dejetos são ricos em nutrientes, visto que muitas vezes as dietas são pouco degradadas no organismo animal, o que beneficia e justifica a adoção de técnicas para o aproveitamento destes resíduos. Os nutrientes contidos nos dejetos garantem a sobrevivência e multiplicação dos microrganismos presentes durante a compostagem, permitindo que ocorra a degradação da fração orgânica não estável e, portanto poluente, para formas estabilizadas, como o composto.

A compostagem é uma das técnicas mais antigas empregada no tratamento e reciclagem dos dejetos gerados na produção animal. A facilidade de condução e os baixos custos para o desenvolvimento do processo têm justificado sua adoção. As vantagens da compostagem destacadas por GOMEZ (1998) foram: reciclagem dos elementos com interesse agrônômico, redução do volume inicial de resíduos e degradação de substâncias tóxicas e/ou microrganismos indicadores de poluição fecal.

A compostagem dos dejetos de caprinos foi avaliada durante as quatro estações de ano por AMORIM (2002). Os resultados demonstraram que o processo foi eficiente na redução das características indesejáveis como material orgânico, volume de resíduos e número de coliformes e que o produto final apresentou quantidades consideráveis de nutrientes, sobretudo N, P e K. Estes resultados justificam e suscitam a necessidade de se avaliar a compostagem segundo a alimentação ofertada aos animais, visto que esta variável será determinante na composição dos substratos, sobretudo em animais ruminantes, que recebem proporções distintas de alimentos volumoso e concentrado.

Em estudo conduzido por ATALLAH et al. (1995) foi efetuada a compostagem de dejetos de bovinos de corte alimentados com dietas distintas, o que proporcionou dejetos com diferentes conteúdos de C e N e relação C:N variando entre 26 e 42:1. Os autores verificaram a existência de correlação positiva entre o conteúdo de N, que oscilaram de 1,2 até 3,4%, e as temperaturas alcançadas nas leiras de compostagem, e observaram que os dejetos com maiores conteúdos de C favoreceram a atividade microbiana, e como consequência direta elevaram a mineralização do N.

Com a realização deste trabalho objetivou-se avaliar os efeitos dos genótipos de cabras Saanen e F1 (Saanen x Boer) alimentadas com três dietas, compostas de diferentes proporções entre volumoso e concentrado, sobre a compostagem dos dejetos.

### 3.2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Digestão Anaeróbia do Departamento de Engenharia Rural, utilizando-se os dejetos gerados no Setor de Caprinocultura do Departamento de Zootecnia, ambos pertencentes à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da Universidade Estadual Paulista/Unesp – Câmpus de Jaboticabal, situado em local cujas coordenadas geográficas são: 21°14'05" S; 48°17'09" W e altitude média de 613,68 metros. O período de execução do experimento foi compreendido entre os meses de agosto e novembro do ano de 2003, os dados meteorológicos deste período estão apresentados nos Apêndices 4A e 5A.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Aw com transição para Cwa (VOLPE, 2004, comunicação pessoal). De acordo com as normais (1971-2000) observadas em Jaboticabal, o clima caracteriza-se por ser subtropical úmido, seco no inverno e com chuvas no verão, com precipitação anual de 1.424,6 mm, temperatura média anual de 22,2° C e umidade relativa média anual de 70,8%.

O ensaio foi conduzido com os dejetos provenientes de cabras adultas, Saanen e F1 (Saanen x Boer), com aproximadamente 2 anos de idade, em final de lactação ou secas e com médias de peso de 45,0 e 58,0 quilos, para F1 e Saanen, respectivamente. As dietas empregadas na alimentação das cabras foram compostas por volumoso e concentrado, com as seguintes variações: dieta 1 (d1) = 80% volumoso e 20% concentrado, dieta 2 (d2) = 60% volumoso e 40% concentrado e dieta 3 (d3) = 40% volumoso e 60% concentrado. O fornecimento da alimentação foi em cochos, "ad libitum", em duas refeições diárias, havendo à disposição dos animais água e sal mineral.

O volumoso foi o feno (picado) de Tifton 85 (*Cynodon dactylon*) e o concentrado foi composto por: 53,8% de milho moído, 10,0% de soja grão, 15,0% de farelo de soja, 10,0% de

farelo de algodão, 5,0% de farelo de trigo, 4,2% de núcleo leite e 2,0% de calcário. As dietas foram balanceadas para atender as exigências dos animais segundo recomendações do NRC (1981).

Para a produção dos dejetos foram utilizadas 60 fêmeas, sendo 30 de cada genótipo. Cada grupo de genótipo foi alocado em uma única baia, composta por piso suspenso com ripado de madeira e canaleta de alvenaria para o acúmulo e colheita dos resíduos. A alimentação foi mantida a mesma para ambos os grupos por 20 dias consecutivos, sendo ao final deste período a massa total de dejetos coletada das canaletas e iniciado novo período de alimentação com a dieta subsequente. Os dejetos produzidos nos primeiros cinco dias, após cada troca de alimentação, foram desprezados para diminuir a ocorrência de contaminação da dieta anterior. O esquema representado no Apêndice 2A se refere aos procedimentos realizados desde a colheita dos dejetos nas canaletas, até a formação das leiras nos pátios de compostagem.

Com os dejetos coletados foram confeccionadas três leiras por tratamento (Saanen e F1, alimentadas com as dietas 1, 2 e 3), totalizando 18 unidades. As leiras foram formadas após cada 20 dias de alimentação das cabras, sendo a diferença entre a formação das leiras da dieta 1 e dieta 3 de 60 dias, e conduzidas em área coberta com lona plástica, piso de alvenaria e declividade de 2%. Foram adotadas como medidas: 1,0m para altura e 1,5m para largura, com comprimento dependente da quantidade de material enleirado. Para a formação das leiras a massa de dejetos foi previamente peneirada (peneira com malha de 2 cm).

Diariamente foram monitoradas temperatura e umidade nas leiras, semanalmente efetuadas medição do volume ocupado pelas leiras e pesagens; nesta ocasião foram feitos revolvimentos e retiradas de amostras para avaliação dos conteúdos de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV) e coletadas amostras para quantificação dos teores de C (carbono), N (relação C:N), P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn e Mn, além de colimetria total e fecal no início e final do processo. A fração fibrosa foi fracionada, por meio da quantificação dos teores de FDN (fibra em detergente neutro), FDA (fibra em detergente ácido) e celulose, também foram determinadas as quantidades de lignina e energia bruta no material de formação das leiras e no composto.

Os teores de ST e SV foram determinados segundo metodologia descrita por APHA (1995). O número mais provável (NMP) de coliformes totais e fecais foi avaliado na formação

das leiras e no final da compostagem, por meio da técnica de tubos múltiplos, a partir de metodologia descrita pela APHA (1995). Para a pesagem das leiras, o material foi acondicionado em balde com capacidade para 50 litros, conforme demonstrado no Apêndice 3A, sendo que nesta ocasião já foi possível estimar o volume ocupado por cada leira.

As amostras coletadas durante o desenvolvimento da compostagem foram pré-secadas à 60° C, em estufa de circulação forçada de ar, por 48 horas, com a finalidade de evitar perdas, especialmente de N. Após esta secagem foram finamente moídas, em moinho de facas, e então utilizadas para a determinação dos ST (na temperatura de 105° C), dos SV, do C e para a digestão da matéria orgânica. Para a digestão utilizou-se o digestor Digesdahl Hach, que promove a digestão total da matéria orgânica ao se utilizar ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a 50%.

Com o extrato obtido da digestão sulfúrica foi possível efetuar a determinação dos teores de Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio, Sódio, Ferro, Cobre, Zinco e Manganês, segundo BATAGLIA et al. (1983). O nitrogênio foi determinado conforme metodologia descrita por SILVA (1981). Os teores de fósforo foram determinados pelo método colorimétrico, conforme citado por MALAVOLTA (1989), utilizando-se espectrofotômetro HACH modelo DR-2000. As concentrações de K, Ca, Mg Na, Fe, Cu, Zn e Mn foram determinadas em espectrofotômetro de absorção atômica modelo GBC 932 AA.

A partir das amostras coletadas nas leiras de compostagem foram quantificados os teores de C orgânico, cuja análise fundamenta-se no fato da matéria orgânica oxidável ser atacada pela mistura sulfocrômica, utilizando-se o próprio calor formado pela reação do dicromato de potássio com o ácido sulfúrico como fonte calorífica. O excesso de agente oxidante, que resta deste ataque, é determinado por titulação com sulfato ferroso. O método oferece a vantagem de não oxidar a fração de matéria orgânica não decomponível durante o processo de compostagem (KIEHL, 1985). Os conteúdos de matéria orgânica compostável (MOC), matéria orgânica resistente a compostagem (MORC) e demanda química de oxigênio (DQO) foram estimados conforme proposto por KIEHL (1985).

As determinações dos conteúdos de FDN, FDA, celulose e lignina foram efetuadas conforme metodologias propostas no AOAC (1980). A energia bruta foi determinada em bomba calorimétrica PARR 1821.

Na avaliação dos resultados obtidos no ensaio de compostagem a partir dos dejetos provenientes de cabras adultas, adotaram-se delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial, constando de 6 tratamentos (3 dietas e 2 genótipos) e três repetições (leiras), com comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

### 3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.3.1. Conteúdos de ST, SV, C, N, MOC, MORC e DQO

Conforme os resultados apresentados na Tabela 11 observam-se, que as concentrações de C, N, MOC e DQO aumentaram ( $P < 0,05$ ) com a adição de concentrado na alimentação dos animais. Estes valores devem ser avaliados concomitantemente com os teores de FDN, FDA celulose e lignina. Concomitantemente, verificaram-se concentrações crescentes de FDN (68,64; 63,30; 59,40; 64,70; 61,20 e 58,40% de FDN em substratos provenientes dos dejetos de cabras Saanen e F1, alimentadas com as dietas 1, 2 e 3, respectivamente), FDA (45,00; 40,60; 35,80; 42,80; 40,90 e 36,00% de FDA em substratos preparados com os dejetos de cabras Saanen e F1, alimentadas com as dietas 1, 2 e 3, respectivamente), celulose 26,66; 24,67; 22,67; 26,26; 25,74 e 22,25% de celulose em substratos provenientes dos dejetos de cabras Saanen e F1, alimentadas com as dietas 1, 2 e 3, respectivamente) e lignina (19,90; 15,30; 13,30; 15,30; 14,30 e 12,70% de lignina em substratos preparados com os dejetos de cabras Saanen e F1, alimentadas com as dietas 1, 2 e 3, respectivamente) nos dejetos, à medida que se adicionou volumoso na alimentação das cabras. Apesar de não ter havido influência dos genótipos sobre os conteúdos iniciais de FDN, FDA, celulose e lignina, o efeito das dietas ficou explícito, sendo que suas concentrações foram reduzidas com o acréscimo de concentrado na alimentação dos animais.

É possível observar que o aumento da fração orgânica (C) nos dejetos, provavelmente ocasionada pela adição de concentrado às dietas, refere-se a um material com maior facilidade de degradação durante a compostagem, resultando em maiores reduções de massa seca ( $P < 0,05$ ), médias de 56,2, 44,5 e 40,6% em leiras formadas com os dejetos de cabras

alimentadas com as dietas 3, 2 e 1, respectivamente. Ao contrário do comportamento verificado na biodigestão anaeróbia dos dejetos de cabras Saanen e F1 (CAPÍTULO 2), na compostagem não houve influência do genótipo ( $P>0,05$ ) sobre a redução de massa seca. Este acontecimento pode estar relacionado com as maiores velocidades e intensidades de degradação que ocorrem nos processos aeróbios, em comparação com os anaeróbios. Este fato se dá principalmente pela diferença entre a microbiota presente nos processos, sendo que a presença significativa de fungos em condições aeróbias, auxilia na degradação da fração fibrosa, conferindo assim maiores reduções do material orgânico contido nos dejetos.

Os teores de N no material inicial foram crescentes à medida que ocorreu maior proporção de alimento concentrado nas dietas das cabras, com médias de 1,28%, 1,47% e 1,59% de N (com base nos ST) para os dejetos gerados de cabras alimentadas com as dietas 1, 2 e 3, respectivamente. Observa-se ainda que os dejetos produzidos por cabras Saanen, dentro da mesma dieta, apresentaram teores mais elevados de N ( $P<0,05$ ), em relação aos excretados por cabras F1. Somente para o parâmetro N foi observado efeito do genótipo, que provavelmente possa estar associado com a proporção de urina na massa de dejetos coletada.

Assim como os teores de N observa-se acréscimo dos teores de C ( $P<0,05$ ) à medida que se elevaram os níveis de concentrado nas dietas das cabras, independente do genótipo, com médias de 29,79%, 36,17% e 44,07% de C (com base nos ST) nos dejetos originados de cabras consumindo as dietas 1, 2 e 3, respectivamente, durante a formação das leiras. Não houve efeito ( $P>0,05$ ) dos genótipos sobre as concentrações de C na massa de dejetos enleirada.

Em experimento conduzido por AMORIM (2002) objetivou-se avaliar os efeitos das estações ano sobre a compostagem, a partir dos dejetos gerados por cabras Saanen adultas e foi observado efeito ( $P<0,05$ ) das estações do ano sobre o declínio da relação C/N ao longo do período, com maiores reduções (em média 63,99%) durante o verão e outono. Neste trabalho foram observadas reduções inferiores às de AMORIM (2002), provavelmente devido à compostagem ter sido conduzida durante o inverno. As relações C/N obtidas foram 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 à base de resíduo de extração do óleo de palma e dejetos de cabras, este comportamento provavelmente se deve à utilização de resíduo de origem vegetal, acarretando assim maior proporção de fibras nos substratos.

TABELA 11. Quantidades (em kg) de matéria natural (MN) e ST, % ST e SV, redução da quantidade de ST, teores de C, N, relação C:N, matéria orgânica compostável (MOC) e resistente a compostagem (MORC) e demanda química de oxigênio (DQO), no início, aos 30, 60 e 90 dias de compostagem

	MN (kg)	ST (%)	ST (kg)	Red ST (%)	C (%)	N (%)	C : N	MOC (%)	MORC (%)	DQO (mg/g)	SV (%)
Saanen d1											
Inic.	569,13	27,41	156,00	-	30,42Ac	1,39Ac	21,94	54,76Ac	33,52Aa	811,00 Ac	88,28
30	313,64	34,20	107,26	31,24	21,92	2,17	10,10	39,46	46,42	584,39	85,88
60	243,69	40,70	99,18	36,42	20,34	2,29	8,88	36,61	46,15	542,26	82,76
90	200,44	46,12	92,44	40,74Ac	20,22	2,35	8,60	36,40	44,10	539,07	80,50
F1 d1											
Inic.	395,68	26,1	103,27	-	29,15Ac	1,17Bc	24,91	52,47Ac	37,94Aa	777,14 Ac	90,41
30	214,08	34,4	73,64	28,69	20,79	1,95	10,66	37,42	47,58	554,18	85,00
60	193,91	33,48	64,92	37,14	18,32	2,16	8,48	32,98	50,80	488,54	83,78
90	165,26	37,25	61,56	40,39Ac	18,38	2,00	9,19	33,08	49,29	490,01	82,37
Saanen d2											
Inic.	515,33	25,80	132,96	-	35,46Ab	1,48Ab	23,96	63,83Ab	23,41Ab	945,36Ab	87,24
30	303,21	29,70	90,05	32,27	24,02	2,18	11,02	43,23	36,14	640,32	79,37
60	231,78	34,60	80,20	39,68	21,39	2,31	9,26	38,50	37,85	570,22	76,35
90	181,62	40,40	73,37	44,81Ab	21,02	2,63	7,99	37,84	38,29	560,39	76,13
F1 d2											
Inic.	330,49	31,30	103,44	-	36,88Ab	1,45Bb	25,52	66,38Ab	23,23Ab	983,22Ab	89,61
30	227,39	33,10	75,27	27,24	26,83	2,16	12,42	48,30	34,23	715,40	82,53
60	173,04	36,58	63,30	38,81	22,57	2,46	9,17	40,62	39,83	601,64	80,45
90	143,76	40,15	57,72	44,20Ab	20,58	2,55	8,07	37,04	41,91	548,62	78,95
Saanen d3											
Inic.	547,35	28,30	154,90	-	42,25Aa	1,61Aa	26,22	76,05Aa	13,24Ac	1126,39Aa	89,29
30	265,05	38,70	102,57	33,78	34,99	2,49	14,05	62,98	15,67	932,83	78,65
60	194,25	42,00	81,59	47,33	32,34	2,80	11,55	58,21	17,46	862,18	75,67
90	139,16	48,20	67,08	56,70Aa	30,23	3,78	8,00	54,41	18,25	805,93	72,66
F1 d3											
Inic.	326,89	32,00	104,60	-	43,89Aa	1,56Ba	28,13	79,02Aa	8,72 Ac	1170,11Aa	87,72
30	169,19	41,00	69,37	33,69	38,65	1,89	20,48	69,57	12,30	1030,41	81,87
60	124,63	45,61	56,84	45,66	34,94	2,35	14,87	62,89	15,85	931,50	78,74
90	91,57	50,56	46,30	55,74Aa	31,33	3,56	8,80	56,39	18,22	835,26	74,61

F1= cabras resultantes do cruzamento entre Saanen e Boer, d1, d2 e d3 = dietas 1 (80% volumoso e 20% concentrado), 2 (60% volumoso e 40% concentrado) e 3 (40% volumoso e 60% concentrado), respectivamente.

Na coluna, letras maiúsculas comparam genótipo e letras minúsculas comparam dietas. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

A relação C/N do composto (final) apresentou-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. Estas diferenças provavelmente possam ser atribuídas a qualidade dos substratos, e conseqüentemente à facilidade de degradação visto que, a relação tida como ideal foi estabelecida com base na hierarquia básica de decomposição, preconizada por KIEHL (1985), juntamente com diversos resultados encontrados em experimentos de compostagem, conduzidos, na maioria das vezes, com substratos contendo fontes vegetais (palhadas e/ou restos de culturas). Já as relações C:N obtidas neste experimento e por GORGATI (2001) foram com base em substratos mais facilmente degradáveis do que palhadas e restos de culturas. Por este motivo, justifica-se a partição da fração fibrosa, no intuito de qualificar o carbono presente nos substratos, e não somente quantificar.

As quantidades de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), celulose, lignina e energia bruta, e respectivas reduções em leiras formadas com dejetos de cabras Saanen e F1 (Saanen x Boer) alimentadas com três dietas, estão apresentadas na Tabela 12.

A importância da compostagem na degradação da fração fibrosa e da lignina está demonstrada na Tabela 12. A degradação destes compostos resulta em produtos menos complexos, ou seja, produtos mais disponíveis para as plantas e de menor poder poluente, evidenciado inclusive pelas menores DQO no produto final (composto), em comparação com a inicial. Verifica-se que houve degradação de lignina durante o processo, o que não ocorreu na biodigestão anaeróbia, comprovando a maior eficiência dos processos aeróbios na degradação do material orgânico, em relação aos anaeróbios.

As maiores reduções ( $P < 0,05$ ) da fração fibrosa, lignina e energia bruta ocorreram em leiras formadas com dejetos de cabras Saanen, sobretudo quando alimentadas com a dieta 3 (60% de concentrado). Provavelmente este comportamento, assim como discutido anteriormente, esteja associado à presença de nutrientes e a qualidade da matéria orgânica dos substratos.

TABELA 12. Quantidades de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), celulose, lignina e energia bruta e respectivas reduções durante a compostagem, em leiras formadas com dejetos de cabras Saanen e F1 (Saanen x Boer) alimentadas com três dietas

Fração	Período	Saanen			F1 (Boer x Saanen)		
		dieta 1	dieta 2	dieta 3	dieta 1	dieta 2	dieta 3
FDN (kg)	Formação	107,07	84,16	92,01	66,82	63,31	61,09
	Final	54,45	34,92	35,53	36,94	31,40	24,31
	Red (%)	49,15 Ac	58,50 Ab	61,39 Aa	44,72 Bc	50,40 Bb	60,21 Ba
FDA (kg)	Formação	64,35	47,07	46,52	40,44	36,25	33,34
	Final	41,14	27,73	23,46	27,64	22,28	15,56
	Red (%)	36,07 Ac	41,08 Ab	49,57 Aa	31,65 Bc	38,53 Bb	53,33 Ba
Celulose (kg)	Formação	40,58	29,16	31,42	25,42	22,07	20,79
	Final	14,90	8,42	9,02	11,63	7,87	6,31
	Red (%)	63,28 Ac	71,11 Ab	71,30 Aa	54,25 Bc	64,35 Bb	69,67 Ba
Lignina (kg)	Formação	31,04	20,34	20,60	15,80	14,79	13,28
	Final	24,69	15,78	15,32	13,03	11,74	10,11
	Red (%)	20,47 Ac	22,43 Ab	25,62 Aa	17,53 Bc	20,63 Bb	23,89 Ba
En. bruta (Kcal/kg)	Formação	3835,28	3747,82	3738,94	4034,43	3918,65	3735,78
	Final	3576,46	3257,76	3189,37	3631,40	3442,16	3241,86
	Red (%)	6,75 Ac	13,08 Ab	14,70 Aa	9,99 Bc	12,16 Bb	13,22 Ba

F1= cabras resultantes do cruzamento entre Saanen e Boer, d1, d2 e d3 = dietas 1 (80% volumoso e 20% concentrado), 2 (60% volumoso e 40% concentrado) e 3 (40% volumoso e 60% concentrado), respectivamente.

Na linha, letras maiúsculas comparam genótipo e letras minúsculas comparam dietas. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

THAMBIRAJAH et al. (1995) efetuaram a compostagem dos dejetos de caprinos juntamente com resíduos do processamento de frutas, na proporção de 25:90kg, respectivamente. Os autores verificaram declínio nos conteúdos de celulose (de 43 para 18%) e carbono (de 47 para 39%) e concentração nos teores de nitrogênio (1,3 para 2,5%) e lignina (29 para 33%). O comportamento apresentado neste trabalho foi semelhante, no entanto observou-se que houve degradação da lignina (mínimo de 17,53%), ao contrário do observado pelos autores, fato que pode estar associado à utilização de resíduo vegetal como parte do substrato para a compostagem.

Ao comparar-se a composição da fração fibrosa dos substratos iniciais da biodigestão anaeróbia e da compostagem verificam-se menores teores de FDN, FDA e celulose no material de formação das leiras, em relação ao utilizado na preparação dos substratos de alimentação dos biodigestores, independente do genótipo ou da dieta. Provavelmente este acontecimento se deva ao período de estocagem dos resíduos nas canaletas de colheita, visto que o material de formação das leiras permaneceu nestas canaletas por vários dias, já o empregado na biodigestão foi coletado dentro de 24 horas após a excreção.

### 3.3.2. Temperatura

De acordo com os resultados (Tabela 13) obtidos é possível se observar que a maior média da temperatura semanal ocorreu na primeira semana para as leiras formadas a partir dos dejetos de cabras que consumiram a dieta 3, enquanto este comportamento foi observado somente na segunda semana quando o substrato utilizado foi o resultante dos dejetos de cabras que consumiram as dietas 1 e 2. Verifica-se ainda que nas leiras originadas da dieta 1 ocorreram temperatura superior por mais tempo (média de 50,75° C na terceira semana), em relação às originadas de cabras alimentadas pelas dietas 2 e 3 (médias de 45,90 e 40,00° C, respectivamente, no mesmo período).

Estes resultados provavelmente estejam associados aos menores conteúdos de fibras em detergente neutro e ácido (FDN e FDA) nas leiras formadas com os dejetos de cabras que consumiram a dieta 3, que por apresentarem matéria orgânica com maior facilidade de degradação, promoveram elevação da temperatura mais rapidamente (Figuras 5 e 6), visto que a maximização da temperatura é decorrente de maiores taxas de degradação ocorridas nas leiras.

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 somente 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 a para formação das leiras.

TABELA 13. Temperaturas médias semanais das leiras de compostagem formadas com dejetos de cabras adultas, Saanen e F1 (Saanen x Boer), alimentadas com três dietas, com variação na proporção entre volumoso e concentrado

Semanas	Saanen d1	Saanen d2	Saanen d3	F1 d1	F1 d2	F1 d3
1	48,1	46,4	54,3	45,9	53,8	53,2
2	58,7	57,0	53,0	55,1	54,0	50,1
3	53,5	46,1	43,4	48,0	45,7	36,6
4	36,2	33,9	31,6	33,6	35,5	31,6
5	21,9	26,2	31,0	21,4	32,1	25,0
6	19,2	25,3	25,8	19,3	31,0	22,8
7	18,7	22,8	23,0	19,7	23,9	22,0
8	21,0	21,8	19,9	20,8	20,6	20,3
9	20,4	21,9	21,2	20,4	20,6	20,8
10	20,6	19,4	19,5	20,1	20,9	19,8
11	21,0	21,3	21,3	21,0	20,2	21,2
12	20,1	21,6	21,1	21,0	20,9	20,9

F1= cabras resultantes do cruzamento entre Saanen e Boer, d1, d2 e d3 = dietas 1 (80% volumoso e 20% concentrado), 2 (60% volumoso e 40% concentrado) e 3 (40% volumoso e 60% concentrado), respectivamente.

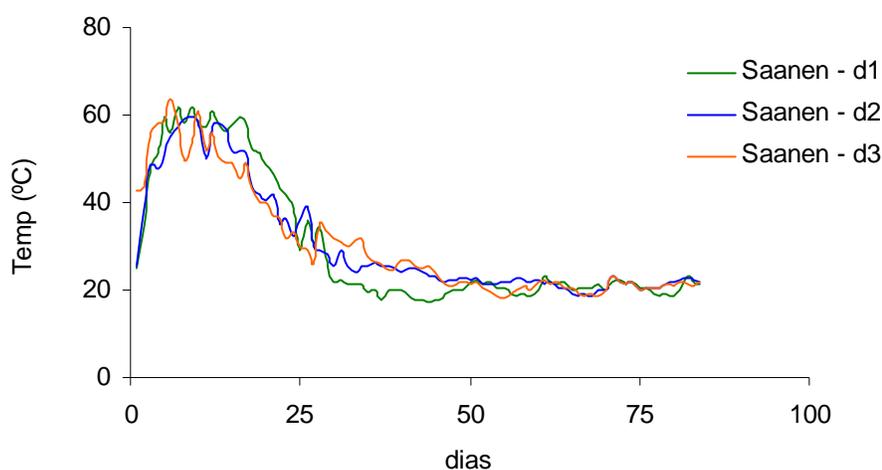


FIGURA 5. Temperaturas médias diárias das leiras de compostagem formadas a partir dos dejetos de cabras Saanen (S) alimentadas com três dietas com variação na proporção entre volumoso e concentrado.

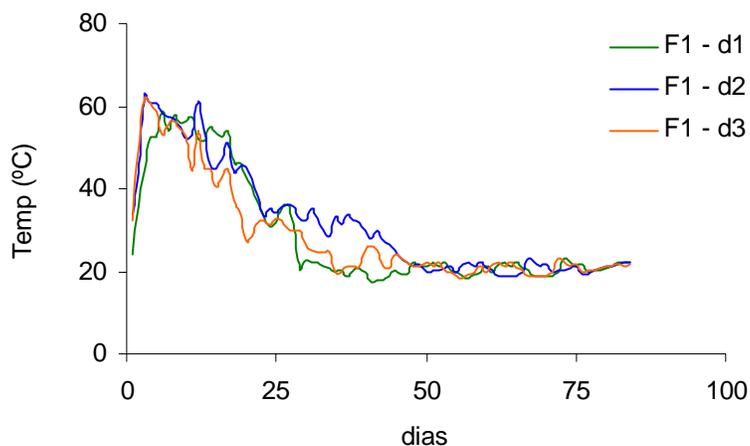


FIGURA 6. Temperaturas médias diárias das leiras de compostagem formadas a partir dos dejetos de cabras F1 (Saanen x Boer) alimentadas com três dietas com variação na proporção entre volumoso e concentrado.

Independente do material utilizado como substrato para o processo de compostagem, verificou-se que a temperatura no interior das leiras manteve-se acima de 55° C por mais de três dias consecutivos, conforme recomendado pela US EPA (2005), conferindo assim o sucesso deste processo na diminuição ou eliminação de microrganismos indicadores de poluição fecal, conforme apresentado na Tabela 14.

### 3.3.3. Coliformes totais e fecais

Não foi observado efeito das dietas e genótipos ( $P > 0,05$ ) sobre a redução dos números mais prováveis de coliformes totais e fecais (Tabela 14) durante a compostagem dos dejetos de cabras Saanen e F1 alimentadas com três dietas. Os valores de coliformes totais e fecais encontrados no material de formação das leiras e no produto final demonstram a importância e a eficiência do processo de compostagem na redução de microrganismos indicadores de poluição fecal. Esta eficiência pode ser atribuída principalmente a temperatura, que ao atingir valores acima de 45° C, passa a ser fator limitante para a sobrevivência destes microrganismos.

ORRICO JR. et al. (2004) verificaram reduções significativas do NMP de coliformes totais e fecais durante a compostagem de cama de frangos + carcaças de aves, demonstrando que houve eficiência do processo na remoção de coliformes, sobretudo fecais, durante o período de enleiramento. As reduções observadas foram de aproximadamente 100,0%, com números mais prováveis de  $1,1 \times 10^8$  de coliformes totais e fecais/grama de material, no início do processo, e 3,0 coliformes totais e fecais /grama de composto.

TABELA 14. Números mais prováveis (NMP) de coliformes totais e fecais no material de formação e do produto final das leiras de compostagem formadas a partir dos dejetos de cabras adultas, Saanen e F1 (Saanen x Boer), alimentadas com três dietas, com variação na proporção entre volumoso e concentrado.

	Saanen d1	Saanen d2	Saanen d3	F1 d1	F1 d2	F1 d3
Coliformes totais (NMP/grama)						
Formação	$5,8 \times 10^8$	$2,9 \times 10^7$	$2,4 \times 10^8$	$9,3 \times 10^8$	$2,4 \times 10^{10}$	$2,4 \times 10^9$
Final	$5,3 \times 10$	$4,7 \times 10^2$	$1,3 \times 10^2$	$8,3 \times 10$	$3,3 \times 10^2$	$2,4 \times 10^2$
Redução (%)	100,00 Aa	99,99 Aa	99,99 Aa	100,00 Aa	99,99 Aa	99,99 Aa
Coliformes fecais (NMP/grama)						
Formação	$5,8 \times 10^8$	$2,9 \times 10^7$	$2,4 \times 10^8$	$9,3 \times 10^8$	$4,9 \times 10^9$	$1,8 \times 10^9$
Final	$5,1 \times 10$	$2,3 \times 10^2$	$0,6 \times 10$	$7,0 \times 10$	$2,2 \times 10^2$	$1,6 \times 10$
Redução (%)	100,00 Aa	99,99 Aa	99,99 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa

F1= cabras resultantes do cruzamento entre Saanen e Boer,

d1, d2 e d3 = dietas 1 (80% volumoso e 20% concentrado), 2 (60% volumoso e 40% concentrado) e 3 (40% volumoso e 60% concentrado), respectivamente.

Na linha, letras maiúsculas comparam genótipo e letras minúsculas comparam dietas. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

### 3.3.4. Volume

Os resultados observados para a redução do volume ocupado por leiras de compostagem formadas a partir dos dejetos de cabras adultas, Saanen e F1 (Saanen x Boer), alimentadas com três dietas, com variação na proporção entre volumoso e concentrado, estão representados na Figura 7.

Segundo as tendências (Figura 7) de redução de volume observadas nota-se que o comportamento foi semelhante para todas as situações, independente do substrato que originou as leiras ou mesmo do volume ocupado. No entanto a redução total de volume diferiu ( $P < 0,05$ ) segundo os genótipos e dietas avaliadas, sendo de 47,25; 52,68; e 70,28% para as leiras originadas dos dejetos de cabras Saanen alimentadas com as dietas 1, 2 e 3, respectivamente e de 41,94; 45,16 e 67,95% em leiras que tiveram como substrato os dejetos produzidos por cabras F1 alimentadas com as dietas 1, 2 e 3, respectivamente. AMORIM (2002) observou reduções de volume semelhantes, que foram de 64,0 e 50,6% em leiras conduzidas nas estação de verão - outono e inverno - primavera, respectivamente.

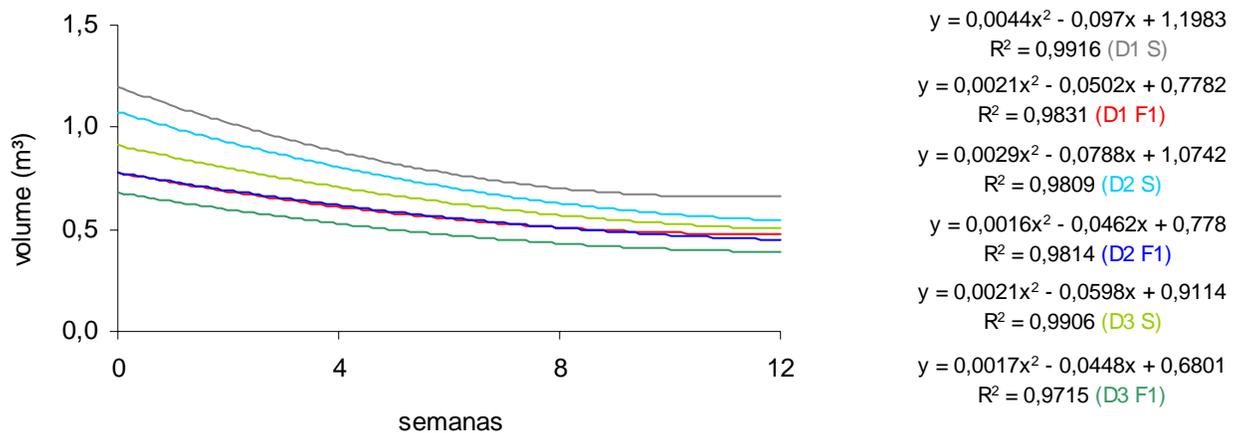


FIGURA 7. Tendências e equações de reduções de volume em leiras de compostagem manejadas a partir dos dejetos de cabras adultas, Saanen e F1 (Saanen x Boer), alimentadas com três dietas, variando a proporção entre volumoso e concentrado.

As equações que estimam a redução de volume considerando o período de formação das leiras são valiosas para o planejamento de áreas destinadas a compostagem, com subsequente melhoria de utilização do espaço.

### 3.3.5. Teores de macro e micronutrientes

O efeito dos genótipos e das dietas na concentração de nutrientes (Tabelas 15 e 16) durante a compostagem dos dejetos de cabras Saanen e F1, alimentadas com três dietas foi idêntico ao comportamento da redução de massa seca verificada no processo.

Observa-se que independente do nutriente avaliado, macro ou micro e do tratamento empregado, cabras Saanen ou F1, alimentadas pelas dietas 1, 2 e 3, houve elevada correspondência entre as reduções de massa seca obtidas com a compostagem e a concentração de nutrientes. Esta ocorrência revela os cuidados adotados durante a compostagem, como evitar que as leiras tomassem chuvas ou ficassem excessivamente úmidas e assim favorecessem a formação de chorume com conseqüente escoamento superficial e/ou lixiviação de nutrientes.

Este comportamento não foi observado por AMORIM (2002) quando conduziu leiras de compostagem a partir dos dejetos de caprinos, notando inclusive redução nos teores de nutrientes do composto em relação o material inicial. As maiores reduções encontradas foram nas concentrações de P, Ca e Na (59,3, 54,6 e 57,8%, respectivamente) em leiras conduzidas durante o verão, com relação as demais estações. A autora associou este comportamento com a formação de chorume no período inicial de compostagem, pois HSU e LO (2001) promoveram o acompanhamento da solubilidade (em água) de C, Cu, Zn e Mn, em leiras formadas com dejetos de suínos e conduzidas por 120 dias e verificaram que a solubilização máxima dos nutrientes avaliados, ocorreu aos 20 dias de enleiramento, com valores significativos até aproximadamente 40 dias, favorecendo assim a perda de nutrientes durante o processo.

EGHBALL et al. (1997) avaliaram 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 15. Teores de macronutrientes (% dos ST) em leiras formadas a partir de dejetos de cabras Saanen e F1, alimentadas por dietas com variação na proporção entre volumoso e concentrado, no início, aos 30, 60 e 90 dias de formação.

Tratamento	Período	% dos ST				
		P	Ca	Mg	Na	K
Saanen d1	Inicial	0,481	0,579	0,328	0,356	0,956
	30 dias	0,606	0,620	0,435	0,418	1,349
	60 dias	0,785	0,853	0,509	0,446	1,597
	Final	0,814	0,983	0,534	0,586	1,602
	Varição (%)	40,9 Ac	41,1 Ac	38,6 Ac	39,2 Ac	40,3 Ac
F1 d1	Inicial	0,351	0,466	0,298	0,227	0,800
	30 dias	0,540	0,571	0,357	0,265	1,148
	60 dias	0,553	0,601	0,434	0,298	1,346
	Final	0,597	0,753	0,497	0,384	1,354
	Varição (%)	41,3 Ac	38,1 Ac	40,0 Ac	40,9 Ac	40,9 Ac
Saanen d2	Inicial	0,580	0,865	0,334	0,425	0,983
	30 dias	0,835	0,936	0,560	0,639	1,206
	60 dias	0,847	1,125	0,560	0,712	1,588
	Final	0,992	1,530	0,584	0,753	1,730
	Varição (%)	41,5 Ab	43,5 Ab	42,8 Ab	43,6 Ab	43,2 Ab
F1 d2	Inicial	0,444	0,602	0,306	0,205	0,815
	30 dias	0,684	0,725	0,461	0,246	1,122
	60 dias	0,680	0,899	0,508	0,278	1,296
	Final	0,789	1,089	0,531	0,353	1,406
	Varição (%)	43,7 Ab	44,7 Ab	42,4 Ab	41,9 Ab	42,0 Ab
Saanen d3	Inicial	0,777	0,902	0,456	0,297	1,124
	30 dias	1,017	1,210	0,715	0,483	1,665
	60 dias	1,056	1,363	0,832	0,535	1,718
	Final	1,626	1,984	1,032	0,685	2,336
	Varição (%)	52,2 Aa	54,5 Aa	55,8 Aa	56,6 Aa	51,9 Aa
F1 d3	Inicial	0,582	0,790	0,442	0,194	0,884
	30 dias	0,856	1,199	0,681	0,292	1,327
	60 dias	0,862	1,380	0,706	0,324	1,514
	Final	1,354	1,783	0,971	0,472	1,913
	Varição (%)	57,0 Aa	55,7 Aa	54,5 Aa	58,9 Aa	53,8 Aa

F1= cabras resultantes do cruzamento entre Saanen e Boer,

d1, d2 e d3 = dietas 1 (80% volumoso e 20% concentrado), 2 (60% volumoso e 40% concentrado) e 3 (40% volumoso e 60% concentrado), respectivamente.

Na comluna, letras maiúsculas comparam genótipo e letras minúsculas comparam dietas. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

TABELA 16. Teores de micronutrientes (mg/100g de ST) em leiras formadas a partir de dejetos de cabras Saanen e F1, alimentadas por dietas com variação na proporção entre volumoso e concentrado, no início, aos 30, 60 e 90 dias de formação

Tratamento	Período	mg/ 100g de ST			
		Fe	Cu	Zn	Mn
Saanen d1	Inicial	114,56	4,288	18,143	28,620
	30 dias	115,13	4,356	22,415	35,085
	60 dias	186,90	5,933	28,000	42,723
	Final	193,50	7,261	31,005	48,871
	Variação (%)	40,8 Ac	40,9 Ac	41,5 Ac	41,4 Ac
F1 d1	Inicial	102,60	2,389	11,843	26,413
	30 dias	136,20	3,530	15,042	33,625
	60 dias	161,30	3,897	17,852	38,415
	Final	173,90	4,065	19,843	43,568
	Variação (%)	41,0 Ac	41,2 Ac	40,3 Ac	39,4 Ac
Saanen d2	Inicial	135,64	5,680	28,631	29,400
	30 dias	166,66	8,034	38,854	40,892
	60 dias	191,42	9,515	43,485	49,069
	Final	230,15	9,711	51,656	51,032
	Variação (%)	41,1 Ab	41,5 Ab	44,6 Ab	42,4 Ab
F1 d2	Inicial	111,83	2,958	10,899	28,140
	30 dias	132,45	3,708	15,916	35,196
	60 dias	156,14	4,431	18,128	41,963
	Final	189,36	5,103	19,286	50,210
	Variação (%)	40,9 Ab	42,0 Ab	43,5 Ab	44,0 Ab
Saanen d3	Inicial	107,84	6,689	27,964	33,030
	30 dias	153,62	8,713	33,751	46,253
	60 dias	173,11	11,360	37,772	54,369
	Final	250,69	14,125	58,247	72,417
	Variação (%)	57,0 Aa	52,6 Aa	52,0 Aa	54,4 Aa
F1 d3	Inicial	82,56	4,048	16,472	30,870
	30 dias	120,89	5,593	22,602	45,314
	60 dias	140,25	6,468	33,412	52,499
	Final	194,55	9,506	35,817	65,412
	Variação (%)	57,6 Aa	57,4 Aa	54,0 Aa	52,8 Aa

F1= cabras resultantes do cruzamento entre Saanen e Boer, d1, d2 e d3 = dietas 1 (80% volumoso e 20% concentrado), 2 (60% volumoso e 40% concentrado) e 3 (40% volumoso e 60% concentrado), respectivamente.

Na coluna, letras maiúsculas comparam genótipo e letras minúsculas comparam dietas. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

### 3.4. CONCLUSÕES

Com exceção dos conteúdos de N, não foi observado efeito dos genótipos sobre os demais parâmetros avaliados. No entanto, as dietas apresentaram efeito sobre as reduções de massa seca e volume, manutenção de temperatura das leiras na faixa termofílica e concentração das quantidades de N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn e Mn no composto.

Nos dejetos produzidos por cabras Saanen e F1 alimentadas com a dieta 3 (60% de concentrado), foram verificadas as menores concentrações de FDN, FDA, celulose e lignina, na ocasião de formação das leiras de compostagem. Consequentemente, nas leiras confeccionadas a partir destes substratos ocorreram as maiores reduções de massa, volume e dos conteúdos de FDN, FDA e celulose, verificando-se inclusive, reduções significativas de lignina durante a compostagem dos dejetos.

Independente do genótipo ou das dietas, a compostagem se mostrou eficiente na redução de microrganismos indicadores de contaminação fecal, permitindo a obtenção de compostos com números inferiores a 470 e 227 coliformes totais e fecais por grama de composto, respectivamente.

Com base na evolução da compostagem, demonstrada principalmente pelos valores de relação C:N e temperaturas, em futuros experimentos, ou mesmo em condições práticas, o período de enleiramento dos dejetos poderia ser limitado para no máximo 60 dias.

#### **CAPÍTULO 4 - CARACTERIZAÇÃO DOS DEJETOS E DESEMPENHO DE CABRITOS SAANEN NA FASE DE ENGORDA E ALIMENTADOS COM DIETAS DE DIFERENTES PROPORÇÕES ENTRE VOLUMOSO E CONCENTRADO**

**RESUMO** - Estudos têm sido efetuados no intuito de promover melhorias no aproveitamento dos alimentos pelos animais e assim diminuir as quantidades excretadas e as perdas de nutrientes, favorecendo o ganho de peso e diminuindo a idade de abate. O presente trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar o desempenho e as características dos dejetos produzidos por cabritos Saanen dos 90 aos 150 dias de idade e alimentados com três dietas (d1, d2 e d3 = dietas 1 (80% volumoso (V) e 20% concentrado (C)), 2 (60% V e 40% C) e 3 (40% V e 60% C), respectivamente). Para tanto foram avaliados 9 cabritos (dividido em três grupos, conforme as dietas) durante a fase de engorda, efetuando-se a colheita dos dejetos aos 90, 120 e 150 dias de idade para quantificação das massas de fezes e urina produzidas diariamente, além dos conteúdos de N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn e Mn. Os animais foram pesados semanalmente e durante os períodos de colheita dos dejetos avaliaram-se as digestibilidades da MS, PB e FDN, além da estimativa da conversão alimentar e coeficiente de resíduo. Os melhores resultados de conversão alimentar, coeficiente de resíduo e das digestibilidades aparentes da MS, PB e FDN ocorreram na idade de 150 dias e em animais alimentados com dietas contendo maiores proporções de concentrado. Na medida em que aumentou a idade dos animais e o nível de concentrado nas dietas foram verificadas as maiores ( $P < 0,05$ ) produções de fezes. Todos os nutrientes avaliados foram igualmente influenciados, sendo que as maiores ( $P < 0,05$ ) concentrações ocorreram nas fezes de animais aos 150 dias de idade e alimentados com a dieta 3, já as menores ( $P < 0,05$ ) quantidades foram excretadas por animais aos 90 dias de idade e alimentados com a dieta 1.

**Palavras chave:** digestibilidade, coeficiente de resíduo, fezes, nutrientes, urina.

#### 4.1. INTRODUÇÃO

A raça Saanen é a mais difundida no Brasil, caracterizando-se pela elevada capacidade de produção de leite, por ser altamente fértil, prolífera e de boa adaptabilidade às condições ambientais do país. Atualmente o estado de São Paulo responde pelas mais expressivas produções de leite de cabra, com rebanhos de animais puros das raças Saanen e Alpina, onde muitas vezes, os machos são descartados logo após o nascimento. Contrastando com essa realidade, existe uma procura significativa pela carne de caprinos. Este fato justifica a implantação de sistemas que utilizem os cabritos para a produção de carne, possibilitando inclusive a agregação de valor na produção de leite.

Apesar da raça Saanen ser reconhecida pela sua especialidade leiteira, o ganho de peso em cabritos pode ser altamente significativo, se igualando à animais da raça Boer, por exemplo. CORREIA (2001) verificou ganhos de peso de até 204 g/dia em cabritas Saanen, desde o desmame até 196 dias de idade.

Durante o período de engorda dos animais a produção de dejetos é uma importante medida para determinar o aproveitamento dos alimentos, que conseqüentemente será revertido no ganho de peso. Conforme observado por AMORIM (2002) a quantidade e qualidade dos dejetos produzidos por caprinos são dependentes da ingestão de alimentos, que geralmente varia em função da qualidade da alimentação e da idade do animal. Durante o experimento conduzido por esse autor foi verificado que o acréscimo de idade, juntamente com o aumento de concentrado na alimentação de cabras Saanen proporcionou a produção de maiores quantidades de dejetos, com maiores proporções de nutrientes na composição.

Sendo assim, o acompanhamento do desenvolvimento dos animais durante a fase de engorda, juntamente com a quantidade e qualidade dos dejetos produzidos se mostra como uma importante ferramenta para a implantação de sistemas produtivos sustentáveis, com conseqüente redução do impacto ambiental. A eficiência de aproveitamento dos alimentos pelos animais também pode ser medida ao se calcular o coeficiente de resíduo (CR), que é a relação entre a quantidade de dejetos produzida e a quantidade de produtos gerada (kg de carne).

Este trabalho foi conduzido com o objetivo de caracterizar os dejetos e o desempenho de cabritos Saanen durante a fase de engorda e alimentados com dietas contendo diferentes proporções entre volumoso e concentrado.

## 4.2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Digestão Anaeróbia do Departamento de Engenharia Rural, utilizando-se os dejetos gerados no Setor de Caprinocultura do Departamento de Zootecnia, ambos pertencentes à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da Universidade Estadual Paulista/Unesp – Campus de Jaboticabal, situado em local cujas coordenadas geográficas são: 21°14'05" S; 48°17'09" W e altitude média de 613,68 metros.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Aw com transição para Cwa (VOLPE, 2004, comunicação pessoal). De acordo com as normais (1971-2000) observadas em Jaboticabal, o clima caracteriza-se por ser subtropical úmido, seco no inverno e com chuvas no verão, com precipitação anual de 1.424,6 mm, temperatura média anual de 22,2° C e umidade relativa média anual de 70,8%.

Para avaliação do desempenho e caracterização dos dejetos foram utilizados 9 cabritos, castrados, da raça Saanen, alimentados com três dietas (com variação nas proporções entre volumoso e concentrado) e avaliados nas idades de 90, 120 e 150 dias de idade, período que correspondeu de 30 dias após o desmame até a ocasião usual de abate. O peso médio inicial foi de  $\pm$  15,0 kg. Os animais foram desmamados aos 60 dias de idade, com peso médio de 11,0 kg.

As dietas empregadas na alimentação dos cabritos foram compostas por volumoso e concentrado nas seguintes proporções: dieta 1 (d1) = 80% volumoso e 20% concentrado, dieta 2 (d2) = 60% volumoso e 40% concentrado e dieta 3 (d3) = 40% volumoso e 60% concentrado. O fornecimento da alimentação foi em cochos, *ad libitum*, em duas refeições diárias, havendo à disposição dos animais água e sal mineral.

A fonte de volumoso foi o feno picado de Tifton 85 (*Cynodon dactylon*) e o concentrado foi composto por: 53,8% de milho moído, 10,0% de soja grão, 15,0% de farelo de soja, 10,0% de farelo de algodão, 5,0% de farelo de trigo, 4,2% de núcleo leite e 2,0% de calcário. As dietas (Tabela 17) foram balanceadas para atender as exigências dos animais segundo recomendações do NRC (1981).

Com os dados obtidos estimou-se o coeficiente de resíduo, ou seja, a relação entre quantidade de fezes produzidas por animal, considerando-se o ganho de peso durante o

mesmo período, avaliando também o ganho de peso, conversão alimentar e digestibilidades aparentes da matéria seca (MS), proteína bruta (PB) e fibra em detergente neutro (FDN).

TABELA 17. Composição bromatológica das dietas durante o período em que se coletaram dejetos dos animais

Dietas	MS	% da MS							EB (MJ/kg)
		PB	EE	FDN	FDA	MM	Ca	P	
1	91,2	13,4	0,91	64,19	36,81	5,96	0,40	0,32	15,96
2	89,6	16,2	0,96	52,03	24,86	6,11	0,58	0,46	15,99
3	89,1	17,6	1,06	39,87	20,32	6,38	0,78	0,55	16,02

MS = matéria seca, PB = proteína bruta, EE = extrato etéreo, FDN = fibra em detergente neutro, FDA = fibra em detergente ácido, MM = matéria mineral, Ca = cálcio, P = fósforo e EB = energia bruta.

Para a colheita dos dejetos os animais foram alojados em gaiolas metabólicas individuais, com separação de urina e fezes. Os primeiros sete dias foram destinados à adaptação dos animais nas gaiolas metabólicas, e nos cinco dias subseqüentes efetuou-se a colheita de fezes e urina. Durante a fase de adaptação foram fornecidas as dietas contendo diferentes proporções entre volumoso e concentrado, no entanto não se efetuou a colheita dos dejetos. No período de colheita, foram quantificadas e amostradas diariamente as fezes e urina produzidas, alimento ofertado e sobras.

Nos períodos entre colheitas os cabritos permaneceram em baias coletivas compostas por uma área de piso concretado e outra por ripado suspenso (7,0 x 5,0m), coberto com telhas de zinco, dispondo de dois cochos de madeira (3,0 x 0,30 x 0,25m) e dois bebedouros automáticos. Os animais foram separados por dietas, correspondendo a três animais por baia, portanto em todo o período experimental a alimentação foi mantida, sendo possível avaliar a interferência das dietas sobre o ganho de peso. Os animais foram pesados semanalmente.

As fezes coletadas durante o período de permanência dos animais nas gaiolas foram pré-secadas à 60° C, em estufa de circulação forçada de ar, por 48 horas, com a finalidade de evitar perdas, especialmente de N. Após esta secagem foram finamente moídas, em moinho de facas, e então utilizadas para a determinação segunda matéria seca, da matéria mineral, digestão sulfúrica e análise das frações avaliadas na digestibilidade (MS, PB e FDN). A urina foi

digerida “in natura”. Com o extrato resultante da digestão sulfúrica foram quantificados os teores de N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn e Mn.

Para a digestão utilizou-se o 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 da digestão sulfúrica foi possível efetuar a determinação dos teores de Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio, Sódio, Ferro, Cobre, Zinco e Manganês, segundo BATAGLIA et al. (1983). O nitrogênio foi determinado conforme metodologia descrita por SILVA (1981). Os teores de fósforo foram determinados pelo método colorimétrico utilizando-se espectrofotômetro HACH modelo DR-2000, citado em MALAVOLTA (1989). As concentrações de K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn e Mn foram determinadas em espectrofotômetro de absorção atômica modelo GBC 932 AA.

As determinações da matéria seca e mineral e dos conteúdos de fibras em detergente neutro e ácido, celulose e lignina foram efetuadas conforme metodologias propostas no AOAC (1980). A energia bruta foi determinada em bomba calorimétrica PARR 1821.

Para comparar os tratamentos empregados no ensaio de desempenho e caracterização dos resíduos gerados por cabritos durante fase de engorda, adotou-se delineamento inteiramente casualizado, em parcela subdividida, constando de três tratamentos primários (dietas), três tratamentos secundários (idades) e três repetições (animais), com comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

### **4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **4.3.1 Ganho de peso, conversão alimentar, coeficiente de resíduo e digestibilidades aparentes da MS, PB e FDN**

Os resultados apresentados na Tabela 18 demonstraram melhorias ( $P < 0,05$ ) na conversão alimentar, no coeficiente de resíduo e nas digestibilidades aparentes da MS, PB e FDN, conforme os animais adquiriram idade e foram alimentados com dietas contendo maiores proporções de concentrado.

TABELA 18. Peso vivo, conversão alimentar (CA), coeficiente de resíduo (CR) e digestibilidades aparentes da matéria seca e proteína bruta em cabritos Saanen aos 90, 120 e 150 dias de idade e alimentados com três dietas

Idade	90 dias			120 dias			150 dias			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Peso vivo (kg)	15,70	16,37	15,53	17,74	19,22	19,16	19,87	22,63	24,14	
CA	7,82 Cc	6,95 Cb	6,14 Ca	7,06 Bc	6,49 Bb	5,42 Ba	6,86 Ac	5,71 Ab	4,68 Aa	
CR	3,77 Cc	2,91 Cb	2,35 Ca	2,91 Bc	2,24 Bb	1,91 Ba	2,86 Ac	2,10 Ab	1,70 Aa	
MS	CMS (% PV)	2,39	2,89	3,36	3,12	3,21	3,42	2,45	2,58	3,21
	CMS (g/UTM)	49,58	66,29	66,51	65,64	63,52	73,36	54,62	61,58	75,52
	Digestibil (%)	52,11Cc	58,34Cb	66,22Ca	59,60Bc	63,93Bb	67,81Ba	60,47Ac	64,22Ab	68,06Aa
PB	CPB (% PV)	0,44	0,49	0,62	0,44	0,56	0,69	0,43	0,54	0,68
	CPB (g/UTM)	8,72	10,27	12,24	8,77	11,43	14,25	9,20	12,71	15,63
	Digestibil (%)	72,59Cc	75,44Cb	77,74Ca	74,55Bc	78,37Bb	80,79Ba	76,03Ac	79,38Ab	83,41Aa
FDN	CFDN (% PV)	1,43	1,33	1,27	1,89	1,34	1,17	1,40	0,99	0,98
	CFDN (g/UTM)	28,59	26,87	25,04	39,26	27,15	23,77	29,80	20,07	19,00
	Digestibil (%)	42,13 Cc	44,49 Cb	49,97 Ca	46,97 Bc	48,42 Bb	52,09 Ba	49,91 Ac	51,87 Ab	54,41 Aa

CMS: consumo de matéria seca, CPB: consumo de proteína bruta e CFDN: consumo de fibra em detergente neutro.

Na linha, letras maiúsculas comparam idade e letras minúsculas comparam dietas. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Fica evidenciado o efeito benéfico do acréscimo de idade dos animais sobre os parâmetros conversão alimentar, coeficiente de resíduo e digestibilidades aparentes da matéria seca, proteína bruta e FDN. Segundo TEIXEIRA (2004) o crescimento animal se reflete em maiores exigências nutricionais, o que associado a maior capacidade de digestão dos alimentos e melhor aproveitamento de seus nutrientes, resultarão na redução do impacto ambiental, com diminuição do coeficiente de resíduo.

Em relação à influência das dietas sobre os parâmetros avaliados, verifica-se que a dieta 3 proporcionou melhores ( $P < 0,05$ ) conversões alimentares, o que ocasionou menores coeficientes de resíduos, e ambos contribuíram para as maiores digestibilidades aparentes da matéria seca, proteína bruta e FDN. Este fato é particularmente significativo em trabalhos na área de manejo dos resíduos, pois se verificou que os melhores índices foram obtidos nesta condição de alimentação e que apesar das maiores quantidades de dejetos ( $P < 0,05$ ) (Tabela

19) terem sido produzidas por estes animais, houve maior ganho de peso e aproveitamento das dietas.

A qualidade das dietas também pode ser ressaltada observando-se os valores de consumo e digestibilidade. CARDOSO et al. (2000) avaliaram o efeito dos níveis de inclusão de alimento concentrado nas dietas de bovinos e verificaram que as digestibilidades das frações MS, PB e FDN foram acrescidas linearmente em função do nível de concentrado da dieta. Os efeitos benéficos sobre a conversão alimentar e digestibilidades aparentes da matéria seca e proteína bruta com a adição de concentrado às dietas também foram verificados por Berchielli (1994) citada por ÍTAVO et al. (2002) e DIAS et al. (2000), no entanto ITAVO et al. (2002) não verificaram diferenças sobre a digestibilidade aparente da PB, com a adição de níveis crescentes de concentrado às dietas.

Em estudo realizado por CAMURÇA et al (2002) foram observados consumos semelhantes de MS, 3,23% do PV e 74,28 g/UTM, por ovinos machos e fêmeas, da raça Santa Inês, com peso médio de 26,5 kg e alimentados com dietas contendo 70% de forragem e 30% de concentrado. Os consumos de proteína bruta encontrados pelos autores também se assemelharam aos obtidos neste trabalho e foram de 0,53% do PV e 12,21 g/UTM.

Para FERREIRA et al. (1999) o ganho de peso diário apresenta resposta linear crescente em relação ao nível de inclusão de concentrado na dieta. Entretanto outros autores consideram que a resposta animal à adição de concentrado tende a ser quadrática, sendo que o nível ótimo é dado pelo desempenho animal e a eficiência econômica.

Em trabalho realizado por SHERIDAN et al. (2003) foram avaliadas dietas com baixa e alta densidade energética no desempenho de cabritos Boer. Como resultados os autores observaram melhorias nas digestibilidades aparentes da matéria seca, FDA, FDN e energia metabolizável, segundo o acréscimo de energia às dietas, verificando que as maiores digestibilidades ocorreram em animais que apresentaram as melhores conversões alimentares; e ganhos diários de peso de 0,168 kg/dia e 0,190 kg/dia em cabritos alimentados com dietas de baixa e elevada densidade energética, respectivamente.

#### 4.3.2. Caracterização dos dejetos

Os resultados apresentados na Tabela 19 evidenciaram maiores ( $P<0,05$ ) produções de fezes ( $P<0,05$ ) na medida em que se aumentou a idade dos animais e o nível de concentrado nas dietas. Ao contrário do comportamento observado para a produção de fezes, verificou-se que o incremento de concentrado na alimentação dos animais proporcionou menores volumes de urina. No entanto os dados referentes à produção de urina foram bastante variáveis, com animais que excretavam até 6,0 litros de urina ao dia, colaborando assim para a elevação da média. Em condições similares a deste experimento, AMORIM (2002) avaliou as produções de fezes em cabritas com idade de 2 à 12 meses e verificou que as quantidades excretadas foram maiores ( $P<0,05$ ) nos animais com idade entre 4 e 12 meses, em média 272,8 g MS de fezes/dia.

TABELA 19. Quantidades (kg) de matéria natural, seca e orgânica, teores de MS e MO nas fezes e volume diário de urina, excretados por cabritos Saanen aos 90, 120 e 150 dias de idade e alimentados com três dietas

Dietas	Fezes					Urina
	Massa (kg)	MS (kg)	MO (kg)	MS (%)	MO (%)	Volume diário (L)
90 dias						
1	0,55	0,19 Cc	0,17 Aa	34,44 Aa	90,14 Aa	1,38 Ca
2	0,55	0,22 Cb	0,19 Aa	39,70 Aa	87,46 Ab	0,60 Cb
3	0,56	0,26 Ca	0,23 Aa	46,04 Aa	86,61 Ac	0,58 Cc
120 dias						
1	0,59	0,21 Bc	0,19 Aa	35,52 Aa	90,26 Aa	1,58 Ba
2	0,67	0,25 Bb	0,22 Aa	37,78 Aa	88,38 Ab	0,69 Bb
3	0,75	0,27 Ba	0,23 Aa	35,88 Aa	86,77 Ac	0,53 Bc
150 dias						
1	0,69	0,23 Ac	0,21 Aa	33,82 Aa	87,74 Aa	1,71 Aa
2	0,63	0,26 Ab	0,23 Aa	41,83 Aa	86,63 Ab	0,82 Ab
3	0,85	0,28 Aa	0,24 Aa	32,58 Aa	85,51 Ac	0,72 Ac

Dieta 1: 80% volumoso e 20% concentrado, dieta 2: 60% volumoso e 40% concentrado e dieta 3: 40% volumoso e 60% concentrado.

Na coluna, letras maiúsculas comparam idade e letras minúsculas comparam dietas. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P<0,05$ ).

Verifica-se que as maiores produções de fezes ( $P < 0,05$ ) ocorreram nas condições em que os animais consumiram maiores quantidades de MS ou PB, e menores de FDN. Provavelmente a redução no consumo de FDN promoveu melhorias no aproveitamento das dietas, sendo representadas pelos índices conversão alimentar e coeficiente de resíduo. Apesar das maiores produções de fezes observadas, verificou-se que nestas condições foram obtidos os melhores índices de conversão alimentar e coeficiente de resíduos.

Os teores de MS nas fezes foram bastante variados, e não sofreram influência ( $P > 0,05$ ) das dietas ou da idade dos animais. AGRAZ (1984) avaliou as concentrações de MS nas fezes de caprinos em diversas condições de criação e encontrou valores que variaram de 25,0 até 87,8 % de ST.

Houve influência ( $P < 0,05$ ) das idades e das dietas sobre o acréscimo de nutrientes nas fezes (Tabela 20). Todos os nutrientes foram igualmente influenciados, sendo que as maiores concentrações ocorreram nas fezes de animais aos 150 dias de idade e alimentados com a dieta 3, já as menores quantidades foram excretadas por animais aos 90 dias de idade e alimentados com a dieta 1. Estes valores são bastante significativos no desenvolvimento dos processos de reciclagem dos dejetos, pois por si só são capazes de manter as condições necessárias para sobrevivência e multiplicação dos microrganismos presentes nestes processos.

Destaca-se a elevação dos conteúdos excretados conforme os animais adquiriram idade, verificando-se que as quantidades de nutrientes excretadas por animais aos 150 dias, geralmente foram duas vezes ou mais superiores às excretadas por animais com 90 dias de idade, independente da alimentação.

As quantidades de nutrientes excretadas nas fezes foram avaliadas por AMORIM (2002), quando utilizou cabritas Saanen em quatro categorias de idade (1: de 2 a 4 meses, 2: de 4 a 8 meses, 3: de 8 a 12 meses e 4: acima de 12 meses) e alimentadas com três dietas (1: 80% de volumoso e 20% de concentrado, 2: 60% de volumoso e 40% de concentrado e 3: 40% de volumoso e 60% de concentrado). Como resultados foram observados: excreções de N que variaram de 1,00 até 2,15%, P de 0,4 até 1,8%, de K de 0,3 até 1,2%, Ca de 0,2 a 0,75% e Mg de 0,08 a 0,39% da MS das fezes. A autora verificou que para todos os nutrientes avaliados, houve acréscimo das concentrações na mesma medida em que os animais se aproximaram da

fase adulta e foram alimentados com maiores quantidades de concentrado, comportamento idêntico ao observado neste trabalho.

TABELA 20. Teores de N, P, Ca, Mg e Na (g/100g de MS) e Fe, Zn, Mn e Cu (mg/100g de MS) nas fezes de cabritos Saanen aos 90, 120 e 150 dias de idade, alimentados com três dietas

Dietas	g/100g de MS						mg/100 g de MS			
	N	P	Ca	Mg	K	Na	Fe	Zn	Mn	Cu
90 dias de idade										
1	1,50 Cc	0,51 Cc	0,77 Cc	0,28 Cc	0,35 Cc	0,04 Cc	74,53Cc	15,64Cc	27,33Cc	2,28 Cc
2	1,63 Cb	0,69 Cb	1,02 Cb	0,37 Cb	0,39 Cb	0,06 Cb	87,76Cb	19,04Cb	29,03Cb	3,10 Cb
3	2,01 Ca	0,67 Ca	1,31 Ca	0,47 Ca	0,43 Ca	0,09 Ca	95,36Ca	21,75Ca	29,77Ca	4,12 Ca
120 dias de idade										
1	1,85 Bc	0,61 Bc	0,98 Bc	0,41 Bc	0,44 Bc	0,10 Bc	90,14 Bc	15,70Bc	28,07Bc	3,09 Bc
2	1,96 Bb	0,80 Bb	1,30 Bb	0,53 Bb	0,47 Bb	0,11 Bb	95,25Bb	20,03Bb	28,36Bb	4,00 Bb
3	2,46 Ba	0,82 Ba	1,78 Ba	0,70 Ba	0,50 Ba	0,12 Ba	100,48Ba	24,20Ba	30,12Ba	4,90 Ba
150 dias de idade										
1	2,15 Ac	0,84 Ac	1,37 Ac	0,58 Ac	0,47 Ac	0,13 Ac	103,35Ac	21,28Ac	29,04Ac	4,10 Ac
2	2,22 Ab	0,91 Ab	1,58 Ab	0,64 Ab	0,51 Ab	0,15 Ab	151,27Ab	22,88Ab	30,21Ab	4,97 Ab
3	2,86 Aa	1,11 Aa	1,97 Aa	0,78 Aa	0,57 Aa	0,18 Aa	179,13Aa	30,32Aa	31,60Aa	5,68 Aa

Dieta 1: 80% volumoso e 20% concentrado, dieta 2: 60% volumoso e 40% concentrado e dieta 3: 40% volumoso e 60% concentrado.

Na coluna, letras maiúsculas comparam idade e letras minúsculas comparam dietas. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

A concentração de nutrientes na urina (Tabela 21) apresentou comportamento distinto do observado nas fezes, sendo que somente os macronutrientes sofreram influência ( $P < 0,05$ ) das idades e dietas. Acredita-se que as diferenças entre os volumes excretados por animal e os baixos conteúdos dos micronutrientes na urina tenham motivado este acontecimento.

Os resultados encontrados por AMORIM (2002) demonstraram que houve incremento das quantidades de nutrientes, macro e micronutrientes presentes na urina na medida em que os animais sofreram acréscimo na idade e se elevou a participação de alimento concentrado nas dietas, fato que neste trabalho foi observado somente para as concentrações de

macronutrientes na urina. Possivelmente estas diferenças estejam relacionadas com as quantidades de urina produzidas por animal, que foram bastante divergentes, e ainda com as baixas concentrações de micronutrientes na urina.

TABELA 21. Teores de N, P, K e Na (g/1000 mL de urina) e Ca, Mg, Fe, Zn, Mn e Cu (mg/1000 mL de urina) na urina de cabritos Saanen aos 90, 120 e 150 dias de idade, alimentados com três dietas

Dietas	g/ 1000 mL de urina						mg / 1000 mL de urina			
	N	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu
90 dias										
1	0,81 Cc	0,15 Cc	1,93 Cc	0,70 Cc	16,22 Aa	66,3 Cc	0,21Aa	1,48Aa	0,21Aa	1,45Aa
2	6,28 Cb	0,18 Cb	2,18 Cb	0,74 Cb	16,89 Aa	120,8 Cb	0,29Aa	1,47Aa	0,14Aa	1,47Aa
3	8,23 Ca	0,20 Ca	2,30 Ca	0,77 Ca	19,44 Aa	170,4 Ca	0,27Aa	1,22Aa	0,13Aa	1,22Aa
120 dias										
1	1,43 Bc	0,19 Bc	2,09 Bc	0,86 Bc	18,09 Aa	96,28 Bc	0,22Aa	1,22Aa	0,20Aa	1,21Aa
2	5,66 Bb	0,22 Bb	2,53 Bb	0,91 Bb	17,49 Aa	160,42 Bb	0,28Aa	1,50Aa	0,12Aa	1,36Aa
3	7,17 Ba	0,28 Ba	2,81 Ba	1,37 Ba	17,06 Aa	176,31 Ba	0,29Aa	1,30Aa	0,18Aa	1,31Aa
150 dias										
1	1,96 Ac	0,23 Ac	2,12 Ac	1,18 Ac	15,25 Aa	102,96 Ac	0,20Aa	1,15Aa	0,12Aa	1,29Aa
2	8,87 Ab	0,31 Ab	2,66 Ab	1,24 Ab	16,07 Aa	174,21 Ab	0,29Aa	1,34Aa	0,16Aa	1,34Aa
3	9,92 Aa	0,34 Aa	2,97Ac	1,42 Aa	17,99 Aa	180,37 Aa	0,26Aa	1,18Aa	0,17Aa	1,44Aa

Dieta 1: 80% volumoso e 20% concentrado, dieta 2: 60% volumoso e 40% concentrado e dieta 3: 40% volumoso e 60% concentrado.

Na coluna, letras maiúsculas comparam idade e letras minúsculas comparam dietas. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

#### 4.4. CONCLUSÕES

A adição de alimento concentrado nas dietas, assim como o acréscimo de idade dos animais proporcionaram melhores desempenhos dos cabritos, expressos pelos valores de conversão alimentar, coeficiente de resíduo e das digestibilidades aparentes da MS, PB e FDN.

As variáveis dietas e idades também proporcionaram maiores produções de fezes à medida que se aumentou a idade dos animais e o nível de concentrado nas dietas, verificando-se também maiores concentrações de nutrientes nas fezes, bem como de macronutrientes na urina. No entanto, as dietas e idades dos cabritos não influenciaram as concentrações de micronutrientes na urina.

O acréscimo de alimento concentrado na composição das dietas promoveu melhoria dos índices zootécnicos avaliados, no entanto acarretou a geração de dejetos com características mais poluentes, com maiores cargas orgânicas e conteúdos de nutrientes. Em condições práticas a melhoria na qualidade das dietas contribui para que os animais possam ser abatidos com o peso desejável (de 25 a 30 kg) e apresentando menor idade. No entanto, reforça a necessidade de que haja um sistema produtivo que seja capaz de absorver estes dejetos, promovendo-se inclusive a agregação de valor à atividade.

## **CAPÍTULO 5 - BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DAS FEZES DE CABRITOS SAANEN DURANTE A FASE DE ENGORDA E ALIMENTADOS COM DIETAS DE DIFERENTES PROPORÇÕES ENTRE VOLUMOSO E CONCENTRADO**

**RESUMO** - A expansão da caprinocultura brasileira e as características dos dejetos gerados com a criação dos animais justificam a adoção da biodigestão anaeróbia para tratamento e reciclagem dos dejetos. Para a execução do experimento foram utilizadas as fezes produzidas por cabritos Saanen aos 90, 120 e 150 dias de idade e alimentados com três dietas (d1, d2 e d3 = dietas 1 (80% volumoso (V) e 20% concentrado (C)), 2 (60% V e 40% C) e 3 (40% V e 60% C), respectivamente). Para tanto foram adotados: biodigestores batelada de bancada com capacidade para 12 litros de substrato em fermentação e teor de sólidos totais (ST) inicial igual a 8%; e quantificados: produções e potenciais de produção de biogás e metano, redução de sólidos voláteis (SV) e quantificação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn e Mn no afluente e efluente. As maiores ( $P < 0,05$ ) reduções de SV foram observadas em substratos preparados com as fezes de cabritos aos 150 dias e alimentados com a dieta 3 (39,2%). Os melhores rendimentos, expressos por meio dos potenciais de produção de biogás e metano por kg de ST ou SV adicionados, de substrato ou fezes foram observados nos substratos preparados com os dejetos de cabritos alimentados com a dieta 3, aos 120 e 150 dias de idade. As maiores ( $P < 0,05$ ) concentrações de N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn e Mn no afluente e efluente dos biodigestores foram observadas em substratos produzidos com as fezes de cabritos aos 150 dias de idade e alimentados com a dieta 3. Para todas as idades e dietas avaliadas, a biodigestão anaeróbia mostrou-se proporcionou efluentes com no máximo  $4,3 \times 10^2$  coliformes totais e fecais por grama de material.

**Palavras chave:** biogás, caprinocultura, metano, reciclagem.

## 5.1. INTRODUÇÃO

O crescimento da caprinocultura brasileira tem se dado com maior intensidade nos últimos anos, assim como vem ocorrendo no cenário mundial, nos países em desenvolvimento. A expansão da atividade tem ocorrido com o aumento do número de animais e melhoria dos índices produtivos e, em muitas situações deixa de ocorrer em caráter de subsistência para assumir postura mais lucrativa e competitiva.

A geração de dejetos com a criação dos animais ocorre como parte integrante do processo produtivo e poderá representar importante fonte de renda. A reciclagem dos dejetos gerados na caprinocultura por meio da biodigestão anaeróbia possibilita, entre outras vantagens, a geração de biogás e biofertilizante, a redução do poder poluente dos dejetos e dos microrganismos indicadores de poluição fecal neles contidos, bem como a utilização da água residuária resultante da higienização das instalações, como parte do substrato de alimentação dos biodigestores.

Os dejetos de caprinos quando submetidos à biodigestão anaeróbia apresentam significativas produções de biogás (médias de 0,05 - 0,06m<sup>3</sup> de biogás / kg de dejetos), superiores às obtidas quando se utiliza como substrato os dejetos provenientes de bovinos e ovinos. No entanto, independente da espécie, se sabe que a alimentação dos animais tem efeito direto sobre as produções de biogás, sendo que verificado por AMORIM et al. (2004) que os maiores rendimentos ocorreram quando se elevou a participação de alimento concentrado na dieta dos animais. Outros fatores são responsáveis pelas alterações nas produções de biogás, como a idade e estágio fisiológico dos animais, pois apresentam influência direta sobre o aproveitamento dos alimentos, que determinam a quantidade e qualidade dos dejetos excretados e assim influenciam nas quantidades de biogás produzidas durante o processo.

Em experimento realizado por MISI e FORSTER (2001) foi avaliado o processo de biodigestão anaeróbia em reatores 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-se como valores: produção total de 4,2 L de CH<sub>4</sub> (com 35 dias de retenção e em biodigestores com capacidade de 1000 mL), 0,14m<sup>3</sup> de metano/kg de SV adicionado, 0,42 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/kg de SV reduzido e 34,1% de redução de SV.

Considerando-se o exposto, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar os efeitos das idades e três alimentações sobre a biodigestão anaeróbia das fezes de cabritos Saanen produzidas durante a fase de engorda dos animais.

## **5.2. MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi realizado no Laboratório de Digestão Anaeróbia do Departamento de Engenharia Rural, utilizando-se os dejetos gerados no Setor de Caprinocultura do Departamento de Zootecnia, ambos pertencentes à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da Universidade Estadual Paulista/Unesp – Câmpus de Jaboticabal, situado em local cujas coordenadas geográficas são: 21°14'05" S; 48°17'09" W e altitude média de 613,68 metros. O período de execução do experimento foi entre os meses de outubro de 2003 e maio do ano de 2004, os dados meteorológicos deste período estão apresentados nos Apêndices 4A e 5A.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Aw com transição para Cwa (VOLPE, 2004, comunicação pessoal). De acordo com as normais (1971-2000) observadas em Jaboticabal, o clima caracteriza-se por ser subtropical úmido, seco no inverno e com chuvas no verão, com precipitação anual de 1.424,6 mm, temperatura média anual de 22,2° C e umidade relativa média anual de 70,8%.

A biodigestão anaeróbia foi desenvolvida com as fezes produzidas por cabritos Saanen aos 90, 120 e 150 dias de idade e alimentados com três dietas, com variação nas proporções entre volumoso e concentrado, por meio do abastecimento de biodigestores batelada. Durante a fase de engorda (dos 90 aos 150 dias de idade) os cabritos permaneceram em baias coletivas, separados por dietas, no entanto, para a colheita das fezes, foram alojados em gaiolas metabólicas individuais. Os animais foram alimentados com as dietas experimentais durante toda a fase de engorda, sendo que não foi necessário o período de adaptação às dietas para a colheita de fezes, considerando-se somente sete dias para a adaptação dos animais as gaiolas. Após os sete dias de adaptação foram realizadas as colheitas das fezes por cinco dias consecutivos, da seguinte forma: coletaram-se fezes dos animais dos 90 aos 95, dos 120 aos 125 e dos 150 aos 155 dias de idade. As dietas foram fornecidas em duas refeições diárias.

As dietas empregadas na alimentação dos cabritos foram compostas por volumoso e concentrado nas seguintes proporções: dieta 1 (d1) = 80% volumoso e 20% concentrado, dieta 2 (d2) = 60% volumoso e 40% concentrado e dieta 3 (d3) = 40% volumoso e 60% concentrado. O fornecimento da alimentação foi em cochos, “ad libitum”, em duas refeições diárias, havendo à disposição dos animais água e sal mineral.

O volumoso foi o feno de Tifton 85 (*Cynodon dactylon*) e o concentrado foi composto por: 53,8% de milho moído, 10,0% de soja grão, 15,0% de farelo de soja, 10,0% de farelo de algodão, 5,0% de farelo de trigo, 4,2% de núcleo leite e 2,0% de calcário. As dietas foram balanceadas para atender as exigências dos animais segundo recomendações do NRC (1981).

Os biodigestores (Apêndice 1A) utilizados são constituídos, basicamente, com três cilindros retos de PVC com diâmetros de 200, 250 e 300 mm, acoplados sobre uma placa de PVC com 2,5 cm de espessura e podem ser caracterizados como biodigestores de bancada, com capacidade média de 12 litros de substrato, cada. Os cilindros de 200 e 300 mm encontram-se inseridos um 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 (“selo de água”), atingindo profundidade de 500 mm. O cilindro de diâmetro intermediário teve em uma das extremidades vedadas, conservando-se apenas uma abertura para descarga do biogás, e foi emborcado no selo de água, para propiciar condições anaeróbias e armazenar o gás produzido. Os biodigestores foram dispostos sobre uma bancada, em condições de temperatura ambiente, abrigados da luz solar e chuvas.

Os teores de sólidos totais (ST) e SV das amostras coletadas durante a biodigestão anaeróbia foram determinados segundo metodologia descrita por APHA (1995). Os abastecimentos foram efetuados procurando-se obter substratos com teor de ST em torno de 8%, conforme expressões citadas em LUCAS JR. (1994). Os biodigestores foram avaliados por todo o período em que apresentaram produções de biogás.

No dia do abastecimento dos biodigestores batelada com dejetos provenientes da fase de engorda observou-se teores de ST iguais a 35,65%, 40,64% e 42,49% para as fezes produzidas aos 90 dias de idade por cabritos alimentados com as dietas 1, 2 e 3, respectivamente, dos quais 90,51%, 89,12% e 87,32% eram voláteis; teores de ST iguais à 35,41%, 35,94% e 35,98% para as fezes produzidas aos 120 dias de idade por cabritos alimentados com as dietas 1, 2 e 3, respectivamente, dos quais 91,03%, 88,83% e 87,13%

eram voláteis e teores de ST iguais à 31,71%, 40,20% e 31,80% para as fezes produzidas aos 150 dias de idade por cabritos alimentados com as dietas 1, 2 e 3, respectivamente, dos quais 90,20%, 88,12% e 87,71% eram voláteis. Na Tabela 22 estão apresentadas as quantidades utilizadas de água e fezes para obtenção do substrato de cada tratamento descrito anteriormente.

Depois de calculadas as quantidades descritas de água e fezes, as misturas foram homogeneizadas com a utilização de liquidificador industrial, de modo que as cíbalas fossem quebradas, propiciando melhores condições de fermentação no interior dos biodigestores.

TABELA 22. Componentes de cada substrato e teores de sólidos totais e voláteis no abastecimento de biodigestores batelada com dejetos de caprinos durante a fase de engorda, aos 90, 120 e 150 dias de idade e alimentados com três dietas

Dietas	Fezes (kg)	Água (kg)	ST (%)	ST (kg)	SV (%)	SV (kg)
90 dias de idade						
1	2,70	9,30	7,87	0,94	7,12	0,85
2	2,40	9,60	8,14	0,98	7,25	0,87
3	2,30	9,70	7,67	0,92	6,70	0,80
120 dias de idade						
1	2,71	9,29	7,80	0,94	7,10	0,85
2	2,67	9,33	7,75	0,93	6,88	0,83
3	2,67	9,33	7,58	0,91	6,60	0,79
150 dias de idade						
1	3,03	8,97	7,74	0,93	6,98	0,84
2	2,39	9,61	7,57	0,91	6,67	0,80
3	3,21	8,79	8,25	0,99	7,24	0,87

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, 0,0507 m<sup>2</sup>. 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).

O potencial de produção de biogás foi calculado utilizando-se os dados de produção diária e as quantidades de fezes “in natura”, de substrato, de ST, SV, FDN, FDA e N adicionados nos biodigestores, além das quantidades de SV, FDN, FDA e N reduzidos durante o processo de biodigestão anaeróbia. Os valores foram expressos em m<sup>3</sup> de biogás por kg de substrato, de dejetos ou de sólidos totais e voláteis. O potencial de produção de metano foi calculado com base nas produções de biogás e nos teores de metano contidos no biogás.

O número mais provável (NMP) de coliformes totais e fecais foi avaliado no afluente e efluente por meio da técnica de tubos múltiplos, a partir de metodologia descrita pela APHA (1995).

As análises da composição do biogás produzido foram realizadas semanalmente para determinação dos teores de metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), principalmente, em cromatógrafo de fase gasosa Finigan GC-2001, equipado com as colunas Porapak Q e Peneira Molecular, e detector de condutividade térmica.

As amostras coletadas durante o desenvolvimento dos ensaios de biodigestão anaeróbia foram pré-secadas à 60° C, em estufa de circulação forçada de ar, por 48 horas. Após esta secagem as amostras foram finamente moídas, em moinho de facas, e utilizadas para a digestão da matéria orgânica e determinação dos ST (na temperatura de 105° C) e dos SV. Para a digestão utilizou-se o digestor Digesdahl Hach, que promove a digestão total da matéria orgânica à base de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a 50%.

Com o extrato obtido da digestão sulfúrica foi possível efetuar a determinação dos teores de Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio, Sódio, Ferro, Cobre, Zinco e Manganês, segundo BATAGLIA et al. (1983). O nitrogênio foi determinado conforme metodologia descrita por SILVA (1981). Os teores de fósforo foram determinados pelo método colorimétrico utilizando-se espectrofotômetro HACH modelo DR-2000, citado em MALAVOLTA (1989). As concentrações de K, Ca, Mg Na, Fe, Cu, Zn e Mn foram determinadas em espectrofotômetro de absorção atômica modelo GBC 932 AA.

As determinações dos conteúdos das fibras em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA), de celulose e lignina foram efetuadas conforme metodologias propostas no AOAC (1980). A energia bruta foi determinada em bomba calorimétrica PARR 1821.

Para comparar os tratamentos empregados no ensaio de biodigestão anaeróbia dos dejetos gerados por cabritos durante fase de engorda, adotou-se delineamento inteiramente

casualizado, em esquema fatorial, constando de 9 tratamentos (3 dietas x 3 idades dos animais) e 3 repetições (biodigestores), com comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

### 5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 5.3.1. Redução de sólidos voláteis

As reduções de SV (Tabela 23) foram menores ( $P < 0,05$ ) quando se efetuou a biodigestão anaeróbia dos substratos produzidos com as fezes de animais alimentados com a dieta 1 (média de 28,34%), em relação aos substratos produzidos com as fezes dos animais que consumiram a dieta 2 (média de 31,77%), que foram inferiores as reduções obtidas nos substratos preparados com as fezes de animais alimentados com a dieta 3 (média de 34,03%). Em relação ao efeito da idade sobre a redução dos SV durante a biodigestão anaeróbia, verifica-se que as menores reduções ( $P < 0,05$ ) ocorreram em substratos preparados com as fezes de cabritos Saanen aos 90 dias de idade (média de 27,50%), em relação ao substrato produzido com as fezes de animais aos 120 dias de idade (28,81%), que apresentaram reduções inferiores as verificadas nos substratos provenientes das fezes de cabritos aos 150 dias de idade (37,84%).

Os resultados apontam para uma tendência de aumento nas reduções de SV à medida que os animais adquiriram mais idade e conforme se incrementou os teores de concentrado na alimentação. O fornecimento de alimento concentrado em maiores quantidades e o aumento na idade dos animais propiciaram a geração de substratos com menores teores de FDN, em média 72,3, 66,6 e 58,7% de FDN nos substratos preparados com fezes de cabritos Saanen aos 90 dias de idade e alimentados com as dietas 1, 2 e 3, respectivamente, 68,1, 62,4 e 56,0% de FDN em substratos preparados com fezes de cabritos Saanen aos 120 dias de idade e alimentados com as dietas 1, 2 e 3, respectivamente e 61,3, 57,1 e 49,5% de FDN quando se utilizaram as fezes de cabritos Saanen aos 150 dias de idade e alimentados com as dietas 1, 2

e 3, respectivamente no preparo de substratos. Este mesmo comportamento foi observado para os conteúdos de FDA, celulose e lignina.

TABELA 23. Teores médios iniciais e finais de sólidos totais (ST) e voláteis (SV), e redução de sólidos voláteis para os biodigestores alimentados com as fezes de cabritos Saanen aos 90, 120 e 150 dias de idade e alimentados com três dietas, variando a proporção volumoso:concentrado

Dietas	Fezes (kg)	Água (kg)	ST ad (%)	ST ad (kg)	SV ad (%)	SV ad (kg)	ST fin (%)	ST fin (kg)	SV fin (%)	SV fin (kg)	Red SV (%)
90 dias de idade											
1	2,70	9,30	7,87	0,94	7,12	0,85	6,26	0,75	5,43	0,65	23,8Cc
2	2,40	9,60	8,14	0,96	7,26	0,85	6,11	0,72	5,23	0,61	28,0Cb
3	2,30	9,70	7,67	0,92	6,70	0,80	5,52	0,66	4,62	0,55	31,0Ca
120 dias de idade											
1	2,71	9,29	7,80	0,94	7,08	0,85	6,06	0,73	5,26	0,63	25,7Bc
2	2,67	9,33	7,75	0,93	6,92	0,83	6,01	0,72	4,96	0,60	28,4Bb
3	2,67	9,33	7,58	0,91	6,69	0,80	5,59	0,67	4,54	0,54	32,2Ba
150 dias de idade											
1	3,03	8,97	7,74	0,93	6,98	0,84	5,38	0,65	4,50	0,54	35,5Ac
2	2,39	9,61	7,57	0,91	6,67	0,80	5,05	0,61	4,08	0,49	38,8Ab
3	3,21	8,79	8,25	0,99	7,24	0,87	5,54	0,66	4,40	0,53	39,2Aa

Dieta 1: 80% volumoso e 20% concentrado, dieta 2: 60% volumoso e 40% concentrado e dieta 3: 40% volumoso e 60% concentrado.

Na coluna, letras maiúsculas comparam idade e letras minúsculas comparam dietas. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Este fato indica que o aumento da quantidade de alimento concentrado na composição das dietas e o crescimento dos animais proporcionaram fezes que provavelmente constituíram substratos mais assimiláveis durante a biodigestão anaeróbia, contribuindo inclusive com maiores quantidades de nutrientes disponíveis neste meio (Tabela 30), proporcionando melhores condições para o desenvolvimento da população de microrganismos anaeróbios, o que pode ter facilitado a redução de material orgânico e a produção de biogás.

Na Tabela 24 estão apresentados os conteúdos totais das fibras em detergente neutro e ácido, celulose, lignina e energia bruta no afluente e efluente e suas respectivas reduções durante a biodigestão anaeróbia das fezes de cabritos Saanen aos 90, 120 e 150 dias de idade e alimentados por três dietas.

TABELA 24. Quantidades de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), celulose, lignina e energia bruta e respectivas reduções durante a biodigestão anaeróbia, em substratos preparados com fezes de cabritos Saanen aos 90, 120 e 150 dias de idade e alimentados por três dietas, variando a proporção volumoso:concentrado

Fração	90 dias			120 dias			150 dias			
	dieta 1	dieta 2	dieta 3	dieta 1	dieta 2	dieta 3	dieta 1	dieta 2	dieta 3	
FDN (kg)	Afluente	0,68	0,64	0,54	0,64	0,58	0,51	0,57	0,52	0,49
	Efluente	0,53	0,45	0,36	0,47	0,41	0,35	0,38	0,32	0,30
	Red (%)	22,06Cc	29,82Cb	33,09Ca	26,56Bc	28,71Bb	30,55Ba	33,60Ac	38,19Ab	38,59Aa
FDA (kg)	Afluente	0,38	0,35	0,30	0,37	0,34	0,31	0,33	0,31	0,26
	Efluente	0,31	0,26	0,22	0,29	0,25	0,22	0,23	0,20	0,17
	Red (%)	18,42Cc	24,43Cb	26,67Ca	21,62Bc	26,47Bb	29,03Ba	30,09Ac	35,86Ab	36,34Aa
Celulose (kg)	Afluente	0,25	0,21	0,19	0,22	0,21	0,19	0,22	0,19	0,16
	Efluente	0,19	0,15	0,13	0,16	0,15	0,13	0,15	0,12	0,10
	Red (%)	24,00Cc	27,14Cb	29,98Ca	26,38Bc	26,80Bb	31,65Ba	33,90Ac	36,09Ab	37,60Aa
Lignina (kg)	Afluente	0,13	0,14	0,11	0,15	0,13	0,12	0,11	0,13	0,10
	Efluente	0,13	0,14	0,11	0,15	0,13	0,12	0,11	0,13	0,10
	Red (%)	1,69 Aa	0,62 Aa	2,09 Aa	0,58 Aa	-0,54 Aa	0,76 Aa	-2,57 Aa	-3,99 Aa	2,79 Aa
En bruta (Kcal)	Afluente	3818,51	3780,95	3714,59	3813,05	3780,37	3663,02	3638,16	3563,06	3631,47
	Efluente	3001,08	2942,62	2833,34	2844,05	2775,79	2642,05	2581,78	2405,52	2430,08
	Red (%)	21,41Cc	22,17Cb	23,72Ca	25,41Bc	26,57Bb	27,87Ba	29,04Ac	32,49Ab	33,08Aa

Dieta 1: 80% volumoso e 20% concentrado, dieta 2: 60% volumoso e 40% concentrado e dieta 3: 40% volumoso e 60% concentrado.

Na coluna, letras maiúsculas comparam idade e letras minúsculas comparam dietas. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Os resultados indicam que ocorreu incremento ( $P < 0,05$ ) nas degradações da fração fibrosa (FDN, FDA e celulose) à medida que os animais apresentaram maior idade e foram alimentados com maiores quantidades de concentrado, notou-se que as reduções foram elevadas na medida em que os teores da fração fibrosa foram diminuídos nos substratos. Observou-se ainda, que não ocorreu degradação da lignina durante a biodigestão e que suas quantidades se mantiveram praticamente inalteradas. Ocorreram reduções nos conteúdos de energia bruta durante o processo, sendo que os maiores ( $P < 0,05$ ) valores foram observados em substratos originados das fezes de animais com maior idade e alimentados com maiores quantidades de concentrado. Verificou-se que as reduções das frações FDN, FDA e celulose e os conteúdos de energia bruta durante a biodigestão anaeróbia, foram igualmente influenciados pelas idades e dietas, sendo que estas reduções foram proporcionais às reduções de sólidos voláteis.

### 5.3.2. Produção de biogás e metano

As produções de biogás (Tabela 25) foram maiores ( $P < 0,05$ ) em substratos preparados com as fezes de cabritos Saanen alimentados com a dieta 3 (média de  $0,2445\text{m}^3$ ), em comparação às produções observadas em substratos que contiveram as fezes de animais que receberam a dieta 2 (média de  $0,2187\text{m}^3$ ), que por sua vez foram superiores aos produzidos com fezes de animais que consumiram a dieta 1 (média de  $0,1843\text{m}^3$ ). Houve efeito da idade dos animais sobre as produções de biogás, verificando-se que os maiores valores foram alcançados por substratos preparados com as fezes de cabritos Saanen aos 150 dias de idade (média de  $0,2314\text{m}^3$ ), em relação às produções obtidas em substratos produzidos com as fezes de cabritos aos 120 dias de idade (média de  $0,2286\text{ m}^3$ ), que foram superiores as produções verificadas em substratos originados as fezes de cabritos aos 90 dias de idade (média de  $0,1874\text{ m}^3$ ).

Conforme representado nas Figuras 8, 9 e 10 (de distribuição e acúmulo da produção de biogás) notaram-se, que os substratos originados das fezes de cabritos Saanen alimentados com as dietas 1 e 2 e aos 120 e 150 dias de idade, apresentaram antecipação na produção de biogás, em comparação com as produções observadas nos substratos provenientes das fezes

de cabritos Saanen aos 90 dias de idade, e alimentados com as dietas 1 e 2. Este comportamento pode ter sido acarretado pelos conteúdos de fração fibrosa e lignina nos afluentes, conforme ressaltado anteriormente.

Assim como observado para os resultados de produção de biogás, notou-se que houve acréscimo nas quantidades de metano produzidas em substratos gerados com as fezes de animais de maiores idades e alimentados com maior proporção de alimento concentrado (Tabela 26, Figuras 11, 12 e 13). Este fato demonstra a importância da biodigestão anaeróbia das fezes geradas por caprinos, visto que as quantidades de metano geradas com a fermentação destes resíduos foram acrescidas em aproximadamente 300,0% ao se comparar os substratos produzidos com as fezes de caprinos aos 90 dias de idade e alimentados com a dieta 1 ( $0,052\text{m}^3$  de metano), em relação aos substratos preparados com as fezes de cabritos aos 150 dias de idade e recebendo a dieta 3 ( $0,149\text{m}^3$  de metano).

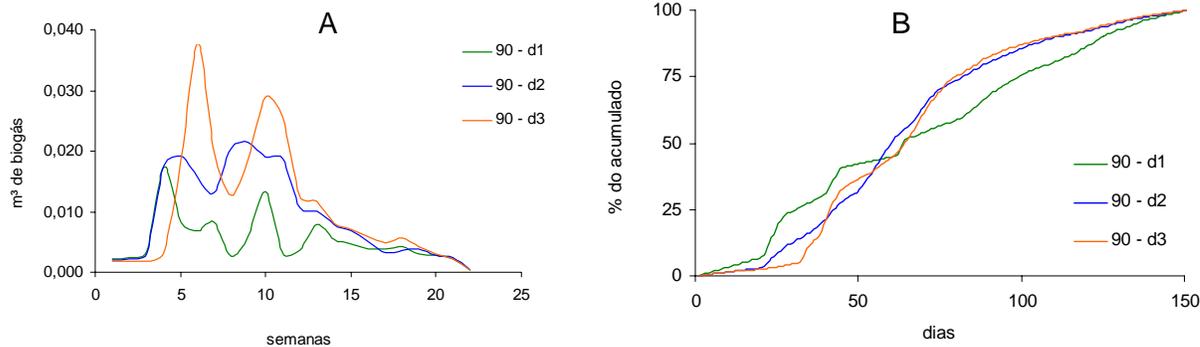
TABELA 25. Produções médias semanais (m<sup>3</sup>) de biogás obtidas em biodigestores anaeróbios abastecidos com fezes de cabritos Saanen aos 90, 120 e 150 dias de idade e alimentados com três dietas, variando-se a proporção volumoso:concentrado

Semana	90 dias			120 dias			150 dias		
	dieta 1	dieta 2	dieta 3	dieta 1	dieta 2	dieta 3	dieta 1	dieta 2	dieta 3
1	0,00229	0,00199	0,00173	0,00504	0,00484	0,00351	0,00194	0,00410	0,01267
2	0,00252	0,00219	0,00190	0,00553	0,00531	0,00386	0,00213	0,00393	0,00712
3	0,00343	0,00302	0,00188	0,01926	0,02601	0,00706	0,01217	0,00749	0,00496
4	0,01744	0,01753	0,00326	0,03675	0,04313	0,02810	0,02688	0,02711	0,00580
5	0,00825	0,01920	0,01868	0,02316	0,02637	0,04137	0,02762	0,03192	0,00623
6	0,00686	0,01546	0,03769	0,01937	0,02551	0,02602	0,02335	0,02286	0,01491
7	0,00829	0,01317	0,01999	0,02609	0,03191	0,01675	0,02944	0,02038	0,03253
8	0,00272	0,02034	0,01271	0,02168	0,01935	0,01579	0,02730	0,01765	0,03400
9	0,00609	0,02149	0,01883	0,01630	0,01191	0,02226	0,01697	0,01687	0,02383
10	0,01328	0,01890	0,02883	0,00801	0,00708	0,02048	0,01375	0,01665	0,02048
11	0,00328	0,01871	0,02572	0,00694	0,00585	0,02053	0,00934	0,01152	0,01541
12	0,00364	0,01078	0,01249	0,00633	0,00482	0,00869	0,00636	0,00770	0,02020
13	0,00780	0,01006	0,01180	0,00510	0,00345	0,00468	0,00546	0,00754	0,02204
14	0,00546	0,00787	0,00802	0,00534	0,00344	0,00566	0,00412	0,00760	0,01425
15	0,00462	0,00681	0,00705	0,00454	0,00412	0,00660	0,00318	0,00636	0,00757
16	0,00387	0,00496	0,00590	0,00418	0,00401	0,00611	0,00219	0,00301	0,00403
17	0,00389	0,00328	0,00489	0,00446	0,00287	0,00477	0,00194	0,00175	0,00339
18	0,00431	0,00371	0,00561	0,00127	0,00082	0,00136	0,00194	0,00175	0,00339
19	0,00311	0,00383	0,00427	-	-	-	-	-	-
20	0,00289	0,00275	0,00296	-	-	-	-	-	-
21	0,00221	0,00241	0,00226	-	-	-	-	-	-
22	0,00032	0,00034	0,00032	-	-	-	-	-	-
Total(m <sup>3</sup> )	0,117 Cc	0,209Cb	0,237Ca	0,209 Bc	0,231Bb	0,247Ba	0,216Ac	0,246Ab	0,253Aa

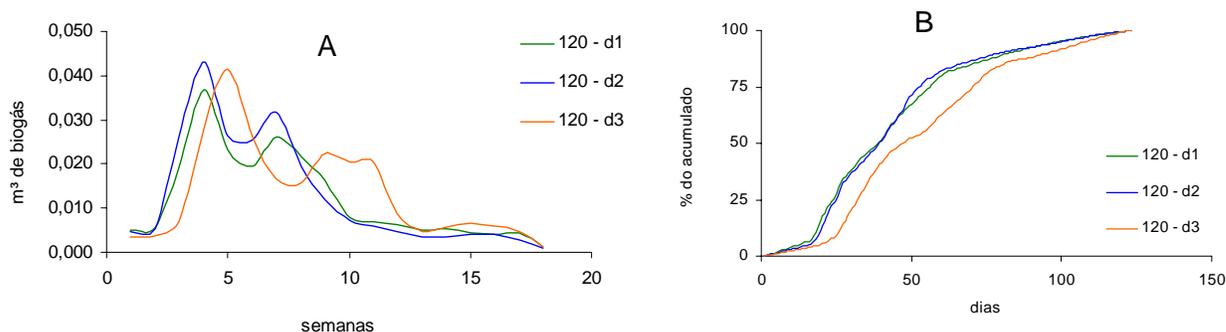
- = sem produção

Dieta 1: 80% volumoso e 20% concentrado, dieta 2: 60% volumoso e 40% concentrado e dieta 3: 40% volumoso e 60% concentrado.

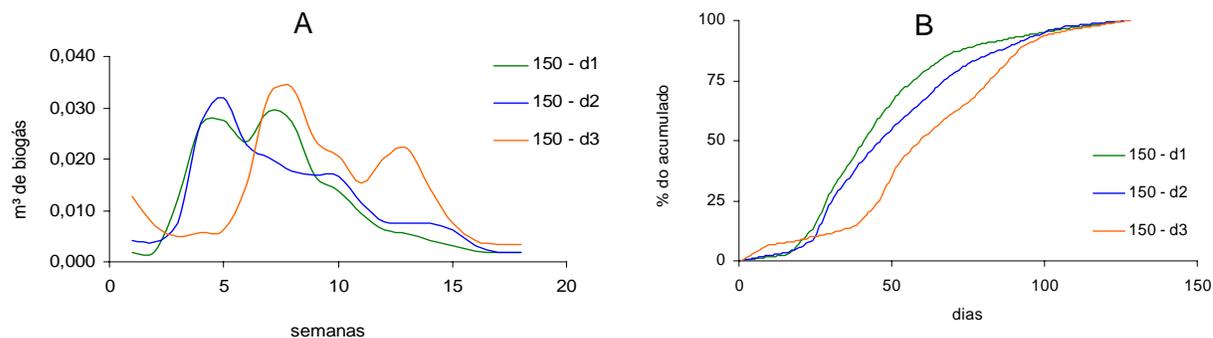
Na coluna, letras maiúsculas comparam idade e letras minúsculas comparam dietas. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).



FIGURAS 8. Distribuição média diária da produção de biogás (A) e porcentagem acumulada do biogás produzido (B), para os biodigestores abastecidos com fezes de cabritos Saanen aos 90 dias de idade e alimentados com três dietas.



FIGURAS 9. Distribuição média diária da produção de biogás (A) e porcentagem acumulada do biogás produzido (B), para os biodigestores abastecidos com fezes de cabritos Saanen aos 120 dias de idade e alimentados com três dietas.



FIGURAS 10. Distribuição média diária da produção de biogás (A) e porcentagem acumulada do biogás produzido (B), para os biodigestores abastecidos com fezes de cabritos Saanen aos 150 dias de idade e alimentados com três dietas.

TABELA 26. Produções médias (m<sup>3</sup>) semanais de metano em biodigestores operados com fezes de cabritos em Saanen aos 90, 120 e 150 dias de idade e alimentados com três dietas, variando a proporção volumoso:concentrado

Semana	90 dias			120 dias			150 dias		
	dieta 1	dieta 2	dieta 3	dieta 1	dieta 2	dieta 3	dieta 1	dieta 2	dieta 3
1	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
2	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
3	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00116	0,00035	0,00030
4	0,00553	0,00320	0,00035	0,00000	0,00000	0,00000	0,01477	0,00867	0,00102
5	0,00000	0,00000	0,00000	0,01752	0,01621	0,03025	0,01966	0,02267	0,00159
6	0,00000	0,00000	0,00000	0,01441	0,01563	0,01798	0,01545	0,01610	0,00647
7	0,00000	0,00000	0,00000	0,01625	0,02163	0,01081	0,01870	0,01284	0,02393
8	0,00000	0,00000	0,00000	0,01448	0,01445	0,01045	0,01802	0,01082	0,02258
9	0,00386	0,01496	0,01246	0,01128	0,00888	0,01378	0,01115	0,01044	0,01489
10	0,00848	0,01193	0,01910	0,00568	0,00561	0,01354	0,00879	0,01190	0,01348
11	0,00205	0,01186	0,01598	0,00506	0,00466	0,01537	0,00614	0,00868	0,01075
12	0,00228	0,00711	0,00813	0,00461	0,00382	0,00672	0,00445	0,00586	0,01430
13	0,00481	0,00650	0,00750	0,00386	0,00281	0,00360	0,00385	0,00569	0,01568
14	0,00389	0,00548	0,00548	0,00406	0,00277	0,00436	0,00297	0,00578	0,01024
15	0,00341	0,00481	0,00498	0,00346	0,00330	0,00506	0,00235	0,00484	0,00551
16	0,00291	0,00358	0,00416	0,00321	0,00320	0,00479	0,00165	0,00237	0,00302
17	0,00305	0,00246	0,00363	0,00347	0,00227	0,00378	0,00151	0,00139	0,00256
18	0,00339	0,00272	0,00414	0,00100	0,00066	0,00110	0,00162	0,00149	0,00260
19	0,00244	0,00283	0,00325	-	-	-	-	-	-
20	0,00230	0,00211	0,00232	-	-	-	-	-	-
21	0,00175	0,00188	0,00182	-	-	-	-	-	-
22	0,00025	0,00027	0,00026	-	-	-	-	-	-
Total (m <sup>3</sup> )	0,052 Cc	0,083 Cb	0,094 Ca	0,108 Bc	0,106 Bb	0,142 Ba	0,132 Ac	0,130 Ab	0,149 Aa

- = sem produção

Dieta 1: 80% volumoso e 20% concentrado, dieta 2: 60% volumoso e 40% concentrado e dieta 3: 40% volumoso e 60% concentrado.

Na linha, letras maiúsculas comparam idade e letras minúsculas comparam dietas. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

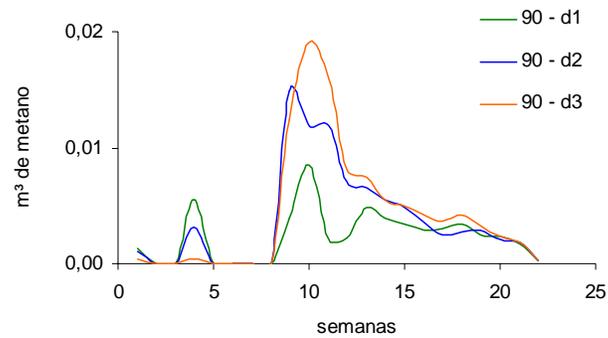


FIGURA 11. Distribuição média semanal da produção de metano em biodigestores abastecidos com fezes de cabritos Saanen aos 90 dias de idade e alimentados com três dietas.

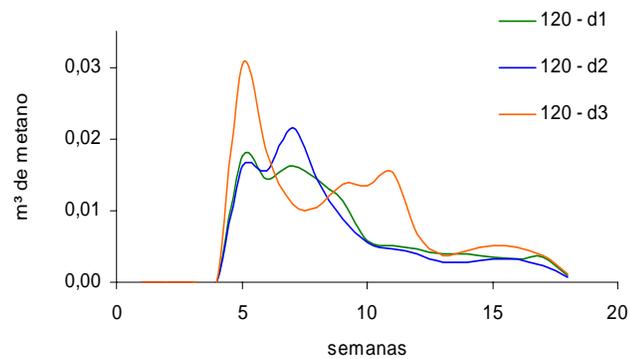


FIGURA 12. Distribuição média semanal da produção de metano em biodigestores abastecidos com fezes de cabritos Saanen aos 120 dias de idade e alimentados com três dietas.

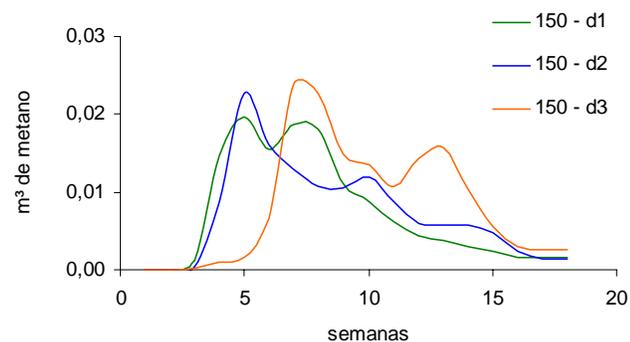


FIGURA 13. Distribuição média semanal da produção de metano em biodigestores abastecidos com fezes de cabritos Saanen aos 150 dias de idade e alimentados com três dietas.

### 5.3.3. Potenciais de produção de biogás e metano

Os potenciais de produção de biogás (Tabela 27) por kg de ST e SV adicionados, kg de substrato e kg de fezes sofreram o mesmo efeito das idades e dietas, apresentando valores superiores ( $P<0,05$ ) nos substratos preparados com as fezes de cabritos Saanen aos 120 e 150 dias de idade, em relação aos substratos produzidos com as fezes de cabritos aos 90 dias de idade e, também foram maiores ( $P<0,05$ ) quando se utilizaram as fezes provenientes de animais alimentados com as dietas 2 e 3, em relação aos substratos obtidos das fezes de animais que receberam a dieta 1. Este comportamento reforça os efeitos benéficos da idade e da maior qualidade das dietas, mencionadas anteriormente, sobre a melhoria da composição dos dejetos e conseqüentemente do desempenho da biodigestão anaeróbia.

TABELA 27. Potenciais médios de produção de biogás, corrigidos para 20 °C e 1 atm, para substratos preparados com fezes de cabritos Saanen aos 90, 120 e 150 dias de idade e alimentados com três dietas, variando-se a proporção volumoso:concentrado

Potenciais produção (m <sup>3</sup> biogás)	90 dias			120 dias			150 dias		
	d1	d2	d3	d1	d2	d3	d1	d2	d3
kg de ST adic	0,124 Bc	0,219 Bb	0,258 Ba	0,235 Ac	0,249 Ab	0,269 Aa	0,233 Ac	0,238 Ab	0,256 Aa
kg de SV adic	0,137 Bc	0,246 Bb	0,296 Ba	0,259 Ac	0,279 Ab	0,305 Aa	0,258 Ac	0,271 Ab	0,292 Aa
kg de substrato	0,010 Bc	0,017 Bb	0,020 Ba	0,018 Ac	0,019 Ab	0,020 Aa	0,018 Ac	0,018 Ab	0,021 Aa
kg de fezes	0,043 Bc	0,087 Bb	0,103 Ba	0,081 Ac	0,087 Ab	0,092 Aa	0,071 Ac	0,091 Ab	0,099 Aa
kg de SV red	0,577 Bc	0,878 Bb	0,954 Ba	1,008 Ac	0,982 Ab	0,948 Aa	0,722 Bc	0,699 Bb	0,746 Ba
kg de FDN ad	0,171Bc	0,326Bb	0,440Ba	0,343Ac	0,398Ab	0,478Aa	0,379Ac	0,416Ab	0,516Aa
kg de FDN red	0,777Bb	1,092Bb	1,330Ba	1,290Ab	1,386Ab	1,564Aa	1,128Bb	1,089Bb	1,337Ba
kg de FDA ad	0,307Cc	0,597Cb	0,789Ca	0,593Bc	0,679Bb	0,786Ba	0,657Ac	0,693Ab	0,971Aa
kg de FDA red	1,665 Aa	2,442 Aa	2,960 Aa	2,742 Aa	2,565 Aa	2,707 Aa	2,182 Aa	1,934 Aa	2,671 Aa
kg de N ad	0,077Aa	0,131 Aa	0,120 Aa	0,109 Aa	0,107 Aa	0,096 Aa	0,096 Aa	0,090 Aa	0,095 Aa
kg de N red	0,291Aa	0,464 Aa	0,395 Aa	0,430 Aa	0,444 Aa	0,348 Aa	0,284Ba	0,254Ba	0,255Ba

Dieta 1: 80% volumoso e 20% concentrado, dieta 2: 60% volumoso e 40% concentrado e dieta 3: 40% volumoso e 60% concentrado.

Na linha, letras maiúsculas comparam idade e letras minúsculas comparam dietas. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P<0,05$ ).

O cálculo de potenciais de produção de biogás com base nas quantidades adicionadas e reduzidas de FDN, FDA e N, foi desenvolvido no intuito de evidenciar a qualidade das dietas sobre a produção de biogás, no entanto, não existem trabalhos semelhantes na literatura, o que inviabiliza a comparação destes resultados. Não foi observado efeito ( $P>0,05$ ) das idades e das dietas sobre o potencial de produção de biogás por quantidade de N adicionado, somente foi verificado que segundo o aumento de N na composição dos substratos, houve acréscimo nas produções de biogás. Em relação aos potenciais calculados a partir das quantidades de FDN e FDA adicionadas, foi observado que houve efeito ( $P<0,05$ ) das idades e dietas avaliadas, sendo que os maiores potenciais de produção foram obtidos em substratos preparados com fezes de cabritos alimentados com a dieta 3, médias de 0,516 e 0,971m<sup>3</sup> de biogás por kg de FDN e FDA adicionado, respectivamente.

Os potenciais obtidos com base nas quantidades de FDN e FDA podem ser comparados com os verificados durante a biodigestão anaeróbia dos dejetos de cabras Saanen e F1 alimentadas com as três dietas (CAPÍTULO 2). De maneira geral, observou-se que os potenciais de geração de biogás com base nas quantidades adicionadas de FDN e FDA foram superiores quando se utilizaram como substratos as fezes de cabritos aos 120 e 150 dias de idade, independente da alimentação, em comparação com os potenciais obtidos quando se empregaram dejetos de cabras Saanen e F1 alimentadas com as dietas 1, 2 e 3, como substratos na biodigestão anaeróbia. Provavelmente o maior rendimento de biogás a partir das fezes de cabritos aos 120 e 150 dias de idade, esteja associado aos conteúdos iniciais de FDN e FDA nos afluentes, que foram menores do que nos substratos originados dos dejetos de cabras Saanen e F1. Desta forma, as maiores quantidades de FDN e FDA podem ter dificultado a produção de biogás, e conseqüentemente, reduzido os potenciais.

Os resultados de potenciais de produção de metano (Tabela 28) por kg de ST e SV adicionados, de substrato e de fezes apresentaram o mesmo comportamento destes potenciais na produção para o biogás, demonstrando menores valores ( $P<0,05$ ) nos substratos produzidos com as fezes de animais mais jovens, 90 dias de idade, em relação aos potenciais observados nos substratos preparados com as fezes de animais aos 120 e 150 dias de idade, e ainda potenciais inferiores ( $P<0,05$ ) nos substratos provenientes das fezes de animais alimentados com a dieta 1, em relação as fezes dos animais que receberam as dietas 2 e 3.

TABELA 28. Potenciais médios de produção de metano, corrigidos para 20 °C e 1 atm, para substratos preparados com fezes de cabritos Saanen aos 90, 120 e 150 dias de idade e alimentados com três dietas, variando a proporção volumoso:concentrado

Potenciais produção (m <sup>3</sup> metano)	90 dias			120 dias			150 dias		
	d1	d2	d3	d1	d2	d3	d1	d2	d3
kg de ST adic	0,055 Bc	0,086 Bb	0,102 Ba	0,116 Ac	0,114 Ab	0,156 Aa	0,142 Ac	0,143 Ab	0,150 Aa
kg de SV adic	0,061 Bc	0,097 Bb	0,117 Ba	0,127 Ac	0,127 Ab	0,176 Aa	0,158 Ac	0,162 Ab	0,172 Aa
kg de substrato	0,004 Bc	0,007 Bb	0,008 Ba	0,009 Ac	0,009 Ab	0,012 Aa	0,011 Ac	0,013 Ab	0,014 Aa
kg de fezes	0,019 Bc	0,034 Bb	0,041 Ba	0,040 Ac	0,040 Ab	0,053 Aa	0,044 Ac	0,054 Ab	0,056 Aa
kg de SV red	0,254 Bc	0,347 Bb	0,377 Ba	0,435 Ac	0,449 Ab	0,548 Aa	0,441 Ac	0,469 Ab	0,483 Aa

Dieta 1: 80% volumoso e 20% concentrado, dieta 2: 60% volumoso e 40% concentrado e dieta 3: 40% volumoso e 60% concentrado.

Na linha, letras maiúsculas comparam idade e letras minúsculas comparam dietas. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

#### 5.3.4. Coliformes totais e fecais

Não houve efeito ( $P > 0,05$ ) das dietas e das idades avaliadas sobre a redução dos números mais prováveis de coliformes totais e fecais durante a biodigestão anaeróbia das fezes (Tabela 29). Novamente ressalta-se a importância da biodigestão anaeróbia na remoção de microrganismos indicadores de poluição fecal, assegurando a qualidade do biofertilizante. Deve-se evidenciar também a importância do período de retenção hidráulica sobre a redução destes microrganismos.

Os números de coliformes nos efluentes não ultrapassaram os limites recomendados para os rios de classe 2, destinados à aquicultura ou à recreação de contato primário, (CONAMA, 2005), que foram preconizados em no máximo 1.000 coliformes termotolerantes (fecais) por 100 mL de efluente. Estes efluentes, segundo disposição do CONAMA (2005), poderão ser empregados na irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto.

Comparando-se o NMP de coliformes totais e fecais dos afluentes e efluentes de biodigestores abastecidos com material a base de cama de frangos e carcaças de aves previamente compostado, ORRICO JR. et al. (2005) observam-se que a biodigestão anaeróbia promoveu acentuada redução nos NMP de coliformes de  $3,7 \times 10^5$  para  $7,45 \times 10^2$  coliformes

totais/g de material e  $7,3 \times 10^3$  para  $7,3 \times 10$  coliformes fecais/g de material no afluente e efluente respectivamente, obtendo-se desta forma, reduções acima de 99,0% nos NMP de coliformes totais e fecais.

TABELA 29. Número mais provável (NMP) médio de coliformes totais e fecais nos afluentes e efluentes dos biodigestores operados com fezes de cabritos Saanen aos 90, 120 e 150 dias de idade e alimentados com três dietas

Coliformes	90 dias			120 dias			150 dias			
	dieta 1	dieta 2	dieta 3	dieta 1	dieta 2	dieta 3	dieta 1	dieta 2	dieta 3	
Totais	Afl	$2,4 \times 10^9$	$2,4 \times 10^9$	$1,7 \times 10^9$	$4,6 \times 10^{10}$	$4,6 \times 10^{10}$	$2,4 \times 10^8$	$4,6 \times 10^9$	$2,4 \times 10^9$	$7,5 \times 10^8$
	Efl	< 3	$4,3 \times 10$	$4,3 \times 10^2$	$4,3 \times 10$	< 3	< 3	$1,2 \times 10$	$2,3 \times 10$	< 3
	Red (%)	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa
Fecais	Afl	$2,4 \times 10^9$	$2,4 \times 10^9$	$1,7 \times 10^9$	$4,6 \times 10^{10}$	$4,6 \times 10^{10}$	$2,4 \times 10^8$	$4,6 \times 10^9$	$2,4 \times 10^9$	$7,5 \times 10^8$
	Efl	< 3	$4,3 \times 10$	$4,3 \times 10^2$	$4,3 \times 10$	< 3	< 3	$1,2 \times 10$	$2,3 \times 10$	< 3
	Red (%)	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa	100,00 Aa

Dieta 1: 80% volumoso e 20% concentrado, dieta 2: 60% volumoso e 40% concentrado e dieta 3: 40% volumoso e 60% concentrado.

Na linha, letras maiúsculas comparam idade e letras minúsculas comparam dietas. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

### 5.3.5. Nutrientes no afluente e efluente

O efeito das idades e das dietas sobre a concentração de nutrientes (Tabela 30) durante a biodigestão anaeróbia das fezes de cabritos Saanen aos 90, 120 e 150 dias de idade, alimentadas com três dietas foi idêntico ao comportamento das reduções de sólidos voláteis verificadas no processo. Esta ocorrência revela a importância da biodigestão anaeróbia na conservação dos nutrientes contidos nas fezes.

TABELA 30. Quantidades de N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn e Mn, e respectivas concentrações durante a biodigestão anaeróbia, em substratos preparados com fezes de cabritos Saanen aos 90, 120 e 150 dias de idade e alimentados com três dietas, variando a proporção volumoso:concentrado

Nutriente	90 dias			120 dias			150 dias			
	dieta 1	dieta 2	dieta 3	dieta 1	dieta 2	dieta 3	dieta 1	dieta 2	dieta 3	
N	Afluente	1,52	1,59	1,98	2,01	2,16	2,54	2,25	2,39	2,65
	Efluente	1,92	2,04	2,58	2,52	2,68	3,24	3,01	3,24	3,64
	Conc (%)	26,32Cc	28,30Cb	30,30Ca	25,37Bc	24,07Bb	27,56Ba	33,78Ac	35,56Ab	37,36Aa
P	Afluente	0,61	0,68	0,80	0,73	0,79	0,88	1,11	1,22	1,23
	Efluente	0,76	0,87	1,05	0,92	0,98	1,14	1,46	1,69	1,71
	Conc (%)	25,00Cc	28,89Cb	30,92Ca	25,34Bc	24,68Bb	30,29Ba	31,06Ac	38,18Ab	38,80Aa
Ca	Afluente	0,93	1,13	1,40	1,10	1,28	1,84	1,39	1,74	1,91
	Efluente	1,15	1,44	1,83	1,33	1,58	2,35	1,81	2,35	2,65
	Conc (%)	23,66Cc	27,43Cb	30,71Ca	20,91Bc	23,44Bb	27,72Ba	30,22Ac	35,06Ab	38,74Aa
Mg	Afluente	0,27	0,34	0,41	0,37	0,42	0,58	0,48	0,55	0,62
	Efluente	0,34	0,44	0,54	0,46	0,53	0,75	0,64	0,76	0,88
	Conc (%)	25,93Cc	29,41Cb	31,71Ca	24,32Bc	26,19Bb	29,31Ba	33,33Ac	38,18Ab	41,94Aa
K	Afluente	0,38	0,41	0,44	0,41	0,42	0,51	0,45	0,47	0,51
	Efluente	0,47	0,53	0,58	0,51	0,53	0,65	0,60	0,65	0,72
	Conc (%)	23,68Cc	29,27Cb	31,82Ca	24,39Bc	26,19Bb	28,00Ba	33,33Ac	38,30Ab	41,18Aa
Na	Afluente	0,29	0,31	0,33	0,31	0,32	0,38	0,34	0,35	0,38
	Efluente	0,34	0,38	0,43	0,39	0,40	0,50	0,44	0,49	0,53
	Conc (%)	19,30Cc	23,58Cb	30,30Ca	26,83Bc	26,98Bb	30,72Ba	30,37Ac	39,01Ab	38,56Aa
Fe	Afluente	67,02	72,49	79,10	83,23	89,10	99,17	124,47	141,41	178,30
	Efluente	81,12	92,05	102,70	101,53	110,49	126,93	164,31	192,31	249,61
	Conc (%)	21,04Cc	26,98Cb	29,84Ca	21,99Bc	24,01Bb	27,99Ba	32,01Ac	35,99Ab	39,99Aa
Cu	Afluente	2,28	2,89	3,83	3,07	3,19	4,34	3,89	4,45	5,61
	Efluente	2,77	3,66	4,97	3,74	3,97	5,55	5,12	6,04	7,84
	Conc (%)	21,49Cc	26,64Cb	29,77Ca	21,82Bc	24,45Bb	27,88Ba	31,62Ac	35,73Ab	39,75Aa
Zn	Afluente	15,34	18,60	23,12	16,40	19,32	24,28	23,79	25,90	35,49
	Efluente	18,71	23,60	30,07	20,00	23,95	31,07	31,39	35,21	49,68
	Conc (%)	21,97Cc	26,88Cb	30,06Ca	21,95Bc	23,96Bb	27,97Ba	31,95Ac	35,95Ab	39,98Aa
Mn	Afluente	19,81	20,08	21,96	21,70	22,53	23,97	23,77	24,96	25,32
	Efluente	24,17	25,48	28,56	26,46	27,93	30,67	31,37	33,94	35,44
	Conc (%)	22,01Cc	26,89Cb	30,05Ca	21,94Bc	23,97Bb	27,95Ba	31,97Ac	35,98Ab	39,97Aa

Dieta 1: 80% volumoso e 20% concentrado, dieta 2: 60% volumoso e 40% concentrado e dieta 3: 40% volumoso e 60% concentrado.

Na linha, letras maiúsculas comparam idade e letras minúsculas comparam dietas. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

AMORIM (2002) observou concentrações superiores nos teores de N, P e K, que oscilaram de 2,6 a 3,6; 1,79 a 2,5 e 1,2 a 1,6% da MS, respectivamente, em biofertilizantes obtidos durante as quatro estações do ano, a partir dos dejetos de cabras Saanen. Os maiores conteúdos de nutrientes observados pela autora podem ter ocorrido devido a maior proporção de alimento na massa de dejetos coletada, já que o período de acúmulo de dejetos para a colheita foi superior a 24 horas e também a diferença na composição das dietas, já que o volumoso ofertado foi silagem de milho.

#### **5.4. CONCLUSÕES**

A biodigestão anaeróbia demonstrou eficiência no tratamento e reciclagem da energia e dos nutrientes contidos nos dejetos de cabritos Saanen. As maiores reduções de sólidos voláteis, bem como as maiores produções de biogás e metano ocorreram em substratos preparados com os dejetos de cabritos Saanen aos 150 dias de idade e alimentados com dieta 3 (60% de concentrado). O processo também se mostrou eficiente na remoção de coliformes totais e fecais. Os afluentes e efluentes com maiores concentrações de nutrientes foram observados quando se utilizou os dejetos de animais aos 150 dias de idade e que consumiram a dieta 3.

Os substratos que contiveram maiores as concentrações iniciais de FDN, FDA, celulose e lignina, apresentaram as menores degradações destes constituintes durante a biodigestão anaeróbia dos dejetos, bem como, as menores produções e rendimentos de biogás e metano.

O acréscimo de alimento concentrado na composição das dietas promoveu a geração de dejetos com maiores concentrações de material orgânico e conteúdos de nutrientes. Em termos ambientais este comportamento é bastante significativo, pois corresponde a maiores demandas de oxigênio, para que ocorra a estabilização da matéria orgânica contida nestes resíduos, maiores perdas de nutrientes para o meio ambiente, que quando dispostos de forma inadequada acarretam sérios prejuízos, como maiores produções de metano.

## CAPÍTULO 6. IMPLICAÇÕES

Os resultados obtidos com o desenvolvimento deste trabalho se mostraram particularmente importantes para que, nas publicações que serão geradas, sejam explorados os aspectos ambientais, tanto das possibilidades de efeitos negativos (pelos excessos de nutrientes e material orgânico no meio ambiente), como dos aspectos positivos das aplicações em sistemas de biodigestão anaeróbia e compostagem (agregação de valores econômicos e ambientais) quando os sistemas forem bem dimensionados e o meio apresentar capacidade suporte.

Os atuais sistemas de produção tendem ao emprego de técnicas para que se obtenha a máxima exploração dos animais, com o fornecimento de altas quantidades de alimento concentrado, o que acarretará maiores ganhos de peso (abreviando assim o período de vida dos animais) ou de produção de leite, sendo possível inclusive a redução do número de animais alojados, com manutenção da produtividade. Dentre os resultados encontrados neste trabalho, observou-se que o acréscimo de idade dos animais, associado com as maiores quantidades concentrado na alimentação, elevaram a geração de resíduos, no entanto estes animais apresentaram os melhores índices de desempenho, como conversão alimentar e coeficiente de resíduo. Estes resultados são favoráveis apenas durante a fase de crescimento animal, pois se sabe que os animais adultos apresentam piores conversões alimentares e produzem maiores quantidades de resíduo.

Desta forma, estes resultados poderão ser utilizados como ferramenta para o melhor planejamento da produção animal. Em relação à nutrição dos caprinos, significativos avanços vêm sendo feitos, inclusive com a determinação das exigências nutricionais em cada fase de vida dos animais e para as diferentes raças mais utilizadas. No entanto, pouco tem se evoluído em relação ao manejo dos dejetos gerados por esses animais, pois pouco resolve melhorar a eficiência na nutrição do animal, se não existir uma perspectiva de reciclagem dos dejetos, que antes de se tornarem dejetos foram alimentos, os quais são responsáveis por um dos maiores custos da produção animal.

Em uma visão harmoniosa da caprinocultura, a nutrição dos caprinos deverá estar associada a um sistema que possa absorver e reciclar os nutrientes e se possível a energia dos dejetos, já que a maior parte dos nutrientes necessários para a produção de alimentos

(volumosos e concentrados) poderia ser suprida pelo uso do biofertilizante ou do composto. O dimensionamento de pátios de compostagem ou biodigestores para a reciclagem destes dejetos será em função da capacidade suporte de cada propriedade, devendo-se considerar para isso a área disponível para a aplicação de adubo, a exigência da cultura plantada nesta área conforme o tipo e fertilidade do solo e, ainda a eficiência da compostagem e da biodigestão na preservação dos nutrientes contidos nos dejetos, em relação ao produto final.

Uma importante recomendação seria a adoção de um manejo dos dejetos que viabilizasse a ruptura das cíbalas, antes do início da compostagem ou biodigestão anaeróbia dos dejetos de caprinos. Neste trabalho foram utilizados: liquidificador para preparação dos substratos da biodigestão anaeróbia e peneira para a compostagem, no entanto, estas medidas podem se tornar inviáveis em larga escala de produção. Desta forma, a recomendação prática seria umedecer toda a massa dejetos, para que as cíbalas tenham maior facilidade de ruptura, na seqüência escoar o excesso de água e prensar a massa úmida, de modo que o conteúdo das cíbalas se torne disponível para os microorganismos da biodigestão anaeróbia e compostagem.

De forma mais específica, para cada Capítulo em particular, são possíveis as seguintes considerações:

**Capítulos 2 e 3:** A introdução de novos genótipos (Boer) a um dos mais comumente adotados no Brasil (Saanen), implica na produção de animais F1, os quais se mostraram capazes de gerar dejetos com características menos favoráveis para a geração de biogás e, conseqüentemente metano. Este comportamento deverá ser avaliado em conjunto com a inclusão de concentrado na dieta dos animais, que de acordo com a tendência atual dos sistemas produtivos, não somente para caprinos, mas de todas as espécies em geral, aponta para preocupações como: maiores quantidades de dejetos em áreas cada vez mais limitadas, aumento das produções de biogás e metano, além de concentrações elevadas de nutrientes nos dejetos e produtos obtidos com a biodigestão anaeróbia e compostagem, sobretudo quando provenientes de cabras Saanen. Neste tocante, ressalta-se a importância da adição de volumosos na alimentação de ruminantes, não somente por justificativas econômicas, mas também porque os dejetos gerados nestas condições apresentaram menor capacidade de impacto ambiental.

**Capítulos 4 e 5:** A terminação de cabritos destinados ao abate em idades precoces, associada ao confinamento dos animais, é uma tendência adotada cada vez mais freqüentemente. Nestas condições as dietas apresentam elevados conteúdos de energia e proteína, no intuito de promover crescimento mais rapidamente. Muitas vezes estas quantias excedem a capacidade de aproveitamento pelos animais, corroborando em dejetos com elevadas cargas orgânicas e de nutrientes na composição, elevando assim a possibilidade de impacto ambiental em larga escala, sobretudo ao considerarem-se animais com mais idade, que apresentam maiores capacidades de ingestão e produção de fezes. Estas conseqüências se agravam ao verificar que as produções de biogás e metano são incrementadas conforme o acréscimo de idade e de concentrado na alimentação dos animais. No entanto, é importante salientar que a adição de forragens na alimentação dos caprinos ocasionou a geração de dejetos com características menos poluentes, mas esta condição de alimentação prolongaria a idade de abate e resultaria na produção de dejetos por um período maior, até que o peso desejado fosse atingido. Por isso, a importância da adoção de técnicas na reciclagem dos dejetos.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

AGRAZ, G. A. A. **Caprinotecnia 1**, Primeira edição, Limusa, México, 829 pp, 1984.

AL-MARSI, M. R. Changes in biogas production due to different ratios of some animal and agricultural wastes. **Bioresource Technol.** v. 77, 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**. 19<sup>th</sup> ed. Washington, 1999. p. irreg.

AMORIM, A. C. **Caracterização dos dejetos de caprinos: reciclagem energética e de nutrientes**. 2002. 108f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

AMORIM, A. C., LUCAS JUNIOR, J., RESENDE, K. T. Utilização de dejetos produzidos por caprinos como substrato para os processos de compostagem e vermicompostagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 16-24. 2004.

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

ATALLAH, T., ANDREUX, F., CHONÉ, T., GRAS, F. Effect of storage and composting on the properties and degradability of cattle manure. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 54, p. 203-213, 1995.

ATKINSON D.; WATSON, C.A. The environmental impact of intensive systems of animal production in the lowlands. **Animal Science**, v. 63, n. 3, p. 353-61, 1996.

AUBART, C.; FAUCHILLE, S. Anaerobic digestion of poultry wastes – Part 1. Biogas production and pollution decrease in terms of retention time and total solids content. **Process Biochemistry**, v. 18, n. 2, p. 31-7, 1983.

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

BERNAL, M. P.; ROIG, A.; LAX, A.; NAVARRO, A. F. Effects of the application of pig slurry on some physico-chemical and physical properties of calcareous soils. **Bioresource Technology**, v. 42, p.233-239, 1992.

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.

- BOYAZOGLU, J., 2002. Livestock research and environmental sustainability with special reference to the Mediterranean basin. *Small Rum. Res.* 45, 193-200.
- BROUGHTON, M. J.; THIELE, J. H.; BIRCH, E. J.; COHEN, A. Anaerobic batch digestion of sheep tallow. **Water Research**, v. 32, n. 5, p. 1423-28, 1998.
- CAETANO, L. **Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás**. 1985. 75f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1985.
- CALLAGHAN, F. J.; WASE, D.A.J.; THAYANITY, K.; FORSTER, C.F. Co-digestion of waste organic solids: batch studies. **Bioresource Technology**, v. 67, p. 117-22, 1999.
- CAMURÇA, D. A., NEIVA, J N. M.; PIMENTEL, J. C. M.; VASCONCELOS, V. R; LÔBO, R N. B. Desempenho produtivo de ovinos alimentados com dietas à base de feno de gramíneas tropicais. **Revista brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 5, p. 2113-2122, 2002.
- CARDOSO, R. C.; VALADARES FILHO, S. C.; COELHO DA SILVA, J. F. Síntese microbiana, pH e concentração de amônia ruminal e balanço de compostos nitrogenados, em novilhos F1 Limousin x Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n. 6, p. 1844-1852, 2000.
- CHEN, T. H., SHYU, W. H. Chemical characterization of anaerobic digestion treatment of poultry mortalities. **Bioresource Technology**, v. 63, p. 37-48, 1998.
- COMPANHIA AUXILIAR DE EMPRESAS ELÉTRICAS BRASILEIRAS - CAEEB. **O biogás e sua tecnologia**, Rio de Janeiro, 1981, (Série Estudos e Pesquisas, 2).
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, que **"Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências."** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano.cfm?codlegitipo=3>>. Acesso em: 18/11/2005.
- CORREIA, M.X.C. **Utilização do Resíduo Agroindustrial de Abacaxi (*Ananás comosus L. Mer.*) em Rações para caprinos em Crescimento**. Areia: UFPB/CCA. 2001, 64p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal da Paraíba. 2001.
- DAMIANOVIC, M. H. R. Z. **Estudo do efeito de nutrientes no desempenho de reatores de manta de lodo em escala de bancada alimentados com efluente de processamento de milho**. 1992. 127 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.
- DIAS, H. L. C.; VALADARES FILHO, S. C.; COELHO DA SILVA, J. F. Consumo e digestões totais e parciais em novilhos F1 Limousin x Nelore alimentados com dietas contendo cinco níveis de concentrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 2, p. 545-554, 2000.
- DOU, Z.; KOHN, R. A.; FERGUSON, J. D.; BOSTON, R. C.; NEWBOLD, J. D. Managing nitrogen on dairy farms: an integrated approach. I. Model description. **Journal Dairy Science**, v. 79, p. 2071-2080, 1996.

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.

EL AICH, A., WATERHOUSE, A. Small ruminants in environmental conservation **Small Ruminant Research**, v.34. p. 271-87. 1999.

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

FERREIRA, M. A.; VALADARES FILHO, S. C.; SILVA, J F C . et al. Consumo, conversão alimentar, ganho de peso e características de carcaça de bovinos F1 Simental x Nelore. **Revista brasileira de Zootecnia**, v. 28, n. 2, p. 343-351, 1999.

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](http://www.fao.org.br) > Acesso em: 23 dez 2001.

FORESTI, E.; FLORÊNCIO, L.; VAN HAANDEL, A.; ZAIAT, M.; CAVALCANTI, P. F. F. 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. Cap. 2, p. 29-52.

GOMEZ, A. The evaluation of compost quality. **Trends in analytical chemistry**, v. 17, p. 310-314, 1998.

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.

GÜNGÖR-DEMIRCI, G., DEMIRER, G., N. Effect of initial COD concentration, nutrient addition, temperature and microbial acclimation on anaerobic treat ability of broiler and cattle manure. **Bioresource Technology**, v. 93, p. 109-117, 2004.

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.

HANSEN, K. H.; ANGELIDAKI, I.; AHRING, B. K. Anaerobic digestion of swine manure: Inhibition by ammonia. **Water Research**, v. 32, n. 1, p. 5-12, 1998.

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.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br> > Acesso em 15 fev. 2002.

ÍTAVO, L.; VALADARES FILHO, S. C.; SILVA, VALADARES, R. F. D.; CECON, P. R.; ÍTAVO, C. C. B. F.; MORAES, E. H. B. K.; PAULINO, P. V. R. Níveis de concentrado e proteína bruta na dieta de bovinos Nelore nas fases de recria e terminação: consumo e digestibilidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 2, p. 1033-1041, 2002.

ITODO, I. N.; AWULU, J. O. Effects of total solids concentrations of poultry, cattle, and piggery waste slurries on biogas yield. **Transactions of the ASAE**, v. 42, n. 6, p. 1853-55, 1999.

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

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

KELLEHER, B P., LEAHY, J. J., HENIHAN, A. M, O'DWYER, T. F., SUTTON, D., LEAHY, M. J. Advances in poultry litter disposal technology – a review. **Bioresource Technology**, v. 83, p. 27-36, 2002.

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

LEPISTÖ, R.; RINTALA, J. Conversion of volatile fatty acids in an extreme thermophilic (76-80°C) upflow anaerobic sludge-blanket reactor. **Bioresource Technology**, v. 56, p. 221-27, 1996.

LOKSHINA, L. Ya.; VAVILIN, V. A. Kinetic analysis of the key stages of low temperature methanogenesis. **Ecological Modelling**, v. 117, p. 285-303, 1999.

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

LUCAS JR., J. **Algumas considerações sobre o uso do dejetos 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.

LUCAS JR., J.; SANTOS, T. M. B. Aproveitamento de resíduos da indústria avícola para produção de biogás. In: SIMPÓSIO SOBRE RESÍDUOS DA PRODUÇÃO AVÍCOLA, 2000, Concórdia, SC. **Anais...** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2000. p. 27-43.

LUCAS JUNIOR, J.; ORTOLANI, A. F.; BENINCASA, M.; IMADA, R. Y. Avaliação do uso de inóculo no desempenho de biodigestores abastecidos com dejetos 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. 915-30.

MALAVOLTA, E. et al. Micronutrientes, uma visão geral. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M. C. **Micronutrientes na Agricultura**. Piracicaba: POTAFOS / CNPq, 1989. p. 1-33.

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

MASSÉ, D. I.; DROSTE, R. L. Comprehensive model of anaerobic digestion of swine manure slurry in a sequencing batch. **Water Resource**, v. 34, n. 12, p. 3087-3106, 2000.

MASSÉ, D. I.; DROSTE, R. L. Microbial interaction during the anaerobic treatment of swine manure slurry in a sequencing batch reactor. **Canadian Agricultural Engineering**, v. 39, n. 1, p. 35-41, 1997.

MASSÉ, D. I.; LU, D.; MASSÉ, L.; DROSTE, R. L. Effect of antibiotics on psychrophilic anaerobic digestion of swine manure slurry in sequencing batch reactors. **Bioresource Technology**, v. 75, p. 205-11, 2000.

MATA-ALVAREZ, J.; MACÉ, S.; LLABRÉS, P. Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. **Bioresource Technology**, v. 74, p. 3-16, 2000.

MERKEL, J. A. **Managing livestock wastes**. Connecticut: AVI Publishing, 1981. 419 p.

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 dejetos de ovinos como substrato de biodigestores**. 1991. 67f. Trabalho de Graduação - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 1991.

NICHOLSON, F. A.; CHAMBERS, B. J.; WILLIAMS, J. R.; UNWIN, R. J. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales. **Bioresource Technology**, v. 70, p. 23-31, 1999.

NRC. Nutrition Requirements of Goats. National Academy Press, Washington, DC, pp.2-3, 1981.

OMER, A. M.; FADALLA, Y. Biogas energy technology in Sudan. **Renewable Energy**, v. 28, p. 499-507. 2003.

ORRICO JR., M. A. P., AMORIM, A. C., LUCAS JR., J. Compostagem e vermicompostagem de dejetos de vacas leiteiras. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 32, 2003, Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia: CONBEA, 2003. Disponível em Cd-rom.

ORRICO JR., M. A. P., AMORIM, A. C., LUCAS JR. Perda de nitrogênio e redução de carbono orgânico durante o processo de compostagem dos resíduos gerados na avicultura de corte. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 41, 2004, Campo Grande, MS. **Anais...** Campo Grande: SBZ, 2004. Disponível em Cd-rom.

ORRICO JUNIOR, M. A. P.; AMORIM, A. C.; LUCAS JUNIOR, J.. Biodigestão anaeróbia da cama de frangos e carcaça de aves: produção de biogás e qualidade do biofertilizante. In:

Zootec - VII Congresso Internacional de Zootecnia, X Congresso Nacional de Zootecnia, XI Reunião Nacional do Ensino de Zootecnia, 2005, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: Zootec 2005. Disponível em CD-rom.

ÖZTÜRK, M. Degradation of acetate, propionate and butyrate under shock temperature. **Journal of Environmental Engineering**, v. 119, n. 2, 1993.

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.

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.

RIBEIRO, S. D. A., RIBEIRO, A. C. Produção de carne caprina: situação atual e perspectivas. In: A produção animal na visão dos brasileiros, 2001, Piracicaba, SP. **Anais...** XXXVIII Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001. p. 504-12.

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.; LUCAS JR., J. Produção de cama e biogás após criação de frangos sob três densidades. In: BALBUENA et al, **Ingeniería rural y mecanización agraria en el ámbito latinoamericano**. La Plata: UNLP, 1998. p. 340-5.

SHERIDAN, R.; FERREIRA, A V.; HOFFMN, L. C. Production efficiency of South African Mutton Merino lambs and Boer kids receiving either a low or a high energy feedlot diet. **Small Ruminant Research**, v. 50, p. 75-82, 2003.

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**, v. 17, n. 9, p. 416A- 27A, 1983.

SPEECE, R. E. **Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters**. Tennessee: Vanderbilt University, 1996. 394 p.

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.

TAMMINGA, S. Nutrition management of dairy cows as a contribution to pollution control. **Journal Dairy Science**, v. 75, p.345, 1992.

TEIXEIRA, I. A. M. A. **Métodos de estimativa de composição corporal e exigências nutricionais de cabritos F1 (Boer x Saanen)** . 2004, 92 p. Tese (Doutorado em Produção Animal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.

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.

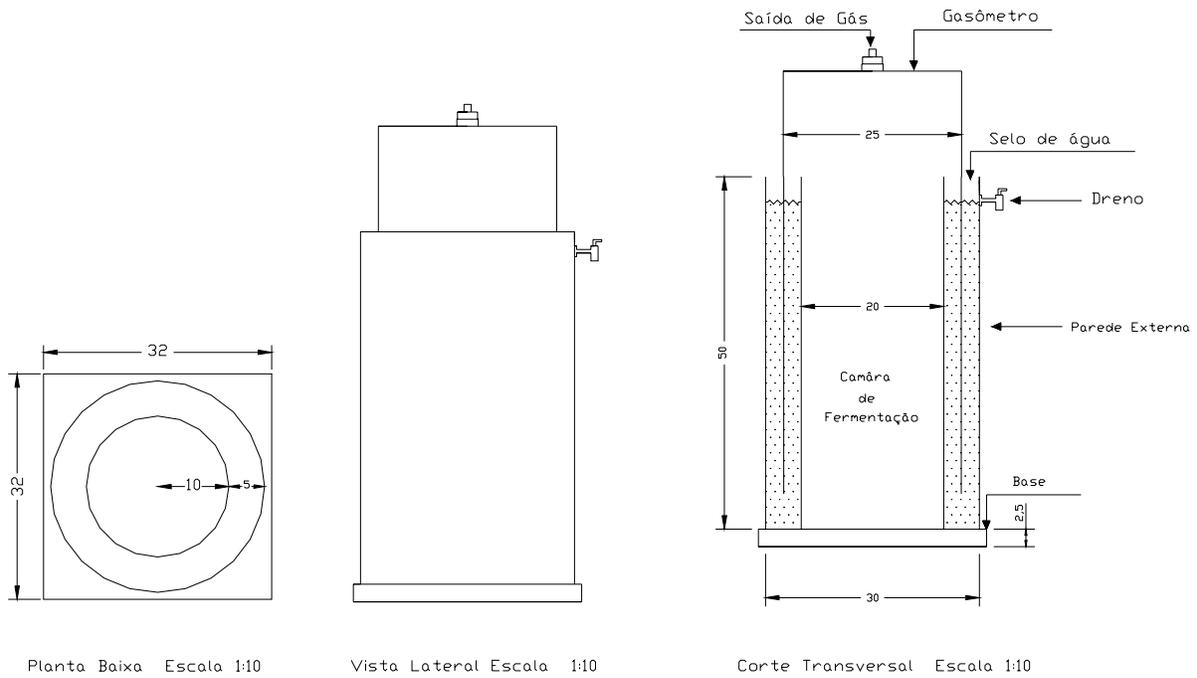
TORRES CASTILLO, R.; LA BRESLUENGO, P.; MATA ALVAREZ, J. Temperature effect on anaerobic digestion of bedding straw in a one-phase system at different inoculum concentration. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.54, n. 1, p. 55-66, 1995.

US Environmental Protection Agency – Disponível em: <http://www.epa.gov/epaoswer/non-hw/composting/index.htm>. Acesso em 13 de março de 2005.

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.

VARTAK, D. R.; ENGLER, C. R.; McFARLAND, M.J.; RICKE, S. C. Attached-film media performance in psychrophilic anaerobic treatment of dairy cattle wastewater. **Bioresource Technology**, v. 62, p. 79-84, 1997.

## APÊNDICE 1A.



Planta baixa, vista lateral e corte transversal dos biodigestores de bancada (medidas em cm).

## APÊNDICE 2A.



Procedimentos empregados na colheita e formação das leiras com dejetos de cabras adultas Saanen e F1 (Saanen x Boer).

## APÊNDICE 3A.



Procedimento adotado para pesagem das leiras e estimativa do volume

## APÊNDICE 4A. Dados meteorológicos mensais do ano de 2003 em Jaboticabal.

Mês	Pressão (hPa)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tmed (°C)	UR (%)	Precipitação (mm)	ND	Insolação (h)
janeiro	941,4	29,8	20,8	24,2	85,1	372,9	21	148,5
fevereiro	943,5	32,4	20,4	25,4	75,5	153,5	14	240,1
março	943,5	30,6	19,5	24,0	77,5	107,2	13	224,5
abril	944,9	29,8	17,5	22,6	74,8	124,1	8	230,7
maio	946,2	26,8	13,3	19,0	70,7	86,7	4	270,3
junho	946,6	28,8	14,4	20,5	69,5	12,3	2	265,4
julho	948,5	27,8	12,6	19,4	60,9	17,2	3	269,1
agosto	947,0	28,4	12,3	19,6	59,0	10,6	6	265,1
setembro	944,9	31,3	15,4	22,8	56,4	23,3	4	246,4
outubro	943,1	31,7	17,8	24,0	60,6	66,6	10	222,7
novembro	941,3	30,7	19,0	24,0	68,7	77,7	16	215,7
dezembro	941,8	31,3	20,4	25,0	74,1	210,2	13	236,0
ano	944,4	30,0	17,0	22,5	69,4	1262,3	114	2834,5

Pressão: pressão atmosférica; Tmax: temperatura máxima; Tmin: temperatura mínima; Tmed: temperatura média; UR: umidade relativa do ar; ND: número de dias com chuva.

Dados disponíveis em:

<http://www4.fcav.unesp.br/departamentos/cienciasexatas/estacao/dadosmeteor.htm>

## APÊNDICE 5A. Dados meteorológicos mensais do ano de 2004 em Jaboticabal.

Mês	Pressão (hPa)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tmed (°C)	UR (%)	Precipitação (mm)	ND	Insolação (h)
janeiro	939,8	30,1	19,9	24,0	79,4	423,4	18	192,7
fevereiro	941,7	29,9	19,4	23,7	79,3	313,7	15	205,1
março	942,4	30,7	18,3	23,4	75,0	48,2	9	256,6
abril	943,3	29,7	18,1	22,8	77,6	94,3	9	220,8
maio	945,9	25,4	14,1	18,7	80,1	84,9	11	182,2
junho	948,4	25,6	13,0	18,1	76,8	28,8	7	218,4
julho	947,3	25,3	12,5	17,8	73,8	39,0	5	246,7
agosto	947,5	29,5	13,3	20,5	56,9	0,0	0	302,5
setembro	944,4	33,8	17,9	25,0	45,5	28,0	3	284,9
outubro	942,9	28,9	17,5	22,3	70,8	135,4	12	177,7
novembro	941,4	30,4	18,8	23,9	67,9	184,7	11	229,2
dezembro	941,3	30,6	19,3	23,9	75,8	138,7	17	237,0
ano	943,9	29,2	16,8	22,0	71,6	1519,1	117	2753,8

Pressão: pressão atmosférica; Tmax: temperatura máxima; Tmin: temperatura mínima; Tmed: temperatura média; UR: umidade relativa do ar; ND: número de dias com chuva.

Dados disponíveis em:

<http://www4.fcav.unesp.br/departamentos/cienciasexatas/estacao/dadosmeteor.htm>